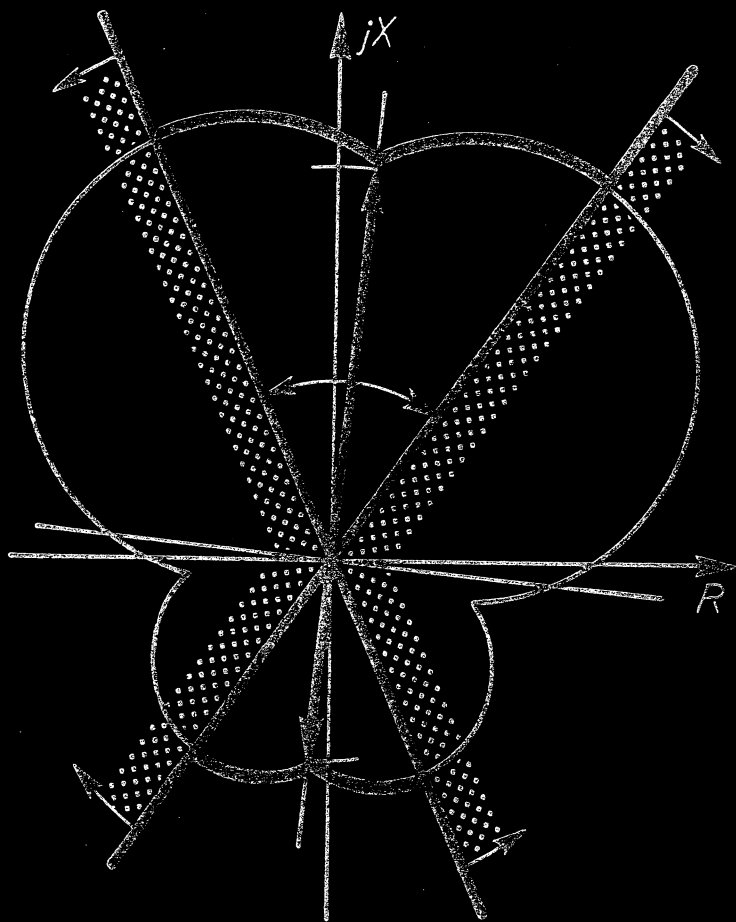


# VÉDELMEK ÉS AUTOMATIKÁK VILLAMOSENERGIA- RENDSZEREKBE

Szerkesztette: Póka Gyula



# **Védelmek és automatikák villamosenergia-rendszerekben**

**Szerkesztette: Póka Gyula**

*Ajánljuk e könyvet*

**Dr. Bendes Tibor és**

**Dr. Pázmándi László emlékének.**

*Eredményekben gazdag munkásságuk során  
mindketten sokat tettek a magyar villamosenergia-rendszer  
korszerű védelmének megteremtéséért.*

*A szerzők, akik tanítványaiknak tekintik magukat,  
e könyvvel is tisztelettel adóznak emléküknék.*

**Kiss Kálmán — Kovács József — Póka Gyula —  
Radvánszky Ferenc — Tábori József —  
dr. Tombor Antal — dr. Weingart Ferenc**

# **Védelmek és automatikák villamosenergia-rendszerekben**

**Szerkesztette: Póka Gyula**

**Magyar Elektrotechnikai Egyesület**

**Műszaki Könyvkiadó**

---

**Budapest, 1988**



Lektorálta: Szentiványi László okl. villamosmérnök

© Póka Gyula, Budapest, 1988

ETO: 621.316.925: 621.3.032

621.316.93

621.317.6

ISBN 963 10 7554 0

Kiadja a Műszaki Könyvkiadó  
Felelős kiadó: Szűcs Péter igazgató  
Felelős szerkesztő: Guller Jánosné



87/3030 Franklin Nyomda, Budapest  
Felelős vezető: Mátyás Miklós igazgató

Műszaki vezető: Kőrízs Károly  
Műszaki szerkesztő: Metzker Sándor  
A borítót tervezte: Kolosváry Bálint  
A könyv ábráit rajzolta: Jereb Gáborné, dr. Csontos Lászlóné  
A könyv formátuma: B5  
Ívterjedelme: 32,6 (A5)  
Ábrák száma: 362  
Betűcsalád és méret: Times, 10/10 p.  
Azonossági szám: 61 438  
MŰ: 4199 – k – 8891  
A kézirat lezárva 1987. április

# Tartalom

Előszó .....	11
1. Bevezetés .....	13
2. A villamosenergia-rendszer hibái (Tábori József) .....	15
2.1. Túlterhelés .....	16
2.2. Aszimmetria .....	16
2.3. Frekvencia-rendellenességek .....	17
2.4. Feszültség-rendellenességek .....	17
2.4.1. A feszültséghatár túllépése .....	17
2.4.2. Ütemes feszültség-ingadozások (flicker) .....	18
2.5. Felharmonikusok okozta torzulások .....	18
2.6. Zárlat .....	18
2.7. Szakadások .....	19
2.8. Stabilitási rendellenességek .....	20
2.8.1. Statikus stabilitás .....	21
2.8.2. Tranziens stabilitás .....	22
3. A védelmi rendszer fogalma és a követelmények (Póka Gyula) .....	26
3.1. Alapkövetelmények .....	27
3.1.1. Szelektivitás .....	27
3.1.2. Gyors működés .....	31
3.1.3. Üzembiztonság .....	32
3.1.4. Egyéb követelmények .....	37
3.2. A fogyasztók érzékenysége .....	38
3.2.1. Feszültségletörés és -szünet hatása .....	38
3.2.2. Fogyasztók kategóriákba sorolása .....	41
3.3. Az együttműködő rendszer követelményei .....	41
3.4. Védelmi rendszerek stratégiája .....	42
3.4.1. 750, 400 és 220 kV-os alaphálózat .....	42
3.4.2. 120 kV-os főelosztóhálózat .....	43
3.4.3. 35, 22 és 10 kV-os közepfeszültségű szabadvezeteki és kábelhálózat .....	43
4. Védelmi alapelvek és alapvető megoldások (Póka Gyula) .....	44
4.1. A zárlatérzékelés alapjai .....	44
4.2. A zárlati teljesítményirány érzékelése .....	47
4.2.1. A zárlati teljesítményirány közvetlen érzékelése .....	47
4.2.2. Polarizálás ép feszültséggel .....	48
4.2.3. A holtáv teljes kiküszöbölésének módszerei .....	49

4.3. Túláramvédelmek .....	50
4.3.1. A túláramok fajtái .....	50
4.3.2. Túlterhelésvédelmek .....	51
4.3.3. Zárlati túláramvédelmek elhangolása az üzemi áramoktól .....	51
4.3.4. A maximális és minimális zárlati áram meghatározása .....	52
4.3.5. Függetlenül késleltetett túláramvédelem .....	53
4.3.6. Áramszelektív túláramvédelem .....	54
4.3.7. Áramtól függő késleltetésű túláramvédelem .....	58
4.3.8. Irányított túláramvédelem .....	59
4.4. A zárlati áramhurok impedanciája .....	62
4.5. Egylépcsős impedanciavédelem .....	64
4.6. Távolsági védelem .....	68
4.6.1. A távolsági védelem fő részei .....	68
4.6.2. A távolsági védelem fokozatainak beállításszámítása .....	70
4.6.3. A hibahelyi átmeneti ellenállás hatása .....	73
4.6.4. A kettős vezeték érzékeléstorzító hatása .....	75
4.6.5. A teljesítménylengés hatása .....	76
4.6.6. Alapvédelmi kioldás késleltetésének megszüntetése .....	78
4.7. Differenciálevlű védelmek .....	82
4.7.1. Érzékelési alapelvek, alaptípusok .....	82
4.7.2. Differenciálvédelmek .....	83
4.7.3. Szakaszhédelmek .....	92
4.8. Gyűjtősínvédelmek .....	96
4.8.1. Gyűjtősínvédelmi zóna nélküli primer állomáselrendezés kialakítása .....	97
4.8.2. Természetes gyűjtősínvédelem .....	97
4.8.3. Önálló gyűjtősínvédelem .....	98
4.9. Áramváltók viselkedése zárlati tartományban .....	100
4.9.1. A védelem és a sorba kötött vezeték mint áramváltó-terhelés .....	101
4.9.2. Áramváltók méretezése stacioner viszonyokra .....	104
4.9.3. Áramváltók tranziens viszonyai .....	104
4.9.4. Áramváltók méretezése tranziens viszonyokra .....	108
<b>5. Üzemzavari automatikák (Póka Gyula) .....</b>	<b>113</b>
5.1. Visszakapcsoló automatikák .....	113
5.1.1. A visszakapcsolás optimális holtidejének megállapítása .....	113
5.1.2. Egyfázisú visszakapcsoló automatika (EVA) alkalmazása és speciális problémái ..	118
5.1.3. Visszakapcsolási rendszerek; ajánlott holtidők .....	121
5.2. Átkapcsoló automatikák .....	124
5.2.1. Eseményvezérlésű átkapcsoló automatika .....	124
5.2.2. Állapotvezérlésű átkapcsoló automatikák .....	125
<b>6. Elektromechanikus és egyenirányítós relék és védelmek (Tábori József) .....</b>	<b>128</b>
6.1. Általános feladatok, fogalmak .....	128
6.1.1. Védelmi relék és jellemzőik .....	128
6.1.2. Elektromechanikus relék fő szerkezeti elemei .....	129
6.1.3. Elektromechanikus relék osztályozása .....	130
6.2. Elektromechanikus relék és védelmek .....	131
6.2.1. Állandó mágnesű relék .....	131
6.2.2. Elektromágneses relék .....	131
6.2.3. Indukciós relék .....	134
6.2.4. Elektrodinamikus relék .....	137
6.2.5. Termikus relék .....	138
6.2.6. Kombinált elektromechanikus relék .....	139

6.3. Egyenirányítós relék és védelmek .....	141
6.3.1. Egyenirányítós impedanciarelé .....	142
6.3.2. Egyenirányítós teljesítmény-irányrelé .....	143
6.3.3. Egyenirányítós differenciálvédelmek .....	144
6.3.4. Egyenirányítós frekvenciarelé .....	145
6.4. Egyéb elven működő relék és védelmek .....	146
6.5. Az elektromechanikus és az egyenirányítós relék kiegészítő rendszerei .....	149
6.6. Relévizsgálati előírások és módszerek. Relévizsgálók .....	150
6.6.1. Laboratóriumi vizsgálatok .....	150
6.6.2. Helyszíni ellenőrzések .....	151
6.6.3. Relévizsgálók .....	151
<b>7. Elektronikus relék és védelmek (Kiss Kálmán—Kovács József—Radvánszki Ferenc—dr. Wein-</b>	
<b>gart Ferenc)</b> .....	153
7.1. Elektronikus relék alapkapcsolásai .....	154
7.1.1. Bemeneti és kimeneti áramkörök .....	154
7.1.2. Látjelzés, számlálás .....	159
7.1.3. Maximum- és minimumérzékelők .....	163
7.1.4. Hányadosérzékelők mérlegelv és szögmérési elv alapján .....	166
7.1.5. Differenciálérzékelők .....	173
7.1.6. Logikai áramkörök .....	173
7.1.7. Késleltető áramkörök .....	177
7.2. Elektronikus védelmek konkrét megvalósításai .....	178
7.2.1. Elektronikus túláramvédelmek .....	179
7.2.2. Elektronikus differenciálvédelmek .....	182
7.2.3. Elektronikus szakaszvédelmek .....	187
7.2.4. Elektronikus szögrelék védelmi célokra .....	191
7.2.5. Elektronikus távolsági védelem .....	194
7.2.6. Elektronikus generátorvédelmek .....	198
7.2.7. Elektronikus motorvédelem .....	206
7.2.8. Elektronikus gyűjtősínvédelmek .....	208
7.2.9. Elektronikus megszakítóberagadási védelmek .....	211
7.3. Speciális és komplex elektronikus védelmek és automatikák .....	213
7.3.1. Frekvenciacsökkenési relé .....	213
7.3.2. Speciális kondenzátorvédelem .....	214
7.3.3. Elektronikus hibahelytáv mérők .....	217
7.3.4. Komplex védelmek, mezőlogikák .....	219
7.4. Mikroprocesszoros védelmek .....	226
7.5. Elektronikus védelmek vizsgálata .....	230
7.5.1. Vizsgálati előírások .....	230
7.5.2. Vizsgálati eszközök és módszerek .....	232
<b>8. Védelmek és automatikák rendszerének tervezése (Tábori József—dr. Tombor Antal)</b> .....	235
8.1. Egységkapcsolású erőművek védelme .....	235
8.1.1. Zárlati alapvédelmek .....	236
8.1.2. Zárlati tartalék védelmek .....	251
8.1.3. Generátorok termikus igénybevételei és védelmei .....	258
8.1.4. A generátor villamos és:mechanikai környezetének rendellenességeit és káros hatá-	
saikat megakadályozó védelmek .....	263
8.1.5. Megkerülősínes erőművek járulékos védelmi kérdései .....	266
8.1.6. Egységkapcsolású erőművek komplex blokkvédelme .....	267
8.2. Gyűjtősínes erőművek védelme .....	268
8.2.1. Zárlati alapvédelmek .....	268

8.2.2. Zárlati tartalék védelmek .....	270
8.2.3. Generátorok termikus igénybevételei és védelmeik .....	270
8.2.4. Generátor villamos és mechanikai környezetének rendellenességeit érzékelő védelmek .....	270
8.3. A 400... 220 kV-os alaphálózatok védelmei és automatikái .....	272
8.3.1. Távvezetékek zárlatvédelmi rendszere .....	274
8.3.2. Transzformátorok zárlatvédelmi rendszere .....	276
8.3.3. Gyűjtősínvédelem .....	277
8.3.4. Megszakítóberagadási védelem .....	278
8.3.5. Feszültségnövekedési védelem .....	279
8.3.6. Az alaphálózati távvezetékek automatikarendszere .....	280
8.4. A 120 kV-os főelosztóhálózat védelmei és automatikái .....	286
8.4.1. Távvezetékek alapvédelmi rendszere .....	287
8.4.2. Kábelhálózatok alapvédelmi rendszere .....	290
8.4.3. A 120 kV szabadvezetékek és kábelek tartalék védelmi rendszere .....	291
8.4.4. A főelosztóhálózati távvezetékek automatikarendszere .....	292
8.4.5. Transzformátorok védelmi rendszere .....	293
8.4.6. Gyűjtősínvédelem .....	299
8.4.7. Megszakítóberagadási védelem .....	300
8.4.8. Átkapcsoló automatikák .....	302
8.4.9. 120 kV-os automatikus zárlatkorlátozás .....	302
8.5. Középfeszültségű szabadvezeteki elosztóhálózatok védelmei és automatikái .....	303
8.5.1. Osztatlan, sugaras hálózat fáziszárlat-védelme és a beállítási feltételek .....	304
8.5.2. Osztott, sugaras hálózat fáziszárlat-védelme .....	306
8.5.3. A végleges kikapcsolások hatásának csökkentése a szárnyvezetékek automatikus leválasztásával .....	308
8.5.4. Gyűjtősínvédelem .....	310
8.5.5. Megszakítóberagadási védelem .....	311
8.5.6. Sugaras hálózatok földzárlatvédelme .....	311
8.5.7. Hurkolt hálózatok fáziszárlat-védelmei és automatikái .....	314
8.5.8. Hurkolt hálózatok földzárlatvédelme .....	314
8.5.9. A középfeszültségű védelmi rendszer feszültség alatti munkavégzés (FAM) esetére .....	315
8.6. Középfeszültségű kábelhálózatok védelmei és automatikái .....	315
8.6.1. Középfeszültségű kábelhálózatok fáziszárlat-védelmei és automatikái .....	316
8.6.2. Gyűjtősínvédelem .....	317
8.6.3. Megszakítóberagadási védelem .....	317
8.6.4. Középfeszültségű kábelhálózatok földzárlatvédelmei és automatikái .....	317
8.6.5. Átkapcsoló automatikák .....	318
8.7. Erőművi háziüzemi és ipartelepi hálózatok védelmei és automatikái .....	319
8.7.1. Az erőművi blokkok háziüzemének jellemzői .....	319
8.7.2. Az erőművi blokkok háziüzemének védelmi rendszere .....	321
8.7.3. Aszinkron motorok indítási és rövidzárlati áramainak szétválasztása .....	323
8.7.4. Háziüzemi átkapcsoló automatikák .....	326
8.7.5. Ipartelepi hálózatok és védelmi rendszerük jellemzői .....	327
<b>9. Rendszerautomatikák (Póka Gyula—dr. Tombor Antal) .....</b>	<b>329</b>
9.1. A rendszeregyesítés jellemzői .....	329
9.2. A termelési hiány pótlásának folyamata .....	331
9.2.1. A termelt teljesítmény és a frekvencia közötti összefüggés .....	331
9.2.2. A fogyasztói teljesítmény és a frekvencia közötti összefüggés .....	332
9.2.3. A fogyasztott és a termelt teljesítmény egyensúlya .....	333
9.2.4. Energiarendszerek magasabb rendű együttműködésének szabályozása .....	333

9.3. A fogyasztás frekvenciafüggő, automatikus korlátozása .....	335
9.3.1. A teljesítményhiány következményei .....	335
9.3.2. A frekvencia időbeli változása .....	335
9.3.3. A frekvenciafüggő terheléskorlátozás kialakítása .....	336
9.3.4. Frekvencialépcsőzésű fogyasztói korlátozás .....	337
9.3.5. Időlépcsőzésű fogyasztói korlátozás .....	338
9.3.6. A hálózati tranziensek hatása a frekvenciarelék működésére .....	339
9.4. Kritikus metszések .....	341
9.5. Metszékvédelmi automatikák .....	343
9.5.1. Balanszautomatika .....	343
9.5.2. Optimalizált metszékbontás .....	346
9.5.3. Aszinkron üzemet megszüntető automatikák .....	347
9.5.4. Stabilitásvédő automatikák .....	349
9.6. Pszeudoszinkron átkapcsoló automatika .....	349
9.6.1. Az automatika működésének elve .....	349
9.6.2. Az automatika tényleges kapcsolása. Visszatérítés .....	354
9.6.3. Generátorok átkapcsolása .....	356
9.6.4. A pszeudoszinkron automatika alkalmazási területe .....	357
9.7. Egyenáramú betétek használata üzemzavar esetén .....	357
9.7.1. A nagyfeszültségű egyenáramú átvitel áttekintése .....	357
9.7.2. Az egyenáramú betét üzemi és üzemzavari szerepe .....	359
<b>Irodalom .....</b>	<b>361</b>
<b>Tárgymutató .....</b>	<b>365</b>

# Előszó

A szerzők nevében is köszöntöm az Olvasót, amikor kezébe veszi ezt a könyvet. Remélem, hogy könyvünk eléri célját, sok, védelmekkel foglalkozó mérnök és technikus rendszeresen forgatja majd, és munkája során mindenki megtalálja benne a szükséges tudnivalókat, amikor szembekerül a védelem–automatika szakterület problémáival a villamosenergia-rendszer bármely területén.

A könyvet olyan szakemberek írták, akiknek napi munkája arra irányul, hogy a védelmes szakterületen kutatási, fejlesztési, tervezési, irányítási és üzemeltetési problémákat oldjanak meg. Többük neve ismerős lehet mérnöki továbbképző, műegyetemi, főiskolai, ill. tanfolyami jegyzetek címlapjáról és speciális védelmes témájú előadásokról. Egyikük a Budapesti Műszaki Egyetem Villamosmérnöki Karának erősáramú műves tagozatán *Védelmek tervezése* címen önálló tárgyat ad elő.

A könyvet – éppen a széles terület és lehetőleg minden értékes tapasztalat közreadása céljából – *hét szerző* írta. Az említett előnyök mellett ez azzal a kivédhetetlen hátránnyal is járt, hogy a könyv stílusa nem lett teljesen egységes. Ezen a tudományos szerkesztő, lektor és a felelős szerkesztő igyekezett javítani, de a szerzői szabadság súlyosabb korlátozásától természetesen eltekintettek. Úgy érzem, a néhol eltérő stílus nem zavaró, a problémák több irányból való megközelítése viszont kimondottan előnyös.

A szerzők tapasztalata és legjobb igyekezete mellett is előfordulhat, hogy a könyvben hiányosságok, esetleg hibák fordulnak elő, amiért ezúton is elnézést kérek. Egyben kérem az Olvasót, hogy bármilyen észrevételével, megjegyzésével keresse meg a Kiadót.

A könyv lektora, Szentiványi László, ellenőrzése során számos értékes észrevételt tett, amelyekért a szerzők nevében ezúton is köszönetet mondok.

*Póka Gyula*  
tud. szerkesztő

# 1. Bevezetés

Ahogy a modern nagyipartól a háztartásokig a civilizált élet egyetlen területe sem képzelhető el villamos energia nélkül, azaz a villamos energiát előállító, átvivő és elosztó berendezések rendszere nélkül, úgy e berendezéseknek szoros velejárója, tartozéka a védelem és az azt kiegészítő automatika. Védelmi berendezés nélkül villamosenergia-rendszer üzemelhet ugyan, de csak az első zárlatig: ha valamely berendezésnek nincs adott zárlatfajtára védelme, vagy az nem megfelelő, akkor a zárlat tönkreteszi, elpusztítja a berendezést. Ha valamilyen hiba miatt a védelem nem képes működni, pl. a védelem hibás, a védelmet ellátó segédáramforrás kiesett, a zárlatot megszüntetni hivatott megszakító működésképtelen, akkor a berendezés elpusztul: leszakad a tápláló távvezeték, kigyullad a transzformátor, leég a kábel stb. A károsodás továbbterjed a betáplálások irányában mindaddig, amíg egy jól működő védelem a zárlati táplálást végül is meg nem szünteti. Emellett a tartós, hosszú idejű zárlat a rendszer stabilitását is megbonthatja, rendszerszétesést okozhat.

A gondosan felépített, jó elemekből álló védelmi rendszer a zárlatot tizedmásodpercnyi idő alatt megszünteti. A megfelelően kiválasztott automatikarendszer a kiesett elemet visszakapcsolja, a kisebb fogyasztókat átkapcsolja tartalék ellátásra. A fogyasztó vagy egyáltalán nem, vagy csak kis mértékben, ritkán észleli a zavart, folyamatos energiaellátása, zavartalan üzeme igen nagy valószínűséggel fennmarad.

A védelem SILENT SENTINEL, csendes őrszem, olyan mint a mozdulatlanul figyelő indián, amely azonban veszély esetén villanásszerűen, a másodperc törtrésze alatt felismeri a helyzetet, megítéli és cselekszik. Zárlat felléptekor a védelem szükség esetén azonnal parancsot ad a hibás rendszerem határoló megszakítóinak az elem leválasztására. Zárlatmentes állapotban nem működik, nincs szerepe, de ha zárlatkor nem tud azonnal és jól működni, súlyos kár keletkezik. De nagy kárt idézhet elő akkor is a védelem, ha feleslegesen, hibátlan rendszerem kikapcsolására ad parancsot, mert ez termelőegységek kiesését, a fogyasztók ellátatlanságát okozza, kritikus esetben rendszerszéteséshez is vezethet.

A villamosenergia-rendszer védelmével és automatikájával foglalkozó szakterület tehát fontos, nélkülözhetetlen. Művelését kellően kiképzett szakembergárdának kell végeznie, speciális szakértő, a védelmes mérnök (protection engineer) irányításával. A védelmes mérnök tekintélye, elismerése külföldhöz hasonlóan Magyarországon is kezd kialakulni, sőt fokozódni.

A speciális védelmi szolgálatok mellett igen sok szakterület kerül kapcsolatba a védelem és az automatika kérdéseivel, elsősorban a hálózattervezők, a villamosenergia-rendszert tervező és üzemeltető szakemberek, de az ipartelepek tervezői, energetikusai és üzemeltetői sem nélkülözhetik az alapvető védelem–automatika szaktudást, ha tevékenységüket kiemelkedő szinten kívánták végezni.



A könyv 2. fejezete a villamosenergia-rendszer hibáit tárgyalja. Célszerűnek látszott volna ebbe a fejezetbe gyakorlati zárlatszámítási útmutatót és példákat is bevenni, ez azonban igen nagy terjedelmet igényelt volna, és részletesen tárgyalni kellett volna a számítógépes zárlatszámítást is. Tekintettel az amúgy is nagy anyagra, valamint az elektronikus védelmek előretérése miatt szükséges anyagbővülésre, a zárlatszámítási rész végül is nem került a könyvbe, de a szakirodalomban részletesen megtalálható ([6], [18], [19], [55], [70], [71]).

A 3., 4. és 5. fejezet az alapvető követelményeket, alapelveket, alaptípusokat, beállítási feltételeket és a szokásos adatokat mutatja be olyan módon, hogy azok különböző kivitelű berendezésre (elektromechanikus, egyenirányítós, elektronikus stb.) egyaránt érvényesek.

A 6. és 7. fejezet a különböző kivitelű reléket és védelmeket ismerteti. Ezen belül a 7. fejezet — a többihez képest kiemelt terjedelemben — tárgyalja az újszerű, jelenleg fejlődő, és így várhatóan nagy érdeklődésre számot tartó elektronikus reléket és védelmeket, és szó esik a jövő mikroprocesszoros, digitális védelmeiről is.

A 8. fejezet az alkalmazási terület szerint csoportosítva mutatja be a védelmi- és az automatika-rendszer tervezését.

A 9. fejezetben tárgyalt rendszer-automatikákkal ugyan viszonylag kevesen foglalkoznak közvetlenül, de kedvező vagy kedvezőtlen hatásukat gyakorlatilag az egész energiarendszer érzékeli, ezért a villamosenergia-rendszerben bárhol dolgozó energetikusok alapvető műszaki műveltségi szintjéhez hozzá tartozik azok ismerete. Jelentőségük évről évre növekszik, mert hazánk a Bajkál-tótól Berlinig terjedő gázszaki energiarendszernek a része.

A könyv végén részletes irodalomjegyzék áll azok rendelkezésére, akik egy-egy témát mélyebben tanulmányozni akarnak. A könyvben elsősorban a maradandó alapelveket, valamint a jelenlegi gyakorlatot találhatja meg az Olvasó — részben a külföldit is, de elsősorban a magyart —, és tájékoztatást kap a fejlődés irányairól.

## 2. A villamosenergia-rendszer hibái

A villamosenergia-rendszer alapvető célja a villamosenergia-felhasználók – fogyasztók – folyamatos ellátása minőségi villamos energiával. A *folyamatosság* azt jelenti, hogy a villamos energia a fogyasztó vételezési helyén időben állandóan rendelkezésre áll. Ez azonban csak bizonyos kompromisszumok árán lehetséges (l. a 3.2. alfejezetet).

A villamosenergia-szolgáltatás két fontos minőségi paramétere a frekvencia és a feszültség.

A *frekvencia* névleges értéke a magyar villamosenergia-rendszerben 50 Hz. A megengedett eltérésekre közvetlen szabványelőírás nincs, bizonyos útmutatásokat az MSZ 23000/1 tartalmaz.

A *feszültség* névleges értékét az MSZ 1 írja elő. A névleges feszültségtől való megengedett eltérések a 2.1. táblázatban láthatók.

### 2.1. táblázat

Különböző névleges feszültségű hálózatok megengedett feszültségtűrései

$U_n$ , kV	0,38	3	6	10	20	35	120	220	400	750
$U_{max}$ , kV	0,4085	3,6	7,2	12	24	40,5	138	245	420	787
$U_{min}$ , kV	0,3515	2,7	5,4	9,0	18,0	31,5	108	198	360	675
$\Delta U$ , %	7,5	+20,0	+20,0	+20,0	+20,0	+15,7	+15,0	+11,27	+5,0	+4,8
	-7,5	-10,0	-10,0	-10,0	-10,0	-10,0	-10,0	-10,0	-10,0	-10,0

Megjegyzés: A táblázat értékei nem vonatkoznak a hálózat rendkívüli üzemi körülményei során kialakuló átmeneti feszültségváltozásokra.

A villamosenergia-rendszer feszültsége háromfázisú, ezért lényeges követelmény a három fázis mennyiségeinek *szimmetrikus* volta. Ez a rendszert fizikailag felépítő elemekre (generátorok, transzformátorok, távvezetékek, fogyasztói rendszerek), valamint a jellemző villamos mennyiségekre (feszültség, áram) áll fenn.

A villamosenergia-rendszert üzeme során különböző külső és belső hatások, igénybevételek érik. Ezek különböző módon kihatnak a villamosenergia-ellátás folyamatára, zavarva, ill. veszélyeztetve a folyamatban részt vevő elemek működését. A zavaró hatások a következők lehetnek: túlterhelések, aszimmetriák, frekvencia-rendellenességek, feszültség-rendellenességek, felharmonikusok, zárlatok és szakadások.

Feltételezve, hogy normál üzemi állapotban a villamosenergia-rendszer kielégíti a folyamatos, szimmetrikus, minőségi villamosenergia-szolgáltatás követelményeit, a zavaró hatások a rendszerben bekövetkező hibák, ill. a helytelen üzemeltetés következményei.

## 2.1. Túlterhelés

A túlterhelés jelensége egy motorikus fogyasztói berendezésnél azt jelenti, hogy a mechanikai oldalon túlterhelt villamos motor a hálózathoz fűzött, névlegesnél nagyobb teljesítmény, azaz a nagyobb áramerősség miatt megnövekedett Joule-vesztés következtében túlmelegszik, majd egy idő után leég. Általánosítva azt mondhatjuk, hogy ha egy fogyasztói körzet terhelési viszonyai meghaladják a körzetet ellátó transzformátor, távvezeték névleges átvivő képességét, akkor az túlterhelődik. Keletkezhet úgy is túlterhelés a nagyfeszültségű hurokolt hálózati elemekben, ha a villamos energiát szállító, egymással párhuzamosan kapcsolt elemek közül bizonyos számú kikapcsolódik. Ilyenkor az üzemben maradó elemek terhelése megnövekszik, ami az egyes elemek túlterhelésére vezethet. A generátorok túlterhelésére vezethet a termelés és fogyasztás egyensúlyának megbomlása.

A túlterhelés ellen védekezni kell, mert a tartósan túlterhelt berendezés károsodik, meghibásodik. Ennek elkerülésére az elemeket túlterhelés elleni védelemmel kell ellátni.

A túlterhelés, ill. közvetve túlterhelésre visszavezethető zavarok (aszimmetriák, felharmónikusok hatásai) mint termikus hatás veszélyeztetik az egyes elemek üzemét. A Joule-törvény értelmében

$$Q = \int_0^t I^2 R dt,$$

ahol  $Q$  a keletkezett hőmennyiség,  $J$ ;  $I$  áramerősség,  $A$ ;  $R$  a vizsgált elem ellenállása,  $\Omega$ ;  $t$  a hatás ideje,  $s$ .

Mivel az áramerősség túlterhelés esetén a névleges áramot csak kevéssé haladja meg, sőt a korlátozott idejű, kisebb túlterhelés megengedett is, felléptekor általában nem szükséges azonnali beavatkozás. Túlterhelést szükség esetén a rendszer üzemének fenntartása vagy a fogyasztók folyamatos energiaellátása céljából a megengedett mértéken felül is fenntartanak, ez azonban már bizonyos mértékű élettartam-csökkenést okozhat az érintett elem életében.

Nagymértékű túlterhelés, azaz nagyobb termikus igénybevétel esetén külön intézkedés szükséges. Ezt hajtják végre a különböző túlterhelésvédelmi eszközök (biztosító, kismegszakító, hőkioldó, primer és szekunder hőmérés, érintkezős hőmérő stb.).

## 2.2. Aszimmetria

Aszimmetria jelenkezhet áramerősségben, feszültségben vagy mindkettőben. Előidézhetheti a fogyasztó aszimmetrikus terhelése (egyfázisú fogyasztók), ill. a villamosenergia-rendszer normál üzemében fellépő olyan zavar vagy kikapcsolás, amely nem azonos módon érinti mindhárom fázis mennyiségeit. Az aszimmetrikus üzem jellemzője a negatív és zérus sorrendű mennyiségek megjelenése, amely járulékos veszteségeket, azaz melegedést, vagyis túlterhelést okozhat a rendszer elemein. Szükség esetén védekezni kell ellene (pl. generátoroknál a negatív sorrendű áramerősség a forgórészt veszélyesen felhevíti).

A villamos motoros hajtások egy fázis feszültségének kimaradásakor vagy hiányakor (pl. egyik fázis biztosítója kiolvad) a motor a két ép fázison keresztül kívánja teljesítményét a hálózathoz felvenni, ami e fázisok túlterhelését, a hálózat szempontjából annak aszimmetrikus terhelését jelenti.

Aszimmetria kialakulása esetén mind a fogyasztónál, mind a villamosenergia-rendszer egyéb elemeinél többletvesztések keletkeznek, amelyek az egyes elemek termikus terhelését

növelik. A káros következmények megelőzhetők az említett túlterhelésvédelem alkalmazásával. Korszerű szinkron generátorok esetén — azok érzékenysége miatt — a negatív sorrendű áramerősség jelenlétét külön érzékelní kell, és adott szint elérése esetén a generátort ki kell kapcsolni.

## 2.3. Frekvencia-rendellenességek

Frekvenciaeltérés részben mint a névleges frekvenciától való *állandó eltérés*, részben mint a stabilitás megbomlásából adódó *lengés* fordulhat elő.

Ha a villamosenergia-termelés és -fogyasztás tartósan, de kismértékben tér el egymástól, akkor az üzem a névlegestől eltérő frekvencián állandósul. Teljesítménytöbblet esetén a frekvencia nő, teljesítményhiány esetén csökken. Adott tűréshatáron belül ez nem okoz gondot. Rendszerszinten, kellő forgótartalék esetén nagyobb mértékű frekvencianövekedés helyes beállítású erőművi turbinaszabályzók és megfelelő szabályozás esetén nem állhat elő. Ha a termelés és fogyasztás egyensúlya megbomlik, és a rendszer teljesítményhiányos lesz, akkor a frekvencia olyan kis értéken állandósulhat, hogy az a további stabil üzemet veszélyeztetheti. Ha az egyensúly úgy bomlik meg, hogy egy gépegység vagy erőmű elveszti kooperációs kapcsolátát, akkor a terhelés nélkül termeléstöbblettel együtt maradt gépek megszaladhatnak, azaz megnő a gépcsoport fordulatszáma és a villamos oldal frekvenciája. Indokolt lehet a teljesítményhiányos oldalon frekvenciacsökkenésre, míg a leszakadt erőműrésznél frekvencianövekedésre induló védelmi rendszert telepíteni.

A terhelési állapot hirtelen létrejövő változása vagy egy elem váratlan kiesése a stacioner üzemet megváltoztatja. Az új egyensúlyi állapot átmeneti jelenségek, lengések után áll be. E lengések az új egyensúlyi állapotnak megfelelő frekvencia körül alakulnak ki, és az átmenet időszakában a rendszer egyes részeinél tranziens frekvencianövekedést, ill. -csökkenést okoznak, és veszélyeztetik a rendszer stabilitását.

Frekvenciarendellenesség mint az együttműködő rendszer hibája fordulhat elő. Kismértékű frekvenciaeltérés a szinkron gépek, szinkron órák fordulatszámának megváltozását okozza. Nagyobb mértékű eltérés — gyakorlatban csökkenés — a motoros fogyasztók szállítási teljesítményét jelentősen csökkenti, súlyos esetben pl. az erőművi segédüzemek túlterhelésére, azaz kiesésére vezethet. Ez lavinajelenséget idézhet elő, hiszen tovább romlik a termelés és fogyasztás egyensúlya. A frekvencia helyreállítása céljából súlyosabb esetben kézi vagy automatikus kikapcsolásokat kell megvalósítani a stabil üzem helyreállítása érdekében.

## 2.4. Feszültség-rendellenességek

### 2.4.1. A feszültség-határ túllépése

A villamosenergia-rendszer üzeme, ill. üzemzavara során a szabványos megengedett tűréseket meghaladó feszültségértékek alakulhatnak ki. Ezek lehetnek légköri eredetű túlfeszültségek, kapcsolási túlfeszültségek, rezonáns túlfeszültségek, a meddőegyensúly megbomlása és helytelen üzemi szabályozás következménye.

A túlfeszültségek a névleges feszültséget többszörösen meghaladó igénybevételt jelenthetnek a villamosenergia-rendszer elemeire.

A meddőegyensúly megbomlása vagy a helytelen üzemi szabályozás miatt keletkező feszültség-határ-túllépés mint a névleges feszültség környezetében előforduló eltérés jelentkezik. Mivel ez tartósan meghaladhatja a névleges értéket, így az egyes elemek károsodását okozhatja, másrészt a kialakuló tartós alacsony feszültség-szint azonos átvitt teljesítmény esetén az egyes elemek túlterhelésére vezethet, és ez a fogyasztók üzemét megzavarhatja.

Feszültség-határ-túllépés két egymástól jól elkülöníthető feszültség-tartományba eső feszültségek előfordulását jelenti. Egyik tartomány a névleges feszültséget többszörösen meghaladó túlfeszültségek tartománya — amelyeket korlátozni kell, vagy le kell vezetni rendszer-elemek szigetelésekárosodásának elkerülése céljából. Erre szolgál a túlfeszültségvédelem.

A másik tartomány az üzemvitel során a névleges feszültség megengedett túrési sávjait túllépő feszültségértékek tartománya. Ez általában nem jelent közvetlen, azonnali veszélyeztetést a rendszer elemeire, de gyors intézkedéseket követel a normál tartományba tartozó feszültség helyreállítása. Erre szolgál az üzem alatti feszültség szabályozás és a meddőgazdálkodás, beleértve nagyfeszültségen a generátoros és söntfojtós meddőnyeletést is.

#### 2.4.2. Ütemes feszültség ingadozások (flicker)

A flicker a váltakozó feszültség ütemes abszolútérték-ingadozása. A flicker egyik hatása a világítóberendezések fényáram-ingadozása miatt keletkező pszichikai elfáradás, amely 10 Hz körül a legnagyobb hatású, másrészt a feszültségfüggő villanymotoros hajtások fordulatszám-változása, ill. ennek technológiai kihatása.

A flicker okozói elsősorban az ívkemencék, de okozói lehetnek az egyre terjedő (kapcsolóüzemű) fáziscsomag-vezérlésű tirisztoros rendszerek, chopperes hajtások is.

A flicker a fogyasztókat zavarja. A fogyasztók villamosenergia-ellátásának megfelelő kialakításával és a keletkezés helyén megvalósított műszaki intézkedésekkel a zavaró hatás kiküszöbölhető.

#### 2.5. Felharmonikusok okozta torzulások

Ezek a torzulások a hálózatok járulékos veszteségeit okozzák, azaz idő előtti túlterhelések kiváltói lehetnek. Az egyre terjedő vezérelt egyenirányítós, fázisszögvezérlésű rendszerek velejáráói.

A felharmonikusok okozta torzulások a hálózat többletveszteségeit okozzák. Magasabb rendszámú felharmonikusok a környezetre gyakorolt hatások alapján, mint zajforrások jelentkeznek. Megszüntetésük a keletkezésük helyén szükséges és lehetséges megfelelő szűrőkörök alkalmazásával.

Mind a felharmonikusok, mind a flicker a villamos hálózaton „hálózatszennyezésnek” tekintendő, amelyeknek kiküszöbölése elsősorban az előidéző fogyasztók feladata.

#### 2.6. Zárlat

Zárlatnak nevezik azt a jelenséget, amikor a hálózatnak vagy két üzemszerűen eltérő feszültségű pontja egymással, vagy egy pontja a földdel közvetlen kapcsolatba kerül.

Ha a galvanikusan összefüggő hálózatrésznek nincs – vagy csak nagy impedancián keresztül (kapacitások, levezetés, ívöltő tekercs, hosszúföldelés) van – földkapcsolata, akkor a földérintéses zárlat csak földzárlatot jelent, és a kialakuló áramerősség csak 10...200 A. Ha a hálózatrész a földdel szorosan csatolt (legalább egy pontján közvetlenül földelt), akkor földzárlat esetén is igen nagy zárlati áram folyik, nagysága  $(1...10) \cdot 10^3$  A.

Akár földelt, akár szigetelt a rendszer a földhöz képest, a különböző feszültségű vezetékek között keletkező zárlatok mindig nagy áramerősség kialakulását okozzák. E zárlatokat rövidzárlatnak is nevezzük.

A földzárlatok, ill. földrövidzárlatok kialakulása a hálózatok csillagpontkezelésétől függ. Hatásosan földelt hálózaton (ilyenek a 120, 220, 400, 750 kV-os hálózatok) földzárlat esetén is rövidzárlati áram folyik, hatásosan nem földelt (szigetelt, kompenzált, hosszan földelt stb.) hálózaton (1...35 kV) a földzárlat nem jelent rövidzárlatot.

A zárlatok különböző fázis–fázis és fázis–föld kapcsolatokat jelentenek. Eszerint a zárlat lehet: háromfázisú rövidzárlat, háromfázisú földérintéses rövidzárlat, kétfázisú rövidzárlat, kétfázisú földrövidzárlat, egyfázisú földrövidzárlat, egyfázisú földzárlat, kettős földzárlat.

A különböző zárlatok jelöléseit foglalja össze a 2.2. táblázat.

## 2.2. táblázat

### Zárlatok fajtái a különböző csillagpont-kezelésű hálózatokban

Zárlat megnevezése/fajtái	Rövidítése	Előfordulás helye	
		hatásosan földelt csillagpontú hálózat	hatásosan nem földelt
Háromfázisú rövidzárlat	3F	×	×
Háromfázisú földérintéses rövidzárlat	3FN	×	–
Kétfázisú rövidzárlat	2F	×	×
Kétfázisú földrövidzárlat	2FN	×	–
Egyfázisú földrövidzárlat	FN	×	–
Egyfázisú földzárlat	Ff	–	×
Kettős földzárlat	2×Ff	–	×

Mivel a 3F és 3FN zárlat mindhárom fázist azonos módon érinti, ezeket a zárlatokat szimmetrikus zárlatoknak nevezzük, míg az összes többi zárlat aszimmetrikus. (E fogalom nem keverendő össze a szimmetrikus, ill. aszimmetrikus zárlati lefolyással mint időben vizsgált folyamattal!)

A zárlatok megváltoztatják a normális üzemi állapotra jellemző áram- és feszültségviszonyokat. Szimmetrikus rövidzárlatnál az áramerősség és feszültség szimmetriája nem bomlik meg, de a feszültség letörik, és az áramerősség a névleges terhelési állapothoz tartozó értéknek többszörösére növekszik. Aszimmetrikus zárlat esetén megbomlik a hálózat szimmetriája is, az egyes fázisfeszültségek és áramerősségek nagysága és iránya is megváltozik. A megnövekedett zárlati áram termikus és dinamikus hatása veszélyezteti a villamosenergia-rendszer azon elemeit, amelyeken a zárlati áram teljes mértékben vagy részben átfolyik.

A zárlatok – fajtájuktól függően különböző módon – csökkentik az együttműködő villamosenergia-rendszerben átvihető teljesítményeket, azaz befolyásolják és veszélyeztetik a rendszer stabilitását.

## 2.7. Szakadások

A villamosenergia-rendszer kapcsolódó elemeinél előfordulhatnak folytonossági, soros kapcsolódási hiányosságok, szakadások. Ilyen hiba lehet pl. vezetékszakadás, áramkötés leégése, megszakító vagy szakaszoló működésének elmaradása. Ezek a hiányosságok egy-, ill. kétfázisú szakadásként kezelhetők.

A szakadás elrontja a hálózat szimmetriáját, aszimmetrikus feszültség- és áramhelyzet áll elő, csökken a megmaradt kapcsolaton átvihető teljesítmény, azaz nő a transzfer reaktancia, romlik a rendszer stabilitása.

A szakadások részben túlterhelésként, részben a negatív sorrendű áramösszetevő jelenléte alapján érzékelhetők, ill. a rendellenes üzemállapot tényének felismerésével kiküszöbölhetők.

## 2.8. Stabilitási rendellenességek

A minőségi energiaszolgáltatás stabil üzemeltetés feltételez, amely alkalmas a fogyasztói igények változásának követésére.

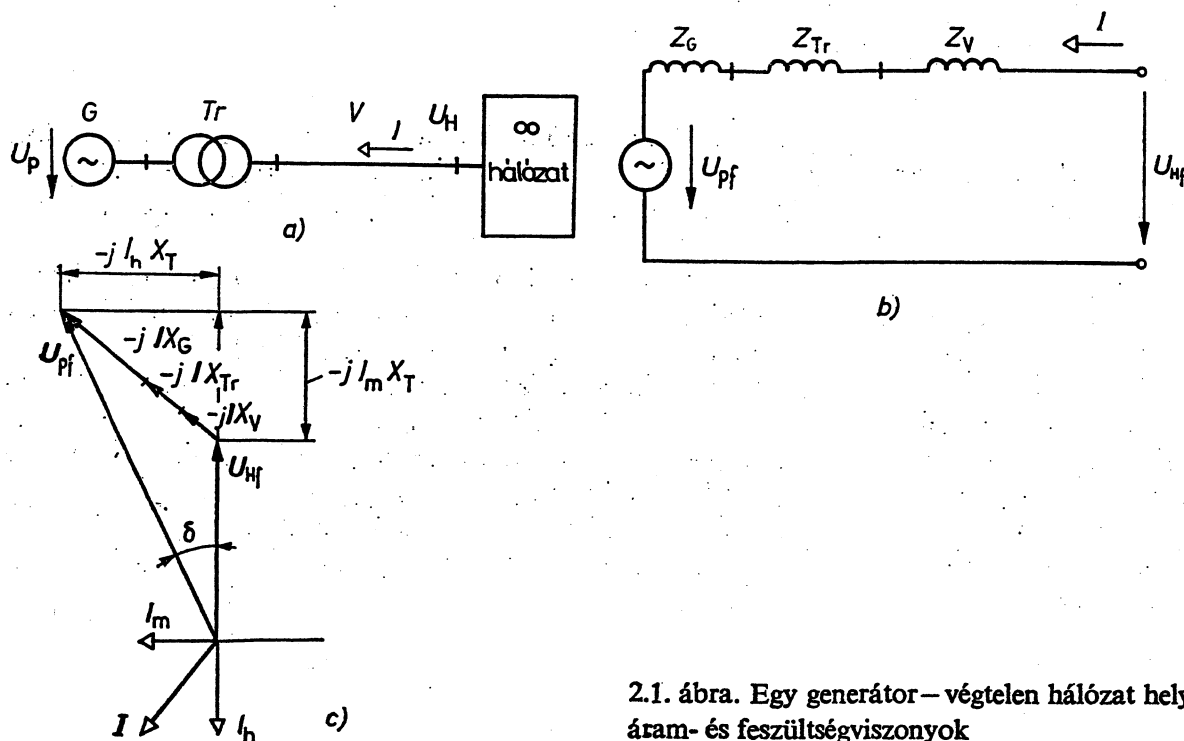
Egy generátor stabil üzemeltetés feltételei a következő módon határozhatók meg. A 2.1a ábrán látható a végtelen teljesítményű rendszerrel párhuzamosan üzemeltető vizsgált generátor. A végtelen hálózat feszültsége merev, értéke  $U_H$ . A vizsgált generátor a hálózatba mind hatásos, mind meddő teljesítményt szolgáltat, azaz túlterjesztett generátorként üzemel. Ha a fogyasztott teljesítményt tekintjük pozitív értékűnek, a 2.1a ábra áram- és feszültségirányaival a következő hurokegyenlet írható fel a 2.1b ábra azonos feszültség alakra redukált egyfázisú helyettesítő kapcsolása alapján:

$$U_{Hf} - U_{pf} - IZ_G - IZ_{Tr} - IZ_V = 0.$$

Kis hibát jelent nagyfeszültségű hálózaton az ellenállások elnagyolása, így

$$U_{Hf} = U_{pf} + jI(X_G + X_{Tr} + X_V)$$

kifejezés nyerhető, ahol  $U_{pf}$  a generátor pólusfeszültsége (fázisfeszültség);  $I$  a generátor terhelőárama;  $X_G$  a generátor állandósult szinkron reaktanciája;  $X_{Tr}$  a blokk- vagy csatoló transzformátor reaktanciája;  $X_V$  a csatoló távvezeték reaktanciája.



2.1. ábra. Egy generátor – végtelen hálózat helyettesítése, áram- és feszültségviszonyok

A hurokegyenletnek megfelelő vektorábrán látható a generátor túlterjesztett üzemére a 2.1c ábrán.

A vektorábrán alapján definiálható a generátorra jellemző  $\delta$  terhelési szög, amely a végtelen hálózat (kooperációs csomópont) feszültségvektora és a generátor pólusfeszültségvektora közötti szög. Bevezetve az

$$X_T = X_G + X_{Tr} + X_V,$$

a végtelen hálózat és generátor közötti kapcsolatot jellemző transfer reaktanciát, a vektorábrán alapján

$$\sin \delta = \frac{I_h X_T}{U_{pf}}$$

kifejezés írható fel, ahol  $I_h$  a terhelőáram hatásos összetevője. Az egyenletet átrendezve a terhelőáram hatásos komponense

$$I_h = \frac{U_{pf} \sin \delta}{X_T},$$

majd mindkét oldalt  $U_{Hf}$ -fel szorozva

$$U_{Hf} I_h = \frac{U_{pf} U_{Hf}}{X_T} \sin \delta$$

összefüggés adódik. Ez nem más, mint a generátor egy fázisának adott terhelési állapothoz tartozó teljesítménye. A generátor által a terhelési szög függvényében az átvihető három-fázisú teljesítmény

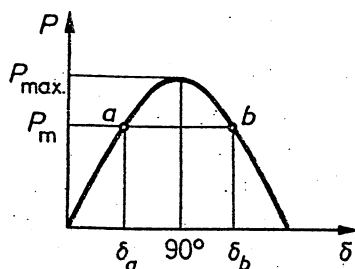
$$P = \frac{U_P U_H}{X_T} \sin \delta \quad (2.1)$$

összefüggés alapján adódik, ahol  $U_P$  és  $U_H$  vonali feszültség.

Az összefüggésből kitűnik, hogy a generátor  $\delta = 90^\circ$ -ig képes stabil üzemre. Itt eléri maximális teljesítményét. Ez a pont a statikus stabilitás határa. A hajtónyomaték további növelésével a generátor kiesik a szinkronizmusból és megszalad.

### 2.8.1. Statikus stabilitás

A teljesítmény és a terhelési szög közötti, a (2.1) egyenlet szerinti összefüggést ábrázolva egy szinuszfüggvény adódik (2.2. ábra).



2.2. ábra. Munkapont meghatározása

Feltételezve egy  $P_m < P_{max}$  mechanikai hajtóteljesítményt, két munkapont adódik a szinuszgörbével vett metszéspontoknak megfelelően. Az  $a$  pont stabil, a  $b$  labilis munkapontot jelent, mivel  $a$  környezetében történő bármilyen irányú  $\Delta P$  változás olyan nyomatékkülönbséget jelent, ami a rendszert a stabil munkapontba viszi, a  $b$  pont esetében pedig akármilyen  $\Delta P$  változás az eltérés további növekedését, azaz az üzem megbomlását jelenti.

Ennek alapján a  $\delta = 0 \dots 90^\circ$  tartományt stabil,  $\delta = 90^\circ \dots 180^\circ$  tartományt labilis üzemi tartománynak tekintjük. Stabil üzem természetesen  $\delta = 90^\circ$  esetén már nem képzelhető el, mert a legkisebb teljesítménynövekedés a stabil üzem megbomlását jelenti.

A stabilitás fokát a stabilitási tartaléktényező fejezi ki, amelyre a következő összefüggés érvényes:

$$k = \frac{P_{max} - P}{P_{max}}, \quad \text{ahol} \quad P_{max} = \frac{U_P U_H}{X_T}$$



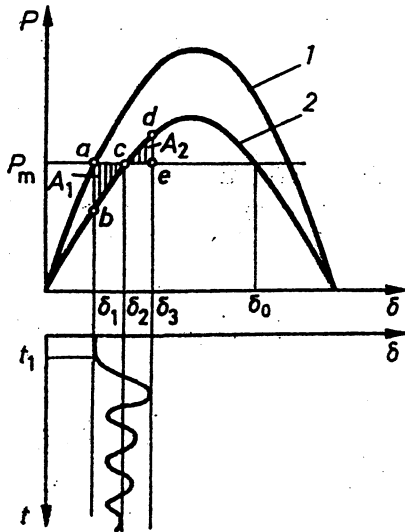
Stacioner üzem esetén, amikor a hálózati kapcsolat ( $X_T$ ) adott és az  $U_H$  végtelen hálózati feszültség merev, az átvihető teljesítmény és a stabilitási tartaléktényező a pólusfeszültség változtatásával befolyásolható.

A statikus stabilitásra elmondottak általánosíthatók két hálózatrészre vagy ország részre, ill. országok csatolására is. Ekkor az egyik részhálózat feszültsége  $U_p$ , a másiké  $U_H$ , és a hálózatok közötti transzfer reaktancia  $X_T$ .

### 2.8.2. Tranziens stabilitás

A tranziens stabilitás egy rendszernek kizárólagosan átmeneti viszonyok között értelmezett tulajdonsága. Átmeneti jelenségek közé tartoznak a zárlatok, szakadások, valamint a vezetékek ki- és bekapcsolása.

A tranziens stabilitás vizsgálata során azt kell megállapítani, vajon adott típusú és mértékű zavaró hatás meg tudja-e bontani a rendszer stabil üzemét. A viszonyok a 2.3. ábrán követhetők.



2.3. ábra. Egyenlő területek módszerének elve

Legyen az üzemi munkapont az 1 görbén az  $a$  pont,  $\delta_1$  terhelési szöggel. Egy zavar (a transzfer reaktancia növekedése) hatására hirtelen változzék meg a teljesítménygörbe 2-re. Mivel a generátor tehetetlensége miatt a forgórész a szöghelyzetét hirtelen nem tudja változtatni, ezért a pillanatnyi munkapont a  $b$  pontban lesz  $\delta_1$  terhelési szöggel. Ebben az esetben a hajtó mechanikai nyomaték nagyobb, mint a fékező, leadott villamos teljesítmény. Ennek hatására a forgórész felgyorsul, nő a terhelési szög, és kialakul egy egyensúlyi állapot a  $c$  pontban. A forgórész fordulatszáma nagyobb, mint a szinkron fordulatszám, és tehetetlensége miatt nem tud azonnal beállni az új, a  $c$  munkapontba, azon túllendül. A túllendülés tartományában az eddig hajtó mechanikai nyomaték kisebb, mint a leadott villamos teljesítmény, ezért fékezővé válik, és elkezdődik a forgórész lassulása. A terhelési szög a tehetetlenségből adódóan azonban a  $d$  pontig növekszik, ekkor újra éppen szinkron forog a generátor, amely a fékezés hatására tovább lassul, és így csökken a terhelési szög, felülről közeledik az egyensúlyi  $c$  munkapont felé. Természetesen a forgórész tehetetlensége miatt most ellenkező irányú „alárendülés” jön létre és így tovább. Több csillapodó lengés után beáll az új állandósult állapot.

A 2.3. ábra mutatja a zavar bekövetkeztének  $t_1$  időpontját, a csillapodó lengéseket, valamint a gyorsító, ill. fékező kinetikai energiával arányos területeket (vonalkázott részek  $A_1$ ;  $A_2$ ).

A tranziens stabilitás fennmaradásának feltétele az, hogy a gyorsítóterület egyenlő legyen a fékezőterülettel. Ezt nevezzük az *egyenlő területek módszerének*.

$$\sin \delta = \frac{I_h X_T}{U_{pf}}$$

kifejezés írható fel, ahol  $I_h$  a terhelőáram hatásos összetevője. Az egyenletet átrendezve a terhelőáram hatásos komponense

$$I_h = \frac{U_{pf} \sin \delta}{X_T},$$

majd mindkét oldalt  $U_{Hf}$ -fel szorozva

$$U_{Hf} I_h = \frac{U_{pf} U_{Hf}}{X_T} \sin \delta$$

összefüggés adódik. Ez nem más, mint a generátor egy fázisának adott terhelési állapothoz tartozó teljesítménye. A generátor által a terhelési szög függvényében az átvihető három-fázisú teljesítmény

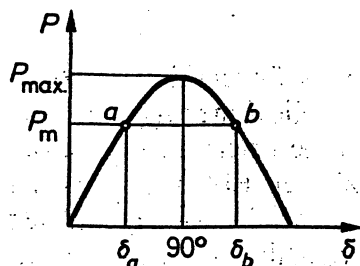
$$P = \frac{U_P U_H}{X_T} \sin \delta \quad (2.1)$$

összefüggés alapján adódik, ahol  $U_P$  és  $U_H$  vonali feszültség.

Az összefüggésből kitűnik, hogy a generátor  $\delta = 90^\circ$ -ig képes stabil üzemre. Itt eléri maximális teljesítményét. Ez a pont a statikus stabilitás határa. A hajtónyomaték további növelésével a generátor kiesik a szinkronizmusból és megszalad.

### 2.8.1. Statikus stabilitás

A teljesítmény és a terhelési szög közötti, a (2.1) egyenlet szerinti összefüggést ábrázolva egy szinuszfüggvény adódik (2.2. ábra).



2.2. ábra. Munkapont meghatározása

Feltételezve egy  $P_m < P_{max}$  mechanikai hajtóteljesítményt, két munkapont adódik a szinuszgörbével vett metszéspontoknak megfelelően. Az  $a$  pont stabil, a  $b$  labilis munkapontot jelent, mivel  $a$  környezetében történő bármilyen irányú  $\Delta P$  változás olyan nyomatékkülönbséget jelent, ami a rendszert a stabil munkapontba viszi, a  $b$  pont esetében pedig akármilyen  $\Delta P$  változás az eltérés további növekedését, azaz az üzem megbomlását jelenti.

Ennek alapján a  $\delta = 0 \dots 90^\circ$  tartományt stabil,  $\delta = 90^\circ \dots 180^\circ$  tartományt labilis üzemi tartománynak tekintjük. Stabil üzem természetesen  $\delta = 90^\circ$  esetén már nem képzelhető el, mert a legkisebb teljesítménynövekedés a stabil üzem megbomlását jelenti.

A stabilitás fokát a stabilitási tartaléktényező fejezi ki, amelyre a következő összefüggés érvényes:

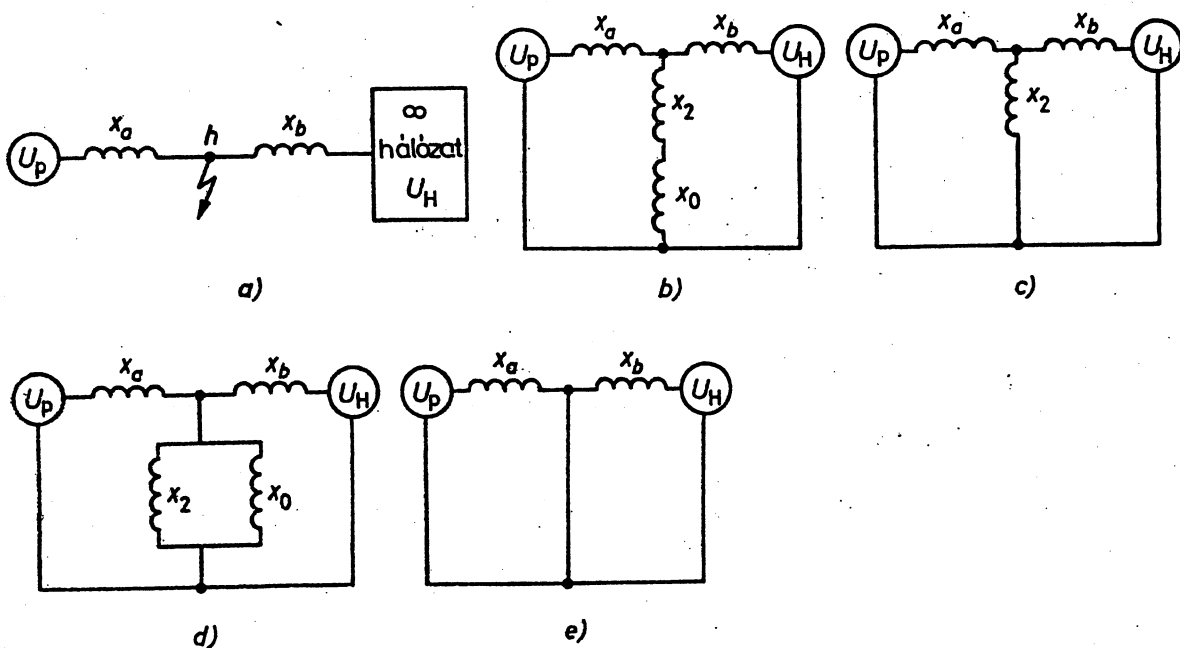
$$k = \frac{P_{max} - P}{P_{max}}, \quad \text{ahol} \quad P_{max} = \frac{U_P U_H}{X_T}$$

A statikus és tranziens stabilitásra érvényes  $P = f(\delta)$  görbe nem azonos, mivel nem szabad elfelejteni, hogy utóbbi esetben gyorsan változó viszonyokról van szó, ezért a teljesítménygörbét  $X_d$  tranziens reaktanciával és az  $U_p$  helyett az  $U'$  tranziens reaktancia mögötti feszültséggel kell meghatározni.

A generátor terhelési állapotának ismeretében, ismerve a kiinduló és a megváltozott állapot teljesítménygörbéit az átmeneti jelenség során, az egyenlő területek módszerével a tranziens stabilitás vizsgálható. Ha a fékezőterület nagyobb, mint a gyorsítóterület, akkor a stabilitás megmarad, ellenkező esetben az üzem labilissá válik.

Az egyenlő területek módszerével meg lehet állapítani a legnagyobb  $\delta$  szög értékét is, ami ez esetben meghaladhatja a statikus stabilitási határt jelentő  $90^\circ$ -ot. A legnagyobb túllenlítés határa a 2.3. ábra szerinti  $\delta_4$  szög.

A hálózatokban fellépő különféle zárlatok különböző módon befolyásolják a rendszer tranziens stabilitását azáltal, hogy különböző módon változtatják meg a transzfer reaktanciát. A 2.4. ábrán felvett zárlat a generátor és a végtelen hálózat közötti reaktanciát két részre osztja ( $X_{12} = X_a + X_b$ ). A zárlat a transzfer reaktancia ugrásszerű megnövekedését okozza.



2.4. ábra. Helyettesítő vázlatok tranziens stabilitás vizsgálatához

- a) Egy gép és végtelen hálózat modellje; b) FN zárlat helyettesítése; c) 2F zárlat helyettesítése; d) 2 FN zárlat helyettesítése; e) 3F zárlat helyettesítése

FN zárlat esetében (2.4b ábra) a hiba helyén  $X_h = X_2 + X_0$  nagyságú reaktanciát kell beiktatni, ahol  $X_2$  és  $X_0$  a teljes rendszer hibahelyre redukált negatív és zérus sorrendű reaktanciája. A transzfer reaktancia tehát

$$X_{12} = \frac{U_p}{I_H} = \frac{U_H}{I_p} = X_a + X_b + \frac{X_a X_b}{X_2 + X_0}$$

A hibamentes esettel összevetve látható, hogy az FN zárlati esetben az  $X_{12}$  egy harmadik taggal bővült, azaz értéke megnövekedett.

2F zárlatnál (2.4c ábra) a különböző sorrendű helyettesítő vázlatok közül a zárlatfajtának megfelelően a zérus sorrendű hiányzik, ezért a hibahelyre csupán az  $X_2$  negatív sorrendű eredő reaktancia iktatódik be:

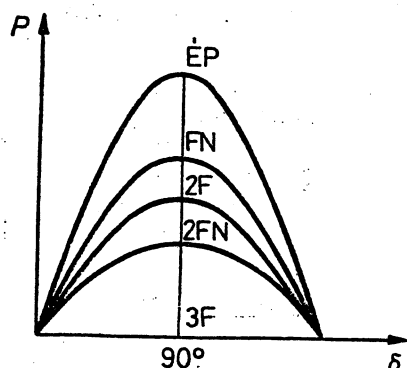
$$X_{12} = X_a + X_b + \frac{X_a X_b}{X_2}$$

2FN zárlat esetében (2.4d ábra) a hibahelyre a negatív és a zérus sorrendű hálózat reaktanciáinak ( $X_2$  és  $X_0$ ) párhuzamos eredője iktatódik be:

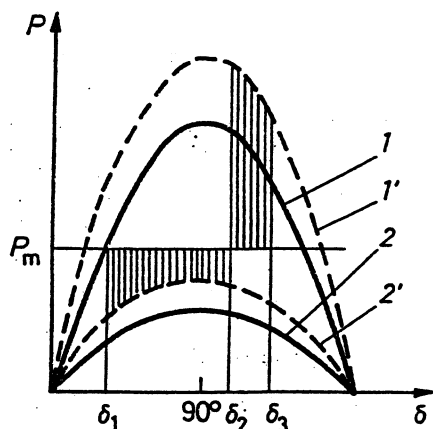
$$X_{12} = X_a + X_b + \frac{X_a X_b}{\frac{X_2 X_0}{X_2 + X_0}}$$

A 3F fémes zárlatnál (2.4e ábra) a vezeték feszültsége a zárlat helyén nulla, ezért teljesítmény egyáltalán nem vihető át. A transzfer reaktancia végtelenné válik:

$$X_{12} = X_a + X_b + \frac{X_a X_b}{0} \rightarrow \infty.$$



2.5. ábra  
 $P(\delta)$  görbék hibamentes és különböző zárlati esetekre



2.6. ábra  
Gyors rágerjesztés hatása a tranziens stabilitásra  
1 ép üzem; 2 zárlati állapot

A 2.5. ábra összefoglalóan szemlélteti az átvihető teljesítménynek a különböző zárlatfajták esetén fennálló változását. Mivel

$$X_2 + X_0 > X_2 > \frac{X_2 X_0}{X_2 + X_0},$$

ezért a viszonylag legkedvezőbb zárlat a tranziens stabilitás szempontjából az FN zárlat, a fémes 3F zárlat pedig a legkedvezőtlenebb. Ez utóbbi esetben minden kapcsolat megszűnik a generátor és a végtelen hálózat között.

A tranziens stabilitás feltétlen megmentésére irányuló törekvés egyben az alaphálózatok zárlatvédelmének legfontosabb követelményét is meghatározza: a generátor (erőmű, erőművek) stabilitását veszélyeztető rövidzárlatokat olyan gyorsan kell kikapcsolni, hogy a gyorsítóterület minél kisebb, s így a fékezőterület minél nagyobb legyen.

A tranziens stabilitás fokozásának fontos üzemviteli eszközt képezi az ún. *gyors rágerjesztés*. Ennek lényege a következő: zárlat felléptekor a generátorok gerjesztését a lehetséges legnagyobb értékig megnövelik, ezáltal  $U_p$  megnő, így a teljesítménygörbe magasabb lesz mind a zárlati, mind az ép üzemre vonatkozóan (2.6. ábra szaggatott vonalak). A gyors rágerjesztés hatására csökken a gyorsító-, és egyben növekszik a fékezőterület. Így az üzemvitelben olyan esetekben is megmenthető a stabilitás, amikor normál gerjesztés mellett a gép (erőmű) már kiesne a szinkronizmusból. Megjegyzendő, hogy modern, gyors működésű generátor-gerjesztésszabályozó önmagában képes a gyors rágerjesztést megvalósítani, így külön berendezésre nincs szükség.

Természetesen a hálózat folytonosságában fellépő hibák, szakadások is befolyásolják a rendszer stabilitását. Vizsgálatokkal, tekintettel arra, hogy hatásuk a zárlatok hatásánál kisebb vagy azonos, itt nem foglalkozunk.

### 3. A védelmi rendszer fogalma és a követelmények

A villamosenergia-rendszer valamennyi berendezését úgy kell kiválasztani, megépíteni és üzemeltetni, hogy feladatát zavartalanul, üzembiztosan ellássa. Mégis a legalaposabb tervezés, a leggondosabb szerelés, a legkörültekintőbb üzemvitel ellenére is előfordul a berendezésben hiba, amely megzavarja a rendszer üzemét.

*A védelmek, ill. a belőlük kialakított védelmi rendszer feladata, hogy a villamosenergia-rendszerben bekövetkezett hibát vagy rendellenes üzemállapotot érzékelje, és emberi beavatkozástól függetlenül, a hiba helyének megállapítása vagy a normálistól eltérő üzemállapot kimutatása alapján a hibás berendezést kikapcsolja, vagy az energiarendszer üzemébe egyéb módon beavatkozzon, és a személyzetnek, ill. az üzemirányító központnak jelzést adjon.*

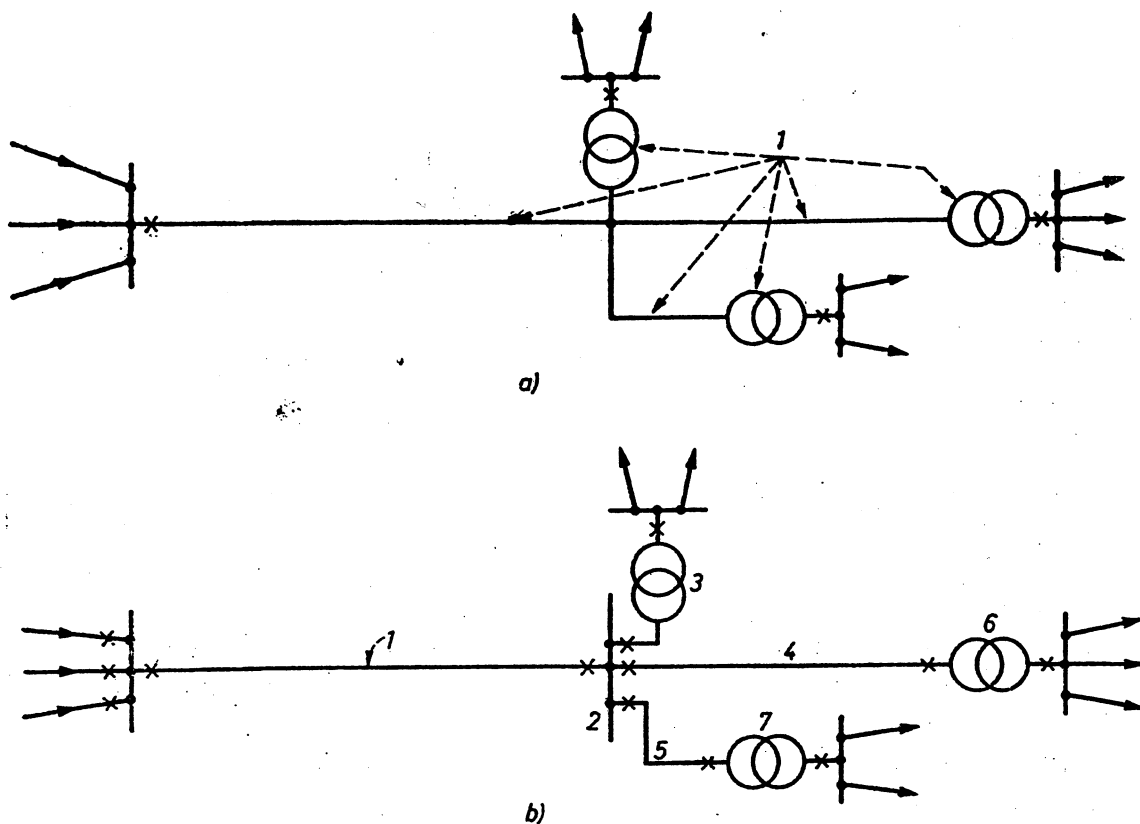
A kikapcsolás vagy egyéb beavatkozás célja egyrészt az, hogy a hibás berendezés további sérülését elkerüljük, másrészt az, hogy a hibás berendezést a hálózatról leválasztva az energiarendszer többi részének üzemét ismét zavartalaná tegyük.

Mind a védelmek, mind az automatikák, mind pedig az üzemviteli igények megkövetelik a villamosenergia-rendszer *részekre tagolhatóságát*, egyes elemek *leválaszthatóságát*, ezért kapcsolóelemeket építenek a berendezésbe.

*Zárlatos berendezés leválasztására egyedül a megszakító képes.* Generátorok és a velük egységkapcsolásban levő berendezések – transzformátorok, távvezetékek – zárlatainak megszüntetéséhez az egységkapcsolás főmegszakítójának kikapcsolásán kívül a generátor legerjesztése is elengedhetetlen. Ez mutatja, hogy a *legerjesztő automata* is zárlatmegszüntető eszköz, így a zárlatvédelmek közvetlenül vezérlik. A néha alkalmazott *zárlatképző megszakító nem zárlatmegszüntető*, hanem a zárlatot kedvezőbb helyre *áthelyező* eszköz, hiszen az általa létrehozott zárlatot is megszakító szünteti meg.

Az automatizálás, üzemviteli leválasztás legfőbb végrehajtó szervei ugyancsak a *megszakítók*, de erre a célra lehet alkalmazni üzemi áram kapcsolására alkalmas *leválasztó szakaszoló* is. Megszakítóval történt kikapcsolás után pedig lehetséges *szakaszolóval* a zárlatos rész automatikus leválasztása, majd a megszakító visszakapcsolásával az ép rész automatikus üzemújrafelvétele (pl. zárlatos ikerkábel leválasztása; l. a 8.6. alfejezetet).

A villamosenergia-rendszer felépítésében és tervezésében alapvető és egyik első feladat a rendszer részekre tagolása megszakítókkal. Minél több megszakítót alkalmaznak, annál több lesz az egymástól függetlenül leválasztható, védelmileg külön kezelhető rész, tehát zárlat, hiba esetén annál kisebb rész esik ki. A több megszakító természetesen nagymértékben megnöveli a rendszer beruházási költségeit, a kevesebb viszont egy-egy zárlat esetén nagyobb rendszerrész kiesését idézi elő.



3.1. ábra. Hálózat részekre tagolása megszakítókkal  
1...7 védelmi egységek

A részekre bontás mélysége alapvetően a tervező kezében van, és a döntés egyrészt a hálózat fontossága, másrészt a rendelkezésre álló beruházási eszköz függvénye. Ha a 3.1. ábrán látható hálózaton az *a)* ábra szerint mindössze négy megszakítót alkalmaznak, a távvezeték-rendszer a három transzformátorral együtt képvisel egy védelmi egységet. Bárhol is lép fel zárlat, a teljes hálózatot ki kell kapcsolni. A *b)* ábra szerint tíz megszakítót építenek be, így hét védelmi egység alakul ki. A megszakítókkal határolt valamennyi egység zárlata csak saját védelmeinek működését, és így csak a határoló (vagy csak a betáplálási) megszakítók kikapcsolását idézi elő, a kiesés mértéke tehát kisebb lesz.

### 3.1. Alapkövetelmények

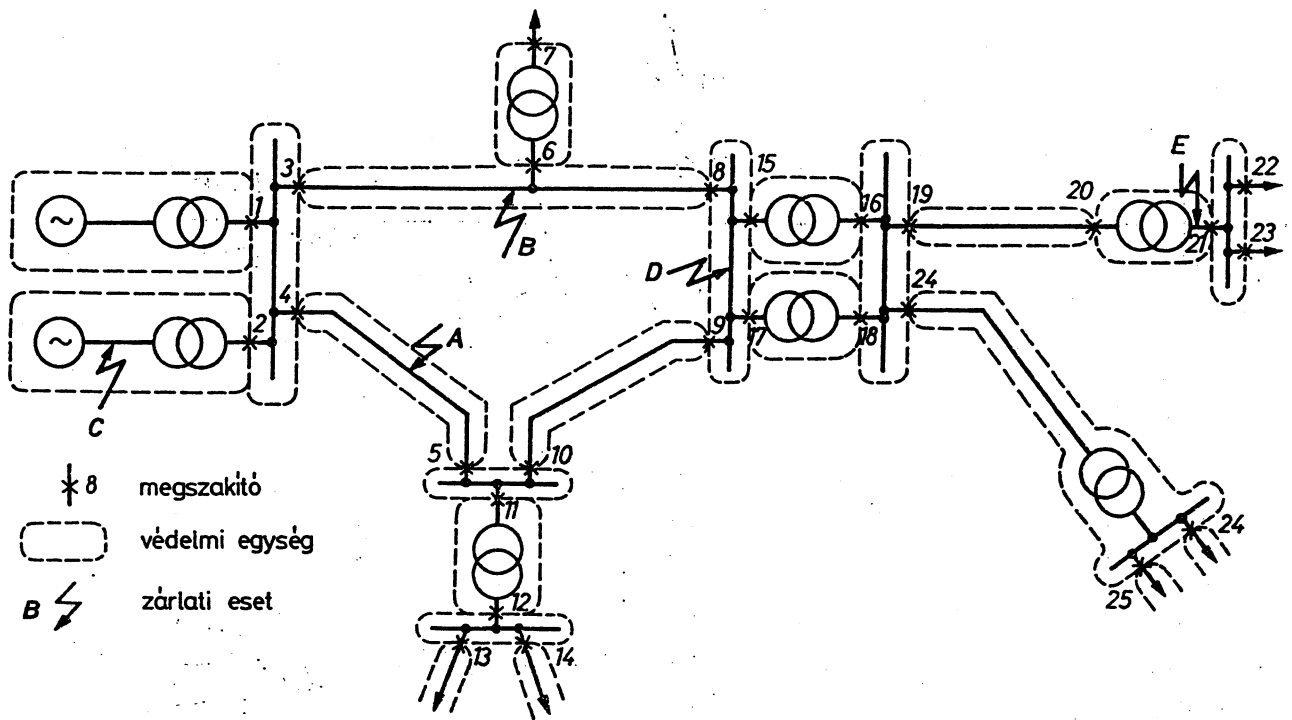
A védelmek, ill. a belőlük kialakított védelmi rendszerek megfelelő működését a következő pontokban részletezett tulajdonságok biztosítják.

#### 3.1.1. Szelektivitás

##### a) A szelektivitás fogalma

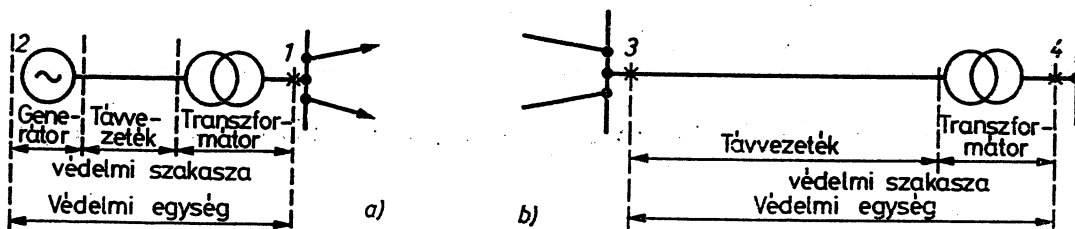
A védelmi rendszer szelektív működésű, ha hiba felléptekor a védelmek által vezérelt megszakítók csak a hibás részt választják le az energiarendszerről, a rendszer többi része üzemben marad.

A 3.2. ábra mutatja egy megszakítókkal részekre tagolt villamosenergia-rendszer szelektív védelmi egységeit. Az egyes védelmi egységek határai a hálózatot részekre tagoló megszakítók.



3.2. ábra. Szelektív védelmi egységek

Eszerint az *A* helyen fellépő zárlatra a 4 és 5 megszakítónak kell kikapcsolódnia a mellé telepített védelmek szelektív működésüként létrejövő kioldóparancsok folytán. Ugyanakkor más védelemnek nem szabad működni, más megszakítóknak nem szabad kikapcsolódnia. Hasonló módon a *B* helyen fellépő zárlatra 3 és 8 megszakítónak, és ha van visszatáplálás (pl. FN zárlatra zérus sorrendű áram), akkor a 6 megszakítónak is ki kell kapcsolnia. *C* zárlatra az egységkapcsolásban üzemelő generátor – transzformátornak kell a hálózatról leválnia, azaz a 2 megszakító és az érintett generátor légerjesztő automatájának kell a szelektív védelmi rendszertől kioldóparancsot kapnia. A *D* zárlatra a 8 és a 9, valamint visszatáplálás esetén a 15 és 17 megszakítónak kell kikapcsolódnia. Az *E* zárlatra csak a 20 és a 21 megszakító kikapcsolása indokolt, de mivel a 19–20 távvezeték csak a hibás transzformátort táplálja, az nem jelenti újabb energiaellátási út kiesését, ha a távvezeték védelme a 19 megszakítót is kikapcsolja – igaz, elvileg nem szelektíven, de következmény nélkül.



3.3. ábra. Védelmi egység és védelmi szakasz

A 3.3. ábrán látható két jellegzetes rendszeralakzat. Az ábra szerint gazdaságossági megfontolások alapján egységkapcsolásban járatnak berendezéseket, azaz több hálózati elem közé nem helyeznek el megszakítót. Ilyenkor is igen gyakori, hogy az egyes elemeket önálló védelmekkel kell ellátni, mivel eltérő védelmek kellenek pl. a generátorra, transzformátorra és a távvezetékre. Így kialakulnak „védelmi szakaszok”, amelyeknek védelmei azonban megszakító hiányában nem tudják az érintett hálózati elemet szelektíven leválasztani, csak az egész „védelmi egységet”.



*Védelmi egységen* az előzők szerint megszakítókkal határolt, olyan rendszerrészt értünk, amelyet a védelmi rendszernek szelektíven kell leválasztania és erre képes is.

*Védelmi szakaszon* egy védelmi egységen belül olyan rendszerrészt értünk, amelynek önálló, szelektív védelme van ugyan, de amelyet hiba esetén — megszakító hiányában — csak az egész védelmi egységgel együtt lehet az energiarendszerről leválasztani.

Összefoglalva: *szelektív a védelmi rendszer, ha hiba felléptekor csak a hibás védelmi egység, valamint a további energiaáramlási út kiesését nem okozó, csatlakozó egységek kapcsolódnak ki.*

Ha a védelmek kioldását automatikus visszakapcsolás követi, gyakran alkalmaznak első kioldásra nem szelektív működést (előgyorsítást, túlfedést; l. a 4.6.6. pontot és a 8. fejezetet). A szelektivitás követelményét ilyenkor a végleges kioldásra kell kötelezően teljesíteni.

## b) A szelektivitás megvalósításának módszerei

A védelmi rendszer szelektivitásának védelemtechnikai eszközei:

— *Abszolút szelektív védelmek alkalmazása.* Ez azt jelenti, hogy olyan védelmet alkalmazunk, amelyek elvől adódik a szelektivitás. Ilyen védelem pl. a differenciálvédelem, a szakaszvédelem, a Buchholz-védelem, a tokozott berendezés fotocellás védelme stb. Ezek a védelmek a csatlakozó védelmi egységekhez nem tudnak tartalékvédelemként kapcsolódni.

— *Relatív szelektív védelmek alkalmazása.* Az ilyen védelem önmagában nem szelektív, de be lehet úgy állítani, hogy csak a kiválasztott védelmi egység zárlatára szólaljon meg. Ennek módszerei:

— áramlépcsőzés vagy impedancialépcsőzés,

— időlépcsőzés,

— a két módszert kombináltan alkalmazó, lépcsős karakterisztikájú védelmek alkalmazása.

E csoportra példa az áramszelektív túláramvédelem, amelyet olyan nagy áramra állítanak be, hogy csak a saját védett elemén fellépő zárlatra szólal meg; az egymás utáni elemeken alkalmazott védelmek időlépcsőzése; valamint a távolsági védelem impedancia—idő karakterisztikával.

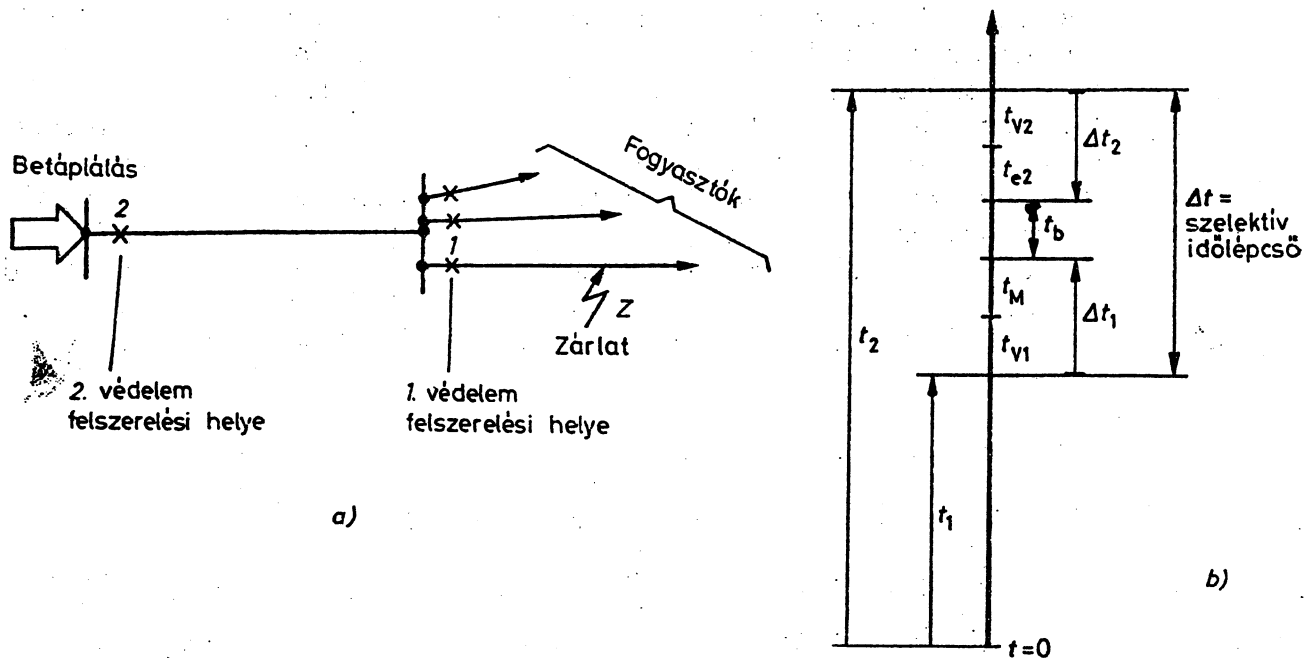
— *Különleges reteszelő- vagy ébresztő- (élesítő-) készülékek alkalmazása.* Ez azt jelenti, hogy valamely általánosan jól alkalmazható védelmet különösen szigorú viszonyok vagy szokatlan primer elrendezés miatt speciális készülékkel egészítenek ki. Ilyen speciális készülék lehet lengészár, holtávkioldó, aszinkron járás elleni védelem, különleges ébresztő kiegészítések stb.

## c) Szelektív időlépcső

Két védelem szelektivitása egymáshoz képest a két védelem különböző késleltetésével is elérhető. A két védelem késleltetése közötti minimálisan szükséges idő a szelektív időlépcső. Ennek időértékét a 3.4. ábra alapján lehet meghatározni.

Ha valamely sugaras hálózaton a 3.4a ábra szerint egymás utáni hálózatelemekre pl. túláramvédelmet telepítünk (1 és 2 védelem), és a Z zárlatra mindkét védelem mérőeleme megszólal, a 2 védelemnek az 1-nél nagyobb késleltetésével lehet a szelektivitást elérni. Az 1 védelem legkésőbb  $t_1 + \Delta t_1$  idő után fogja megszakítójának kioldásával megszüntetni a zárlatot, ahol  $t_1$  az 1 védelem beállított késleltetése;  $\Delta t_1 = t_{V1} + t_M$ , ebben  $t_{V1}$  az 1 védelem késleltetésének lehetséges legnagyobb pozitív hibája,  $t_M$  az 1 védelem által működtetett megszakító legnagyobb működési ideje a kioldóimpulzus megjelenésétől az áram (ív) kioltásáig.

A 2 védelem leghamarabb  $t_2 - \Delta t_2$  idő után ad saját megszakítójának kioldóimpulzust, ahol  $t_2$  a 2 védelem beállított késleltetése;  $\Delta t_2 = t_{V2} + t_{e2}$ , ebben  $t_{V2}$  a 2 védelem késleltetésének lehetséges legnagyobb negatív hibája,  $t_{e2}$  a 2 védelem visszaesési ideje azután, hogy az 1 védelem kioldására az 1 megszakító már megszüntette a zárlatot.



3.4. ábra. Szelektív időlépcső

A két meghatározott időérték közé még  $t_b$  nagyságú biztonsági időhézagot is be kell iktatni. Végeredményben tehát a két védelem késleltetése közötti minimális időkülönbség, az ún. szelektív időlépcső ( $\Delta t$ ) a következő:

$$t_2 - t_1 \geq \Delta t = \Delta t_1 + t_b + \Delta t_2,$$

azaz

$$\Delta t = t_{V1} + t_M + t_b + t_{e2} + t_{V2}. \quad (3.1)$$

Korszerű védelmek esetén ezeknek az összetevőknek a tájékoztató időértékei:

$t_{V1}$  és  $t_{V2}$ : 0,05...0,3 s, attól függően, hogy elektronikus, kvarcvezérlésű, tehát igen pontos, vagy esetleg billegős fékezésű elektromechanikus időrelét alkalmazunk-e, ahol  $t_{V1}$  és  $t_{V2}$  értéke függ a relé maximális beállíthatóságától, annak %-ában van megadva, tehát pl. kisebb késleltetés beállításakor  $\Delta t$  értéke eleve kisebb lesz, és viszont. Lényeges figyelembe venni, hogy némelyik időrelé késleltetése függ a frekvenciától, másoké pedig nem.

$t_M$ : 0,03...0,1 s, a megszakító teljes önideje,

$t_{e2}$ : 0,01...0,2 s, a 2. védelem visszaesési ideje,

$t_b$ : biztonsági idő, az előző négy időnek kb. negyede, de legalább 0,1 s. Értéke tehát kb. 0,1...0,3 s.

A szelektív időlépcső értéke ezek alapján  $\Delta t = 0,24...1,2$  s közé esik, meghatározása *egyedi feladat*.

Meg kell még jegyezni azt, hogy olyan esetben, amikor a védelemnek van ébresztőeleme, és az ébresztőelem által indított időrelé kapcsolja át a mérőelemen a változott, mérendő mennyiségeket (pl. távolsági védelem), akkor a szelektív időlépcső értékébe nem kell beszámítani a védelem visszaesési idejét, mivel a védelem időreléje esetleges túlfutás esetén átkapcsolja ugyan a védelem mérőelemét a következő fokozatra, de ekkor már zárlat nincs, ugyanis az 1. megszakító már kikapcsolt.

### 3.1.2. Gyors működés

A villamos berendezésekben bekövetkező zárlat súlyos veszélyt jelent a rendszer üzemére. A kár nagymértékben csökkenthető, esetleg teljesen el is kerülhető, ha a védelem igen gyorsan működik. A gyors működés egyrészt a berendezés sérülését csökkenti mind a hibahelyen, mind a betápláló ép rendszerrészekben, másrészt a rendszer üzemének zavartalan folytatását biztosítja.

#### a) A berendezés sérülésének csökkentése

A zárlatos berendezést a több ezer fokos zárlati ív közvetlenül veszélyezteti. A szigetelések környezetének alkalmas kialakításával, pl. az ívterelő szerelvények jó megválasztásával lehet ugyan csökkenteni a plazma ráfűvását a szigetelő felszínére, de alapvetően az ív fennállási idejének csökkentése a leghatásosabb romboláscsökkentő módszer. Az ív ellenállása War-rington [72] szerint állandó  $l$  és  $I$  esetén:

$$R = \frac{28\,700l}{I^{1,4}} \quad \Omega, \quad (3.2)$$

ahol  $l$  az ív hossza, m;  $I$  pedig az ív árama, A. Az ívben keletkező hőmennyiség

$$Q = I^2 R t = k I^{0,6} t \quad \text{J},$$

ahol  $t$  az ív égési ideje, s. Látható tehát, hogy a rombolást az ív árama 0,6-ik hatvány szerint, azaz kb. négyzetgyökösen növekedve befolyásolja, ugyanakkor az ívidő, azaz a védelem működési idejének és a megszakító kioldási önidejének összege lineárisan.

Ívkísérletek bizonyítják ennek az állításnak a helyességét. Ugyancsak tény és tapasztalat, hogy pillanatműködésű védelem gyors megszakítóval az ív romboló hatását igen kis értékre tudja csökkenteni, esetleg teljesen meg tudja szüntetni. Pl. olajtranszformátor olaj–levegő átvezetőszigetelőjének átívelésekor a pillanatműködésű védelem az átvezető sérülését, ezzel a transzformátor kigyulladását akadályozza meg.

A zárlat felé folyó áram dinamikus és termikus hatása közvetlenül veszélyezteti a rendszer ép részeit. A zárlati áram első maximumértékének kifejlődését, és így az erőhatás létrejöttét csak különleges berendezéssel (biztosítók, robbanótöltetes megszakítók stb.) lehet elkerülni, gyors védelem nem tudja kivédeni. A zárlati erőhatás periodikusan ismétlődő rázóhatása, amely pl. transzformátor tekercselésének rögzítését kilazíthatja, gyors védelemmel kivédhető.

A védelem gyors működésének kedvező hatása különösen szembeffűő a villamos berendezések zárlati termikus szilárdságra való méretezése folyamán. Mint ismeretes (l. Pat-tantyús Gépész- és Villamosmérnökök kézikönyve, 8. kötet, 530. oldal 90.7. táblázatát):

$$t_{\max} = \frac{10^6}{B^2 \sigma^2} - t_M \quad \text{s}, \quad (3.3)$$

ahol  $B$  a vezetőanyagra, annak maximális zárlati hőmérsékleti értékére jellemző érték, és az idézett táblázatból vehető,  $\text{mm}^2/\text{kA} \cdot \text{s}^{1/2}$ ;  $\sigma = \frac{I_{z \max}}{q}$  a maximális áramsűrűség,  $\text{A}/\text{mm}^2$ ;  $t_M$  a működtetett megszakító kikapcsolási önideje, s;  $t_{\max}$  a védelem maximális működési ideje az adott feltételek között, s.

(3.3) összefüggést ad a választott vezetékanyag és -keresztmetszet, a zárlati áram és a védelem működési ideje között. Ha tehát valamely helyen a zárlati áram nagy, és így nagy keresztmetszetű vezetékanyagot kellene választani, helyette — általában sokkal gazdaságosabban — korszerűbb (ezért drágább), gyorsabb működésű védelmet választhatunk.

Meg kell még említeni, hogy a villamos berendezések soros szerelvényei kötési hibák miatt zárlat felléptekor meghibásodhatnak. Ezt gondos szereléssel és rendszeres ellenőrzéssel (pl. termovíziós vizsgálatok) el lehet kerülni.

#### b) A rendszer zavartalan üzemének biztosítása

A zárlatok gyors kikapcsolása nagymértékben elősegítheti a villamosenergia-rendszer épen maradt részei üzemének zavartalan folytatását.

A zárlatok hatására a hálózat ép részein jelentős, esetleg 100%-os feszültségletörés lép fel. Ez a fogyasztói motorok lassulását, esetleg leállítását okozhatja, ill. nullfeszültség-kioldók működését, mágneses öntartású mágneskapcsolók, pl. motorvédő kapcsolók elejtését idézheti elő azon a hálózatrészen is, ahol a zárlat megszüntetése után a feszültség helyreáll, tehát az üzem zavartalanul folytatódnak. A védelmek gyors működése a feszültségletörés mértékét nem befolyásolhatja ugyan, de idejét csökkentheti, és így az említett hatást „uralhatóvá” teheti (l. a 3.2. alfejezetet).

A zárlatok a rendszer tranziens stabilitását közvetlenül veszélyeztetik (l. a 2.3.2. pontot). Egyértelmű az összefüggés, hogy ha a védelmek a zárlatot gyorsabban kapcsolják ki, a tranziens stabilitás valószínűbben megmarad. A tranziens stabilitás megbomlása egyébként nagy kiterjedésű üzemzavart, sok erőmű és fogyasztó egyidejű kiesését okozhatja.

A zárlatok gyors kikapcsolása lényegesen csökkenti a járulékos baleseteket, sérüléseket.

Mivel a gyors zárlathárítás valószínűsíti a hibahely kismértékű rombolódását, esetleg teljes elkerülését, a gyors védelmi működés közvetlenül növeli a visszkapcsoló automatikák eredményességét, azaz az üzem zárlat előtti állapotának teljes, kiesés nélküli helyreállítását. Ennek érdekében a visszkapcsolás előtti első kikapcsolást gyakran a szelektivitás feláldozása árán is gyorsítják, hogy eredményes legyen a visszkapcsolás, és csak a visszkapcsolás utáni esetleges második kikapcsoláskor alkalmaznak szelektív védelmi működést (védelemgyorsítás, túlfedés stb.).

### 3.1.3. Üzembiztonság

Az előző két követelmény — a szelektivitás és a gyors működés — mellett a következő fontos, mondhatni legfontosabb követelmény a védelmi rendszer üzembiztonsága.

Általában a villamosenergia-rendszer minden berendezésétől megkövetelik az üzembiztos működést. Ezt a szempontot a védelmeknél azért kell igen hangsúlyozottan kiemelni, mert valamely védelem hibája, azaz felesleges működése, ugyanígy a szükséges működés elmaradása súlyos következményt von maga után: a védelem teljes beépítési árához képest nagyságrendekkel nagyobb kár keletkezik. A *felesleges működés* fogyasztói kiesést, termelői kiesést, rendszergyengítés miatt pedig rendszerszétesést, ezáltal nagy ellátási zavarokat okozhat. A *szükséges működés elmaradása* miatt a zárlat a hibás berendezésben hosszú idejű fennállása következtében nagy pusztítást okozhat, a zárlatot tápláló ép részekben pedig a megengedett zárlati termikus igénybevétel miatt vezetékkihagyulást, túlmelegedést, esetleg tüzet stb. hozhat létre.

Van olyan felfogás is, amely az üzembiztonság követelményét a legfontosabbnak tartja. Eszerint egy védelmi rendszer legfontosabb feladata a zárlat megszüntetése minden módon, még akár a szelektivitás vagy a gyors működés feláldozásával is, mivel a villamosenergia-rendszer egyes elemeire, valamint az egész rendszerre a *legveszélyesebb a zárlat tartós fennmaradása*. Csak ezután következik a szelektivitás, a gyors működés követelménye és az összes többi szempont.

## a) Védelmi tartalékolás

Az üzembiztonság követelménye első fokon előírja, hogy a védelmi láncban bárhol bekövetkező egyszeres hiba ne idézhesse elő a zárlat tartós fennmaradását, azaz *egyszeres védelmi tartalékolásról kötelező gondoskodni*.

Azt a védelmet, amely egy berendezés zárlatakor, meghibásodásakor elsősorban hivatott működni, *alapvédelemnek* nevezik. Az alapvédelmekkel szemben a legszigorúbb követelményeket kell érvényesíteni. Alapvédelemnek a kor műszaki színvonalának megfelelő és a rendszerelem fontosságához illesztett, magas szintű védelmi berendezést kell választani. Ha a védelmi rendszer hibátlan, és a hozzá csatlakozó végrehajtó és kiszolgáló berendezések is kifogástalan állapotban vannak, zárlat felléptekor csak az alapvédelmek jutnak szóhoz.

Az üzembiztonság követelménye megköveteli, hogy ha az alapvédelem bármilyen okból nem tudta a zárlatot megszüntetni, akkor valamilyen más védelmi berendezés lépjen működésbe. A zárlat megszüntetéséhez olyan nagy érdekek fűződnek, hogy azt minden rendelkezésre álló eszközzel meg kell valósítani. *A zárlat fennmaradását minden eszközzel meg kell akadályozni*. Ha egy adott elem alapvédelme nem tudta a zárlatot megszüntetni, a *tartalékvédelmeknek* kell működésbe lépni. A védelmi tartalékolás lehetséges különböző formái:

*Távoli tartalék védelemnek* (régebbi magyar meghatározása szerint *fedővédelemnek*) nevezük azt a védelmi tartalékot, amely valamely alapvédelem hatástalansága esetén működik. Más mérőváltókról van táplálva, és *más megszakítót* old ki, mint az alapvédelem. A távoli tartalék védelemmel szemben a biztonsági igények, valamint a gazdaságossági követelmények fontossága miatt, az egyszerűség érdekében kisebb igényekkel lépnek fel, mint az alapvédelemmel szemben. A távoli tartalék védelmi működést akkor mondják szelektívnek, ha — az alapvédelmi működés elmaradását figyelembe véve — a lehető legkisebb rendszerrész esik ki, ill. válik feszültségmentessé. A távoli tartalék védelemtől azonban már nem követeljük meg feltétlenül a szelektivitást, hiszen ez már pótkötél, legfontosabb feladata a zárlat biztos megszüntetése. A távoli védelmi tartalék jellemzője az is, hogy rendszerint nagyobb kiesést okoz, mint az alapvédelem, éppen ezért egy szelektív időlépcsővel nagyobb késleltetésű, mint az illetékes alapvédelem, hogy feleslegesen ne működjék.

A távoli tartalék védelemre a 3.2. ábrán találhatunk példát: ha a 13 alapvédelem nem hatásos, akkor távoli tartalék védelemként a 12 vagy a 11 védelem működik. Ezzel természetesen feleslegesen, de szükségyszerűen kiesik a 11–12 transzformátor által ellátott teljes fogyasztói terület is. Ha pedig a 6–7 transzformátor szekunder oldalán lép fel zárlat, és a transzformátor 6 megszakítója nem működik, távoli tartalékvédelemként a 3 és a 8 védelemnek kell működni. E működés azonban a 3.6. ábra kapcsán tárgyalt betáplálási torzítás miatt igen valószínűtlen, ilyen esetben tehát a távoli védelmi tartalékolás gyakran hatástalan, ill. megvalósíthatatlan. Ilyen esetekben közeli védelmi tartalékolást és vele együtt megszakítóberagadási védelmet kell létesíteni.

*Közeli tartalék védelemnek* (régebbi magyar meghatározás szerint röviden *tartalék védelemnek*) nevezük azt a védelmi tartalékot, amely valamely alapvédelem hatástalansága esetén működik, de *ugyanazt a megszakítót* oldja ki, mint az alapvédelem. Általában ugyanazokról a mérőváltókról van táplálva, mint az alapvédelem, de másik magról. A közeli tartalék védelem kivitele kétféle lehet:

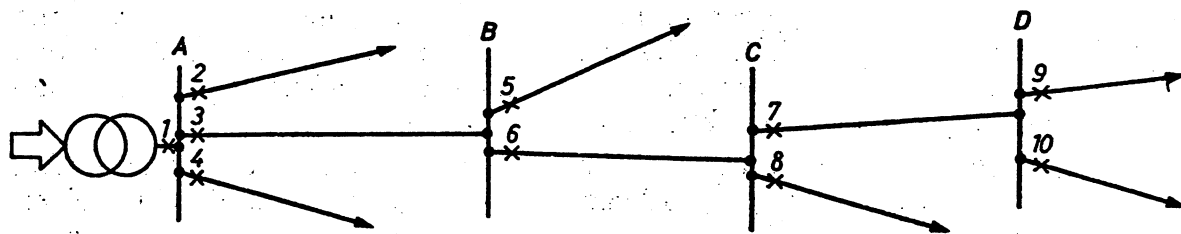
— A védelem kivitele az alapvédelemhez hasonlóan a védett elem zárlatára igen gyors (pillanatműködésű) kioldást ad, minden zárlatot megfelelően érzékel, és szelektív. Ez lényegében *kettős alapvédelmi rendszer* kiépítését jelenti, ezért fontos elemeken (alaphálózat, erőművi főberendezések) alkalmazzák.

— A védelem egyszerű, de üzembiztos, a gyorsaság és a szelektivitás igényét nem teljesíti, csak az alapvédelmi rendszerhez szelektív, azt nem előzi meg. Ilyen típusú közeli tartalék védelmet kevésbé fontos hálózatelemeken (pl. főelosztóhálózat, elosztóhálózat) alkalmaznak.

**Megszakítóberagadási védelem** alkalmazása a közeli tartalék védelem mellé feltétlenül szükséges, mivel ez ugyanazt a megszakítót működteti, mint az alapvédelem, és így megszakítóhiba esetén nincs védelmi tartalék. A megszakítóberagadási védelem működési elve a következő. Normális védelmi működés esetén az alapvédelem kioldóparancsát a megszakító azonnal végrehajtja, ezután a zárlat megszűnik (pontosabban a megszakító felőli táplálása megszűnik), az alapvédelem visszaesik, tehát a kioldóparancs megszakad. Normális működés esetén a kioldóparancs ideje igen rövid: a megszakító kikapcsolási önidejének (fvidőt is beleértve) és a védelem visszaesési idejének összege. Ha a kioldóparancs ennél hosszabb, a megszakító nem hajtotta végre a parancsot („beragadt”), a zárlatot a rendszer tovább táplálja.

A megszakítóberagadási védelemnek mérnie kell az alapvédelem által kiadott kioldóparancs idejét, és ha az a normálnál hosszabb (pl. több, mint 0,12...0,25 s), akcióba kell lépnie. Ez lehet pl. kettős gyűjtősínrendszer esetén a sínáthidaló kikapcsolása, de teljes megoldást az összes „első mögöttes”, betápláló megszakító kikapcsolása ad. Ez egyes esetekben (pl. poligon kapcsolású állomásokban, másfél megszakítós elrendezés esetén) a helyi mögöttes megszakítók mellett más állomáson levő „első mögöttes” megszakítók távkioldását is jelenti (részletesen I. a 8. fejezetben).

**Példa távoli tartalék védelem holtisávjára.** A 3.5. ábra sugaras hálózaton pl. a  $C-D$  távvezeték alapvédelmét a 7 megszakító melletti túláramvédelem adja. A  $C-D$  távvezeték zárlatakor akár a 7 védelem, akár a 7 megszakító meghibásodik, a 6 védelem tud távoli védelmi tartalékolást szolgáltatni. Ennek feltétele az, hogy a 6 helyen levő túláramvédelem, amely egyébként alapvédelmet ad a  $B-C$  távvezetékre, úgy legyen beállítva, hogy  $D$ -nél fellépő zárlatra is induljon. Szelektivitási okok miatt a 6 védelmet a 7 „főlé kell késleltetni” egy szelektív időlépcsővel. Hasonló módon ad távoli tartalék védelmet a 3 védelem az 5-nek és a 6-nak, az 1 pedig a 2-nek, a 3-nak és a 4-nek.



3.5. ábra. Távoli tartalék védelem elve sugaras hálózaton

A sugaras hálózatra az előzőekben vázolt távoli tartalék védelmi rendszer természetesen csak akkor tölti be hivatását, ha nincs akadálya annak, hogy valamely túláramvédelem érzékelését két szakaszra kinyújtsák, azaz a saját alapvédelmi szakasza mellett minden védelem a következő sínről kiinduló összes többi hálózatelem végén fellépő zárlatokat is érzékeln tudja. Ez nem mindig lehetséges, és ez adja e védelmi tartalékolási módszer alkalmazhatóságának határát.

Ha pl. a 3.6a ábra szerint a  $G$  gyűjtősínről kiinduló távvezetékek közül néhány olyan hosszú, hogy a vezeték végén, pl. a  $Z$  helyen fellépő zárlat árama a táptranzformátor névleges áramának nagyságrendjébe esik — ez lehetséges, ha sok leágazás van —, akkor az 1 helyre telepített túláramvédelem nem állítható be úgy, hogy tartalékvédelmet adjon a 4 védelem hibája esetén.

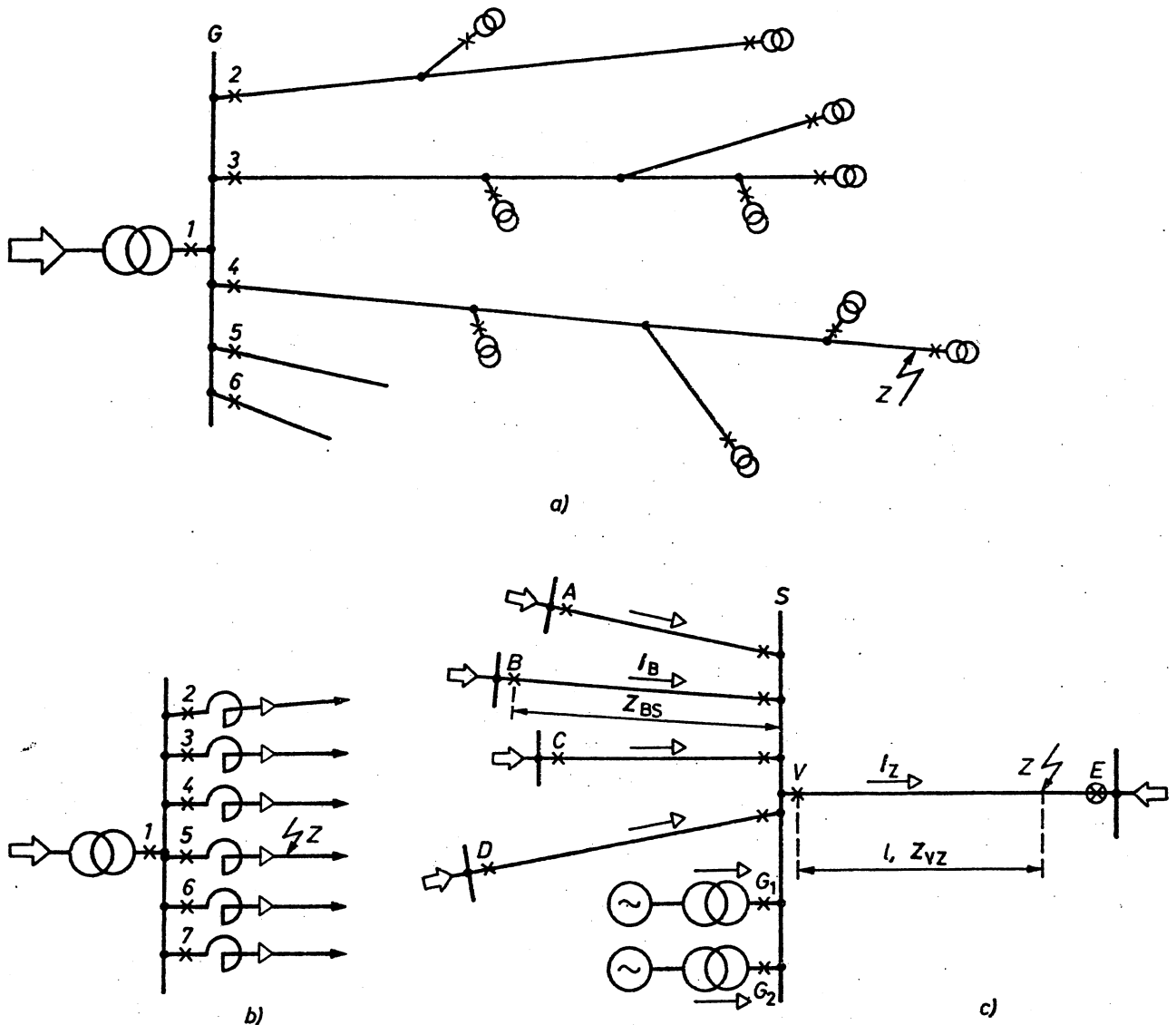
A 3.6b hálózaton ez a tartalék védelmi alkalmazhatósági határ még rövid, kis soros impedanciájú vezeték — pl. kábel — esetén is bekövetkezhet a leágazásokban levő zárlatkorlátozó fojtótekerics koncentrált impedanciája miatt, ha  $Z$  zárlat árama összemérhető a táptranzformátor névleges áramával.

A 3.6a és b ábrán bemutatott tartalék védelmi elégtelenséget fel lehet oldani pl. a leágazásokba beépített második tartalék túláramvédelemmel, amelynek táplálása az elsőtől, az alapvédelemtől független, késleltetése egy szelektív időlépcsővel nagyobb annál, és amely a táptranzformátort kapcsolja ki.

A 3.6c ábrán követhetjük végig a távoli tartalékvédelmi holtisáv igen gyakori keletkezésének okát *hurkolt hálózaton*. Az ábra egy hurkolt hálózat csomópontját ábrázolja. Ha a  $Z$  helyen zárlat lép fel, helyes védelmi működés esetén a  $V$  és az  $E$  alapvédelemnek kell működnie, és megszakítóját kikapcsolnia. Tétélezzük fel, hogy ezt  $E$  védelem végre is hajtja, de valamilyen oknál fogva  $V$  megszakító bennmarad. Távoli védelmi tartalékként ekkor  $A, B, C, D, G_1$  és  $G_2$  védelemnek kell működnie és megszakítóját kikapcsolnia.

A  $V$  védelemnél folyó teljes zárlati áram megoszlik a tartalék védelmek között. Így, ha azok túláramot érzékelnek, a rajtuk keresztül folyó áram lényegesen kisebb, mint  $V$  árama. Már közepes hosszúságú  $VE$  táv-

vezeték esetén, ha a  $V$  védelem  $I_z$  árama már nem nagy, a tartalék védelmeknél folyó áram ennél lényegesen kisebb, ami problémát okozhat. Ha pl. az egyes betáplálások között az áram kb. egyenletesen oszlik meg, akkor egy tartalékvédelmenél csak kb.  $I_z/6$  áram fog folyni, amely esetleg már az üzemi áram értéke alá esik, így túl-áramra működő tartalék védelem már nem valósítható meg.



3.6. ábra. Távoli tartalék védelem alkalmazási határa  
 a) sugaras hálózaton; b) koncentrált impedanciák esetén; c) hurkolt hálózaton

Ha a tartalék védelem működése impedancia mérésen alapul pl. távolsági védelem, akkor pl. a  $B$  védelem a következő impedanciát érzékeli:

$$\text{a feszültség } B\text{-nél: } I_B Z_{BS} + I_z Z_{VZ},$$

így az érzékelt impedancia  $Z_B = \frac{U_B}{I_B} = Z_{BS} + \frac{I_z}{I_B} Z_{VZ}$ , azaz a  $Z_{VZ}$  impedanciát a fedővédelem torzítással nagyobbak érzékeli. Írható így is:

$$Z_B + Z_{BS} + \xi Z_{VZ},$$

ahol

$$\xi = \frac{I_z}{I_B}$$

amely az ún. betáplálási torzítási tényező.

Vegyük pl. azt az esetet, amikor mindegyik tartalékvédelem felől a betáplálás kb. azonos, azaz  $\xi = 6$ , így a tartalék védelmek a zárlatos vezeték  $Z_{VZ}$  impedanciáját hatszorosnak „látják”. Ha pl. a  $\overline{BS}$  vezeték 40 km-es, a  $\overline{VZ}$  30 km, akkor a  $B$  védelem a  $Z$  zárlatot  $40 + 6 \cdot 30 = 220$  km távolságban levőnek érzékeli. Ilyen nagy távolságra a  $B$  védelem már valószínűleg nem állítható be, mert már üzemi teljesítményáramlásra is valószínűleg megszólalna. A zárlat tehát  $B$ -nek tartalék védelmi holtájába esik.

Ha a  $B$  védelmet  $\overline{BS} + \overline{VZ} = 40 + 30 = 70$  km távolságnak megfelelő impedanciára állítjuk be, akkor a betáplálási torzítási hatás miatt  $B$  védelem túlnyúlása az  $S$  sínen mindössze  $l = \left(40 + \frac{30}{6}\right) - 40 = 5$  km lesz.

Ha megpróbáljuk növelni ezt a túlnyúlást, pl. 100 km-t állítunk be, akkor is csak  $\left(40 + \frac{60}{6}\right) - 40 = 10$  km-re tudjuk az  $l$  túlnyúlást növelni  $VZ$  felé. Ez tehát azt jelenti, hogy a 3.6c ábra tartalék védelmei működésképtelenek lesznek. *Koncentrált csomópontnál* tehát a távoli védelmi tartalékolás csődöt mond, *a távoli tartalék védelmek képtelenek a csomóponton „átlátni”*.

Távoli védelmi tartalékolási holtáj esetén, mint említettük, közeli tartalék védelmet és megszakítóberagadási védelmet kell alkalmazni.

## b) A védelem és a csatlakozó körök megbízhatósága

A védelmek megbízható működését a következőképpen lehet elérni:

- A védelmeket alkotó relék, egyéb alkatrészek, félvezetők, IC-k stb. megbízhatóságának igen nagyfokúnak kell lennie. Ez különösen fontos abban az esetben, ha sok az alkatrész, mert az egész védelem eredő megbízhatóságát az alkatrészek megbízhatóságának a szorzata adja:  $n$  alkatrész esetén, ha azonos  $R$  megbízhatóságot tételezünk fel, az eredő megbízhatóság  $R^n$ . Pl. 0,99-es elemi megbízhatóság és tíz elem esetén ez 0,904 érték, de 100 alkatrésznél már csak megengedhetetlenül kicsi: 0,36. 100 alkatrész esetén a szintén 0,904 eredő megbízhatóság elérésére már 0,999 elemi megbízhatóság szükséges.

- A védelem felépítésének mind elvi, mind kiviteli szempontból a gyakorlattal szigorúan igazoltan megbízhatónak kell lenni. Új védelmet csak megfelelő vizsgálatok után (laboratóriumi mérések, üzemi tartampróba, primer zárlati próba) szabad a rendszerbe beépíteni. Ez Magyarországon azt jelenti, hogy új védelmi berendezések csak az országos védelmi szakszolgálat (az MVMT–OVRAM) rendszerengedélyével kerülhetnek üzembe.

- A védelemhez csatlakozó körök szereléstechológiájának magas színvonalúnak, megbízhatónak és könnyen ellenőrizhetőnek kell lennie. Módot kell adni az üzem közbeni ellenőrzésre is.

- A védelmek és a csatlakozó körök szigetelési szintje el kell, hogy bírja a 2000 V-os próbafeszültséget, és az 5 kV-os lökőfeszültség-próbát (5 kV-nál nagyobb lökőfeszültség is felléphet egy állomás szekunder köreiben, de ezt a keletkezés helyén kell megszüntetni ellentétesen bekötött dióda–ellenállás vagy kondenzátor–ellenállás soros elemek paralel kapcsolásával stb.).

- A védelmeknek az állomási környezetben kell működniük, így az ott előforduló összes zavaró és befolyásoló hatás ellenére üzembiztosnak kell lenniük. Ilyen hatások pl. a primer berendezés távolbahatása a szekunder rendszerbe, a szekunderezésben fellépő rezgések stb., amelyek főleg az elektronikus védelmekre hatnak (l. részletesen a 7.5.1. pont követelményeit).

- A védelmeket tápláló segédáramforrás (akkumulátor) megbízhatóságának átlagon felülinek kell lennie. Ez egyrészt az akkumulátortelep minőségével szemben támaszt fokozott igényeket, másrészt általában két akkumulátortelep beépítését követeli meg. A töltési rendszer automatikus legyen, az elektronikus védelmekhez mindig beépítésre kerülő tápegységek üzembiztonsága fokozottan jó legyen. Ez pl. azt is jelentheti, hogy az előírt  $-20...+10\%$  tűrőhatár helyett ennél nagyobb méretezik a tápegységet (pl. 220 V egyenáram esetén 176...242 V helyett 150...300 V eltűrésére).



— A védelmek végrehajtó szervei, a zárlatmegszüntető megszakítók és legerjesztő automaták megbízható parancsvégrehajtása elengedhetetlen feltétele a védelmi rendszer megbízható működésének.

Természetesen e megbízhatósági tényezők egyikének hiánya — egyszeres hiba — esetén is a védelmi rendszernek a zárlatot megbízhatóan meg kell szüntetnie.

### 3.1.4. Egyéb követelmények

A védelmi rendszernek a három fő minőségi követelménye — a szelektivitás, a gyors működés és az üzembiztonság — mellett még a következő követelményeket is ki kell elégítenie.

#### a) Érzékenység

Valamely védelem beállítását részletes zárlatszámítás alapján határozzák meg. A zárlatszámításokat általában fémes zárlatok feltételezésével végzik el, és bizonyos megfontolásokkal csökkentik a lehetséges zárlati variációk számát. Az így kapott eredményeket csak nagy biztonsági tényezővel szabad használni, vagyis a számításoknál adódó beállítási érték és a tényleges beállítási érték viszonyát nagyra kell választani azért, hogy a primer zavaró tényezők ellenére a védelem jól működjék. Ilyen zavaró tényezők, pl.: hibahelyi átmeneti ellenállás, ívellenállás, földzárlatoknál a földelési (spontán földelési) ellenállás; a különböző egyszerű zárlatfajták (3F, 2F, 2FN, FN), valamint a nem hatásosan földelt csillagpontú hálózaton a kettős földzárlat különböző áram- és feszültségviszonyai stb. A védelmet úgy kell kiválasztani és beállítani, hogy az összes zavaró hatás ellenére a védett szakaszon fellépő zárlatra gyorsan, szelektíven és megbízhatóan működjék.

#### b) Egyszerűség

Az üzembiztos működés alapkövetelményének teljesítését a védelmek egyszerűsége is elősegíti. Ennek érdekében célszerű még kompromisszumok árán is engedményt tenni.

*A kis valószínűséggel előforduló hibákat* a védelmi rendszer tervezésénél figyelmen kívül lehet hagyni. Ilyen pl. a rendszerben két helyen egyidejűleg fellépő zárlat, az ún. szimultán zárlat, amelyekre nem kell megkövetelni a szelektív, gyors működést, de a zárlat megszüntetését (üzembiztonság) még ez esetben is biztosítani kell. A gyakran előforduló nem egyszerű hibákat — ilyen pl. a már említett kettős földzárlat, valamint a kis időkülönbséggel különböző helyen fellépő ún. kaszkád zárlat — viszont megfelelő szinten célszerű háritani.

*A kis valószínűséggel előforduló üzemállapotokat* is figyelmen kívül kell hagyni. Ennek megítélésénél azonban figyelembe kell venni a következőket:

— Ha a figyelmen kívül hagyott üzemállapot olyan, hogy a kapcsolóberendezéssel ugyan létre lehet hozni, de nincs szükség rá, akkor üzemviteli utasításban le kell tiltani annak létrehozását.

— Ha a letiltott üzemállapotban nem működik ugyan megfelelően (szelektíven, gyorsan) a védelmi rendszer, de van védelem, amely a zárlatokat megszünteti, akkor az áttérés idejére meg lehet engedni a tiltott üzemállapot rövid idejű létrehozását.

— Ha viszont a letiltott üzemállapotban létezik olyan zárlati hely, ahol fellépő zárlatot egyetlen védelem sem háritja, azaz védelmi holtzáv keletkezik, akkor még átmeneti időre sem lehet megengedni a kérdéses üzemállapot létrehozását.

— Segítheti a kérdés megoldását, ha az áttérést emberi parancsra induló automatika tízedmásodpercek alatt, gyorsan és megbízhatóan hozza létre, és az áttérés elmaradása esetén az eredeti üzemállapotra való visszatérítés is automatikus.

### c) Gazdaságosság

A villamosenergia-rendszer biztonságát szolgáló védelmi berendezéseket azért létesítik, hogy a rendszerben nagy kár, kiesés ne keletkezzék, így a védelmek létesítésének alapvető oka, kialakításának meghatározó követelménye a gazdaságosság.

Valamely védelem létesítésekor elvben *el kellene végezni* a rendszerbeli többi berendezésnél szokásos gazdaságossági számítást. Ennek a számításnak a gondolatmenete a következő:

– Adott villamos berendezés védelmi ellátottságát még egy védelemmel fokozni akarjuk (ez lehet az első, tehát alapvédelem is, azaz az „ellátottság” nulla).

– Megvizsgáljuk, hogy az előforduló zárlatok, meghibásodások esetén milyen kárértékcsökkenés áll elő az új védelem alkalmazása nyomán (rombolódáscsökkenés, kieséscsökkenés).

– A kérdéses hiba éves előfordulási valószínűségével beszorozzuk a kárérték-differenciát, és az összes hibafajtára összegezzük. Kivonjuk belőle az új védelem felesleges működése által egy év alatt okozott kiesések kárértékét. Így megkapjuk az egy év alatt okozott kiesések kárértékcsökkenését. (Ha a felesleges kiesés kárértéke nagy, ez lehet negatív is!)

– Az éves kárértékcsökkenési értéket a védelem élettartamára a berendezés, ill. védelem üzembehelyezési időpontjára diszkontáljuk, majd kivonjuk belőle a védelem létesítési költségét (a védelem ára, a szerelés és üzembehelyezés ára, a szükséges többletmérőváltók stb. ára). Így meghatározzuk az új védelem létesítésének hasznát, azaz gazdaságosságának mértékét.

Gazdaságos egy védelem alkalmazása, ha az általa elérhető kárértékcsökkenési érték nagyobb, mint felesleges működése miatti kiesés okozta kár, valamint a létesítési, karbantartási, javítási költsége.

A vázolt gazdaságossági számítást ténylegesen elvégezni csak akkor lehet, ha igen pontos statisztikai adatok állnak rendelkezésre, a kiesési kárértékek meghatározása pedig mindig problematikus. Segít azonban a vázolt gondolatmenet olyan műszaki és gazdaságossági megfontolásokban, amelyek alapján, valamint az előzőekben ismertetett alapvető követelmények figyelembevételével megítélhető, hogy gazdaságos-e, szükséges-e a kérdéses védelem vagy sem.

## 3.2. A fogyasztók érzékenysége

A védelmek és automatikák kialakításánál figyelembe kell venni a fogyasztók általános és speciális feszültségérzékenységét, valamint a fogyasztók fontosságát, a kiesésük által előálló anyagi és erkölcsi kár mértékét.

### 3.2.1. Feszültségletörés és -szünet hatása

A fogyasztóknál a következő feszültségletörések és -szünetek állhatnak elő:

- feszültségletörés a zárlat időtartama alatt annak kikapcsolásáig;
- rövid idejű feszültségcsökkenés a zárlat kikapcsolása után a sikeres automatikus visszavagy átkapcsolás holtidejére;
- hosszú idejű feszültségcsökkenés tartós meghibásodás következtében a hálózati táplálás átrendezése, ill. a hiba kijávítása idejére.

Hurkolt hálózaton és állandóan bekapcsolt tartalék esetén, ha csak az egyik betáplálás esik ki, csak a zárlat okozta feszültségletörést kell a fogyasztóknak eltűrnie.

a) A zárlati feszültségletörésnek három jellemzője van:

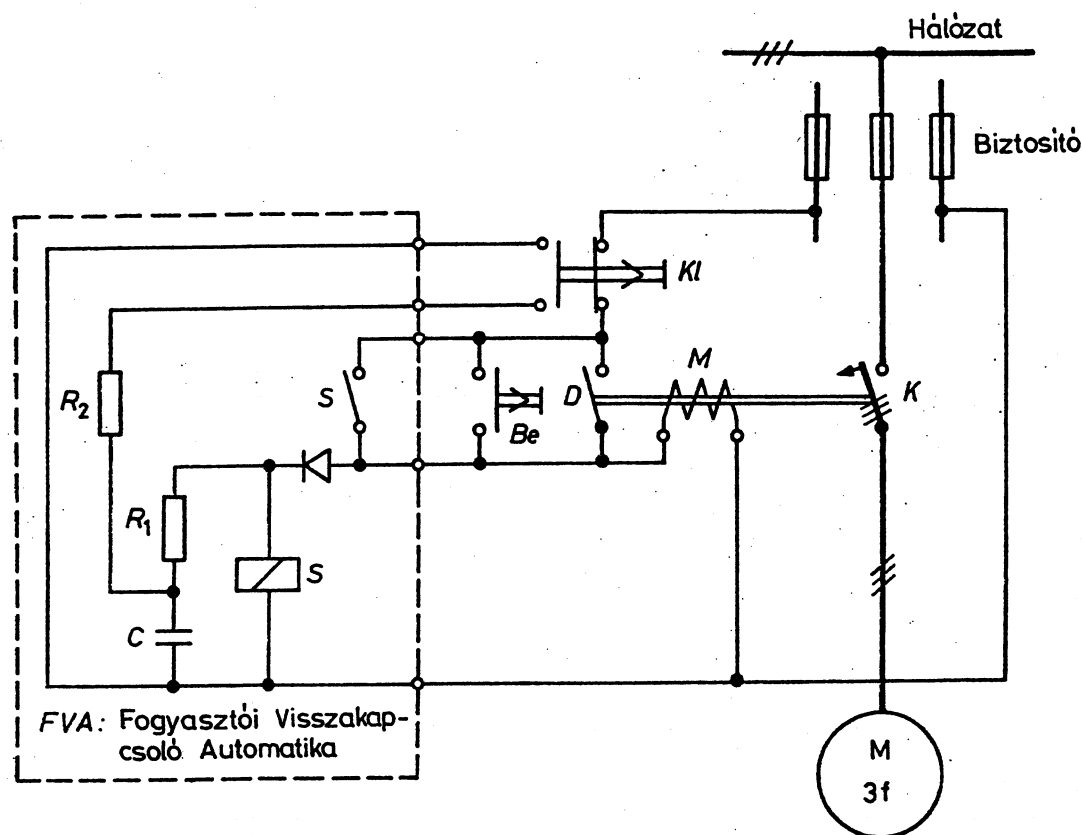
- *időtartama igen rövid*: a védelem működési ideje és a megszakító kioldási önideje. Modern berendezéseknél és szándékolt védelmi késleltetés nélkül ez 30...80 ms, kevésbé élenjáró technológia esetén 80...200 ms. Természetesen e „pillanatműködésű” zárlathárítás mellett a szelektivitás érdekében kevésbé fontos berendezésnél 0,2...1,5 s védelmi késleltetést is alkalmaznak, ekkor a feszültségletörés ideje ennyivel megnövekszik;

- nagy kiterjedésű hálózatrészen érzékelhető, nem csak a meghibásodott elemnél, ezért egyetlen zárlat igen sok fogyasztót érint;
- nem mindig teljes (100%-os) a letörés, és gyakran aszimmetrikus.

A zárlati feszültségletörés azoknál a fogyasztóknál okoz zavart, amelyek az említett tizedmásodperc nagyságrendű letöréseket sem bírják el. Ilyen fogyasztók jellegzetesen a mágneses öntartású kapcsolókon keresztül táplált fogyasztók (pl. a legtöbb motorvédő kapcsoló), a váltakozó áramú hálózatról táplált gyors vezérlések, elektronikus irányítástechnikai berendezések, számítógépek stb.

Minden olyan esetben, ha a letörés okozta zavar, kiesés súlyos kárt okoz, a fogyasztónál kell megfelelő védekezést kiépíteni, mert a zárlatok teljes elkerülése lehetetlen.

Védekezési eszköz lehet pl. mágneses öntartású kapcsolóknál a rövid idejű feszültségletörés átfedése villamos vagy mechanikus késleltetéssel, kis- vagy középfeszültségű betáplálásoknál elhelyezett feszültségcsökkenési (nullfeszültség) kioldók késleltetése, valamint szünetmentes áramforrások alkalmazása (l. a c) pontban).



3.7. ábra. Motorvédő kapcsoló érzéketlenítése a rövid idejű feszültségszünettől

A 3.7. ábrán láthatunk egy lehetséges megoldást. A  $K$  motorvédő kapcsoló  $M$  mágnesetekercsére a  $Be$  nyomógombbal adunk feszültséget.  $D$  segédérintkező biztosítja az öntartást, így a motor folyamatos üzemét. Egyúttal behúzza a feszültségletörés áthidalására beépített  $S$  segédrelét is, amely elé beiktatott diódán keresztül feltöltődik a  $C$  kondenzátor is. A hálózati feszültség rövid kimaradásakor  $C$  az  $S$  segédrelét egy ideig még behúzza tartja, és bár ekkor  $K$  elejt, de a hálózati feszültség visszatérésekor  $S$  érintkezőn keresztül újból behúzza.  $S$  ejtés-késleltetésével kb. 1...2 s-ot lehet átfedni. A  $Ki$  nyomógomb megnyomásával lehet kikapcsolni a motort. Hogy ekkor ne érvényesüljön  $S$  ejtés-késleltetése, így ne kapcsolódjon akaratlanul vissza a motor, a  $Ki$  nyomógomb második érintkezője kisüti  $C$ -t.

A leírt készüléket az üzem számára fontos, központi berendezésre egyedileg, míg pl. egy műhely sok kis motoros fogyasztójára csoportosan, egyetlen késleltetőkészülék alkalmazásával célszerű beépíteni.

Mivel a készülék a kiesett kapcsoló újbóli bekapcsolását végzi, ezért gyakran *fogyasztói visszakapcsoló automatikának* (FVA) is nevezik.

b) A rövid idejű, a zárlat kikapcsolását követő sikeres automatikus visszakapcsolásig vagy a tartalék betáplálására történő automatikus átkapcsolás holtidejéig tartó feszültségszünet fő jellemzői:

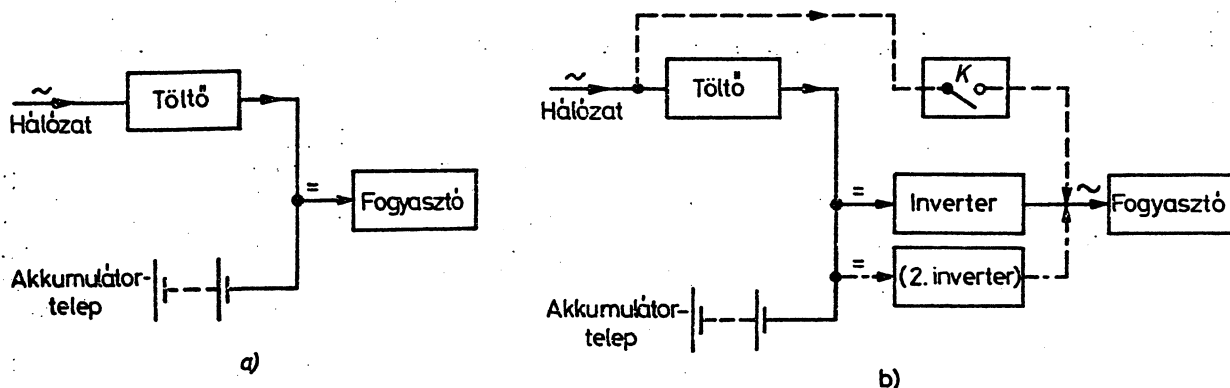
- Zárlati feszültségletörés előzi meg, tehát időtartama összegeződik vele.
- Hurkolt hálózaton a fogyasztók a holtidő alatt is kapnak ellátást, tehát ezen feszültségszünet csak sugaras hálózaton jelentkezik.
- Csak azon fogyasztóknál jelentkezik, amelyek a zárlatos hálózatelemen keresztül vannak táplálva, tehát a zárlati feszültségletöréshez képest lényegesen kisebb területre terjed ki.
- Mértéke mindig 100%-os; ez alól csak az olyan fogyasztói terület kivétel, amelyen vagy jelentős teljesítményű szinkron gép van üzemben, vagy aszinkron motorok üzemelnek nagy hálózati (kábel) kapacitással (pl. erőművi háziüzem, nagy ipartelemek).
- Időtartama hozzávetőlegesen a következő (l. részletesen az 5. fejezetet):  
gyors visszakapcsolás esetén 0,4...2 s,  
eseményvezérlésű átkapcsolás esetén 0,2 s,  
állapotvezérlésű átkapcsolás esetén 0,5...2 s,  
lassú visszakapcsolás esetén 15...180 s.

A védekezési eszközök – a lassú visszakapcsolást kivéve – ugyanazok lehetnek, mint a zárlati feszültségletörésnél. Lassú visszakapcsolás esetén a hosszú feszültségmentes idő miatt már csak speciális megoldások segíthetnek, hiszen a lassú visszakapcsolás 15...180 s holtideje alatt szinte minden motor, hajtás stb. már teljesen leáll. Ilyen esetben automatikus újraindítás alkalmazható, és azt is csak az igen fontos központi berendezéseknél építik be. Általában lassú visszakapcsoláskor a fogyasztónál a következő c) pont szerinti védekező módszerek alkalmazása lehetséges.

c) Hosszú idejű feszültségszünet tartós meghibásodás miatt. Ennek időtartama az előző két esethez képest nagyságrendileg nagyobb. Szerencsés esetben hálózati átrendezéssel ellátható a fogyasztó, amely idő rövidebb, mint a teljes javítási idő. Ha viszont csak egy ellátási út létezik, akkor a feszültségszünet a hiba kijavításáig tart. Ez azt jelenti, hogy az üzem teljesen leáll, a fogyasztó vételezése csak az üzem helyreállítása, a hiba kijavítása után, esetleg csak több órás feszültségszünet múlva kezdődhet.

Fontos fogyasztókhoz, amelyeknek tartós kiesése súlyos anyagi következménnyel jár,

- nagy teljesítményigény esetén tartalék második betáplálást, hurkolt hálózatról való táplálást, tehát a hálózati topológiai tartalék azonnali rendelkezésreállítását kell beépíteni;
- kisebb teljesítményigény esetén szünetmentes áramforrást kell beépíteni.



3.8. ábra. Szünetmentes áramforrás

a) egyenfeszültségű fogyasztókhoz; b) váltakozó feszültségű fogyasztókhoz

Ennek megoldása pl. egyenáramról is ellátható fogyasztók esetén akkumulátortelepre való kapcsolás, amely telepet pufferüzemben a hálózatra kapcsolt töltőberendezés állandóan tölti (3.8a ábra). Ha a fogyasztó váltakozó feszültséget igényel, akkor az előző kapcsolást bonyolultabbá kell tenni (3.8b ábra): ki kell egészíteni inverterrel. Biztonságból még egy automatikus  $K$  kapcsoló is kell, amely inverterhiba esetén közvetlenül a nagy hálózatról látja el a kényes fogyasztót, vagy az invertert kettőzni kell.

### 3.2.2. Fogyasztók kategóriákba sorolása

A legkényesebb fogyasztók azok, amelyek *szünetmentes ellátást igényelnek*. Zavartalan üzeműkhöz folyamatos feszültségre van szükség, sem feszültségletörést, sem — rövid vagy hosszú — feszültségszünetet nem tűrnek el. Ilyen fogyasztók a számítástechnikai, irányítástechnikai elektronikus készülékek és berendezések, a zárlatvédelmi berendezések stb.

Az I. energiaellátási biztonsági igényű fogyasztók azok, amelyek legfeljebb  $0,5...5$  s *üzemszünetet tűrnek el*, különben robbanás, tűz, súlyos baleset vagy igen nagy kár keletkezik a termelőberendezésben, ill. hosszú idejű, nagy kárt okozó termeléskiesés következik be. Ilyen fogyasztók pl. a tűz- és robbanásveszélyes üzemek — bányák, kohók, vegyi üzemek — biztonságtechnikai ellenőrző, szabályozó és irányító rendszerei, az atomerőművek villamos berendezései, az erőművi segédüzemi berendezések, a kórházi műtők és intenzív részlegek berendezései, a vasútbiztosító berendezések, a repülőterek irányítási és világítási berendezései.

A II. energiaellátási biztonsági igényű fogyasztók legfeljebb  $5...15$  perc *üzemszünetet tűrnek el*, ellenkező esetben hosszú idejű, nagy kárt okozó termeléskiesés következik be, ill. a dolgozókra veszélyes helyzet állhat elő. E kategóriába tartoznak a nagyobb erőművek, az automatizált nagy gépipari és élelmiszeripari üzemek, a szellőzésigényes állatfeldolgozó, baromfikelletető üzemek, a föld alatti tömegközlekedés, a szellőzőberendezések bányákban, ill. nagy tömeget befogadó létesítményekben stb.

A III. energiellátási biztonsági igényű fogyasztók energiaszolgáltatása  $1...2$  órára *kieshet*, és ez legfeljebb azonos időre eső, nem túl nagy értékű termeléskiesést okoz. Ide tartoznak pl. a könnyűipari üzemek, kisebb gépipari üzemek, a nem automatizált élelmiszeripari üzemek, a föld feletti tömegközlekedés, a nagy forgalmú létesítmények (áruházak, mozik stb.), a sűrűn lakott területek háztartási fogyasztói.

A IV. energiaellátási biztonsági igényű fogyasztók energiaellátása *legfeljebb 8 óra időtartamra maradhat ki* lényegtelen termeléskiesést okozva. Ide tartoznak a közvilágítás, a kisebb mezőgazdasági üzemek, a ritkán lakott települések háztartásai, a kis forgalmú kommunális létesítmények.

### 3.3. Az együttműködő rendszer követelményei

A védelmek és automatikák kialakításánál figyelembe kell venni a kooperációs rendszer zavartalan üzemének követelményeit is. Ezek:

— A kellő topológiai tartalék biztosítása; ennek érdekében a *védelmek* zárlati működése nagy üzembiztonsággal szelektív és gyors legyen, a védelmi működést követő visszakapcsolás optimálisan eredményes legyen, azaz a tartós kiesések száma a lehetséges legkisebb legyen. Túlterhelés esetén, zárlati vagy üzemi kézi kikapcsolást és visszakapcsolást követő teljesítménylengések alatt felesleges, nem zárlati jelenségre történő kioldás nagy biztonsággal ne jöjjön létre.

— A rendszer stabil üzemét minden eszközzel biztosítani kell; ez mind a statikus, mind a tranziens stabilitásra vonatkozik. A statikus stabilitás problémája a rendszer üzemzavarmentes üzemében merülhet fel, ha adott két rendszerrész közötti teljesítménycsere megközelíti vagy meghaladja a maximálisan átvihető teljesítményt. A tranziens stabilitás megbomlását pedig zárlati, főleg többfázisú zárlati esemény, az azt követő elemkikapcsolódás, majd az esetleges visszakapcsolást követő újabb zárlat és kikapcsolódás jelensége idézheti elő (l. részletesen a 2.8. alfejezetben, valamint a 9. fejezetben).

### 3.4. Védelmi rendszerek stratégiája

A villamosenergia-rendszer egyes elemeinek védelmeit és automatikáit az előző pontokban kifejtett követelményeknek megfelelően kell kiválasztani. Ez természetesen minden egyes elemre önállóan végzendő el. Az egyes elemekre alkalmazott védelmeknek illeszkedniük kell a teljes védelmi és automatikarendszerhez, ezért általános érvényű döntéseket kell hozni, azaz létre kell hozni a rendszer egészére érvényes védelmi stratégiát. E filozófiai jellegű döntések alapján kell az egyedi kiválasztást megvalósítani, de úgy, hogy az egyedi elem sajátosságait is figyelembe vesszük (taktika).

A lényegesebb magyar stratégiai döntéseket a következőkben foglaljuk össze (a részleteket l. a 8. fejezetben).

#### 3.4.1. 750, 400 és 220 kV-os alaphálózat

Nemzetközileg elfogadott alapelvek a következők:

- A távvezetésekre olyan alapvédelmet kell alkalmazni, amely a vezeték bármely pontján bekövetkező zárlatra pillanatműködésű kioldással felel.
- Önálló, pillanatműködésű, sínre szelektív gyűjtőszínvédelmet kell alkalmazni.
- Transzformátorokra alapvédelemként pillanatműködésű differenciálvédelmet és Buchholz-védelmet kell alkalmazni.
- Transzformátorok túlterhelésvédelmére előjelzéssel ellátott, kioldást is adó hőmérséklet-védelmet kell alkalmazni.
- A megszakítóberagadási védelmi rendszert teljes mélységig és gyors működéssel (késleltetés kisebb, mint 0,2 s) ki kell építeni.
- Minden távvezetésekre alkalmazni kell visszkapcsoló automatikát.

Nem egységes nemzetközi gyakorlat esetén a magyar stratégiai döntés:

- Mind a távvezetésekre, mind a transzformátorokra kettős alapvédelmi rendszert kell alkalmazni, hogy egyik meghibásodása, javítása vagy karbantartás idejére az elemet ne kelljen kikapcsolni. A két alapvédelmi rendszer teljesen szétválasztott (pl. külön egyenáramú ellátás, két független kioldótekercs) és egyenként bénítható legyen.
- Távvezeték mindkét alapvédelmére általában távolsági védelmet kell alkalmazni, ellentétben néhány rendszer gyakorlatával, ahol az elsőrendű alapvédelem szakaszvédelem.
- Minden zárlatot érzékelő távolsági védelmet kell alkalmazni, ellentétben azzal a gyakorlattal, amely szerint a távolsági védelem csak a fázisok közötti zárlatokat érzékeli, az FN zárlatokat többlépcsős, irányított, zérus sorrendű túláramvédelemmel fogják meg.
- A távolsági védelmeket mindig el kell látni olyan védelmi parancsátvivő berendezéssel, amellyel biztosítani lehet a távvezeték egész hosszára a pillanatműködésű kioldást. Ez lehet védelmi szinkronozás (ellenőrzött távkioldás) vagy kioldásengedélyező távparancs.
- Az elsőrendű alapvédelem zárlathárítási ideje – beleértve a megszakító kioltási idejét is – kevesebb legyen, mint 80 ms. A másodrendű alapvédelem zárlathárítási ideje max. 100 ms-ig terjedhet.
- A gyűjtőszínvédelmet nem kell kettőzni. Tartalék védelmet a leágazó elemek védelmei (pl. távolsági védelem) adnak. Ha ilyen nincs, akkor járulékos védelmet kell beépíteni (pl. transzformátoroknál egylépcsős impedanciavédelmet).
- Minden távvezetésekre FN zárlatokra egysarkú kioldás és egyfázisú visszkapcsoló automatika (EVA), míg többsarkú zárlatokra háromsarkú kioldás és visszkapcsolás (HVA) alkalmazandó. Az EVA holtideje legyen nagy (kb. 2 s), a HVA-é kicsi (kb. 0,4 s ... 0,7 s) és szinkronellenőrzés nélküli.

– Minden hálózati elemre vésztartalékként alkalmazni kell autonóm – azaz teljes egyenáramú kimaradás esetén is működő – zárlati túláramvédelmet (AZT), távvezetékeken ez zérus sorrendű (AZTO) legyen.

– Lengészárat a távolsági védelemhez általában nem kell alkalmazni, helyette érzéketlen impedanciakaraktisztikát (pl. MHO) kell választani.

### 3.4.2. 120 kV-os főelosztóhálózat

A hazai stratégia alapelvei a következők:

– Távvezetékek alapvédelmére minden zárlatfajtát érzékelő távolsági védelmet kell alkalmazni.

– Rövid vezetékeken a távolsági védelmet szakaszvédelemmel be kell gyorsítani.

– Ha más célból van jelátvivő berendezés a távvezetékeken, védelmi szinkronozást kell alkalmazni.

– Az alapvédelmi első fokozatos zárlathárítási idő ne legyen több, mint 160 ms. A második fokozatban létrejövő alapvédelmi kioldást – csak FN zárlat esetén – feltételes túlfedéssel be kell gyorsítani. Többsarkú zárlat esetén ez esetben megengedett a késleltetett kioldás.

– Minden távvezeték el kell látni EVA-val és HVA-val. Az EVA holtideje kb. 1,6 s legyen. Mivel a feltételes túlfedés miatt többsarkú zárlatnál nem biztosított a mindig első fokozatos kioldás, ezért a HVA holtideje emelt kell, hogy legyen: ha a kioldás első fokozatban történt, a holtidő kb. 1,2 s legyen, míg a második fokozatos kioldás esetén a holtidő 1,2 s-os tartalmát a második fokozat késleltetésével csökkenteni kell.

– Az EVA után végleges kioldás – a külföldön kizárólagosan alkalmazott végleges háromsarkú helyett –, ahol lehetséges, egyfázisú legyen, hogy az üzemirányító időt kapjon a fogyasztók esetleges átterhelésére.

– Minden távvezetékre és transzformátorra vésztartalékként alkalmazni kell autonóm, azaz teljes egyenáramú kimaradás esetén is működő zárlati túláramvédelmet (AZT), távvezetékén ez zérus sorrendű (AZTO) legyen.

### 3.4.3. 35, 22 és 10 kV-os középfeszültségű szabadvezetéki és kábelhálózat

A hazai gyakorlat alapelvei a következők:

– A hálózat üzemi kialakítása általában sugaras, ezért alapvédelemként kétlépcsős túláramvédelmet lehet alkalmazni. Ha célszerű, ill. szükséges aláosztás, akkor a védelmi késleltetési idők kordában tartása céljából az legfeljebb egyszeres legyen.

– Ritka esetben hurkolt hálózat is szükséges a fogyasztói biztonság érdekében. Ekkor kábelhálózaton és rövid szabadvezetékeken szakaszvédelmet, hosszabb szabadvezetékeken távolsági védelmet kell alapvédelemként alkalmazni.

– A szabadvezetéki hálózat kompenzált. Védelmi célból az ívöltő tekercsek mellé földzárlatkor beiktató ellenállást kell beépíteni, amely sugaras hálózaton lehetővé teszi a földzárlatok szelektív érzékelését egyszerű zérus sorrendű túláramvédelmekkel. Hurkolt hálózaton zérus sorrendű szakaszvédelmeket, vagy ha szakaszvédelem alkalmazása nem lehetséges (nem gazdaságos), zérus sorrendű irányított túláramvédelmeket kell alkalmazni.

– A kábelhálózat hosszan földelt, azaz a csillagpont és a föld közé állandóan ellenállás van beiktatva egyrészt az ívelő földzárlat elkerülésére, másrészt a védelmek működtetéséhez. A kábelhálózat földzárlatvédelmi rendszere megegyezik a szabadvezetéki hálózatra leírtakkal.

– A középfeszültségű hálózaton szabadvezetékeken kétlépcsős, kábelhálózaton egylépcsős visszakapcsoló automatikát kell alkalmazni (l. részletesen az 5.1. alfejezetben).

## 4. Védelmi alapelvek és alapvető megoldások

A védelmi rendszert tervező mérnök első, alapvető problémája az, hogy a lehetőségek közül mit válasszon, a védelmek, amelyeket megtervez, milyen módon, milyen eszközökkel érzékeljék a zárlatokat. A bő fegyvertárból a következő fő védelmi megoldások emelkednek ki:

- túláram-érzékelés: túláramvédelmek;
- feszültségérzékelés: feszültségcsökkenési és -emelkedési védelmek;
- impedanciaérzékelés: impedanciavédelmek, távolsági védelmek;
- differenciálevű érzékelés: differenciálvédelmek, szakaszvédelmek, igen–nem jelet összehasonlító védelmek;
- egyéb, speciális célú és érzékelési elvű védelmek.

Ez a rövid áttekintés igen nagy választékot takar. Az érzékelési alapelv mellett még az is növeli a tervező gondját, hogy milyen fejlettségű, melyik „generációhoz” tartozó védelmet válasszon. Hozzávetőlegesen a következő generációk különböztethetők meg:

1. elektromechanikus védelmek;
2. egyenirányítós, nullindikátoros elektromechanikus védelmek;
3. analóg mérést végző elektronikus védelmek;
4. analóg leképezésű, de impulzustechnikai feldolgozást végző elektronikus védelmek;
5. analóg–digitális átalakítós (mintavételes), mikroprocesszoros védelmek.

Nagyon lényeges az, hogy bármelyik generációhoz is tartozzon a védelem, a működési alapelvek, az érzékelési egyenletek, az érzékelést zavaró primer feltételek – tehát összefoglalva a védelmek érzékelési és alkalmazási problémái és feltételei – lényegileg azonosak. Pl. mind az öt generáció távolsági védelme az FN zárlatot a

$$Z = U_f / (I_f + \alpha I_0) \quad (4.1)$$

érzékelési egyenlet szerint kezeli (l. a 4.5. és 4.6. alfejezetet). Ez az állandóság, az elvek tartóssága teszi lehetővé, hogy a védelmek alapvető kérdéseit időtállóan lehessen bemutatni.

### 4.1. A zárlatérzékelés alapjai

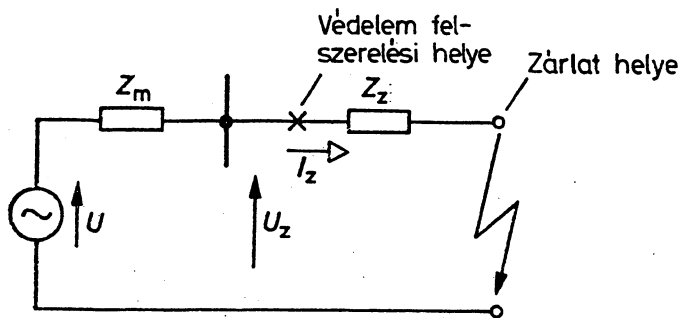
A védelmek alapvető problémája az, hogy hogyan lehet megkülönböztetni a zárlati állapotot a normális üzemi állapottól, a terhelési, ill. túlterhelési állapottól és a kapcsolásokat követő teljesítménylengésektől. Zárlat esetén ugyanis azonnal, a másodperc törtrésze alatt kell működni a védelemnek és kioldania a megszakítót, míg egyéb esetekben nagy késleltetéssel kell, esetleg egyáltalán nem kell, sőt veszélyes kioldást létrehozni.



**Túláram-érzékelés.** Zárlat hatására általában megnő az áram. Ha a zárlati áram minden üzemi állapotban biztonsággal nagyobb, mint a terhelőáram, zárlatérzékelésre túláramvédelem alkalmazható. Feltétel:

$$\frac{I_{z \min}}{I_{\bar{u} \max}} = a > 1, \quad (4.2)$$

ahol  $I_{z \min}$  a védett szakaszon fellépő zárlat minimális áramértéke;  $I_{\bar{u} \max}$  a lehetséges legnagyobb üzemi áram.



4.1. ábra

Ez a feltétel akkor teljesül, ha a védelem felszerelési helye mögötti  $Z_m$  impedancia (4.1. ábra), valamint a védelem és a zárlat közötti  $Z_z$  zárlati impedancia összege lényegesen kisebb, mint az üzemi feszültségből és terhelőáramból számítható üzemi impedancia maximális értéke ( $Z_{\bar{u} \max}$ ), azaz

$$\frac{Z_m + Z_z}{Z_{\bar{u} \max}} \gg 1, \quad Z_{\bar{u} \max} = \frac{U_{\bar{u} \min}}{I_{\bar{u} \max}}, \quad (4.3), (4.4)$$

ahol  $U_{\bar{u} \min}$  a lehetséges legkisebb üzemi feszültség.

**Feszültségérzékelés.** Zárlat hatására a feszültség letörik. Ha a védelem helyén zárlatkor a feszültség ( $U_z$ ) lényegesen kisebb, mint a minimális üzemi feszültség, azaz a feltétel:

$$\frac{U_{\bar{u} \min}}{U_{z \max}} = b > 1, \quad (4.5)$$

akkor elvileg feszültségrelével lehet zárlatot érzékelni. Ez azonban csak áramérzékeléssel együtt használható, mert a feszültségrelé egyedül egyrészt nem érzékeli, hogy önmaga a zárlati árampálya útjában van-e, ezáltal a zárlathoz közeli idegen, ép elemeken is megszólal, másrészt kézi vagy zárlati kikapcsolás után a védelem hibásan megszólalhat, automatikát indíthat stb. Ilyen hibás kioldást végeznek pl. a késleltetés nélküli feszültségcsökkenési (null-feszültség) kioldók, és felesleges többletkiesést okoznak (l. a 3.2. alfejezetet).

Ez a feszültségfeltétel teljesül, ha a 4.1. ábra szerint:

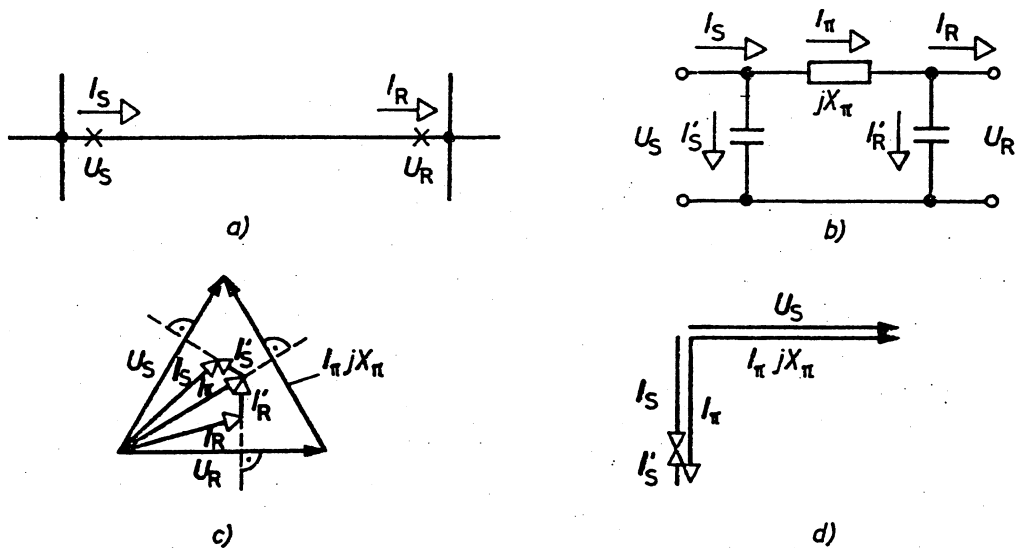
$$\frac{I_z(Z_m + Z_z)}{I_z Z_z} = (Z_m/Z_z + 1) > 1. \quad (4.6)$$

**Impedanciaérzékelés.** A zárlati áramnövekedést és feszültségletörést együtt használják fel az impedanciaérzékelési elvű védelmek. Így akkor is jó zárlatérzékelés valósítható meg, ha egyes üzemi állapotokban az áram- vagy a feszültségkritérium önmagában nem teljesül. A feltétel

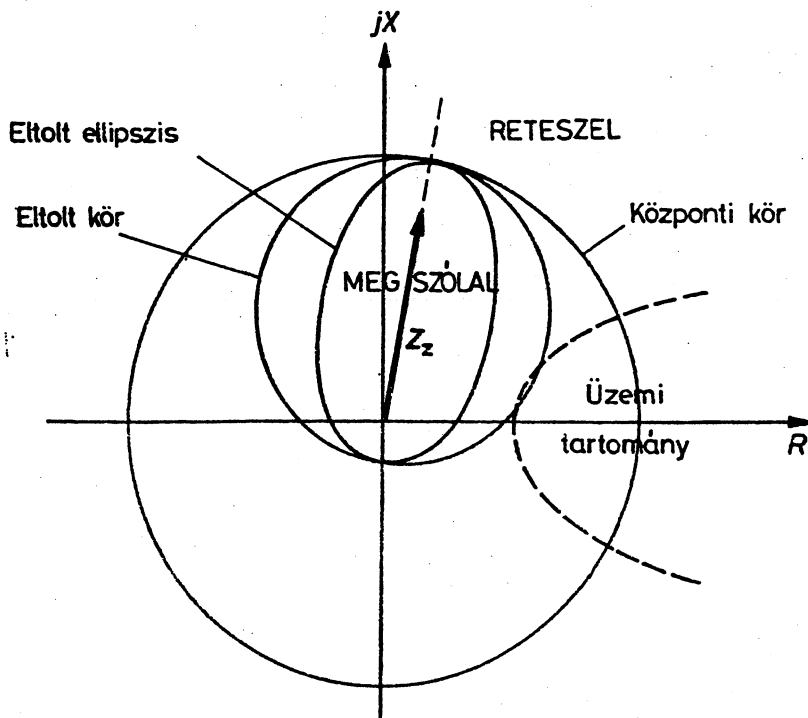
$$\frac{Z_{\bar{u} \min}}{Z_z \max} = \frac{U_{\bar{u} \min}/I_{\bar{u} \max}}{U_{z \max}/I_z \min} = \frac{U_{\bar{u} \min}}{U_{z \max}} \frac{I_z \min}{I_{\bar{u} \max}} = ab > 1. \quad (4.7)$$

Ez a feltétel akkor nem teljesül, ha  $Z_m + Z_z$  az üzemi impedanciához képest nagy, azaz  $I_z \min$  az üzemi áramok nagyságrendjébe esik, és egyidejűleg  $Z_m$  értéke  $Z_z$ -hez képest kicsi, azaz zárlatkor nincs jelentős feszültségletörés. Ilyen eset látható a 4.2. ábrán, egy nagy teljesítményt szállító, hosszú távvezetéken. Megfigyelhető azonban, hogy az üzemi és a zárlati impedancia fázisszöge között eltérés van, így irányérzékeny impedanciarelével szét lehet választani az üzemi és a zárlati eseteket (4.3. ábra).

Hangsúlyozottan ki kell emelni, hogy impedanciamérési elvű védelem alkalmazási feltételei a védendő szakasz csökkentésével lényegesen javulnak, mivel ekkor  $Z_z$  értéke lényegesen csökken (l. az előző bekezdést), ezért a távvezetékett kettéosztó soros megszakítót



4.2. ábra. Hosszú távvezeték és vektorábrája  
 a) távvezeték; b)  $\Pi$ -helyettesítés; c) határos energia átvitelének vektorábrája;  
 d) R végponti zárlat vektorábrája



4.3. ábra. Impedanciarelé-karakterisztikák  
 $Z_z$  zárlati impedancia

gyakran még olyan állomásba is beépítenek, ahol a fogyasztói transzformátor T-leágazásban csatlakozik, vagy nincs a transzformátornak megszakítója (egyszerűsített állomások).

*Differenciálevlű érzékelés* esetén a védelem a védendő elem két, esetleg több határpontján fellépő mennyiségeket (áramnagyság, áramirány, zárlati teljesítményirány stb.) hasonlítja össze, és ebből állapítja meg, hogy belül vagy kívül van-e a zárlat.

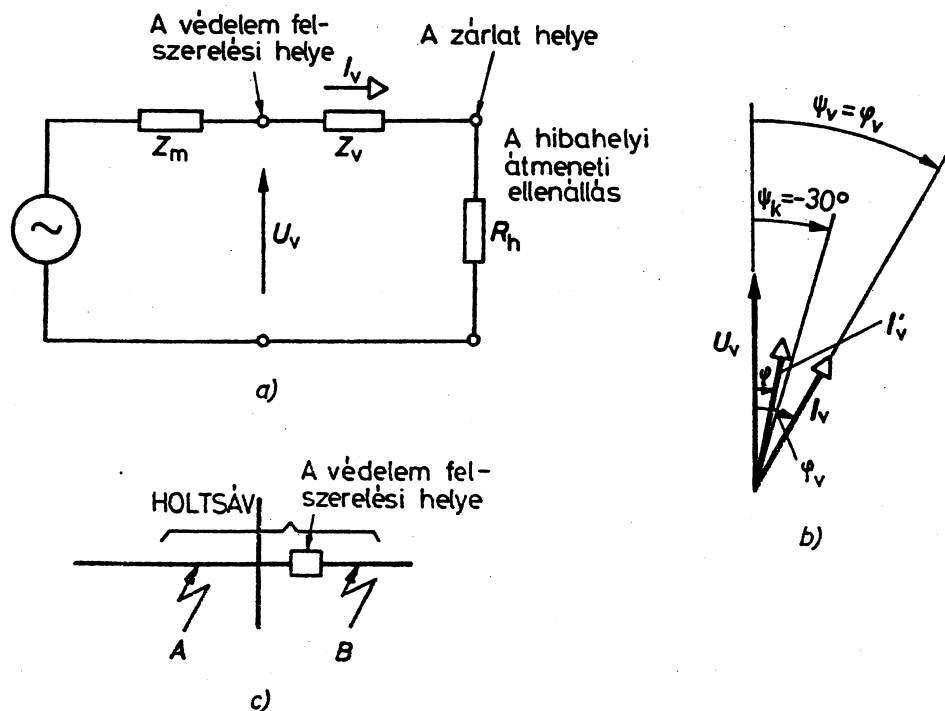
*Egyéb, speciális érzékelésű védelmek* sokaságából választhat a védelmes mérnök, ha különleges feladatot kell megoldania. Ilyen pl. a negatív sorrendű túláramvédelem, a visszatesztelés-védelem, a gerjesztéskimaradás elleni, negatív reaktanciát érzékelő védelem, a frekvenciacsökkenési védelem stb. Léteznek speciális készülékek, amelyek az egyébként megfelelő védelem típust speciális üzemi helyzetben teszik alkalmassá megfelelő működésre. Ilyenek pl. a különböző ébresztéskiegészítő készülékek, lengészárok, holtávkioldók stb.

## 4.2. A zárlati teljesítményirány érzékelése

Hurkolt hálózaton alkalmazott védelmek többségének működéséhez szükség van a zárlati teljesítmény irányának megbízható érzékelésére. A védelmek „irányelemmel” való ellátásának az a célja, hogy a védelem kioldásához feltételként lehessen kötni a *védett elem felé irányuló* zárlati teljesítményt.

### 4.2.1. A zárlati teljesítményirány közvetlen érzékelése

Ha egy teljesítmény-irányrelére (l. a 6. fejezetet) zárlat felléptekor a védelem felszerelési helyén uralkodó zárlatos feszültséget és zárlati áramot kapcsolják rá, akkor a relé megszólal, ha a zárlat a védelem előtt lépett fel, és reteszelni fog, ha mögötte. Lényeges, hogy a relé belső szögét (4.4. ábra:  $\Psi_k$ ) úgy válasszák meg, hogy az hozzávetőlegesen megegyezzen az  $U_v$  feszültség és az  $I_v$  áram közötti szöggel, vagyis a legnagyobb nyomatókál működjön. A 4.4. ábrán látható, hogy ez a szög a zárlati áramhurok  $Z_v + R_h$  eredő impedanciájának negatív



4.4. ábra. Zárlati teljesítmény-irányrelé  
a) és b) irányrelé belső szögének meghatározása; c) holtáv

fázisszögével egyezik meg.  $R_h = 0$  esetén ez a  $Z_v$  impedanciaszögéből adódó  $\varphi_v$  szög, míg jelentős hibahelyi ellenállás esetén ennél kisebb  $\varphi$  szög adódik. Igen közeli zárlat esetén  $R_h$  dominál, ezért az irányrelé belső szögének a leírt közvetlen érzékelés esetén mindig kisebbnek kell lennie  $\Psi_v$ -nél. Mivel  $\Psi_v$  értéke pl. távvezeték esetén

$$-90^\circ < \Psi_v < -30^\circ \quad (4.8)$$

között lehet,  $\Psi_k$  értékét

$$-45^\circ < \Psi_k < -20^\circ \quad (4.9)$$

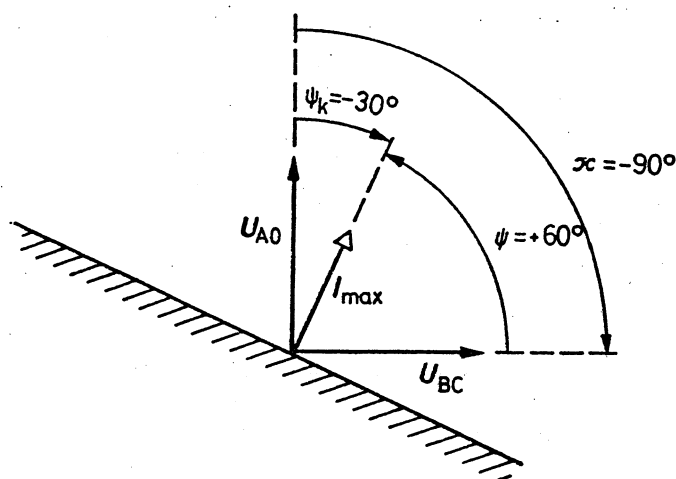
között célszerű választani.

A közvetlen érzékelésnek igen nagy hátránya az, hogy a védelemhez közeli zárlat esetén a feszültség kicsi, akár zérus is lehet, így az irányrelé nem működik, pedig ekkor van legnagyobb szükség arra, hogy megkülönböztesse az előttes (B) és mögöttes (A) zárlatokat (4.4c ábra).

Erre az esetre mondják, hogy a zárlat „holtsávban” lépett fel. Az irányrelé érzékenységének növelésével ezt a holtsávot csökkenteni lehet ugyan, de teljesen megszüntetni nem, ezért a 4.2.2. és 4.2.3. szakaszban leírt módszereket a szelektív működés érdekében *mindig* alkalmazni kell.

#### 4.2.2. Polarizálás ép feszültséggel

Már igen régen felismerték, hogy az előző pontban említett holtsávot az aszimmetrikus zárlatok esetében teljesen meg lehet szüntetni, ha az irányrelé feszültségtekerésére a zárlatos, letört feszültség helyett egy ép feszültséget kapcsolnak, mivel az ép fázisok feszültsége — a 3F zárlatot kivéve, amikor nincs is ép feszültség — még közvetlen közeli zárlatnál sem lesz zérus, így az irányrelé polarizálása mindig hatásos.



4.5. ábra. Ép feszültségű polarizálás

Az ép feszültséggel való polarizálásnál természetesen más belső szögű irányrelét kell választani. Ha pl. A0 zárlatnál a maximális nyomatékot adó áramirány  $I_{max}$ , azaz  $\Psi_k = -30^\circ$ , és a polarizálásra az  $U_{BC}$  feszültséget akarják használni (4.5. ábra), akkor az új irányrelé belső szöge  $\Psi = +60^\circ$  kell, hogy legyen. Általában az új belső szög

$$\Psi = \Psi_k - \kappa \quad (4.10)$$

ahol  $\kappa$  a zárlatos feszültség és a polarizálásra használt feszültség közötti szög.

Ha  $\kappa$  értéke a zárlati helytől függően más és más, vagy FN és 2F zárlatra ugyanazt az irányrelét alkalmazzuk, és így különböző  $\kappa$  szög, aminek megfelelően különböző új  $\Psi$  belső

szög lenne szükséges, akkor nem túlzottan nagy eltérés esetén átlagos  $\alpha$  értékkel határozzák meg az új belső szöget.  $\alpha$  értékének megfelelően a kapcsolást  $0^\circ$ -osnak (azaz zárlatos feszültséggel való polarizálás történik), ill.  $90^\circ$ -osnak (4.5. ábra) nevezik. Létezik  $60^\circ$ -os kapcsolás is.

Érdemes megfigyelni, hogy a zárlatos feszültséggel való polarizálás esetén  $\Psi$  értéke  $0$  és  $-90^\circ$  közé esik, azaz induktív áramokra érzékeny a relé, az ép fázissal való polarizáláskor viszont  $\Psi$  majdnem mindig  $0$  és  $+90^\circ$  közé esik, azaz kapacitív jellegű.

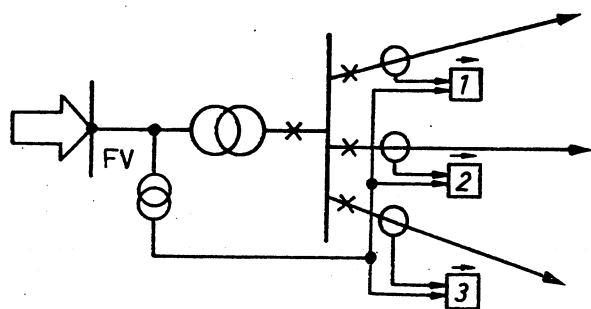
#### 4.2.3. A holtív teljes kiküszöbölésének módszerei

Bár az előző pontban ismertetett ép fázisú polarizálás aszimmetrikus zárlatokra teljes holtívmentességet biztosít, de 3F zárlatokra ez nem vonatkozik, ezért egyéb módszerek is szükségesek a teljes holtívmentesítéshez.

– Az *előirányítás* módszere azt jelenti, hogy ha az irányrelé nem tudja eldönteni, hogy előttes vagy mögöttes zárlat lépett-e fel, akkor engedélyezi a kioldást. Elektromechanikus védelmet véve alapul, az irányrelét e célból úgy kell a rugókkal beállítani, hogy nyomatékmentes állapotban eleve zárja a kioldást engedélyező érintkezőjét. Az előirányítás káros következménye lehet a közeli mögöttes zárlatra való felesleges kioldás.

– A *holtívkioldó* módszere az, hogy ha 3F zárlat lépett fel (három ébresztőelem indult) és az irányelem nem reteszelt, akkor járulékos idővel, pl.  $0,2$  s késleltetéssel áthidalja (kiiktatja) az irányrelét.

– Az *emlékezőkapcsolás* lényege az, hogy az irányrelét tápláló feszültségre  $50$  Hz-re hangolt rezgőkört kapcsolnak, amelynek része az irányrelé feszültségoldala is. Ha a feszültség teljesen letörik, a rezgőkör néhány tized másodpercig még fázishelyes feszültséget szolgáltat, így a védelem holtívmentesen tud emlékezni. Ez a módszer hatástalan, ha bekapcsoláskor lép fel közeli 3F zárlat, mivel előtte nem volt feszültség a védelemnél. Erre logikai kapcsolást kell alkalmazni: a kézi vagy automatikus bekapcsolóimpulzus a védelmet átkapcsolja úgy, hogy zárlatkor irányérzékelés nélkül is létrehozasson kioldást.



4.6. ábra. Koncentrált impedancia mögüli feszültségtáplálás

– *Feszültségtáplálás koncentrált impedancia mögül.* A 4.6. ábra 1, 2, és 3 védelmének a transzformátor előtt elhelyezett feszültségváltóról táplált irányreléje mindig holtívmentesen érzékel. A módszer lényege az, hogy a holtív mindig a tápláló feszültségváltó körül alakul ki, ha tehát azt az irányítással ellentétesen, koncentrált impedancia mögé helyezük, a holtív megszűnik.

– A *zérus sorrendű teljesítményt érzékelő irányrelé* feszültségtekercse és áramtekercse a leágazás zérus sorrendű mennyiségeit kapja meg. Földzárlatvédelemnél alkalmazzák, és mert földzárlatkor a hibahelynél a legnagyobb az  $U_0$  feszültség, a relé teljesen holtívmentes.

### 4.3. Túláramvédelmek

A túláramvédelmek a leggyakrabban alkalmazott védelmek. Fő alkalmazási területük a túlterhelésvédelem, sugaras vezetékek zárlati alapvédelme, nagyobb elosztóhálózati transzformátorok alapvédelme, sugaras hálózatot tápláló gyűjtősin védelme, tartalék védelem általánosan, zérus sorrendű kivitelben földzárlatvédelem sugaras hálózaton, tartalék védelem hurkolt hálózaton stb. A legegyszerűbb túláramvédelem a biztosító és a kisautomata.

A túláramvédelem *fajtái*:

– *Táplálás módja* szerint van *primer* védelem, amelyen a primer áram közvetlenül átfolyik, és *szekunder* védelem, amelyet egy áramváltó szekunder árama táplál.

– *A kioldás mechanizmusa* szerint van *kioldó*, amely közvetlenül működteti a megszakító mechanizmusát, és *relé*, amely érintkezője segítségével segédáramforrást (akkumulátor, kondenzátorban tárolt energia, áramváltóból nyert energia) kapcsol a megszakító kioldótekercsére.

*Primer kioldó* elsősorban olyan helyeken van, ahol nincs helyi segédáramforrás (pl. oszlopon elhelyezett megszakítónál). Nehezen ellenőrizhető, robusztus készülék, viszonylag pontatlan (kb.  $\pm 10\%$ ), nem tud távjelzést adni, külső készüléket indítani. *Szekunder kioldó* esetén a védelem el van szigetelve a primer berendezéstől, ezért ellenőrizhetősége, állíthatósága kedvezőbb a primer kioldóénál. A *szekunder relé* könnyen kezelhető, ellenőrizhető, átállítható védelmi elem. A belőlük felépített védelmek pontosabbak (kb.  $\pm 2...5\%$ ), automatikákat indíthatnak, helyi és távjelzést adhatnak.

– *A védelmet tápláló és a megszakítót kioldó energiaforrás* szerint létezik a már ismert kioldó, amely a zárlati áram energiáját közvetlenül használja fel, van az öntápegységgel működő védelem, amely az áramváltóból kapott energiát használja kioldásra vagy közvetlenül, vagy egyenirányítva kondenzátorban tárolja és működéskor rákapcsolja a kioldó tekercsre (ez esetben gyakran feszültségváltóról is táplálják a rendszert), valamint van az állandóan töltött akkumulátortelepről táplált, azt a kioldótekercsre kapcsoló védelem.

– *Jellemző működési tulajdonságuk, ill. karakterisztikájuk* szerint megkülönböztetünk független késleltetésű, áramszelektív, áramtól függő, ill. korlátoltan függő késleltetésű és irányított túláramvédelmet.

#### 4.3.1. A túláramok fajtái

A villamosenergia-rendszerben túláramot több jelenség idézhet elő. A túláramvédelmek kiválasztásához, alkalmazásához, beállításához ezeket pontosan ismerni kell.

A túláramokat igen gyakran *túlterhelés* idézi elő. Oka lehet a fogyasztók terhelésének túlzott emelkedése, kiesett vagy kikapcsolt hálózati elem miatt a söntölőelem teherátvétele, automatikus átkapcsolás miatt a terhelésátvevő elem elégtelen keresztmetszete, helytelen hálózattervezés vagy üzemvitel, helytelen teherelosztás.

A túláramok másik fajtája *lengési* jelenségből származik. Zárlatok és kikapcsolásuk, automatikus visszakapcsolások vagy kézi kapcsolások következtében a hálózatra párhuzamosan dolgozó generátorok terhelési szögének meg kell változnia. A változás során lengések lépnek fel, amelyek rövid ideig tartó túláramciklusokat okozhatnak.

Ha valamely hálózatrészen nagy teljesítményt kell átvinni, és az meghaladja a statikus stabilitás határát, a *stabilitás megbomlik* és a zárlatokhoz hasonlóan igen nagy túláram és feszültségletörés lép fel.

A legnagyobb túláramokat általában a *zárlatok* okozzák.

### 4.3.2. Túlterhelésvédelmek

Míg zárlatok felléptekor a hibahelyi rombolódás elkerülése és az ép részek megóvása érdekében a védelmeknek igen gyorsan kell működniük, addig túlterhelések esetén hosszabb idő is kivárható, sőt egyes esetekben még az ember észlelési és beavatkozási időszükséglete is megengedhető. A túlterhelésvédelmek megítélése alkalmával a védett elem rendszerbeli szerepe, a lehetséges túlterhelés mértéke, valamint a túlterhelés okozta kár és a túlterhelés megengedhető ideje alapján kell dönteni és a megfelelő védelmet kiválasztani.

*Sugaras elosztóhálózaton* – a közvetlen fogyasztói leágazásokat kivéve – megfelelő tervezés és üzemeltetés esetén váratlan túlterhelés nem léphet fel. Itt gyakorlatilag csak az automatikus átkapcsolások miatt állhat elő túlterhelés, de erről az üzemirányító értesül.

*Hurkolt kooperációs hálózaton* túlterhelésvédelmet alkalmazni nem szabad, itt ugyanis előfordulhat, hogy egyes elemek pl. zárlat miatti kiesése más söntelőelemeket túlterhel. Ha azokat a túlterhelésvédelem kikapcsolja, akkor a következő még jobban túlterhelődik. Végül is a hálózat a legjobban terhelt metszék mentén fog szétválni. Ennek az igen kellemetlen, spon-tán szétesésnek az elkerülésére, a túlterhelések kézbe tartására rendszerautomatikákat kell alkalmazni (l. a 9. fejezetet).

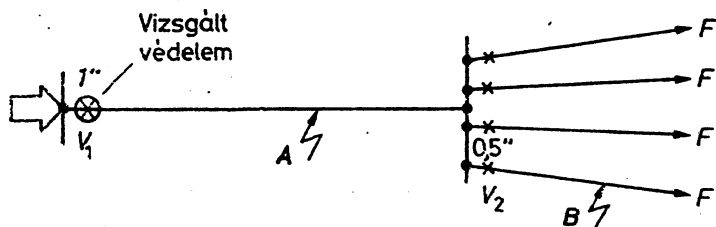
*Generátoroknál és transzformátoroknál* általában hőérzékelésen alapuló és előjelzéssel ellátott, kioldást adó túlterhelésvédelem alkalmazása célszerű.

### 4.3.3. Zárlati túláramvédelmek elhangolása az üzemi áramoktól

Zárlathárítási célból beépített túláramvédelmeknek nem szabad megszólalni az üzemi áramokra, ill. többnyire túlterhelésre sem. Minden túláramvédelemre érvényes a következő elhangoló beállítási feltétel:

$$I_{bc} \cong \frac{k_f}{k_v} \frac{I_{ü \max}}{1 - \varepsilon}, \quad (4.11)$$

azaz a maximális üzemi (túlterhelési) áramnál a túláramrelék beállítása mindig biztonsággal legyen nagyobb. Az egyenletben  $I_{bc}$  a túláramvédelem beállítási áramértéke;  $I_{ü \max}$  az előforduló maximális üzemi (túlterhelési) áram, figyelembe véve az üzemzavari és a karbantartási eseteket is;  $\varepsilon$  biztonsági tényező, amely a relék szórását, az áramváltó hibáját, az adatismereti bizonytalanságokat, és a számítási hibát veszi figyelembe, minimális értéke 0,2;  $k_v$  a túláramrelék ejtőviszonya, vagyis az ejtési és meghúzási áramérték hányadosa, minimális értéke 0,8, de manapság a relékre gyakran 0,9...0,95-ös értéket is garantálnak a gyárak;  $k_f$  felfutási tényező, a zárlat stb. okozta feszültségzavar hatására előálló módosító tényező, amelyet három jelenség befolyásol: a gyorsítási áramlökés, a visszakapcsolási (bekapcsolási) áramlökés és a feszültségcsökkenési kioldók hatása.



4.7. ábra.  $\frac{k_f}{k_v}$  tényező meghatározása

A  $k_f/k_v$  tényezőt együttesen a következő szempontok szerint kell meghatározni.

– Ha a zárlat a 4.7. ábrán jelölt  $B$  helyen lép fel, akkor alapvédelemként  $V_2$  védelem működik, de távoli tartalékvédelemként  $V_1$  is indul. A zárlat okozta feszültségcsökkenés hatására az  $F$  fogyasztóknál beépített motorok lassulnak, némelyiknél a nullfeszültség-kioldó kikapcsol, ill. a mágneses öntartású kapcsoló elejt. A  $V_2$  védelem működése után a lelassult motoroknak

fel kell gyorsulni (gyorsítási áramlökés), de a kiesések csökkentik az áramlökést (feszültségcsökkenési kioldók hatása). Mivel ekkor a  $V_1$  védelem indult, és vissza kell esnie, a  $k_v$  *ejtőviszonyt* is figyelembe kell venni.

– Ha a zárlat a 4.7. ábra hálózatán az  $A$  helyen lép fel, ekkor a  $V_1$  védelem működik, kikapcsolja megszakítóját, majd visszakapcsol. Holtidő alatt az  $F$  fogyasztóknál a motorok még inkább lelassulnak, de a feszültségcsökkenési kioldás hatása is nagyobb lesz. Jelentkezik a hálózatról ellátott transzformátorok bekapcsolási áramlökése is. Ugyanakkor holtidőben a  $V_1$  védelem árammentes, tehát visszaesik, így a  $k_v$  *ejtőviszonyt nem* kell figyelembe venni.

– Egy vonal kézi bekapcsolásakor jelentkezik a transzformátorok bekapcsolási áramlökése, valamint a hálózatra kapcsolva maradt fogyasztók – világítás, motorok, hőfogyasztók stb. – áramlökése is. Ekkor a védelem indulását vizsgáljuk, tehát *ejtőviszonyt nem* kell figyelembe venni.

A  $k_f/k_v$  tényezőt e három szempont alapján megállapított értékek közül a legnagyobbra kell megválasztani. Általában csak különböző időpontokban elvégzett mérések adnak megbízható értéket. Tervezéskor kommunális hálózaton, nagyobb ipartelep nélkül  $k_f/k_v$  értéke 1...2 körülire vehető fel, de ipartelepeknél, erőművi háziüzemben, ahol a pillanatműködésű feszültségcsökkenési kioldást megakadályozták, a  $k_f/k_v$  értéke 3...6 is lehet.

#### 4.3.4. A maximális és minimális zárlati áram meghatározása

A túláramvédelmek beállításához ismerni kell a védeni kívánt – alapvédelmi és tartalékvédelmi – szakaszon fellépő zárlati áram lehetséges minimális értékét, néha – pl. az áramszelektív túláramvédelemnél – az idegen, következő szakaszon fellépő zárlat áramának maximális értékét is. Ez a hálózati üzemállapottól és a zárlatfajától függ, ezért sokvariációs zárlatszámítást kell végezni, és a védelem felszerelési helyén folyó áramértékekből kell kivenni a maximális és minimális értéket.

A „*maximális üzemállapot* meghatározásánál minden rendszerlemet (generátor, transzformátor, távvezeték) bekapcsolva, de a tárgyalt védelem hálózati elemét *söntölő elemeket* (paralel vezeték, transzformátor) *kikapcsolva* kell leképezni.

A „*minimális üzemállapot* meghatározásánál karbantartás vagy javítás céljára reálisan egyszerre kikapcsolható rendszerlemeket kikapcsolva, de a tárgyalt védelem hálózati elemét *söntölő elemeket bekapcsolva* kell figyelembe venni.

Túláramvédelmek beállítászámításában, a védelmek hatótávolságának meghatározásában segít a *zárlati áram-távolság* függvény meghatározása. Sugaras hálózat távvezetékére, 3F zárlatra írható:

$$I_z = \frac{U}{\sqrt{3}(Z_{m1} + z_1 l)}, \quad (4.12)$$

ahol  $I_z$  a védelem helyén folyó zárlati áram;  $U$  a zárlat helyén ép állapotban uralkodó feszültség (vonali);  $Z_{m1}$  a mögöttes, táplálóhálózat pozitív sorrendű eredő impedanciája;  $z_1$  a tárgyalt távvezeték pozitív sorrendű fajlagos impedanciája;  $l$  független változó, a távvezetéken mért zárlati távolság.

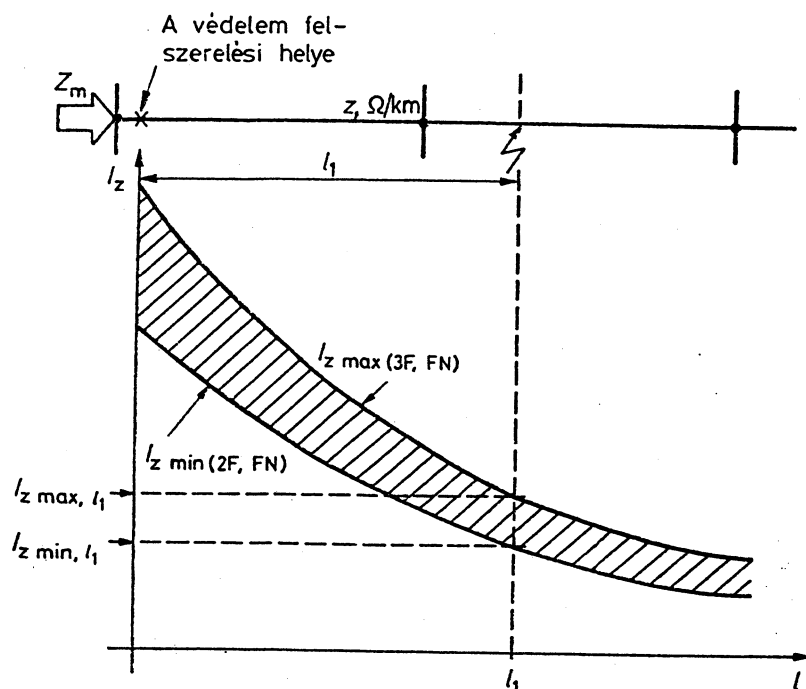
A (4.12) szerinti zárlati áram – távolság függvényt a 4.8. ábra ábrázolja. A maximális és minimális hálózati állapotnak megfelelő különböző  $Z_m$  érték miatt a zárlati áramra egy sávot kapunk, amelyen belül bármely zárlati áram előállhat.

A zárlati áram nagyságát a fentiek mellett a *zárlatfajta* is befolyásolja. Ha a zárlat helyére vonatkozó pozitív, negatív és zérus sorrendű mérési ponti impedancia rendre  $Z_{1e}$ ,  $Z_{2e}$ , és  $Z_{0e}$ ,

akkor a 3F zárlat árama  $I_{z\ 3F} = \frac{U_f}{3Z_{1e}}$ , a 2F-é (abszolút érték)

$$I_{z\ 2F} = \sqrt{3}I_1 = \sqrt{3} \frac{U_f}{Z_{1e} + Z_{2e}} = \frac{\sqrt{3}}{1 + \frac{Z_{2e}}{Z_{1e}}} \cdot \frac{U_v}{\sqrt{3}Z_{1e}} = \frac{\sqrt{3}}{1 + \frac{Z_{2e}}{Z_{1e}}} I_{z\ 3F}.$$





4.8. ábra. Zárlati áram a távolság függvényében

A  $\sqrt{3} \left( 1 + \frac{Z_{2e}}{Z_{1e}} \right)$  tényező értéke generátoroktól távol, mivel  $Z_{2e} \approx Z_{1e}$ ,  $\sqrt{3}/2$  lesz, vagyis a  $2F$  zárlat árama az ugyanott fellépő  $3F$  zárlati áramoknak csak  $86,6\%$ -a. Ez a lehetséges legkisebb érték, hiszen a generátorokhoz közeledve  $Z_{2e}/Z_{1e}$  értéke az egységnél egyre kisebb, így a tényező értéke emelkedik. Generátor kapocszárlata esetén pl.  $Z_{2e}/Z_{1e}$  lecsökkenhet akár  $2/3$  értékre is, így a tényező  $1,04$ , azaz kb. egységnyi, tehát szélsőséges esetben  $I_{z3F} \approx I_{z2F}$ .  
Összefoglalva:

$$0,866I_{z2F} \leq I_{z2F} \leq I_{z3F}. \quad (4.13)$$

Az egysarkú földrövidzárlat értéke lehet nagyobb, mint a háromfázisú zárlaté, ha  $Z_{0e}/Z_{1e} < 1$  és lehet kisebb, ha  $Z_{0e}/Z_{1e} > 1$  ([19], [70]). Ezenkívül ilyenkor még sugaras hálózaton is árameloszlást kell számítanunk a védelem áramának meghatározására, mert a tisztán fogyasztói, földelt csillag/delta kapcsolású transzformátorok is rátáplálnak a zárlatra.

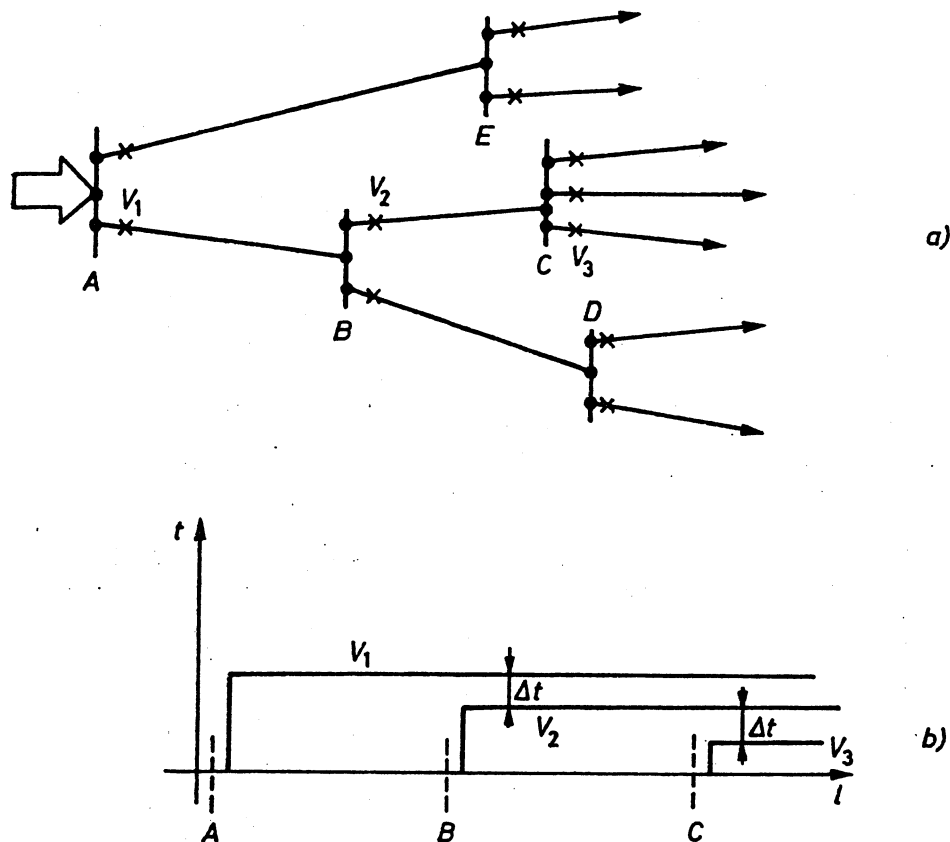
Általában igaz, hogy hurkolt hálózaton sokvariációs zárlatszámítást és árameloszlás-számítást kell elvégezni a túláramvédelmek beállításához szükséges maximális és minimális zárlati áramok meghatározásához, de a sugaras hálózatra érvényes összefüggések segítségével egy gyakorlott védelmes mérnök a variációs számot nagymértékben csökkenteni tudja.

#### 4.3.5. Függetlenül kisleltetett túláramvédelem

A védelem három, kettő, vagy egy túláramreléből és egyetlen közös időreléből, esetleg egy erősítő és érintkezősokszorozó segédreléből vagy reedreléből áll. A védelem túláramreléit úgy kell beállítani, hogy üzemi (túlterhelési) áramra ne szólaljanak meg (l. a (4.11) összefüggést), ugyanakkor a védett szakaszon, valamint a szükséges távoli tartalékvédelmi szakaszokon fellépő zárlatokra biztonsággal megszólaljanak. Ez utóbbi beállítási egyenlete:

$$I_{be} \leq \frac{I_{z \min}}{1 + \varepsilon}, \quad (4.14)$$

ahol  $I_{be}$  a védelem túláramrelének beállítási értéke;  $\varepsilon$  a szokásos biztonsági tényező (min. 0,2);  $I_{z \min}$  a védett alapvédelmi és tartalékvédelmi szakaszokon föllépő zárlat esetén a védelem felszerelési helyén átfolyó minimális áram értéke.



4.9. ábra. Független késleltetésű túláramvédelem többszörös aláosztású hálózat alap- és tartalék védelmére  
a) hálózat; b) a védelmek  $t = f(I)$  karakterisztikái ( $\Delta t$  szelektív időlépcső)

A független késleltetésű túláramvédelem a szelektivitást különböző késleltetéssel éri el. Példaként álljon egy többszörös aláosztású (több, egymás után sorba kapcsolt szakaszból álló) sugaras hálózat védelmi megoldása, amelyet a 4.9. ábrán láthatunk. A  $V_1$  védelem alapvédelmi szakasza az  $AB$  távvezeték szakasz, de távoli tartalék védelmet ad a  $BC$  és a  $BD$  szakaszokra; ennek biztosítására a  $C$  és  $D$  gyűjtősíneken fellépő minimális zárlati áramra is meg kell szólalnia (4.14) szerint.

#### 4.3.6. Áramszelektív túláramvédelem

A védelem aktív elemei csak túláramrelék, amelyek három vagy két fázisban vannak beépítve. Jellegzetessége a késleltetés nélküli működés. Szelektivitását árambeállításából kapja: olyan nagy árammegszólalásra kell beállítani, hogy csak a saját védett szakaszán fellépő zárlatra szólaljon meg, idegenre ne. Beállítási egyenlete ennek megfelelően:

$$I_{be} \cong \frac{I_{z \max}}{1 + \varepsilon}, \quad (4.15)$$

ahol

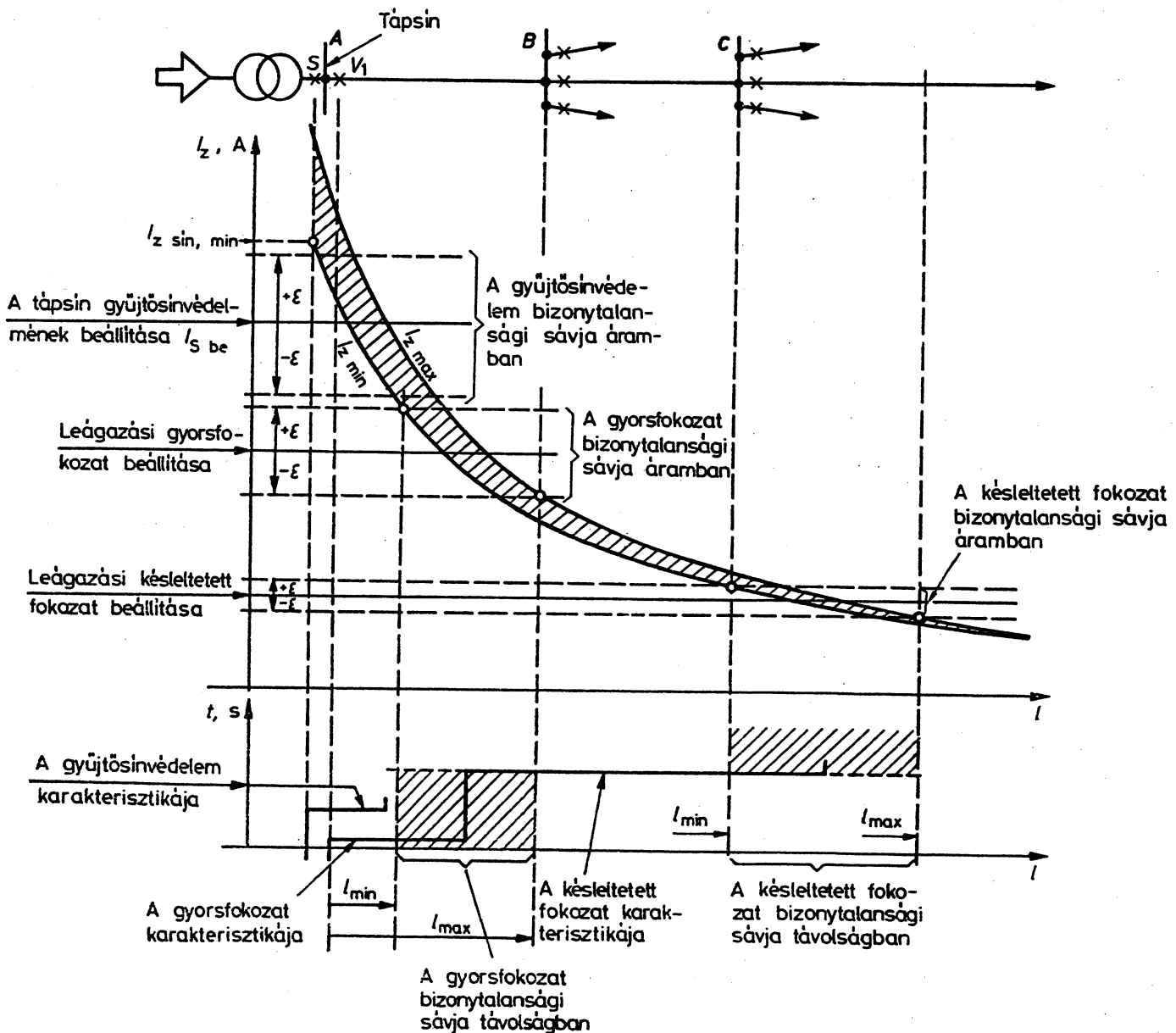
$I_{be}$  az áramszelektív túláramvédelem áramrelének beállítási értéke;  $\varepsilon$  a szokásos biztonsági tényező (min. 0,2);  $I_{z \max}$  a védett szakaszon kívül (a védett szakasz végén) fellépő, de a védelemnél átfolyó zárlati áram lehetséges legnagyobb értéke.

### a) Gyorsfokozat

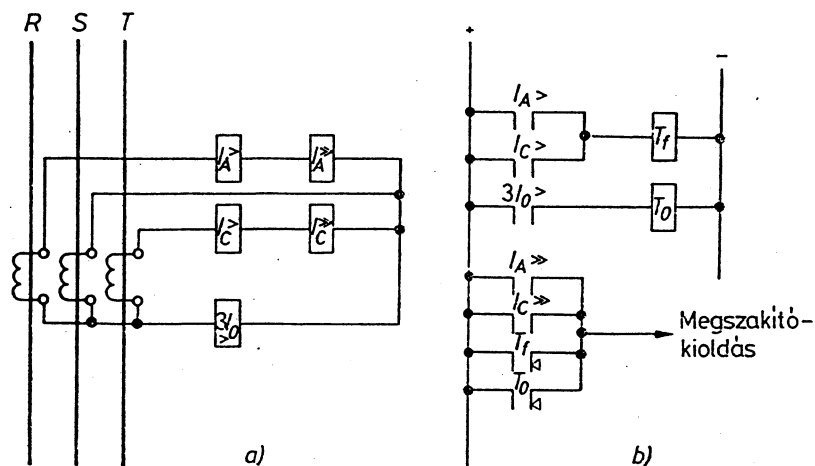
Minden olyan védelem mellé célszerű, amelyik közeli zárlatokat nem kapcsol ki pillanatműködéssel (pl. a 4.9. ábrán látható védelmi rendszer), de sikerrel alkalmazható pillanatműködést adó védelmek mellé is, mint tartalékvédelem, ha az alapvédelem bonyolult, meghibásodásra hajlamos vagy holtávja van (pl. irányított túláramvédelem, távolsági védelem).

A gyorsfokozat tipikus alkalmazása látható a 4.10. ábrán. A  $V_1$  védelem mellé beépített gyorsfokozatot a  $B$  gyűjtősínen fellépő  $I_{B \max}$  maximális zárlati áramtól kell elhangolni, ezt kell a (4.15) egyenletbe behelyettesíteni. A védelem elvi szórása ( $I_{z \max}$  és  $I_{z \min}$  különbözősége miatt) és tényleges szórása ( $\pm \varepsilon$  miatt) együttes hatását, az ezáltal létrejövő működési bizonytalansági sávot jól követhetjük az ábrán mind a független késleltetésű védelemre, mind a gyorsfokozatra vonatkozóan. E két védelmet általában egybe szokás építeni, ez az ún. kétlépcsős túláramvédelem, amelynek kapcsolása példaként a 4.11. ábrán látható. A védelmet szokásosan önálló és független késleltetésű földrövidzárlati (zérus sorrendű) túláramvédelemmel is kiegészítik.

A kétlépcsős túláramvédelem előnyösen használható differenciálvédelemmel el nem látott transzformátorok alapvédelmére is.



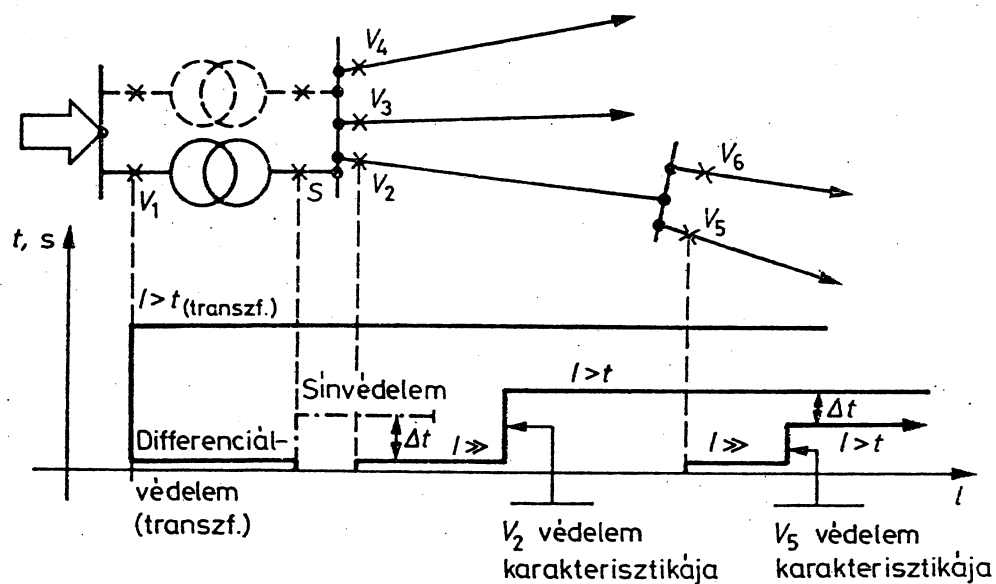
4.10. ábra. Kétlépcsős túláramvédelem ( $V_1$ ) és tápsín-gyűjtősivédelem (S) beállítása és hatótávolsága



4.11. ábra. Kétfázisú, kétlépcsős túláramvédelem önálló földzárlatvédelemmel  
 a) áramváltókörök; b) egyenáramú séma

### b) Tápsín gyűjtősínvédelme

Sugaras hálózat gyors működésű gyűjtősínvédelmére alkalmazható az áramszelektív túláramvédelem, de alkalmazása speciális. A feltételeket a 4.12. ábra szemlélteti.



4.12. ábra. Tápsín gyűjtősínvédelmének beillesztése

Az  $S$  jelű gyűjtősínvédelemnek a leágazásokhoz viszonyítva szelektív működését két feltétel egyidejű teljesítésével kell biztosítani:

- A leágazási  $V_2$  (ill.  $V_3, V_4$  stb.) védelmek gyorsfokozatától egy szelektív időlépcső késleltetéssel elhangolni, és
- a leágazási  $V_2$  (ill.  $V_3, V_4$  stb.) védelmek késleltetett fokozatától megfelelően nagy árambeállítással elhangolni. Ez utóbbi beállítási egyenlete:

$$(1 - \varepsilon)I_{S\text{ be}} \cong (1 + \varepsilon)I_{\text{gy be max}},$$

azaz

$$I_{S\text{ be}} \cong \frac{1 + \varepsilon}{1 - \varepsilon} I_{\text{gy be max}}, \tag{4.16}$$

ahol  $I_{S\text{ be}}$  a gyűjtősínvédelem áramreléinek beállítási értéke;  $\varepsilon$  a szokásos biztonsági tényező;  $I_{\text{gy be max}}$  a gyűjtősínre csatlakozó leágazások gyorsfokozatai közül a legnagyobb beállítású. A gyűjtősínvédelem csak akkor működik minden gyűjtősínzárlatra, ha a gyűjtősínen fellépő minimális zárlati áramra ( $I_{z\text{ min}}$ ) is biztosan megszólal, azaz

$$I_{S\text{ be}} \cong \frac{I_{z\text{ min}}}{1 + \varepsilon} \quad (4.17)$$

A (4.16) és a (4.17) egyenlet egyesítve:

$$\frac{1 + \varepsilon}{1 - \varepsilon} I_{\text{gy be max}} \cong I_{S\text{ be}} \cong \frac{I_{z\text{ min}}}{1 + \varepsilon} \quad (4.18)$$

A gyűjtősínvédelem beilleszkedését a védelmi rendszerbe a 4.12. ábrán, a védelmek hatótávolságait és bizonytalansági sávjait a 4.10. ábrán követhetjük.

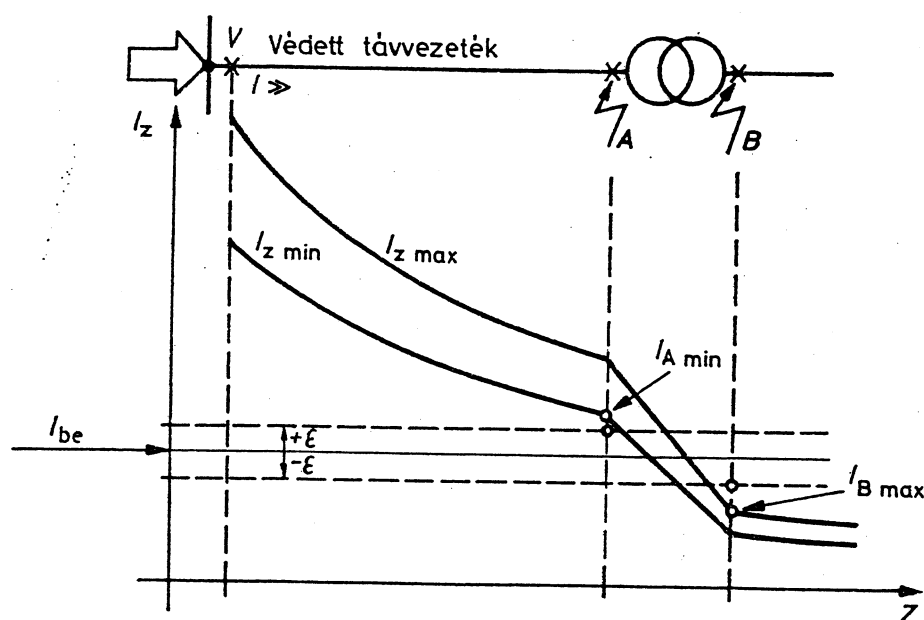
Ha a gyűjtősínre nem csak egy elem táplál be zárlati áramot, a párhuzamos betáplálás lehetősége miatt a (4.18) egyenlet bal oldalát a minimális betáplálási állapotra érvényes árameloszlási tényezővel kell beszorozni, míg a jobb oldalt a maximális számú betáplálógység esetén számolható tényezővel. A tényező:

$$k = \frac{\text{a védelem helyén folyó zárlati áram}}{\text{az összes betápláláson átfolyó zárlati áram}} \quad (4.19)$$

Ha pl. a minimális betáplálási állapot csak a kérdéses (számolt) elem betáplálása, akkor  $k = 1$ . Ha a maximális állapot három azonos, párhuzamosan járó elem (pl. transzformátor), akkor  $k = 1/3$ .

### c) Alapvédelem koncentrált impedanciával lezárt védelmi szakasz számára

Ha egy hálózati elemhez sorba kötve koncentrált impedancia kapcsolódik, az áramszelektív túláramvédelem alkalmazható az elem gyors működésű alapvédelmeként úgy, hogy hatótávolságát a koncentrált impedanciában megállítják, azaz a védelem „nem lát át” a koncentrált impedancián.



4.13. ábra. Pillanatműködésű távvezeték-védelem

A védelem alkalmazása és beállítása a 4.13. ábrán vizsgálható. A távvezeték  $V$  helyén alkalmazzák az áramszelektív védelmet, a transzformátor a lezáró impedancia. A  $V$  védelem beállítási egyenlete

$$\frac{I_{B \max}}{1 - \varepsilon} \cong I_{be} \cong \frac{I_{A \min}}{1 + \varepsilon}, \quad (4.20)$$

ahol  $I_{B \max}$  a transzformátoron túl fellépő zárlat maximális, és  $I_{A \min}$  a transzformátor előtt, a védett vezeték végén fellépő zárlat minimális áramértéke. A védelem beállítható, ha

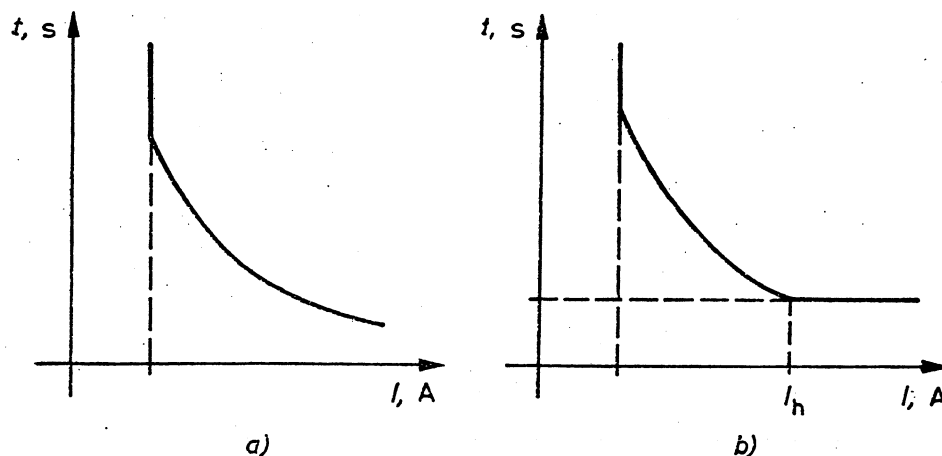
$$\frac{I_{A \min}}{I_{B \max}} \cong \frac{1 + \varepsilon}{1 - \varepsilon}. \quad (4.21)$$

Ez adja a védelem alkalmazási határát. A védelem beállításánál fogva szelektív, tehát késleltetni nem kell.

#### 4.3.7. Áramtól függő késleltetésű túláramvédelem

Ennek a védelemtípusnak két jellegzetes változata van: áramtól korlátlanul függő (4.14a ábra) és áramtól korlátoltan függő védelem (b ábra). Utóbbi egy meghatározott áramérték felett függetlenül késleltetetté válik. Ezenkívül függő, nagyon függő, extra módon függő karakterisztika is létezik aszerint, hogy a hiperbola jellegű görbe áramfüggése lineáris, kvadrátikus vagy még magasabb hatvány szerinti.

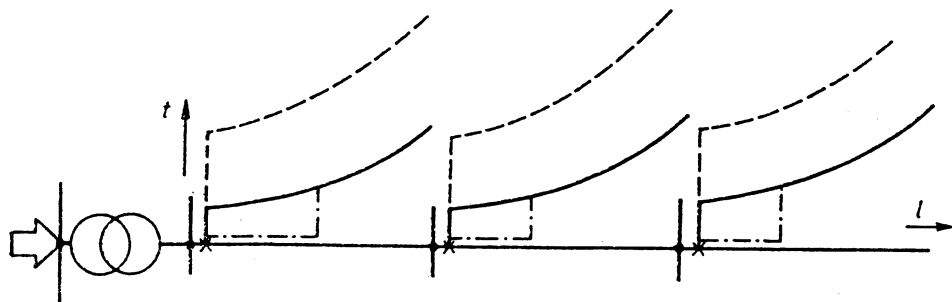
A bemutatott  $t = f(I)$  karakterisztikák és a védett elemre megállapított  $I_z = f(I)$  karakterisztika (pl. a 4.8. ábrán) segítségével kiszervezhető a  $t = f(I)$  karakterisztika [53].



4.14. ábra. Áramtól függő késleltetésű túláramvédelem  
 a) korlátlanul függő; b) korlátoltan függő

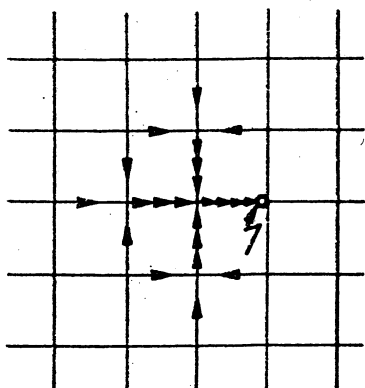
A 4.15. ábrán tipikus  $t = f(I)$  karakterisztikák láthatók.

A görbék alapján megállapítható a védelem típus alkalmazási területe is: a karakterisztikák emelkedése miatt az egymás után kapcsolt, de különböző, egyre csökkenő beállítású védelmek szelektívek egymáshoz, tehát sugaras hálózatok alapvédelmére alkalmazhatók lennének. A viszonylag nagy késleltetések miatt azonban csak tartalékvédelemként célszerű használni. Másik használati területe a motorvédelem túlterhelés ellen. Zárlat ellen ekkor gyorsfokozattal kiegészítik. Végül jól használható a védelem hurkolt hálózatok egyszerű, közeli tartalékvédelmeként. A 4.16. ábrán követhető, hogy azonos értékre beállított védelmek esetén mindig a zárlathoz legközelebb levőben folyik a legnagyobb zárlati áram, így az old ki



4.15. ábra. Sugaras hálózaton alkalmazott, áramtól függő karakterisztikájú túláramvédelmek  $t = f(I)$  karakterisztikái

- maximális üzemállapot;
- - - - - minimális üzemállapot;
- · · · · gyorsfokozati kiegészítés



4.16. ábra. Hurkolt hálózaton alkalmazott védelem  
○ kikapcsolt megszakító

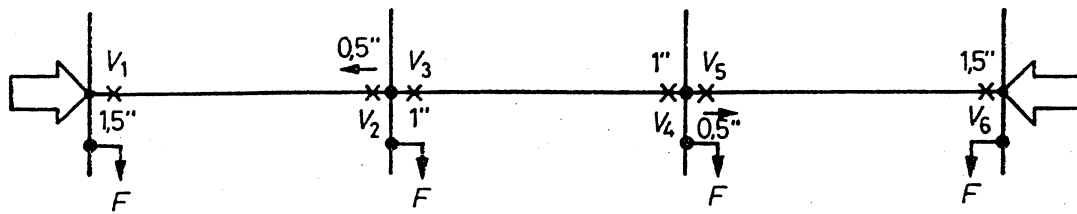
leghamarabb. Hatásosan földelt csillagpontú hálózat esetén a védelem célszerűen zérus sorrendű áramra kapcsolt, ezáltal egyrészt biztosított a 4.16. ábra szerinti, minden csomópontban szükséges betáplálás, hiszen FN zárlatra a fogyasztói transzformátorok is beadnak zárlati áramot, másrészt szimmetrikus terhelésre a védelem érzéketlen, és így vele túlterhelés-érzéketlen, mégis kis zárlati áramra is működő, egyszerű tartalékvédelmi rendszer alakítható ki.

#### 4.3.8. Irányított túláramvédelem

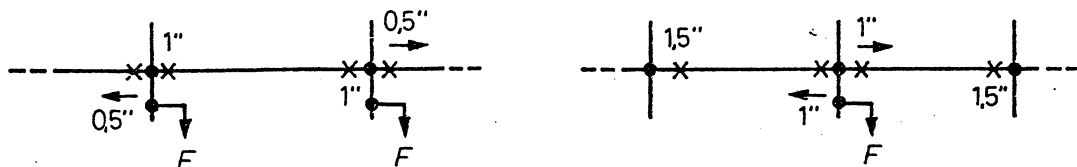
A védelem túláramrelékből, teljesítmény-irányrelékből és időreléből (esetleg segédreléből) áll. Megvalósítják három- és kétfázisú kivitelben, de zérus sorrendű mennyiségekkel táplálva, földzárlatvédelem céljaira egyfázisú kivitel is létezik.

Az irányított túláramvédelem fő alkalmazási területei a következők: két oldalról táplált, íves hálózat védelme; egy pontról táplált körhálózat védelme; egyszerű hurkolt hálózat védelme; hurkolt hálózat tartalékvédelme; kis erőmű csatlakozásának védelme.

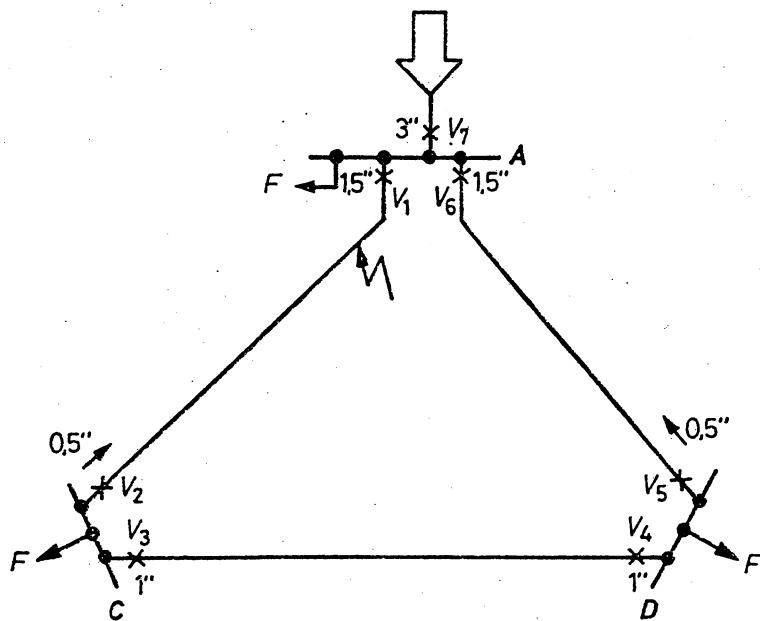
A védelem működését részletesen a két oldalról táplált íves hálózatra mutatjuk be. A működés, valamint a késleltetési és irányítási logika a 4.17. ábrán jól látható. A védelmi rendszer felépítésének logikája úgy követhető, ha először csak A oldalról táplálva építik fel a  $V_5-V_3-V_1$  védelmi rendszert,  $\Delta t = 0,5''$ -es lépcsőkkel, majd csak B felől táplálva a  $V_2-V_4-V_6$  rendszert. Elvileg az első rendszerhez jobbra, a másikhoz balra mutató teljesítmény-irányreléket kellene védelmenként hozzárendelni. Ha azonban a védelmek késleltetése már önmagában elegendően nagy a szelektivitáshoz, akkor az irányrelék elhagyhatók. Ez követhető a 4.18 ábrán: ha a kétirányú lépcsőzés azonos késleltetésű védelmei távvezetéken találkoznak, akkor azokat már nem kell irányítani, ha viszont egy gyűjtősin két oldalán, akkor még kell. A rendszer szelektív működését felvett zárlatokkal lehet igazolni.



4.17. ábra. Két oldalról táplált íves vezeték védelme irányított túláramvédelemmel  $F$  fogyasztók



4.18. ábra. Irányrelé alkalmazásának szükségessége  $F$  fogyasztók



4.19. ábra. Egy pontról táplált körvezeték védelme irányított túláramvédelemmel  $F$  fogyasztók.

Az egy pontról táplált körhálózat védelme a 4.17. ábra  $A$  és  $B$  táppontjának közösítésével állítható elő (4.19. ábra). A védelmi rendszer helyes működését azonban itt a *kaszád háritás* veszélyezteti. Ha zárlatot tételünk fel a  $V_1$  védelem közvetlen közelében, akkor arra  $V_1$ -en keresztül nagy zárlati áram folyik, de a másik oldal felől kb. zérus. A  $V_1$  védelem működése után a megszakító kikapcsol, csak ekkor indul meg jelentős zárlati áram a másik oldalról. Így a *zárlatháritási idők összeadódnak*:  $t_{V1} + t_{V2} + 2t_{msz}$  lesz a teljes idő, ahol  $t_{V1}$  és  $t_{V2}$  a két védelem késleltetési ideje,  $t_{msz}$  pedig a megszakító önideje. Az elhúzódó zárlatháritás mellett a *másik következmény* az, hogy az  $A$  gyűjtősínnél levő  $V_1$ , *tartalék védelmet* nem lehet  $t_{V1} + \Delta t = 2''$ -re, hanem *nagyobbra*, kb.  $3''$ -re *kell késleltetni* a szelektivitás biztosítása céljából ( $2t_{msz}$  is!).

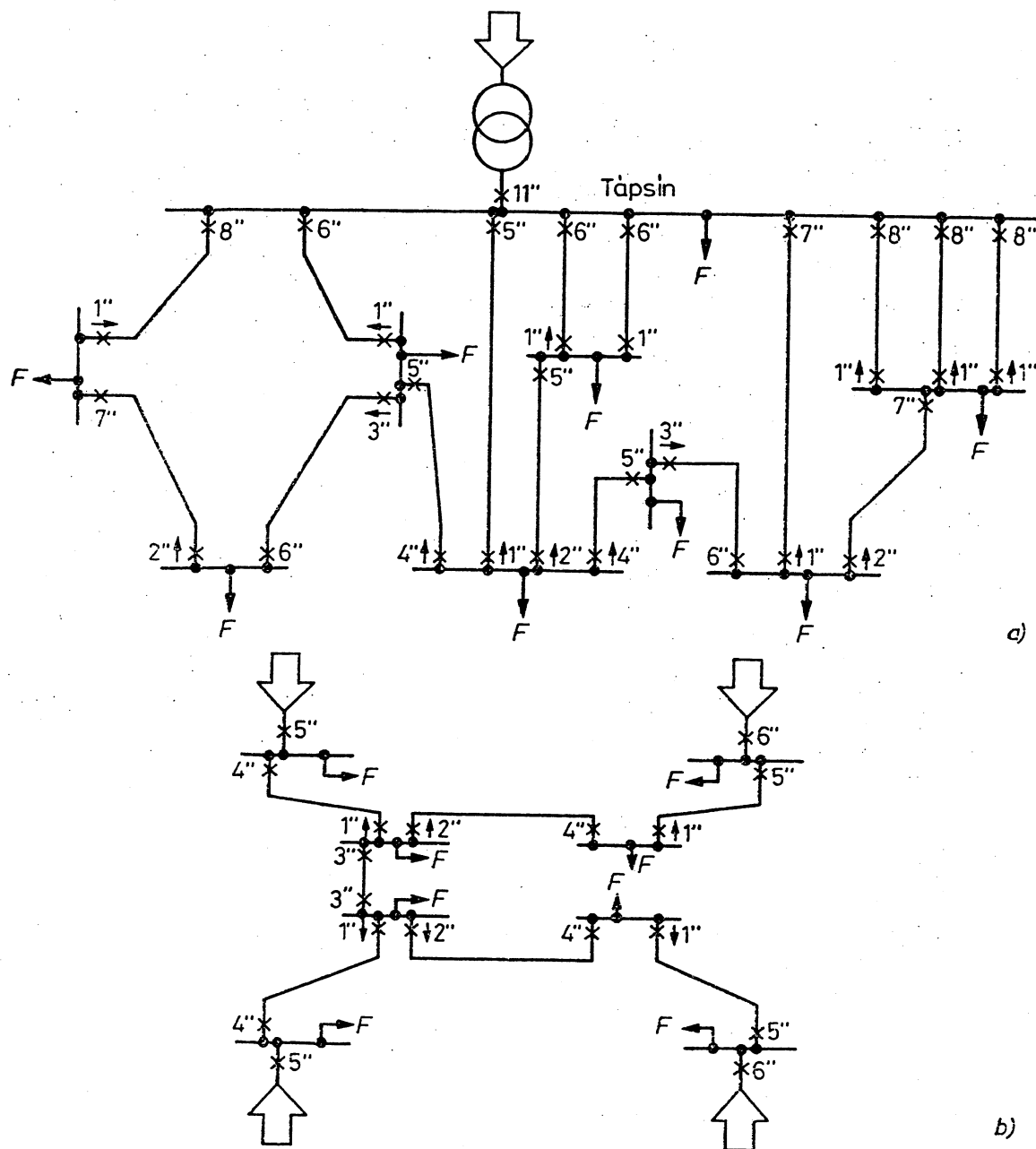


Ha a zárlat helye gondolatban  $C$  felé közeledik, előáll az a helyzet, hogy  $V_2$  és  $V_4$  (és  $V_6$ ) védelem nemcsak  $V_1$  kikapcsolása után, hanem a zárlat fellépésekor már indul. Előállhat azonban – és ez a *harmadik következmény* – hogy  $V_4$  már indul,  $V_2$  még nem, és ez  $C$  fogyasztóinak felesleges kiesését okozza. Ennek elkerülésére  $V_2$  és  $V_4$  védelem között az *időlépcsőzés mellett áramlépcsőzést is kell alkalmazni*:

$$I_{be V_4}(1 - \varepsilon) \cong I_{be V_2}(1 + \varepsilon), \quad \text{tehát} \quad \frac{I_{be V_4}}{I_{be V_2}} \cong \frac{1 + \varepsilon}{1 - \varepsilon}. \quad (4.22)$$

Ha  $\varepsilon = 0,2$ , az áramlépcsőzés viszonzyszáma minimálisan 1,5.

Ha a  $CD$  szakaszon fellépő zárlatnál is előállhat  $V_4$  és  $V_6$  között kaszkád működés, a (4.22) áramlépcsőzését  $V_4$  és  $V_6$  árambeállítása között is alkalmazni kell. Egyébként elegendő, ha  $I_{be V_6} > I_{be V_4}$ .



4.20. ábra. Egyszerű, hurkolt hálózatok védelme irányított túláramvédelemmel  $F$  fogyasztók

A két oldalról táplált íves és az egy pontról táplált körhálózat kombinációjából adódó ún. egyszerű hurkolt hálózat is védhető irányított túláramvédelemmel. Ennek feltételei: vagy egy táppontú a hálózat, és minden hálózati hurok egyik pontja az egyetlen tápsín legyen, vagy több táppontú a hálózat, és nincs hálózati hurok. Mindkettőre látható példa és védelmi koordinációs rendszerterv a 4.20. ábrán. Az egyszerűség kedvéért mindenütt  $\Delta t = 1$  s.

Minden eddig bemutatott hálózaton az összes védelmet *el kell látni* a 4.3.6. szakasz a) pontja szerint az áramszelektív védelem elvén alapuló *gyorsfokozattal*, ha a beállítási feltételek azt lehetővé teszik.

Irányított, több időfokozatú (többlépcsős) túláramvédelem hurkolt hálózat tartalékvédelemként is alkalmazható. Túlterhelési érzéketlenség itt úgy érhető el, hogy a védelmet egyfázisúan, zérus sorrendű mennyiségek ( $U_0, I_0$ ) táplálják. Így még alapvédelemként is alkalmazható FN zárlatok megfogására.

#### 4.4. A zárlati áramhurok impedanciája

Zárlat felléptekor az áram megnő, a feszültség letörik, így a védelem által érzékelt impedancia erősen lecsökken. Az impedanciaérzékelésű védelmek ennek alapján működnek.

A szimmetrikus összetevőket érzékelő impedanciarelék elvileg helytelenül mérnek, ezért alkalmazásuk nem lehetséges. Könnyen bebizonyítható, hogy pl. pozitív sorrendű feszültség és áram hányadosa 3F zárlat esetén ugyan a védelem és a zárlat közötti pozitív sorrendű impedanciát érzékeli, de az összes többi, aszimmetrikus zárlat esetén ehhez még hozzáadódik a  $h_1$  és  $n_1$  pont közé beiktató negatív (és esetleg zérus) sorrendű hálózat eredő impedanciája, a védelem tehát azt is beleméri. Negatív vagy zérus sorrendű feszültséggel és árammal való impedanciaérzékelés esetén pedig nem a védelem és a zárlat közötti, hanem a védelem és a generátorok közötti, azaz a mögöttes negatív, ill. zérus sorrendű impedanciát mérik a védelmek.

##### 4.1. táblázat

A zárlati impedancia érzékelési rendszerei

A kapcsolás jele	Impedanciarelékre kötve		Skálázási (érzékelési) egyenlet (pl.)
	feszültségoldalon	áramoldalon	
V1	$U_v$ (pl. $U_{CB}$ )	$I_t$ (pl. $I_C$ )	$Z_\epsilon = \frac{U_{CB}}{2I_C}$
F1	$U_t$ (pl. $U_A$ )	$I_t$ (pl. $I_A$ )	$Z_\epsilon = \frac{U_A}{2I_A}$
V2	$U_v$ (pl. $U_{CB}$ )	két fázisáram különbsége (pl. $I_C - I_B$ )	$Z_\epsilon = \frac{U_{CB}}{I_C - I_B}$
F2	$U_t$ (pl. $U_A$ )	a fázisáram és a zérus sorrendű áram súlyozott összege (pl. $I_A + \alpha \cdot 3I_0$ )	$Z_\epsilon = \frac{U_A}{I_A + \alpha \cdot 3I_0}$ , ahol $\alpha = \frac{Z_{V0}/Z_{V1} - 1}{3}$

A háromfázisú rendszer feszültségei és áramai különböző variációkban köthetők az impedanciarelékre. A gyakorlatban csak négy rendszer terjedt el, amelyek a 4.1. táblázatban láthatók. A táblázatban használt jelölések értelmezése:  $Z_{v0}$  és  $Z_{v1}$  a védett elem, pl. távvezeték adatai,  $U_v, U_f, I_f, U_{CB}, U_A, I_A, I_B, I_C$  a védelemnél zárlatkor fellépő feszültségek és áramok,  $I_1, I_2$  és  $I_0$  a védelemnél folyó zárlati áram szimmetrikus összetevői,  $Z_\epsilon$  a védelem által érzékelt impedancia,  $Z_1$  a védelem és a zárlat helye közötti pozitív sorrendű impedancia.

A 4.1. táblázat szerinti valamennyi érzékelési mód esetében három–három relét kell ciklikusan cserélt fázisokra bekötni. Bizonyítható a szimmetrikus összetevők segítségével ([53]), hogy különböző zárlatok esetén az így bekötött impedanciarelék a 4.2. táblázatban levő impedanciákat érzékeli (a hibahelyi ellenállást elhanyagolva).

#### 4.2. táblázat

##### Az érzékelt impedancia

A kapcsolás jele	Skálázási (érzékelési) egyenlet	Az érzékelt impedancia		
		3F	2F	FN
		zárlatot feltételezve		
V1	$Z_\epsilon = \frac{U_{CB}}{I_C}$	$\frac{\sqrt{3}}{2} Z_1$	$\approx Z_1$	NEM JÓ
F1	$Z_\epsilon = \frac{U_A}{2I_A}$	$\frac{1}{2} Z_1$	NEM JÓ*	$Z_1 x$ ahol $x = \frac{I_1 + I_2 + I_0(Z_0/Z_1)}{2(I_1 + I_2 + I_0)}$ egyoldali táplálásnál: $x = \frac{2 + Z_0/Z_1}{6}$
V2	$Z_\epsilon = \frac{U_{CB}}{I_C - I_B}$	$Z_1$	$Z_1$	NEM JÓ
F2	$Z_\epsilon = \frac{U_A}{I_A + \alpha 3I_0}$	$Z_1$	NEM JÓ	$Z_1$

\* Közelítéssel az érzékelt impedancia ([53]):  $Z_\epsilon \approx 0,577 |Z_1| e^{j(\theta_1 + 30^\circ)} + 0,288 |Z_{m2}| e^{j(\theta_{m2} + 90^\circ)}$ , ahol 1 index a védett elem pozitív sorrendű impedanciáját,  $m_2$  index pedig a mögöttes negatív sorrendű impedanciát jelöli.

A 4.2. táblázat alapján megállapítható e védelmek viszonylagos hatótávolsága. Definíciója:

$$L = \frac{Z_\epsilon}{Z_1},$$

ami azt mutatja, hogy a  $Z_1$  impedanciára beállított védelem a beállított érték hányszorosáig szólal meg. Ha  $L = 1$ , a  $Z_1$ -re beállított védelem éppen  $Z_1$  impedanciáig érzékeli, tehát a védelem a felszerelési helye és a zárlat közötti pozitív sorrendű impedanciát érzékeli. A viszonylagos hatótávolságok a különböző érzékelési rendszerek esetére a 4.3. táblázatban láthatók.

A 4.3. táblázat megmutatja, hogy pontos impedanciaérzékelésre a V2–F2 rendszer jó ügy, hogy földérintés nélküli zárlatok esetén a V2, földérintéses zárlatok esetén pedig az F2 érzékelést alkalmazzák. Így a viszonylagos hatótávolság mindig 1, azaz a védelem a különböző fajta zárlatokat azonos távolságban fellépőnek érzékeli, a beállított impedancia minden zárlatra ugyanott jelenti a védelem érzékelési határát, azaz a hatótávolságát. Ugyanakkor az is igaz, hogy a V1 és F1 szerinti érzékelés egyszerűbb, mert áramoldalon nem kíván keverést,

4.3. táblázat

Viszonylagos hatótávolság

A kapcsolás-jele	Skálázási (érzékelési) egyenlet	$\alpha$ viszonylagos hatótávolság		
		3F	2F	FN
		zárlatot feltételezve		
V1	$Z_\epsilon = \frac{U_{CB}}{2I_C}$	$\frac{2}{\sqrt{3}}$	$\approx 1$	—
F1	$Z_\epsilon = \frac{U_A}{2I_A}$	2	*	$\left  \frac{2(I_1 + I_2 + I_0)}{I_1 + I_2 + I_0 (Z_0/Z_1)} \right $ , egyoldali táplálásnál $\left  \frac{6}{2 + Z_0/Z_1} \right $
V2	$Z_\epsilon = \frac{U_{CB}}{I_C - I_B}$	1	1	—
F2	$Z_\epsilon = \frac{U_A}{I_A + \alpha 3I_0}$	1	—	1

\* Közelítőleg:  $L_{2F} \approx \left| \frac{1}{0,577 + 0,288 \left| \frac{Z_{m2}}{Z_1} \right| e^{j(\theta_{m2} + 60^\circ - \theta_1)}} \right|$

ezért egyszerű esetben a V1 – F1 rendszert alkalmazzák, pl. egylépcsős impedanciavédelmeknél (l. a 4.5. alfejezetet), a pontos, de bonyolultabb V2 – F2 rendszert pedig a távolsági védelem mérőelemeként használják (l. a 4.6. alfejezetet).

### 4.5. Egylépcsős impedanciavédelem

Túláramvédelmek beállítási nehézségei, ütközései esetén az egylépcsős impedanciavédelmeket alkalmazzák.

Az egylépcsős impedanciavédelem három kivitele ismert:

a) hatásosan nem földelt csillagpontú hálózatra alkalmas védelem, érzékelése a 4.4. alfejezet V1 kapcsolása szerint. A védelem vázлата a 4.21. ábrán látható. A védelem csak 3F és 2F zárlatokat tud megbízhatóan érzékelni. A viszonylagos hatótávolság 2F zárlatnál 1, 3F zárlatnál viszont  $2/\sqrt{3} = 1,15$ , ezért a védelem beállítását — a 4.22. ábra szerint — a következő egyenletekből kell meghatározni. Ha a védelemnek  $Z_x$  távolságig mindenképpen el kell érni, akkor

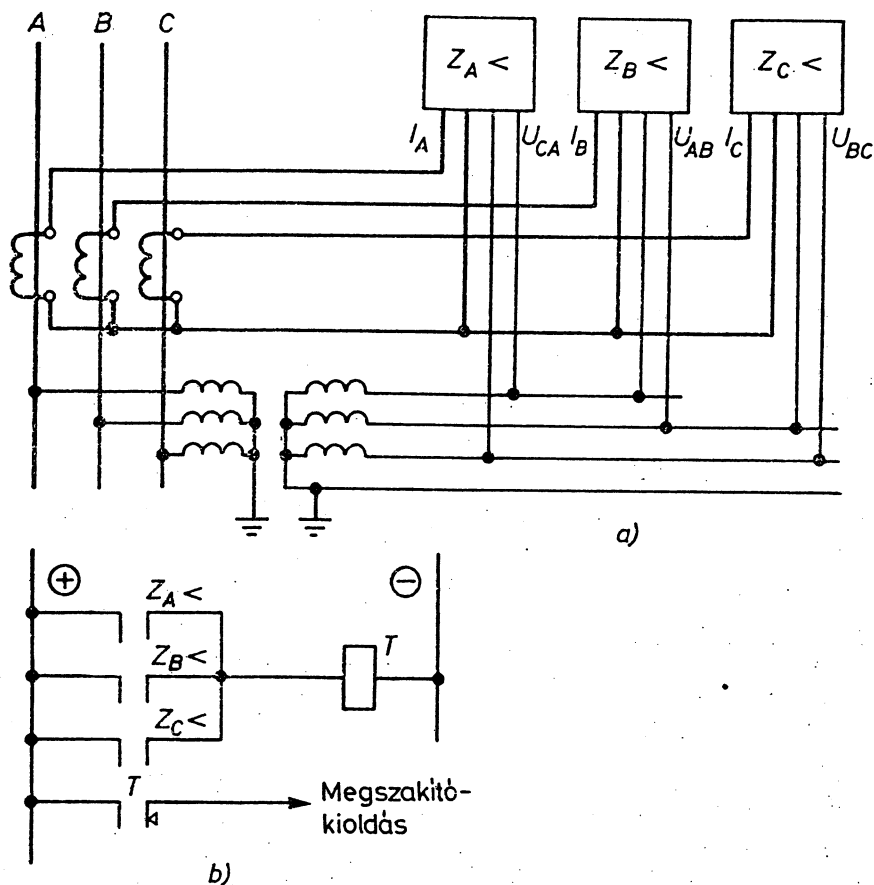
$$(1 - \epsilon)Z_{be}L_{2F} \cong Z_x,$$

és ha  $Z_y$ -on biztosan nem szabad túlélni, akkor

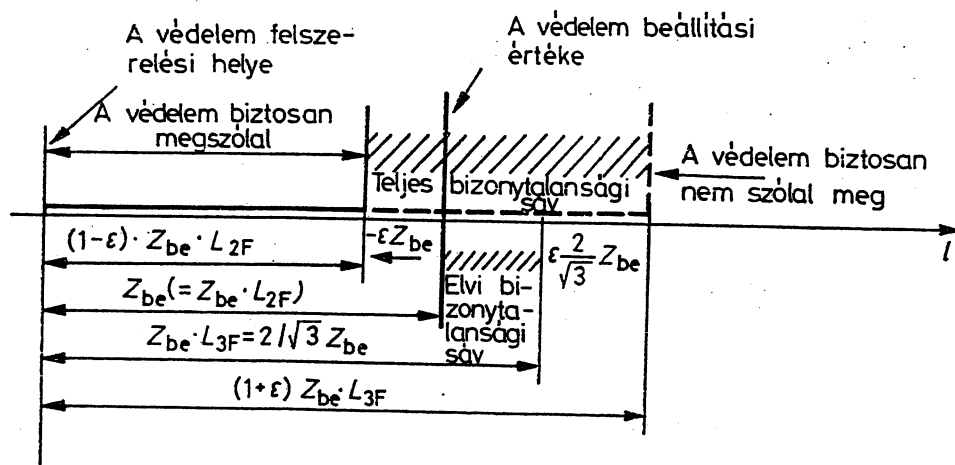
$$(1 + \epsilon)Z_{be}L_{3F} \cong Z_y.$$

A két egyenlet együtt adja a beállítási feltételeket:

$$\frac{Z_x}{1 - \epsilon} \cong Z_{be} \cong \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{Z_y}{1 + \epsilon}. \tag{4.23}$$



4.21. ábra. Egylépcsős impedanciavédelem hatásosan nem földelt csillagpontú hálózatra  
 a) váltakozó áramú körök; b) egyenáramú körök



4.22. ábra. A 4.21. ábra impedanciavédelmének hatótávolsága és beállítási feltételei

A védelmet el kell hangolni az üzemi terheléstől is. Mivel a védelem  $U_v/2I_f$  szerint érzékel, így:

$$Z_{ü \min} = \frac{U_v}{2I_{ü \min}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{U_v^2}{S_{ü \max}}$$

A védelmet úgy kell beállítani, hogy idegen zárlatra történt megszólalás és a zárlat megszűnése után a jelenlevő terhelés ellenére visszaessen, azaz az impedanciarelé  $k_t$  tartóviszonyát is figyelembe kell venni:

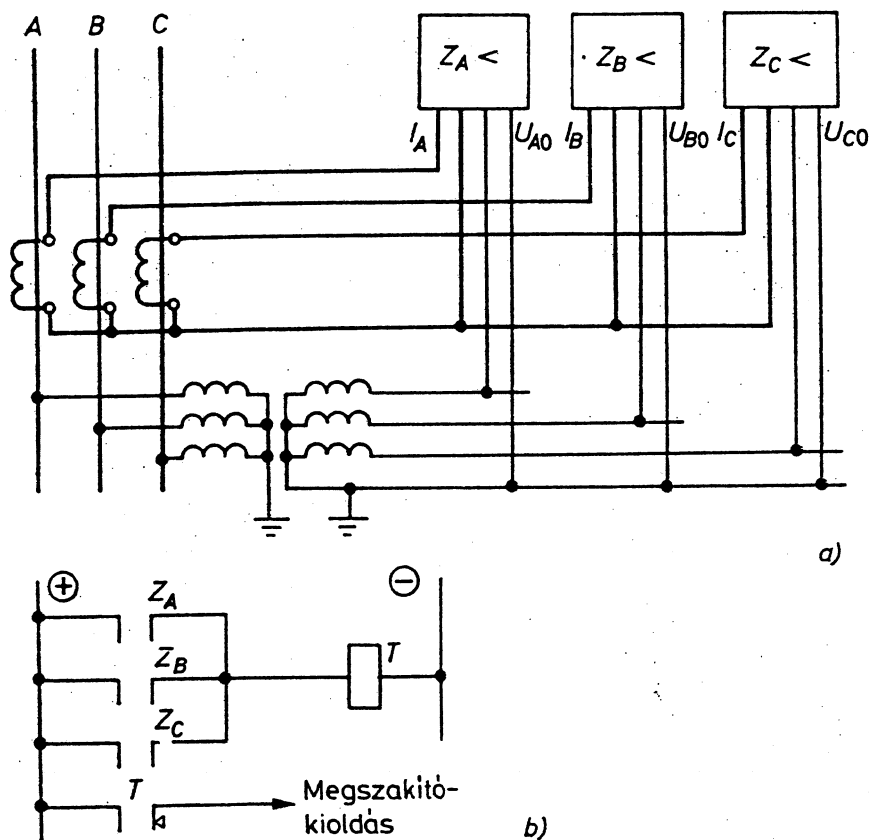
$$(1 + \varepsilon) \frac{Z_{be}}{k_t} \cong Z_{ü \text{ min}},$$

azaz

$$Z_{be} \cong \frac{k_t}{1 + \varepsilon} \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{U_v^2}{S_{ü \text{ max}}}, \quad (4.24)$$

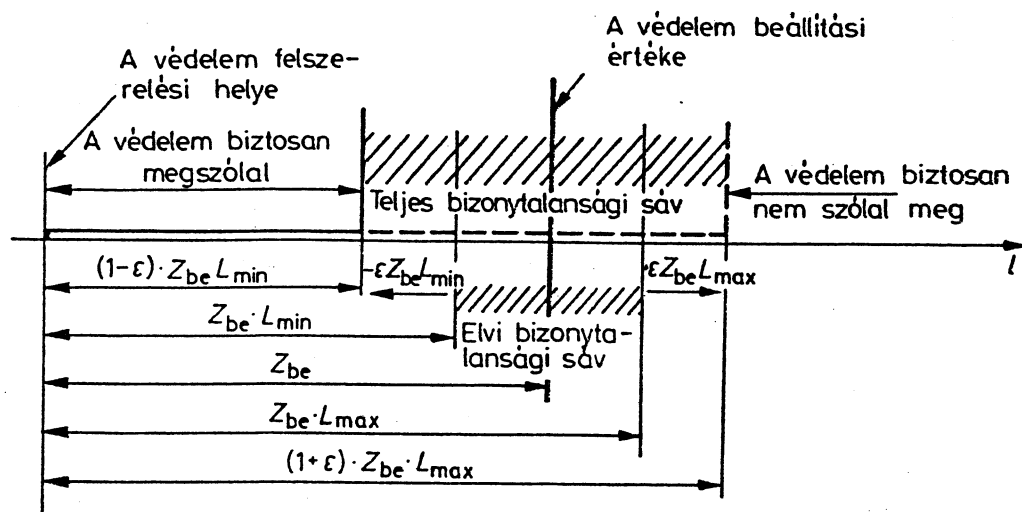
ahol  $Z_{be}$  a reléken beállítandó impedancia;  $S_{ü \text{ max}}$  az üzemzavari eseteket is figyelembe vevő maximális, üzemi teljesítmény;  $U_v$  az üzemszerűen *legkisebb* vonali feszültség;  $\varepsilon$  biztonsági tényező (kb. 0,2);  $k_t$  a relé tartóviszonya (kb. 0,8).

b) egyszerűsített kivitelű, hatásosan földelt csillagpontú hálózatra alkalmas védelem, érzékelése a 4.4. alfejezet F1 kapcsolása szerint. A védelem vázlata a 4.23. ábrán látható.



4.23. ábra. Egyszerűsített kivitelű, egylépcsős impedanciavédelem hatásosan földelt csillagpontú hálózatra  
a) váltakozó áramú körök; b) egyenáramú körök

A védelem viszonylagos hatótávolsága 3F zárlat esetén 2, FN zárlat esetén a 4.3. táblázat szerint változó. 2F zárlat esetén az érzékelés elvileg helytelen, de a 4.3. táblázat után megadott  $L_{2F}$  kifejezés segítségével, szükség esetén, figyelembe lehet venni ezt a zárlatfajtát is. Egyoldali táplálás esetén, ha  $Z_0/Z_1 = 3$ ,  $L_{FN} = 1,2$ . Általános esetben részletes zárlatszámítás alapján a 4.3. táblázat egyenleteivel lehet meghatározni a viszonylagos hatótávolság maximális és minimális értékét. Bebizonyítható ([53]), hogy a gyakorlatban (a végponton elhelyezett, csak zérus sorrendű áram által táplált védelem esetét kivéve) a viszonylagos hatótávolság értéke 1 és 2 között van.



4.24. ábra. Egylépcsős impedanciavédelem általános hatótávolság-ábrája és a beállítás feltételei

A védelem beállítása az előző a) bekezdés és a 4.24. ábra alapján:

$$\frac{1}{L_{\min}} \frac{Z_x}{1-\varepsilon} \cong Z_{be} \cong \frac{1}{L_{\max}} \frac{Z_y}{1+\varepsilon}, \quad (4.25)$$

és az üzemi áramtól való elhangolás, figyelembe véve az  $U_f/2I_f$  érzékelés miatti  $\sqrt{3}$ -as tényezőt:

$$Z_{be} \cong \frac{k_t}{1+\varepsilon} \frac{1}{2} \frac{U_v^2}{S_{ü\max}}. \quad (4.26)$$

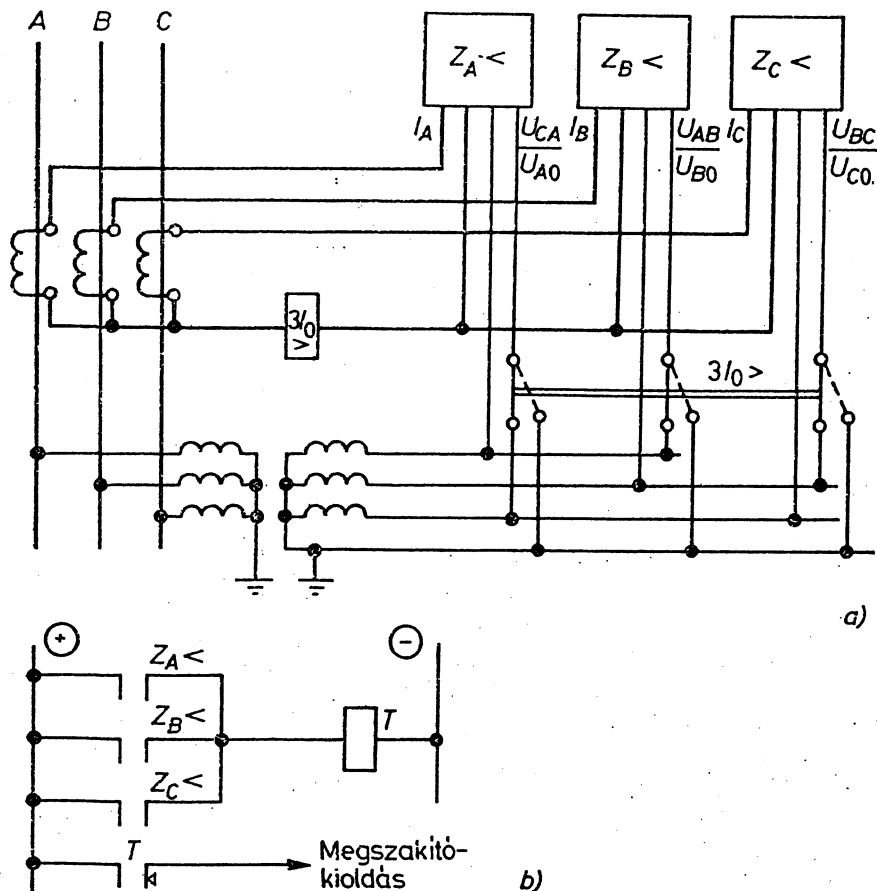
A védelmet általában el kell hangolni FN zárlatkor az ép fázisokban folyó, általában jelentős nagyságú zárlati és üzemi áramoktól, ekkor természetesen a tartóviszonyt nem kell figyelembe venni, mivel megszólalást kell megakadályozni, és nem megszólalt relét visszajejtteni:

$$Z_{be} \cong 0,8 \frac{U_f}{2I_{épf\max}}. \quad (4.27)$$

A (4.25)–(4.27) egyenletben  $Z_{be}$  a beállítandó impedancia;  $L_{\min}$  és  $L_{\max}$  a védelem viszonyaira vonatkozó minimális és maximális viszonylagos hatótávolság;  $Z_x$  a beállítás minimális feltétele (a védelemnek eddig el kell érnie);  $Z_y$  a beállítás maximális feltétele (a védelemnek ezen nem szabad túlnyúlnia);  $\varepsilon$  biztonsági tényező (kb. 0,2);  $k_t$  ejtőviszony (kb. 0,8);  $U_v$  a legkisebb üzemszerű vonali feszültség;  $U_f$  a legkisebb üzemszerű fázisfeszültség;  $S_{ü\max}$  az üzemi teljesítmény legnagyobb értéke a reális üzemzavari eseteket is figyelembe véve;  $I_{épf\max}$  az FN zárlatkor az ép fázisokban fellépő áram maximális értéke (zárlati+üzemi összetevő).

c) Az átkapcsolásos kivitelű, hatásosan földelt csillagpontú hálózatra alkalmas védelem alaphelyzetben a 4.4. alfejezet VI kapcsolása szerint érzékel, de földérintéses zárlatnál az áramváltók nullakörében érzékelhető zérus sorrendű áram hatására átkapcsolódik az F1 kapcsolásra. A védelem vázlata a 4.25. ábrán látható.

Az átkapcsolós védelmet a 2F és 3F zárlatra (4.23) szerint, az FN zárlatra viszont a (4.25) egyenlet szerint kell beállítani. Az üzemi terheléstől való elhangolást a (4.26) egyenletből  $\sqrt{3}$ -as tényezővel különböző (4.24.) szerint kell elvégezni, mivel alaphelyzetben (üzemi terhelésnél) nincs  $I_0$  áram. Az ép fázisú áramoktól való elhangolást a (4.27) egyenlet szerint kell biztosítani.



4.25. ábra. Átkapcsolásos kivitelű, egylépcsős impedanciavédelem hatásosan földelt csillagpontú hálózatra  
 a) váltakozó áramú körök; b) egyenáramú körök

## 4.6. Távolsági védelem

Hurkolt hálózatok alapvédelmére fejlesztették ki az impedanciamérési elven működő, irányított, többlépcsős védelmet, a távolsági védelmet.

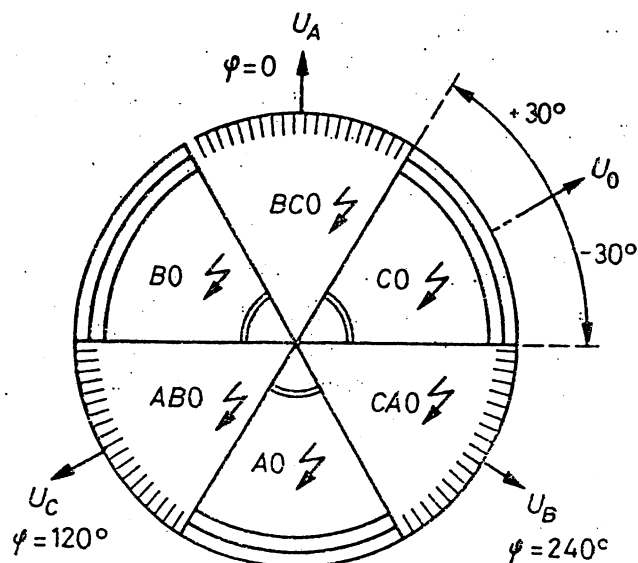
### 4.6.1. A távolsági védelem fő részei

A védelem a következő fő részekből áll: ébresztőelemek (indítóelemek); kiválasztórendszer (egy mérőelemes védelemnél); impedancia-mérőelem; teljesítmény-irányelem; többlépcsős időrelé; parancsadó elem.

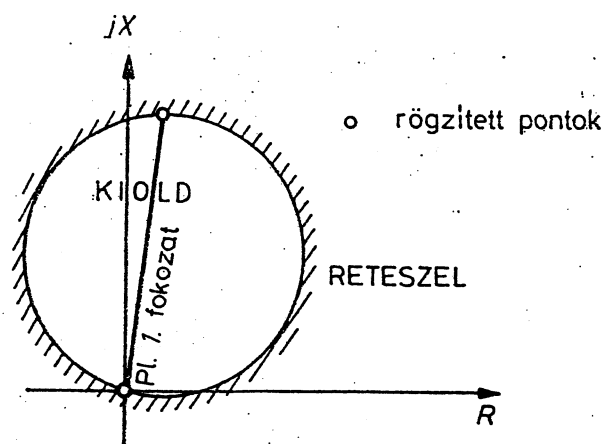
Az *ébresztőelem* feladata az, hogy megkülönböztesse a normális üzemállapotot a zárlattól és ébressze, élesítse a védelem többi részét, indítsa a többlépcsős időrelét, amely átkapcsolja a mérőelem-rendszert a magasabb fokozatokra, kiválassza a zárlatos fázist, és megszabja a védelem távoli tartalékolásának hatótávolságát. Az ébresztőelem beállítása határozza meg, hogy mekkora túlterhelés engedhető meg a védett elemen. Ébresztőelemek lehetnek túláramrelék, impedanciarelék, esetleg speciális: eltolt kör, ellipszis vagy lencse stb. karakterisztikájú impedanciarelék, amelyeket a 4.3., ill. a 4.5. alfejezet szerint kell beállítani.

Középfeszültségű, hurkolt hálózaton általában megfelel a túláram-ébresztőelem, nagyfeszültségű, földelt csillagpontú hálózaton viszont a beállítási nehézségek (ütközések) miatt mindig impedancia-ébresztőelem szükséges és igen gyakran kell speciális, a terhelési tartománytól elhangolt, szűkített karakterisztikájú impedanciareléket alkalmazni (l. a 4.3. ábrát). A speciális relék beállításszámítását a részletes védelemlírások tartalmazzák.





4.26. ábra  
Póka-féle szélrózsa.  
Ha  $U_0$  adott tartományba esik,  
a beírt zárlat lépett fel (l. [56]).  
Referenciafázis:  $A$



4.27. ábra. Mho-karakterisztika

Ha az ébresztőelemek a zárlatos fázist hatásosan földelt csillagpontú hálózaton FN zárlatra még szűkített karakterisztikájú impedanciarelékkal sem tudják helyesen kiválasztani, akkor  $\pm 30^\circ$ -os tartományi fázisszögreléssel lehet — gyakorlatilag hálózati állapottól függetlenül — helyes fáziskiválasztást elérni a 4.26. ábrán látható Póka-féle szélrózsa alapján [56],

amely szerint  $U_0$  (vagy a vele konform  $I_0 = \frac{U_0}{Z_0}$ ) vektornak a fázis-vektorháromszöghöz viszonyított helyzete dönti el, milyen fázisban lépett fel az FN, ill. a 2 FN zárlat. A hibahelyi ellenállások zavaró hatását a  $\pm 30^\circ$ -os megszólalási tartomány feszültségcsökkenésre való automatikus nyitásával lehet közeli zárlatok esetén kiküszöbölni (l. részletesen a 7.2.5. szakaszban).

Az ébresztőelemek azonos fázisú megszólalása mindig feltétele a mérőelem kioldásának, ez ugyanis egyes kritikus esetekben [49] meggátolja a távolsági védelem hibás működését mögöttes zárlatokra.

Az impedancia-mérőelem feladata annak megállapítása, hogy a zárlat a beállított fokozati sávban lépett-e fel, és belső zárlat esetén kioldást adni, a fokozathatáron túli zárlat esetén reteszelni. Mivel a mérőelem ezt a logikai döntést lehetőség szerint pontosan kell, hogy megvalósítsa, olyan impedanciaérzékelést kell választani, amely a fokozathatárt minden zárlatfajta esetén azonosnak veszi, vagyis a viszonylagos hatótávolság mindig 1. Ez a 4.4. alfejezet szerint a V2—F2 érzékelési mód. Így a távolsági védelem jellegzetes lépcsős karakterisztikája, amelyet a mérőelem a többlépcsős időrelével együtt hoz létre (4.28a ábra), minden zárlatfajta azonos fekvésű. A karakterisztikát csak a betáplálási torzítás és a hibahelyi átmeneti ellenállás befolyásolja (l. később).

A zárlatiteljesítmény-irányelem feladata az, hogy a távolsági védelem csak akkor adhasson kioldást, ha a zárlat a védett elemen van, tehát a zárlati teljesítmény a védelemtől a védett elem felé irányul, ellentétes irányban reteszellen. A zárlatiteljesítmény-irány érzékelésének különböző módszerei és problémái a 4.2. alfejezetben találhatók meg részletesen. Megjegyzendő, hogy a mérőelem és az irányelem egybevonva irányított impedanciarelével, az ún. *mho* karakterisztikájú mérőelemmel is megvalósítható (4.27. ábra; l. részletesen az [52]-ben, a 8.4.6. szakaszban, a védelmi extrapolálásnál).

A parancsadó elem feladata egyrészt a mérőrelék erősítése, hogy a megszakítók kioldó-áramát kapcsolni lehessen, másrészt érintkezősokszorozás más feladatok (automatika indítás, jelzésadás, több megszakító együttes kioldása stb.) céljára. Parancsadó elemként régebben gyors segédrelét, újabban a vákumban működő, üvegcsőbe zárt ferromágneses érintkezőket, az ún. *reed reléket* alkalmazzák.

#### 4.6.2. A távolsági védelem fokozatainak beállításszámítása

A távolsági védelem 4.28b ábrán látható fokozatkialakítását a következő logikai szempontok és számítási módszerek szerint kell megvalósítani.

Az első fokozat feladata a védett távvezeték késleltetés nélküli önidővel való zárlatvédelmének megvalósítása minél nagyobb hosszban. Mivel a  $V$  védelem  $Z_{V1}$  első fokozati beállításának  $\varepsilon$  szórása van, — amelynek oka elsősorban a relé pontatlansága, a feszültség- és áramváltók leképezési hibája, az adatismereti bizonytalanság — ezért  $Z_{V1}$  értékének maximális pozitív szórás esetén sem szabad a  $B$  gyűjtősínen túlnyúlni, hogy  $Z$  zárlatkor ne előzze meg a hivatott  $W$  védelem működését, azaz:

$$(1 + \varepsilon)Z_{V1} \cong Z_{AB}.$$

Ebből az első fokozat beállítási egyenlete:

$$Z_{V1} \cong \frac{1}{1 + \varepsilon} Z_{AB}. \quad (4.28)$$

Az  $\varepsilon$  szórás a jelenlegi gyakorlatban 0,15, azaz 15%. Ha a távvezeték impedanciáját létesítés után közvetlenül pontosan megméri,  $\varepsilon$  értéke 10% lehet.

A második fokozat minimumfeltételét az a megfontolás adja, hogy annak biztonsággal védenie kell az első fokozat által nem védett saját távvezeték szakaszt, egészen a  $B$  gyűjtősíniig, azaz még maximális negatív szórás esetén is nagyobbak kell lennie a  $Z_{AB}$  impedanciánál:

$$(1 - \varepsilon)Z_{V2} \cong Z_{AB},$$

azaz a minimumfeltétel

$$Z_{V2} \cong \frac{1}{1 - \varepsilon} Z_{AB}. \quad (4.29)$$

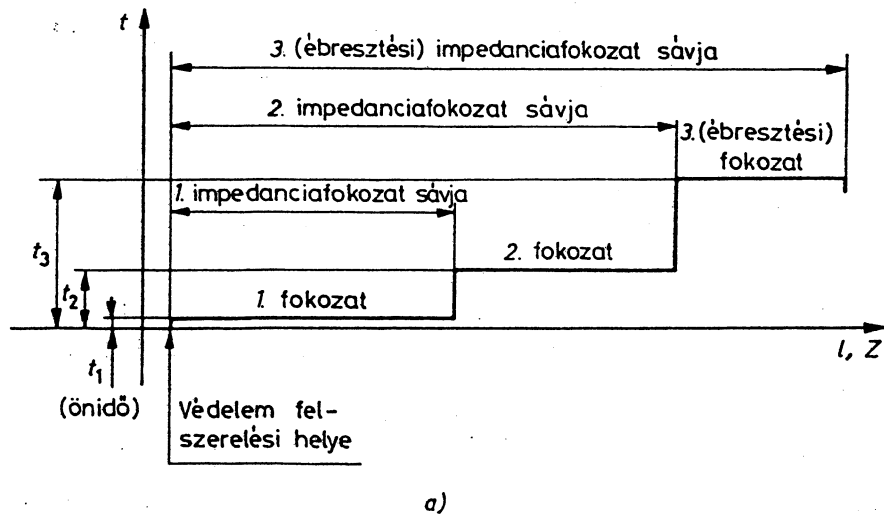
(4.29)-ben  $\varepsilon = 0,15$  esetén az  $1/(1 - \varepsilon)$  értéke 1,18, tehát 18%-os túlmérést jelent. Mivel azonban ebben az esetben a hibahelyi ellenállást is figyelembe kell venni, 30% túlméréssel ( $\varepsilon = 0,23$ ) szokás számolni, azaz  $1/(1 - \varepsilon) = 1,3$ .

A második fokozatnak két maximumfeltétele is van. Az egyik abból adódik, hogy szelektivitási okokból nem szabad ütközni a következő, a  $W$  védelem alapfokozatának végével (második fokozata elejével). Ez szórásokkal matematikai formába öntve:

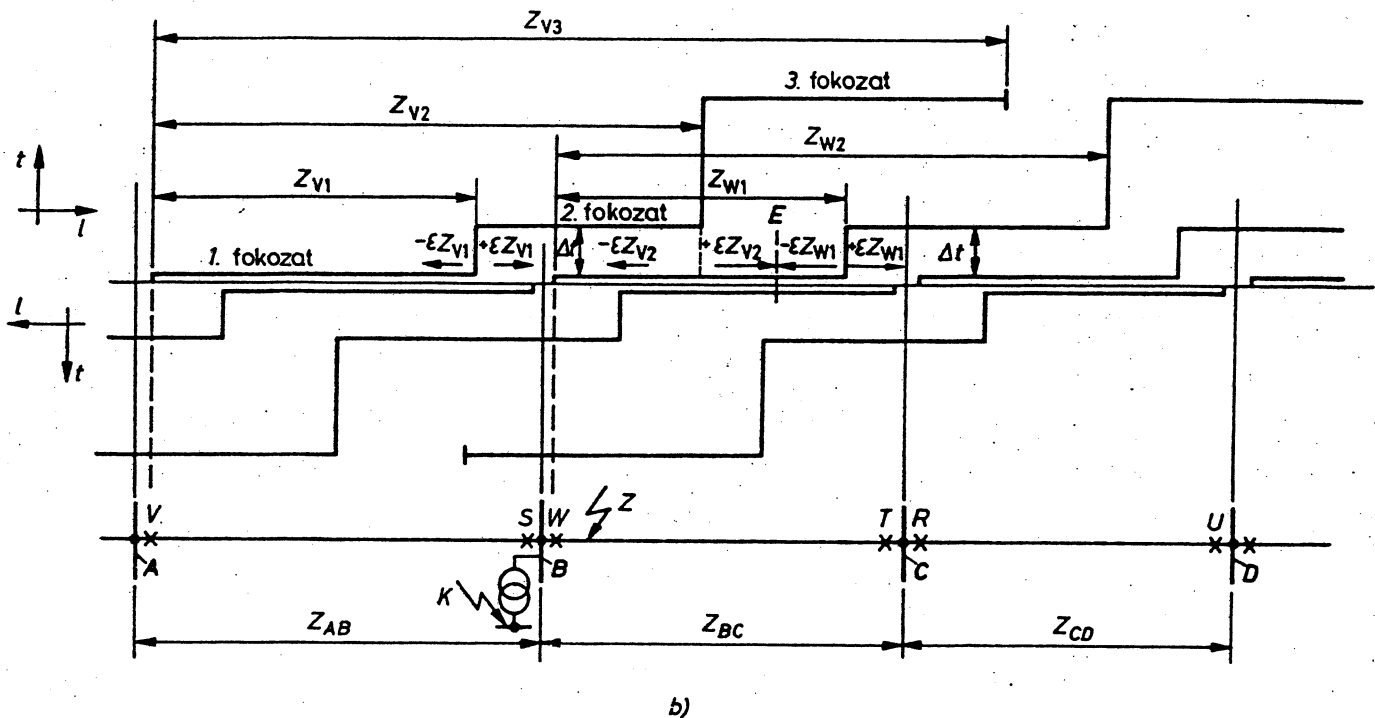
$$(1 + \varepsilon)Z_{V2} \cong Z_{AB} + (1 - \varepsilon)Z_{W1},$$

és így az egyik maximumfeltétel

$$Z_{V2} \cong \frac{Z_{AB}}{1 + \varepsilon} + \frac{1 - \varepsilon}{1 + \varepsilon} Z_{W1}. \quad (4.30)$$



4.28a ábra. Példa távolsági védelem  $t = f(l)$ , ill.  $t = f(Z)$  lépcsős karakterisztikájára



4.28b ábra. Távolsági védelem beállítási feltételei

Ha  $Z_{W1}$ -re értelemszerűen éppen (4.28) szerinti beállítást valósították meg (ez nem gyakori), akkor (4.30) alakja a következő lesz:

$$Z_{V2} \cong \frac{Z_{AB}}{1 + \varepsilon} + \frac{1 - \varepsilon}{(1 + \varepsilon)^2} Z_{BC}.$$

A második fokozat másik maximumfeltétele abból adódik, hogy a  $V$  védelem második, tehát még gyors működésű, általában csak egy szelektív időlépcsővel készletetett fokozata ne érjen át a  $B$  gyűjtősínről leágazó transzformátor(ok) szekunder oldalára. A transzformátor belső zárátat ugyanis a majdnem mindig alkalmazott Buchholz-védelem és a gyakori differen-

ciálvédelem pillanatműködéssel hárítja, ezekhez a második fokozat szelektív, de a szekunder oldali  $K$  gyűjtősínzárlat hárítása gyakran késleltetett. A feltétel:

$$(1 + \varepsilon)Z_{V2} \cong Z_{AB} + Z_{tr},$$

azaz a másik maximumfeltétel

$$Z_{V2} \cong \frac{1}{1 + \varepsilon} Z_{AB} + \frac{1}{1 + \varepsilon} Z_{tr}. \quad (4.31)$$

Ha a transzformátort kétlépcsős túláramvédelemmel védik, és nem alkalmaznak Buchholz-védelmet sem,  $Z_{tr}$  helyébe a kétlépcsős túláramvédelem gyors fokozatával, tehát pillanatműködéssel védett transzformátorimpedancia-rész,  $Z_{min}$  kerül. Ezt úgy lehet meghatározni, hogy minimumfeltétellel (maximális  $Z_m$  mögöttes impedanciával) és minimális áramöt adó zárlatfajttával számolunk úgy, hogy a zárlati áramérték éppen a gyorsfokozat beállításának ( $I_{be}$ ) maximális pozitív  $\varepsilon_i$  hibával növelt értéke legyen. A matematikai összefüggés pl. hatásosan nem földelt csillagpontú zárlatra, ahol a 2F zárlat adja a minimális áramot (l. a 4.3.4. pontban):

$$I_{z \min} = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{U_f}{Z_m + Z_{\min}} = (1 + \varepsilon_i)I_{be},$$

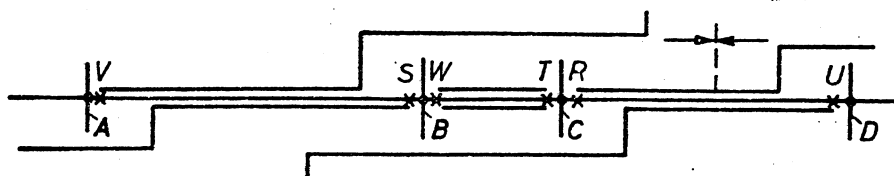
ebből:

$$Z_{\min} = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{U_f}{(1 + \varepsilon_i)I_{be}} - Z_m. \quad (4.32)$$

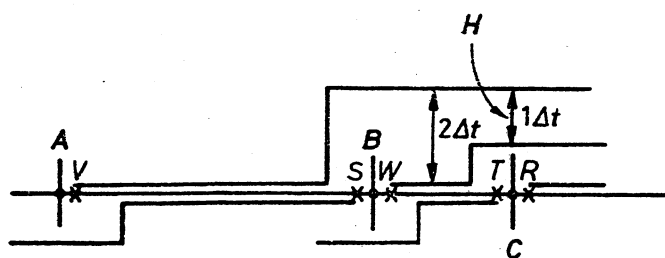
Ezt kell (4.31)-be  $Z_{tr}$  helyébe tenni.

A második fokozatot a maximum- és minimumfeltételek közé kell beállítani. Gyakran azonban *ütközés* adódik, azaz az egyik maximumfeltétel kisebb, mint a minimumfeltétel. Ez pl. akkor adódik, ha a 4.28. ábrán  $AB$  távvezeték után hozzá képest rövid  $BC$  távvezeték következik, és  $E$  helyen szelektivitási ütközés jön létre. Az eljárás ekkor a következő:

a) Ha az egymás után következő vezetékeket összekötő gyűjtősínre (4.28. ábra  $B$ ) nemcsak a tárgyalt két vezeték csatlakozik, hanem több is — és ez a gyakorlati eset — akkor fellép a 3.1.3. szakaszban a 3.6c ábrával kapcsolatban tárgyalt *betáplálási torzítás*. Ez önmagában az esetek túlnyomó többségében feloldja az ütközést. A konkrét számításnál a kedvezőtlenebb esetet kell figyelembe venni, tehát amikor a vizsgált védelem felől a legnagyobb a betáplálás (maximum mögöttes üzemiállapot), ugyanakkor a sínre betápláló többi vezeték közül a reálisan lehetségesek ki vannak kapcsolva. A betáplálási torzítást az *érzékelési egyenletek szerint* (4.4. alfejezet) kell számolni. Célszerű ehhez sokvariációs zárlatszámítást végezni.



a)



b)

4.29. ábra.  
Második fokozati ütközés feloldása

b) Ha a betáplálási torzítás *a*) pont szerinti figyelembevételére ellenére sem lehet az ütközést feloldani, akkor a 4.29. ábrán látható két megoldás egyikét kell alkalmazni. Az *a* ábra szerint, ha egy vezeték (BC) igen rövid, akkor arra pillanatműködésű szakaszvédelmet kell alkalmazni. Ez esetben pl. a *V* védelem második fokozatát nem a *W*, hanem az *R* védelem első fokozata végéhez kell illeszteni. A *b* ábra szerint pedig úgy oldják meg a problémát, hogy *V* védelem második fokozatát  $2\Delta t$  kettős szelektív időlépcsővel késleltetik, így az ütközés ellenére *H* helyen még mindig adódik egy időlépcső a szelektivitás megvalósítására.

A harmadik és magasabb fokozatok beállítászámítását nem szokás elvégezni, mivel az említett betáplálási torzítás a hatótávolságukat már igen nagy mértékben megnyírálja. Beállításukat a rendszerre kialakított konvenciók alapján vagy helyi specialitásokhoz illeszkedve határozhatjuk meg.

#### 4.6.3. A hibahelyi átmeneti ellenállás hatása

A távolsági védelem pontosan tartja lépcsős karakterisztikáját, mert mérőeleme(i) a 4.1. táblázat egyenletei szerint érzékel(nek), így a viszonylagos hatótávolság mindig 1, azaz a mérőelem minden zárlatfajta esetén a védelem felszerelési helye és a zárlat közötti pozitív sorrendű impedanciát érzékeli. A tiszta érzékelést a hibahelyen fellépő átmeneti ellenállás – ívellenállás, földelési ellenállás – megzavarhatja.

Warrington szerint [72] az ívellenállás az ív keletkezésének pillanatában jó közelítéssel

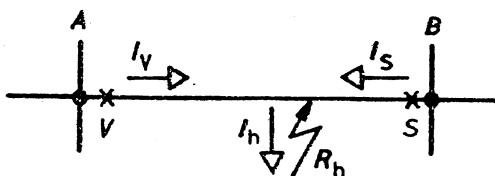
$$R_{iv} \approx \frac{28\,700l}{I^{1,4}} \quad \Omega, \quad (4.33)$$

ahol *l* az ív hossza, m; *I* a zárlati áram, A.

Ha a védelem késleltetett, az ív megnyúlik, és  $R_{iv}$  már néhány s alatt többszörösére nőhet.

Földzárlatkor a hibahely  $R_f$  földelési ellenállása is jelentős lehet. Állomási zárlat, kábelzárlat esetén értéke természetesen kicsi, de távvezeteki zárlatok esetén, ha a földzárlat az oszlopon jön létre, az oszlop földelési ellenállásának 10...15  $\Omega$ -os értéke már igen zavaró, esetleg hibás működés előidézője lehet. Hatásosan földelt csillagpontú hálózaton az oszlopföldeléseket paralel kötő védővezető egy-két nagyságrenddel csökkenti ezt az értéket, és hibás oszlopföldelés esetén is korlátok között tartja  $R_f$ -et.

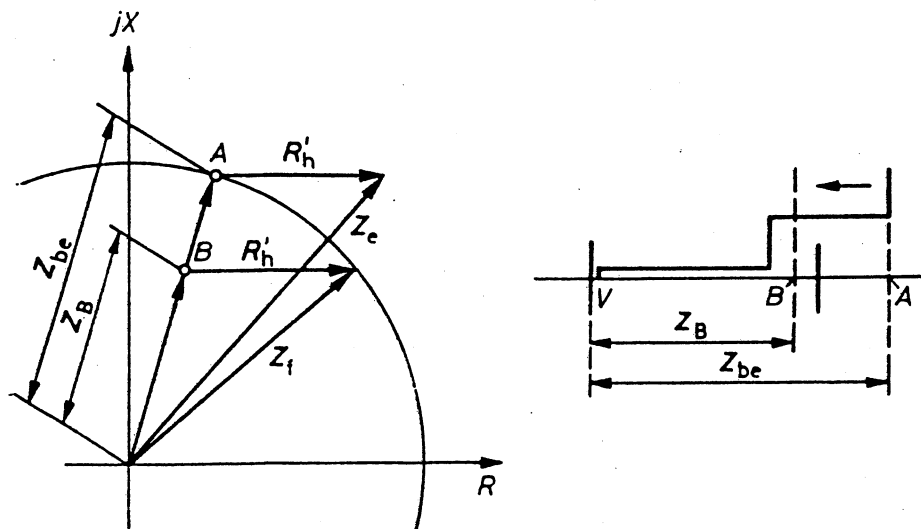
Az ívellenállás a földelési ellenállással együtt adja a hibahelyi átmeneti ellenállást ( $R_h$ ). Értékét két oldalról táplált vezeték esetén növeli a betáplálási torzítás. A 4.30. ábra szerint pl. *V* védelem az  $R_h$  hibahelyi ellenállást  $R'_h = \frac{I_v}{I_h} R_h$ -nak fogja érzékelni (azonos betáplálás esetén pl. kétszeresnek).



4.30. ábra.

Torzítva érzékelt hibahelyi átmeneti ellenállás

A hibahelyi átmeneti ellenállás előidézheti a távolsági védelemben a mérőelem hatótávolságának a visszahúzóását. A 4.31. ábrán *V* védelem hatótávolsága a második fokozatban *A* pontig terjed, ha  $R'_h = 0$ .  $R'_h$  felléptekor a  $Z_e$  eredő impedancia kívül esik a védelem kör karakterisztikáján, tehát nem fog működni a védelem, csak akkor, ha a zárlat a *V*–*B* szakaszon lép fel. *B* lesz az új fokozathatár, mivel  $Z_B + R'_h = Z_f$  éppen a karakterisztikára esik.

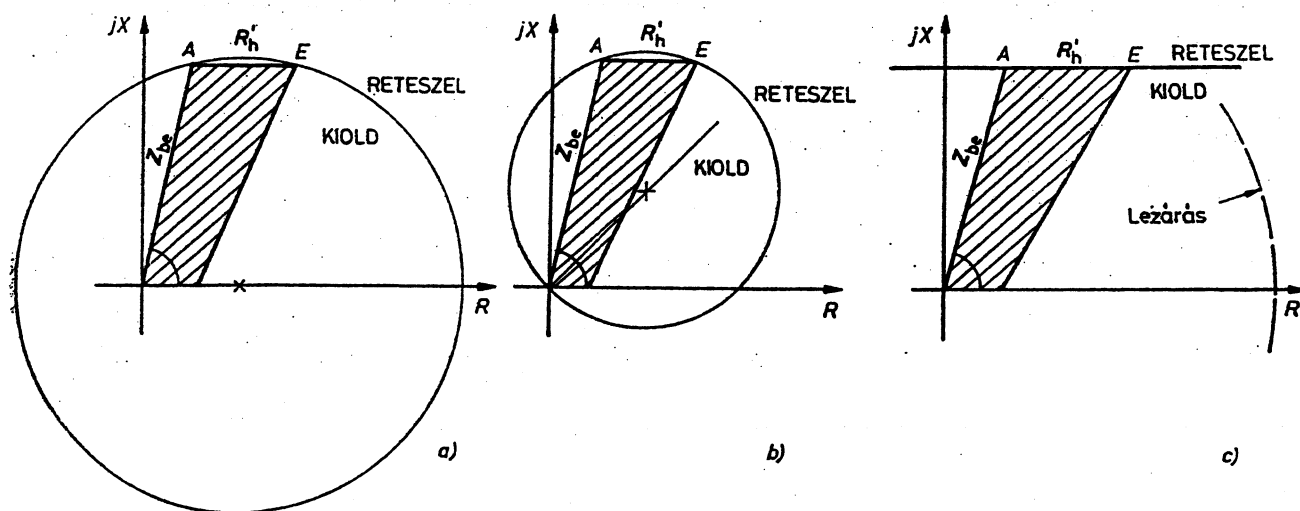


4.31. ábra. Fokozat-visszahúzás hibahelyi átmeneti ellenállás miatt

Ezt a működési rendellenességet négy módszerrel lehet kiküszöbölni, ill. hatását csökkenteni:

a) A védelem késleltetés nélküli vagy igen kis késleltetésű legyen, így az ívellenállás nem növekszik az idővel.

b) Az  $\varepsilon$  biztonsági tényezőt minimumfeltételeknél megnövelni, hogy kompenzálja a hibahelyi átmeneti ellenállást.



4.32. ábra. Ívkompenzált mérőelem-karakterisztikák

Vonalkázott terület: a védett szakasz és a hibahelyi átmeneti ellenállás eredője; a) középponteltolás az  $R$  tengely irányában; b) Mho-karakterisztika billentése; c) reaktanciarelé

c) Hibahelyi ellenállásra érzéketlen karakterisztikát (ívkompenzálást) alkalmazni (4.32. ábra). A karakterisztikák közös tulajdonsága, hogy akár fémes zárlat ( $R'_h = 0$ ) lép fel, akár nem, a fokozathatáron fellépő zárlat és  $R'_h$  összege a karakterisztikán marad ( $A-E$  szakasz).

Az  $R$  tengely irányába bővülő ívkompenzált karakterisztikákat meredeken le kell zárni az  $R$  tengely irányában pl. ébresztőelemekkel (4.32c ábra) vagy magával a mérőelem karakterisztikájával, különben terhelési és lengési áramokra hibás megszólalás következne be.

d) Ha a hibahelyi ellenállás extrém nagy, pl. faág ér a vezetékhez, a vezeték száraz homokra vagy sziklára esik, sziklás talaj miatt az egyedi oszlopföldelési ellenállás nagy érték stb., akkor általában csak érzékeny, kis áramra beállított, zérus sorrendű túláramrelék alkalmazása segít. Ezek mint a távolsági védelem kiegészítő védelmei, általában zérus sorrendű teljesítmény-irányrelével, kismértékű késleltetéssel és gyakran igen – nem jelátvitelű összeköttetéssel vannak kiegészítve; ez utóbbi szakaszvédelem jellegét kölcsönöz nekik.

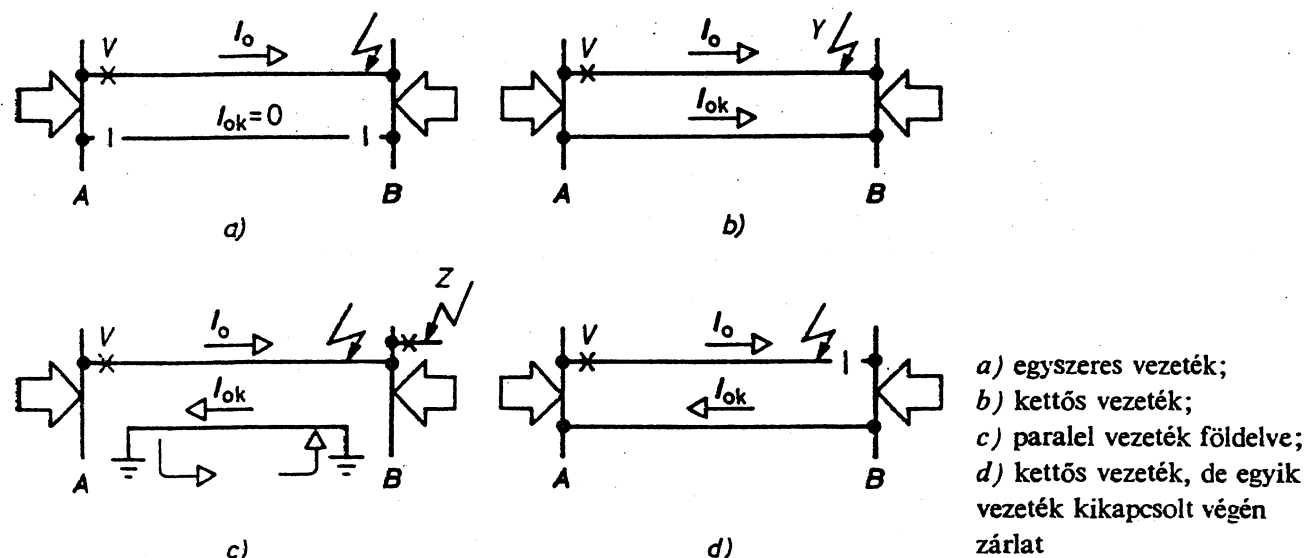
#### 4.6.4. A kettős vezeték érzékeléstorzító hatása

Az FN zárlatot a távolsági védelem mérőeleme a

$$Z_m = \frac{U_f}{I_f + \alpha 3I_0}, \quad \text{ahol} \quad \alpha = \frac{Z_{V0}/Z_{V1} - 1}{3}$$

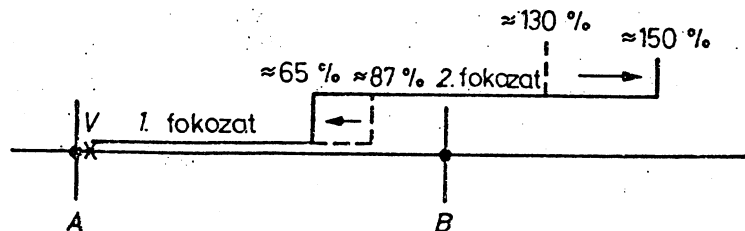
egyenlet szerint érzékeli (4.1. táblázat F2). Ez pontos mérés, amelynél  $Z_m$  – fémes zárlat esetén – mindig egyenlő a védelem felszerelési helye és a zárlat helye közötti pozitív sorrendű impedanciával.

Kettős távvezeték esetén a párhuzamos vezetékben folyó  $I_{ok}$  áram feszültséget indukál a másikba, így a fázisfeszültség  $\Delta U_f = I_{ok} \cdot Z_{0m}$  értékkel megváltozik ( $Z_{0m}$  a két rendszer közötti kölcsönös zérus sorrendű impedancia, amely kb.  $2Z_1$ ). A kettős távvezeték különböző üzemiállapotaiban a változás más és más. Ha csak egy vezeték van üzemben (4.33a ábra), akkor  $\Delta U_f = 0$ , és a  $V$  védelem úgy érzékeli, mintha egy rendszerű lenne a vezeték. Paralel üzemiállapoton (4.33b ábra) a túlsó végi zárlatnál  $\Delta U_f$  megnöveli a  $V$  védelemnél uralkodó fázisfeszültséget, így az érzékelt impedanciát is, ezért a  $V$  védelem hatótávolsága visszahúzódik, előfordulhat, hogy az  $Y$  zárlatot még második fokozatban sem tudja bemérni. Ha pedig a paralel vezeték karbantartás miatt mindkét végen le van földelve (4.33c ábra), akkor  $\Delta U_f$  csökkenti a  $V$  védelem  $U_f$  feszültségét, az érzékelt impedancia ezért csökken, a hatótávolság kiterjed, és lehetséges, hogy egy idegen vezetéken fellépő zárlatot (pl.  $Z$ -t) a  $V$  védelem nem szelektíven, első fokozatban beméri. Bár a  $V$  a 4.33d ábra alakzatánál is csökkentve érzékeli, de ez a túlmérés soha nem okozhat nemszelektív működést, így figyelmen kívül lehet hagyni.



4.33. ábra. Kettős távvezeték méréstorzítása

Több módszer létezik a probléma megoldására (l. részletesen [53]-ban, a 3.6.7. szakaszban). Egy gyakorlatban jól bevált, ezért gyakran alkalmazott módszert mutat be a 4.34. ábra: sokvariációs zárlatszámítással meg kell állapítani a saját vezetéki zárlat lehetséges legnagyobb



4.34. ábra. Fokozatkorrekció kettősvezeteki torzítás kompenzálására

érezelt impedanciáját, és arra biztonsággal ki kell nyújtani a  $V$  védelem második fokozatát (gyakori a 150%-os beállítás), ugyanakkor ki kell számolni az idegen vezeték elején fellépő zárlat esetén érzékelhető legkisebb impedanciaértéket, és az első fokozatot biztonsággal kisebbre kell állítani ennél (pl. 65%-ra). Ha a védelmet kiegészítik a 4.6.6. szakasz valamelyik módszerével, és így az egész vezeték hosszra pillanatműködésű háritást hoznak létre, a módszer – egyszerűségére tekintettel – a legjobbnak mondható.

#### 4.6.5. A teljesítménylengés hatása

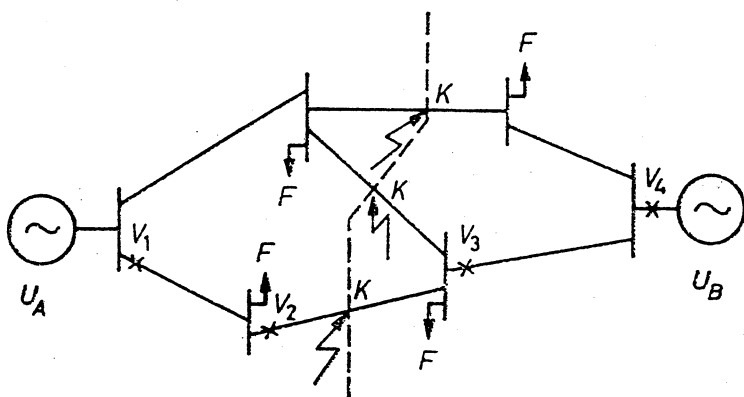
Impedanciaérzékelési elvű védelmek – így a távolsági védelmek is – hibásan működhetnek nagyobb mértékű teljesítménylengés, valamint feszültségátfordulás (aszinkron üzem) esetén. A viszonyokat sok irodalmi mű részletesen tárgyalja (pl. [26] és [53]), itt csak a téma leglényegesebb szempontjait tekintjük át.

Két erőművet összekötő kooperációs hálózaton különböző helyen elhelyezett védelmek normál üzemállapotban – a hálózat topológiájától, a fogyasztók eloszlásától és az erőművek  $U_A$ , ill.  $U_B$  feszültségének nagyságától és a bezárt szögüktől ( $\delta$ ) függően – meghatározott üzemi impedanciát érzékelnek. Ez az impedancia a védelemnél uralkodó kb. névleges feszültség és a terhelőáram hányadosa a védelemre jellemző érzékelési egyenlet (4.4. alfejezet) szerint, és általában nagy érték, nagyobb, mint a védelmek beállított megszólalási impedanciája.

Ha a hálózaton valahol zárlat lép fel, védelmi kikapcsolás jön létre, amelyet visszakapcsolás és esetleg újabb zárlati kikapcsolás követ, ezért a 2.8.2. szakasz szerint a két erőmű feszültségének szöge az üzemihez képest lényegesen megnő, majd a jelenség befejeződése után az új  $\delta$  szög lengések útján áll be. Ha a tranziens stabilitás felborul, a  $\delta$  szög átfordul a  $180^\circ$ -on.

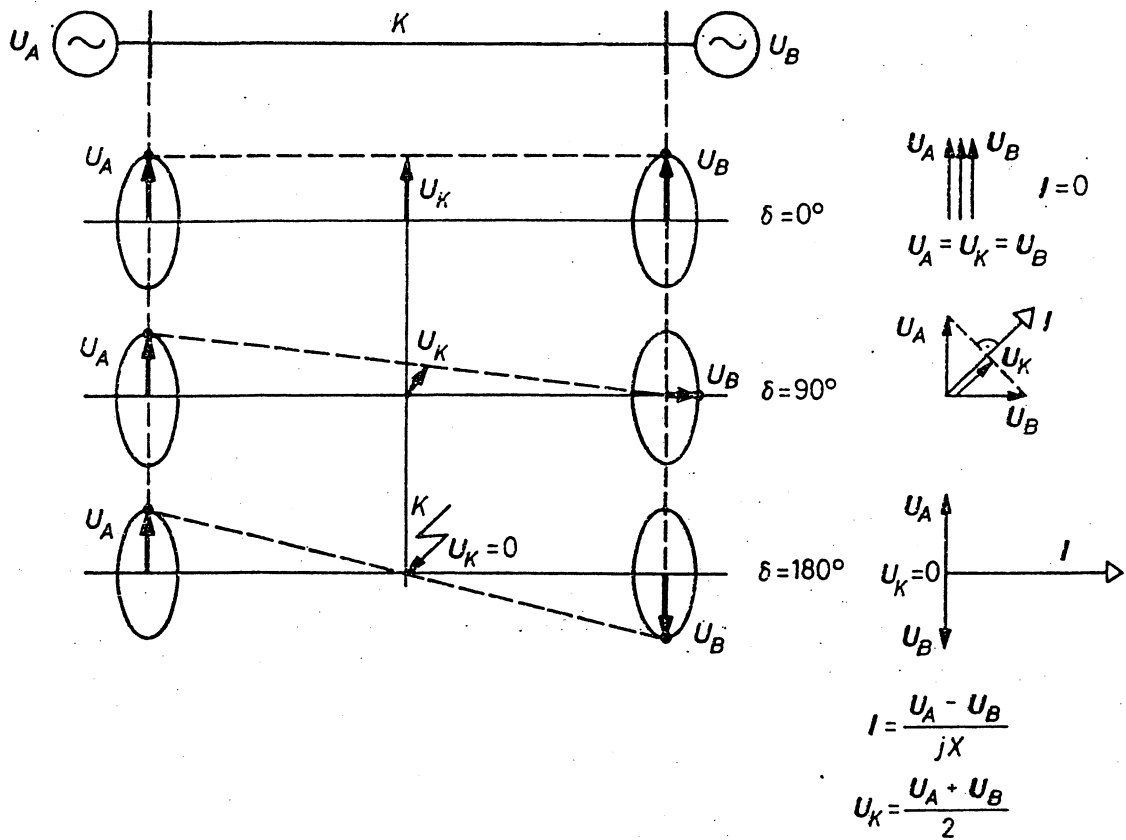
A 4.36. ábra két gép- és egy összekötő ideális vezeték ( $R \approx 0$ ) viszonyait mutatja be: az  $U_A$  és  $U_B$  feszültség elfordulása a differenciafeszültségre merőleges áramot indít.  $\delta = 180^\circ$  esetén az impedancia-felezőpontban  $U_K = 0$ , az áram pedig a legnagyobb, így a jelenség olyan, mintha ezen a ponton háromfázisú fémes zárlat lépett volna fel. Ugyanez a helyzet a 4.35. ábra hálózatán is, de a látszólagos (virtuális) zárlat egyszerre több helyen lép fel. Ezt a zárlatot a védelmek bemérik és kioldást adnak.

Lengéskor, amikor  $\delta \neq 180^\circ$ , de átmenetileg viszonylag nagy értékeket elér, szintén a  $K$  pont(ok)ban lesz az impedancia a legkisebb, így az annak közelébe beépített védelmeknél állhat elő felesleges kioldás.

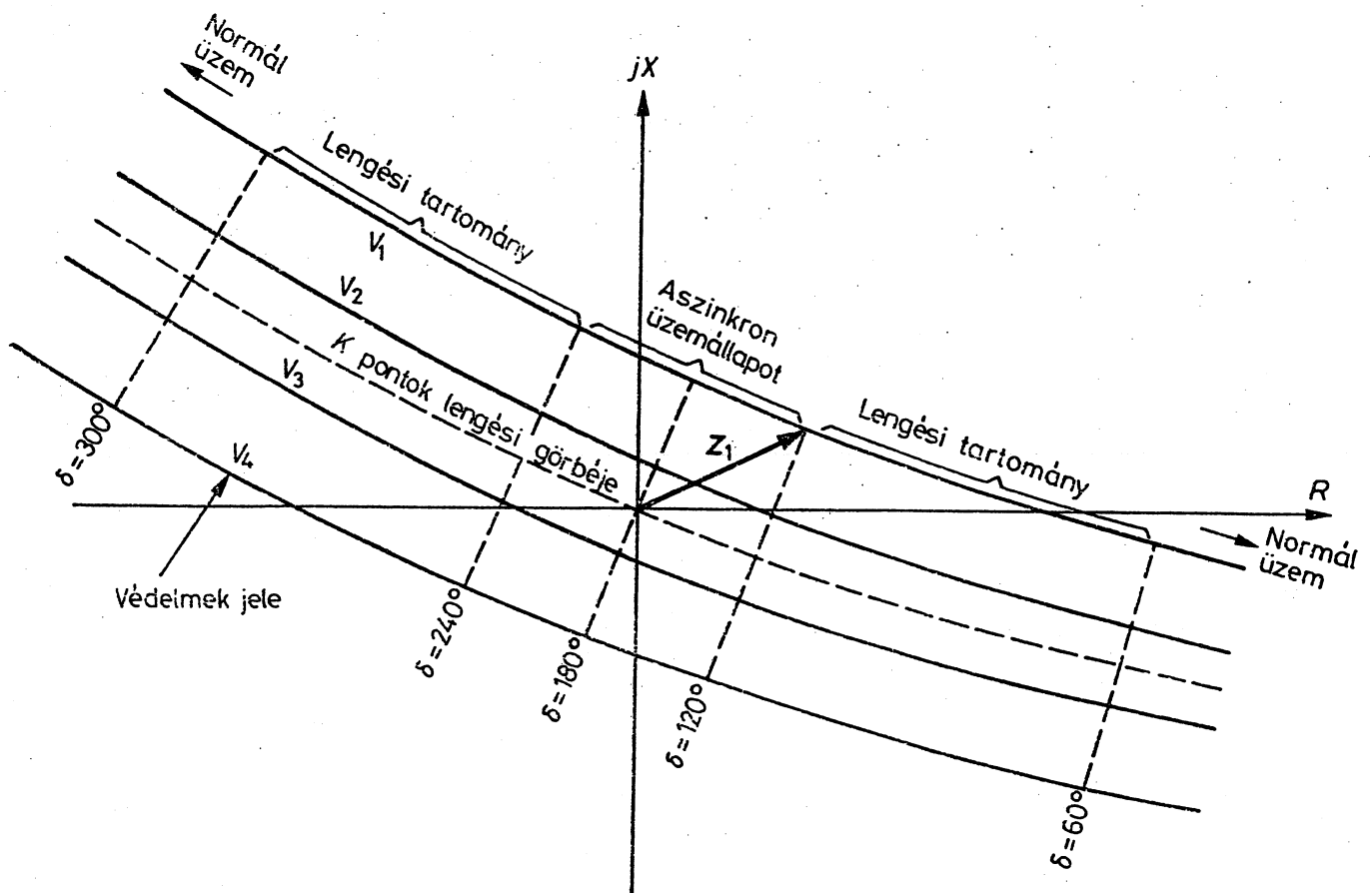


4.35. ábra. Egyszerűsített hálózatkép lengésérzékelési vizsgálatokhoz





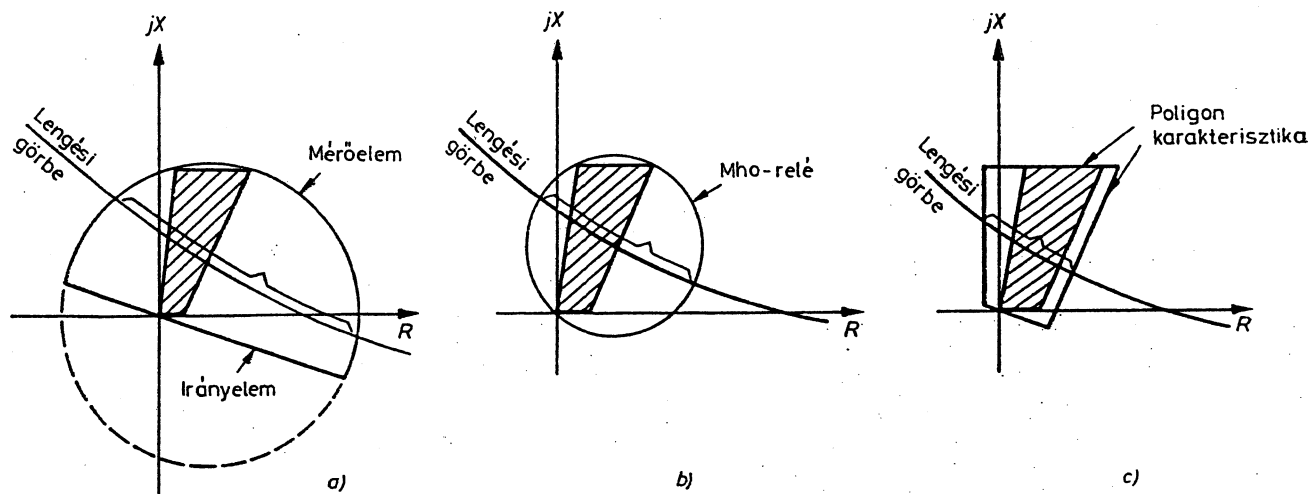
4.36. ábra. Minőségi kép lengésérzékeléskor



4.37. ábra. A 4.35. ábra  $V_1$ ,  $V_2$ ,  $V_3$  és  $V_4$  védelmei által érzékelt impedanciák (az ún. lengési görbék)

Részletes matematikai analízissel bebizonyítható (l. [19] és [53]), hogy a 4.35. ábra különböző pontjain beépített impedanciavédelmek minőségileg a 4.37. ábra szerinti impedanciát érzékelnek. Az ábrán a szögelfordulásra jellemző tartományok bejelölésre kerültek (normál üzem, lengési tartomány, aszinkron üzem). Minden hálózat minden védelmére megrajzolható egy adott lengési görbe.

Az érzékelt impedancia az origó és a megfelelő karakterisztikapont között kapható meg, pl.  $Z_1$  impedanciát érzékel a  $V_1$  védelem, ha az  $U_A$  és  $U_B$  közötti szög  $120^\circ$ .



4.38. ábra. Különböző karakterisztikák lengésérzékenysége

Vonalkázott terület: a védett szakasz és a hibahelyi átmeneti ellenállás eredője; kapcsos zárójellel összefogva a lengési görbe karakterisztikán belüli szakasza

Lengésre a védelmeknek nem szabad hibásan megszólalniuk. Ennek érdekében általában az  $R$  tengely irányában szűkített karakterisztikájú impedanciareléket alkalmaznak. Pl. a 4.38a ábra kapcsolása érzékeny a lengésre, mert a lengési görbe jelentős szakasza a kioldási karakterisztikán belül fekszik. A 4.38b ábra már jobb, a c ábra pedig igen jó szűkített karakterisztikát ad, amely ugyanakkor a zárlatkor érzékelhető vezetékimpedancia + hibahelyi átmeneti ellenállás vonalkázott területét jól befogja.

Különleges esetekben távolsági védelmek mellé speciális készüléket, ún. *lengészárat* alkalmaznak (l. [53] 139–144. oldal).

#### 4.6.6. Alapvédelmi kioldás késleltetésének megszüntetése

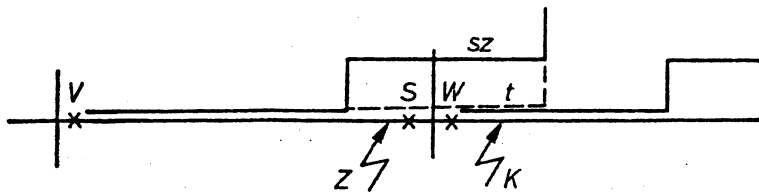
A távolsági védelem szelektív karakterisztikakialakítása azt eredményezi, hogy a védett távvezeték kb. 87%-áig fellépő zárlatokra a védelem pillanatműködést ad, a túloldali kb. 13%-ra viszont késleltetett. Mivel fordított irányban ugyanez a helyzet, így mindkét oldalról pillanatműködésű kioldás csak a vezeték közepének 74%-os szakaszán következik be, és összesen 26%-án *egyik oldalról késleltetett az alapvédelmi kioldás*. Korszerű hálózat nagyfeszültségű távvezetékein ez *nem engedhető meg*, egyrészt a rombolódás, másrészt a tranziens stabilitás megbomlásának veszélye miatt.

Több módszer áll rendelkezésre a távolsági védelem alapvédelmi késleltetésének megszüntetésére. A választék elég nagy, a helyi lehetőségek és adottságok alapján kell a legkedvezőbbet kiválasztani.

A megoldások alapvetően két csoportra bonthatók: amelyek nem igényelnek összeköttetést a két végpont között, és amelyek megbízható csatornát (vivőfrekvenciás összeköttetést, segédkábel-összeköttetést, mikrohullámú összeköttetést stb.) igényelnek.

## A) Összeköttetés nélküli megoldások

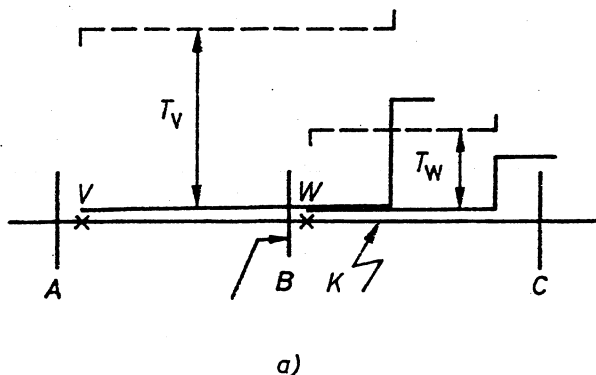
1. *Túlfedés* alkalmazása akkor lehetséges, ha a védelem mellett visszkapcsoló automatika is üzemel. A módszer szerint a védelem alaphelyzetben biztonságosan túlnyúl pillanatműködéssel a védett vezetéken (4.39. ábra  $V$  védelem  $t$  szaggatott karakterisztika), így az egész vezetéken fellépő zárlatokat pillanatműködéssel érzékeli. Ez természetesen szelektivitási hibát is jelent, mivel  $K$  zárlatra nemcsak az illetékes  $W$  védelem, hanem  $V$  is ki fog kapcsolni. A kikapcsolást követő automatikus visszkapcsolás idejére ezért át kell kapcsolni a túlfedéses karakterisztikát újból az  $sz$  szelektív karakterisztikára. Így a második kioldás már  $Z$ -re és  $K$ -ra is késleltetett lesz,  $K$  zárlatot pillanatműködéssel és szelektíven csak  $W$  kapcsolja ki.



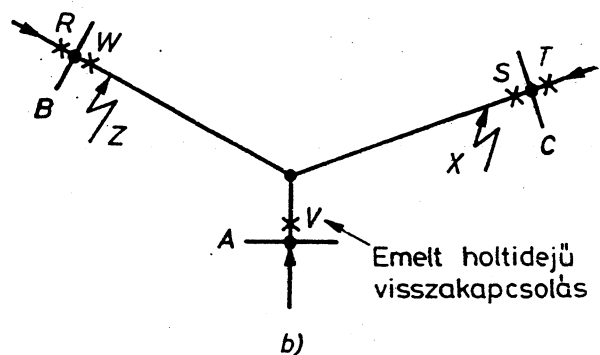
4.39. ábra. Túlfedés

A túlfedés lehet *feszültségvezérelt*, azaz kikapcsolás után, ha holtidő alatt megjelenik a vezetéken a feszültség, ez idegen elem zárlatát jelenti, tehát a túlfedés szelektív karakterisztikára vált, ellenkező esetben a túlfedés állandó (permanens) lesz.

2. *Lépcsős visszkapcsolás* a szelektív időlépcsőt mintegy „áthelyezi” a visszkapcsolás holtidőbe. A 4.40a ábrán látható  $V$  védelem állandó túlfedéssel pillanatműködéssel védi saját  $A-B$  távvezetékét. Így természetesen nem szelektíven működik a  $K$  zárlat felléptekor is, amelyre  $V$ -vel együtt az illetékes  $W$  védelem is kikapcsol. Mivel  $V$  védelem melletti automatika  $T_V$  visszkapcsolási holtideje megbízhatóan (több, mint 1 s-mal) több, mint  $W$  melletti  $T_W$  holtideje, ezért először  $W$  megszakítója kapcsol vissza, az esetleg újragyulladó zárlatra  $W$  véglegesen kikapcsol, és csak ezután kapcsol vissza  $V$  megszakítója, most már biztosan sikeresen. A módszer alapfeltétele, hogy a holtidő alatt legyen  $B$ -nél betáplálás, mert különben  $W$  feszültségmentesen kapcsol vissza, így  $V$  visszkapcsolásakor, maradandó zárlat esetén mind  $V$ , mind  $W$  kikapcsol.



a)



b)

4.40. ábra. Lépcsős visszkapcsolás

Ezt a lépcsős visszkapcsolást más célból a 4.40b ábra szerinti hárompontos alakzatnál is sikerrel lehet alkalmazni. A vezeték kb. közepén betáplálkozó  $A$  gyűjtősín  $Z$  zárlat esetén az  $S$  védelem számára,  $X$  zárlat esetén a  $W$  védelem számára a betáplálási torzítási hatás (3.1.3. pont, 3.8. ábra) miatt szinte lehetetlenné teszi a mérést, ezért  $V$  védelmet úgy állítják be, hogy minden torzítás ellenére mind  $B$  gyűjtősínig, mind  $C$  gyűjtősínig minden zárlatot azonnal

érzékeljen, és azonnal kikapcsolja megszakítóját — akár nem szelektíven *B*, ill. *C* utáni zár-  
latra is. Ekkor a vezeték kétvégpontúvá válik, *W* és *S* védelem szabályosan működhet, majd a  
visszakapcsolás is bekövetkezik *W*-nél és *S*-nél. Esetleges tartós zárlatra *W* és *S* ezután végle-  
gesen kikapcsol. Ezután kapcsol csak vissza *V* megszakítója.

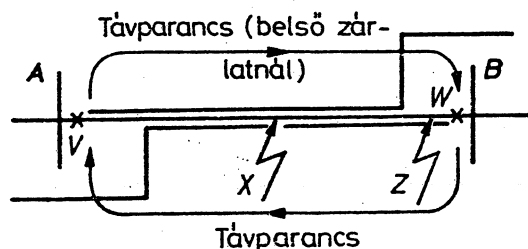
Ha a zárlat *B*, ill. *C* gyújtósínen túl lépett fel, akkor az illetékes *R* vagy *T* védelem — eset-  
leg *V*-vel együtt — kikapcsol, visszakapcsol, újragyulladó zárlat esetén *R* vagy *T* véglegesen  
kikapcsol, *V* azonban nem, mert emelt holtidejű a visszakapcsolása, azaz csak *R* vagy *T* eset-  
leges végleges kikapcsolása után, már biztosan sikeresen kapcsol vissza.

A fenti *a)* és *b)* pont szerinti, összeköttetés nélküli alapvédelmi késleltetés-megszüntetés  
közös vonása, hogy első zárlathárításra a védelmek működése gyakran nem szelektív, de a  
visszakapcsolás után, az esetleg újragyulladó zárlat hárításánál már igen.

3. *Feszültség-ellenőrzött visszakapcsolás* esetén ugyancsak állandó túlfedést alkalmaznak,  
de a távolsági védelem mellé felszerelnek egy ún. diszkrét érzékelőt, amely akkor szólal meg,  
ha a zárlat a kérdéses védelemhez közel lépett fel (kisebb, mint 50%, azaz a két oldal diszkrét  
érzékelője ne érjen középen össze, mert akkor mindkét oldalon elmarad a visszakapcsolás).  
Ez a megszólalás letiltja ezen oldal spontán visszakapcsolását, és csak akkor engedí meg,  
ha a másik oldal már sikeresen visszakapcsolt, azaz a vezetéken megjelent a feszültség (l. még  
a 8. fejezetet).

## B) Összeköttetést igénylő megoldások

1. *A védelmi szinkronozás, más néven ellenőrzött távkioldás* alkalmazása azt a tényt hasz-  
nálja ki, hogy egy távvezeték két végére telepített, szelektív karakterisztikára beállított távol-  
sági védelmek közül legalább az egyik saját zárlatra biztosan pillanatműködéssel old ki.  
Pl. a 4.41. ábrán az *X* zárlatra mindkettő, de a *Z* zárlatra csak a *W*. Ha *W* információját át-  
visszük a másik oldalra *V*-hez, annak kioldása pillanatműködéssel létrehozható. A biztonság  
fokozására a *V* védelem kioldását vagy ébresztési feltételhez kötik, vagy a *V* védelem második  
fokozatának  $T_2$  késleltetését hidalják át. Parancsátvitelre belső zárlatkor van szükség. A mód-  
szer az igen rövid vezetékek kivételével általánosan alkalmazható. Igen rövid vezetéken ugyanis  
a hibahelyi ellenállás miatt előfordulhat, hogy a kétoldali védelem első fokozata nem ér  
össze, és így a védelmi szinkronozás egy sávra hatástalan lesz.



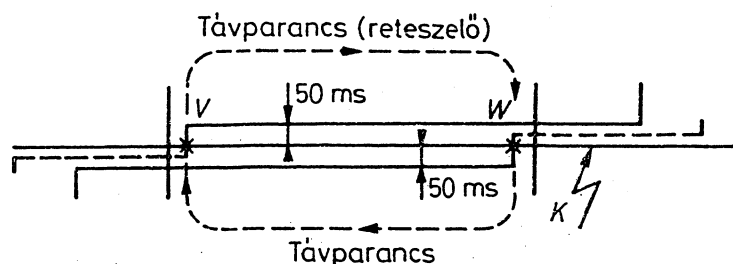
4.41. ábra.

Védelmi szinkronozás (ellenőrzött távkioldás)

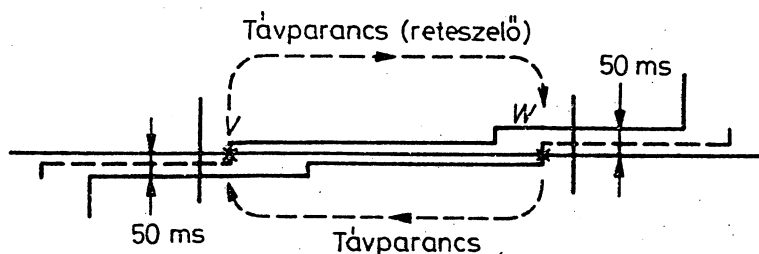
Ha a parancs nem megy át a másik oldalra, a védelmek a szelektív karakterisztika szerint  
működnek, néha késleltetve. Vezetékek bekapcsolásakor a védelmi szinkronozás hatástalan.  
Ez a bekapcsolóimpulzus túlfedésélesítő vagy ébresztési kioldást előidéző beavatkozásával  
szüntethető meg, a csak egyik oldalról feszültség alatt tartott vezetéken pedig az elmaradó  
szinkronozást úgy lehet pótolni, hogy a saját szinkronozó parancsot a túloldal nyitott meg-  
szakítójának logikai információja visszafordítja, és visszaküldi a kiinduló oldal begyorsítá-  
sára. Ez olyan, mint a visszhang, ezért echokapcsolásnak nevezik.

2. *Védelmi reteszelést, más néven reteszelőrendszert* minden vezetékre — akár hosszú,  
akár rövid — lehet alkalmazni, de a rövid vezetékekre szokásos. A mindkét oldali védelem  
előre, állandó túlfedéssel, pillanatműködéssel végigméri a védett távvezetékét, de rendelkezik

egy visszafelé mérő érzékelőelemmel is (4.42. ábrán a szaggatott karakterisztika). Saját vezetéki zárlatra a rendszer pillanatműködéssel reagál. Ha a túlfedési zónában, idegen vezetékén lép fel zárlat, pl. a  $K$  helyen, akkor a  $W$  védelem ezt visszafelé érzékeli, ezért reteszelőparancsot küld  $V$  védelemnek, hogy megakadályozza annak nem szelektív kioldását. Annak érdekében, hogy a  $V$  védelem a  $K$  zárlatra biztosan ne szólaljon meg, kismértékben késleltetni kell (pl. 50 ms többletidővel), hogy  $W$  reteszelőparancsa időben megérkezzen. Parancsátvitelre tehát külső zárlatkor van szükség, ami előnyös. Ha a parancs nem megy át, túlfedéses karakterisztikával, azaz részben nem szelektíven, de működnek a védelmek.

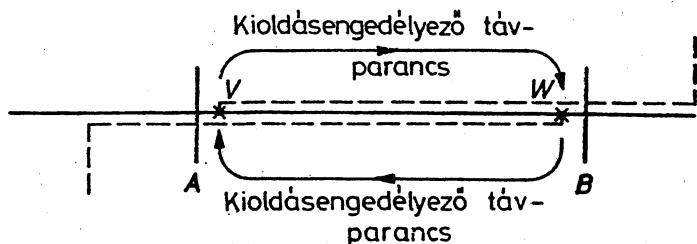


4.42. ábra. Reteszelőrendszer



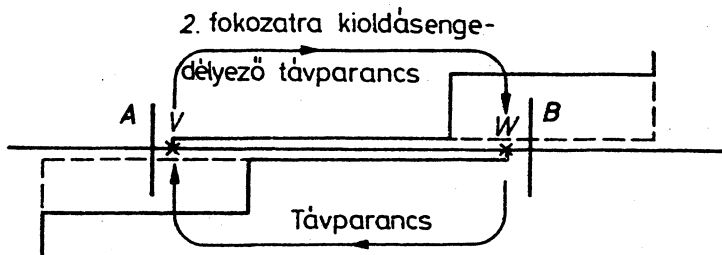
4.43. ábra. Reteszelőrendszer kétlépcsős karakterisztikával

A reteszelőrendszer alapfokozati késleltetését meg lehet szüntetni, ha nem rövid vezetékre alkalmazzák: a 4.43. ábra szerint a védelmek karakterisztikáját a szokásos két lépcsősre alakítják ki. Az első fokozat pillanatműködésű és csak a második van kismértékben (pl. 50 ms) késleltetve. Ez a késleltetés várja meg a túloldali reteszelőimpulzust.



4.44. ábra. Kioldásengedélyező logika

3. *Kioldásengedélyező logika* alkalmazása esetén a  $V$  és a  $W$  védelem karakterisztikája szintén állandóan túlfedő (4.44. ábra), de megszóaláskor önállóan nem adnak kioldást a megszakítójuknak, csak akkor, ha a túloldali védelem is megszóalalt, és erről parancsot küldött át a másik oldalra. Ez azt jelenti, hogy a parancsátvitelre belső zárlatkor van szükség.



4.45. ábra. Kioldásengedélyezés a 2. fokozatra (szaggatott vonal)

Ha a parancs nem megy át a másik oldalra, a gyors kioldás elmarad, általában ez esetre egy szelektív időlépcső késleltetéssel ( $t_2$ ) kapcsolnak ki a megszakítók. A módszer minden vezetéken alkalmazható, de elsősorban rövid vezetékeken célszerű.

A kioldásengedélyező logika előbbi hibáját, hogy átviteli hiba esetén csak második időlépcsős kioldás jön létre, a 4.45. ábra szerint ki lehet küszöbölni a következő módszerrel. Az első és a második klasszikus fokozatot úgy alkalmazzuk, hogy az első fokozat önállóan él, csak a második van bevonva a kioldásengedélyező logikába. Ha belső zárlat van, jön jel a túloldáról, így a védelem a szaggatott karakterisztika szerint működik.

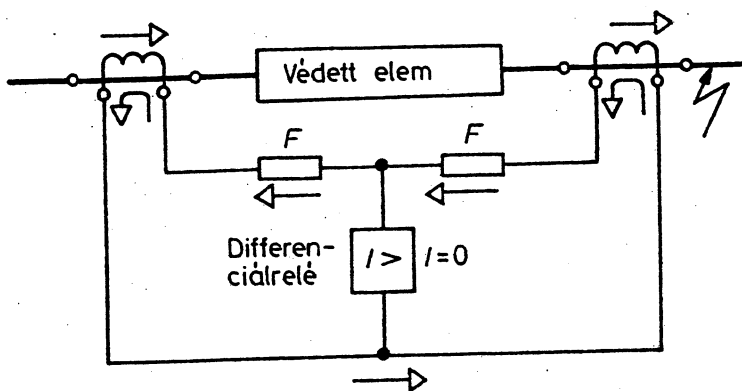
## 4.7. Differenciálevű védelmek

### 4.7.1. Érzékelési alapelvek, alaptípusok

A differenciálevű védelmek érzékelési alelve az, hogy a védett elem két végpontján uralgó villamos mennyiségek összehasonlítása útján állapítják meg, vajon belső zárlat lépett-e fel, és ekkor kioldást adnak, vagy külső zárlat, és ekkor reteszelenek.

A differenciálevű védelmeknek három alapvető tulajdonsága van:

- minden belső zárlatra pillanatműködésűek, mivel a védelem határai pontosan meghatározottak (egzaktak);
- külső zárlatra teljesen érzéketlenek, nem adnak rá tartalékvédelmet;
- a védett elem végpontjai között információs összeköttetést (csatornát) igényelnek.



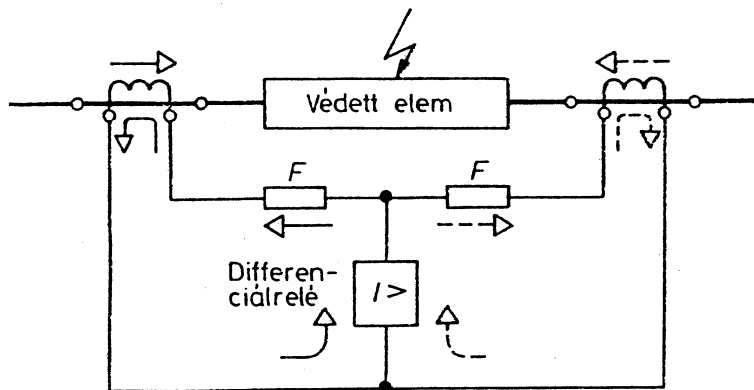
4.46. ábra. Klasszikus differenciálvédelem külső zárlati áramkép

A differenciálevű védelmek a gyakorlatban a következő mennyiségeket hasonlítják össze:

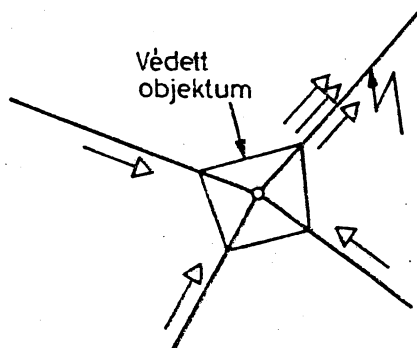
a) Áramok összegezése. A 4.46. ábrán látható a klasszikus differenciálvédelem elvi kapcsolása. Az ábrán egy külső zárlat áramviszonyai követhetők. Az azonos áttételű áramváltókon létrejövő szekunder áramok pontos leképezés esetén a relén kioltják egymást, így az nem szólal meg. A 4.47. ábra belső zárlata esetén – akár egyoldalú, akár kétoldalú táplálás van – a relén folyik áram, kétoldalú esetén összegeződik, így az megszólal.

A 4.46. ábra szerint, ha a befolyó áramból kivonják a kifolyó áramot, az eredmény kb. zérus. Innen a védelem elnevezése: differenciálvédelem (néha különbözeti védelem).

A vázolt védelmi elv több végpontú (több betáplálású) alakzatra is alkalmazható. Ekkor azonban célszerűbb a pozitív áramirányokat azonosan felvenni, pl. minden áramváltónál a védett elem felé. Könnyen belátható, hogy lényegében Kirchhoff I. törvényén alapul a védelem: ha a befolyó és a kifolyó áramok előjeles összege zérus, akkor külső zárlat lépett fel, ha nem, azaz a relén folyik áram, belső zárlat van (4.48. ábra).



4.47. ábra. Klasszikus differenciálvédelem belső zárlati áramkép



4.48. ábra. Kirchhoff I. törvénye; az áramirány-összehasonlítás alapelve

b) Áramirány-összehasonlítás. Akár két végpontú a védett objektum, akár több, alkalmazható differenciálvédelemként pusztán az áramirányok összehasonlítása is. Könnyen belátható, hogy belső zárlatkor minden áramirány befelé mutat, míg külső zárlatkor egy kifelé (4.48. ábra). Ha tehát eltérő áramirány adódik, a védelem retesz, egyébként kiold.

c) Teljesítményirány-összehasonlítás. Felhasználható összehasonlításra a védett elem végpontjain érzékelhető zárlati teljesítmény irányának összehasonlítása is. Ha egyetlen is különbözik a másiktól, a védelem retesz, egyébként kiold.

d) Távolsági védelem mérés-összehasonlítása. A 4.6.6. pontban leírt, összeköttetést igénylő megoldások (védelmi szinkronozás, retesz, kioldásengedélyező logika, stb.) lényegében a távolsági védelmet átviszik a differenciálrelvű védelmek csoportjába.

A differenciálrelvű védelmek két alapvető csoportra bonthatók:

1. *Differenciálvédelmek*, amikor a védett elem végpontjai azonos állomásban vannak, és így az összeköttetés, a hasonlítás a szokásos állomási szekunder vezetékek útján könnyen megvalósítható.

2. *Szakaszvédelmek*, amikor a védett elem végpontjai különböző állomásban vannak, és így az összehasonlítást erre a célra létrehozott távösszeköttetésen keresztül lehet csak megvalósítani. Az összeköttetés lehet segédkábeles (postai vagy erősáramú), de lehet vivőfrekvenciás, mikrohullámú csatorna, esetleg fénykábeles összeköttetés is.

A differenciálrelvű védelmek *alapvető problémáját a külső zárlatra való hibás megszólalás megakadályozása* jelenti, ugyanis bármilyen zavaró tényező, pl. áramváltó-telítődés, csatorna-hiba stb. lép fel, a retesz nem jön létre, a védelem kiold. Ezért az egyes jellegzetes típusok megítélésénél elsősorban a védelem külső zárlati megszólalás elleni *stabilitása* a mértékadó.

#### 4.7.2. Differenciálvédelmek

A 4.46. és 4.47. ábra mutatja a klasszikus differenciálvédelem kialakítását. A védelem akár két végpontú, akár több végpontú objektumot véd, a *lezáró áramváltóknak azonos áttételűeknek kell lenniük*. Nem azonos áttétel esetén közbenső (szekunder) áramváltót lehet alkalmazni.

Az érzékelőrelé elvben túláramrelé is lehetne, azonban a zavaró tényezők miatt hibátlan működése szinte sohasem valósítható meg, ezért általában stabilizált differenciálvédelmet alkalmaznak.

A klasszikus differenciálvédelem helyes működését *zavaró tényezők* a következők:

- A lezáró áramváltók nem azonos áttétele (beleértve a közbenső áramváltókat is).
- A lezáró áramváltók különböző hibája és különböző időállandója; stacioner vagy tranziens telítés miatti hiba (l. a 4.9. alfejezetet), amelyet kedvezőtlenül befolyásolhat a különböző szekunder terhelés (azonos terhelés elérésére a rövidebb tápláló ágba impedanciát építenek be; mindkét oldalra beiktatnak közbenső áramváltót stb.).
- A védett elemnél előálló olyan söntáram, amely üzemszerű állapotban nagy értéket vehet fel; ilyen pl. hosszú távvezeték kapacitása, transzformátor bekapcsolási áramlökése.
- Transzformátorok differenciálvédelmének jellegzetes problémái; ilyenek pl. külső, hálózati FN zárlatra csak egyik oldal által betáplált zérus sorrendű áram, a transzformátor szögforogtatása miatt a primer és szekunder áramok közötti szögeltérés, a szabályozóval egybeépített transzformátornál a változó áttétel.

A differenciálvédelmek hibás megszólalása elleni védekezés módszerei a következőkben kerülnek bemutatásra. A jellegzetesen csak transzformátorvédelmeknél előforduló problémák megoldási lehetőségei a c) pontban külön találhatók meg.

#### a) Stabilizált differenciálvédelem

A külső zárlat esetén jelentkező, hibás megszólalást előidéző zavaró tényezők ellen a következő megoldások alkalmazhatók:

- nagy árambeállítás,
- áramirány-stabilizálás,
- stabilizálás fékezéssel,
- nagy impedanciájú differenciálvédelem (ezt a megoldást nem szokás a stabilizált differenciálvédelmek közé sorolni, ezért a b) pontban külön kerül bemutatása).
- *Nagy árambeállítás*, azaz nagyfokú érzéketlenítés esetén a 4.46. ábrán bemutatott séma még túláramrelével is szelektív működésű lehet. Az árambeállításnak biztonsággal kisebbnek kell lennie, mint a minimális zárlati áram, de nagyobbak, mint az előforduló maximális hibaáram külső zárlatra. Ez nyilvánvalóan akkor lép fel, ha a védett elemet lezáró áramváltókon kívül, de közvetlenül mellette lép fel a külső zárlat. Ezt a zárlattípust kell mindig *mértékadónak* tekinteni.

– Az *áramirány-stabilizálás* két végpontú (vagy azzá tehető) alakzaton alkalmazható. A 4.46. ábra differenciálreléjének nyomatékával (hatásával) külső zárlatnál szemben működik az *F* fékezőtekercset tartalmazó *áramszorzatrelé*.

A szorzatrelé működési egyenlete a 4.46. ábra áramirányait véve pozitív iránynak:

$$|I_A| \cdot |I_B| \cos \alpha, \quad (4.34)$$

ahol  $I_A$  és  $I_B$  a kétoldali áram,  $\alpha$  az  $I_A$  és  $I_B$  közötti szög, amely külső zárlatnál  $0^\circ$  (a nyomaték, ill. hatás pozitív, tehát fékez), belső zárlatnál kb.  $180^\circ$  (a nyomaték, ill. hatás negatív, tehát kioldást elősegítő), egyoldalról táplált belső zárlatnál, mivel egyik áram zérus, a nyomaték is zérus.

– A *fékezéssel stabilizálás* lényege az, hogy a 4.46. ábra *F* tekercseiben folyó áramokkal a differenciálrelé kioldóirányú nyomatékát (hatását) ellensúlyozzák, fékezik. A fékezés mértéke nem lehet nagyobb, mint belső zárlatnál (4.46. ábra) a kioldás mértéke. Így végeredményben a differenciálrelét a zárlati árammal annál jobban érzéketlenítik, minél nagyobb a zárlati áram és így külső zárlatkor a hibaáram.



Régebben *lineáris fékezést* valósítottak meg, amelyet százalékos fékezésnek is neveztek. Ekkor vagy a

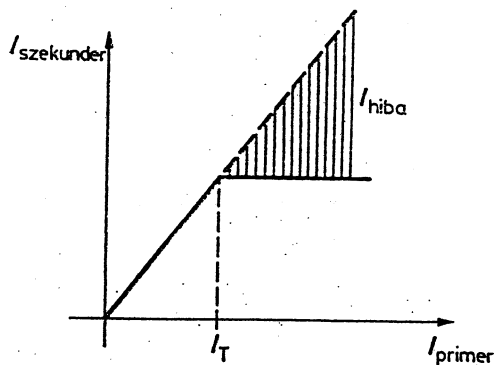
$$\beta[|I_A| + |I_B| + \dots], \quad (4.35)$$

azaz a fázisáramok abszolút értékének összegével arányos fékezést, vagy a

$$\beta |I_A - I_B|, \quad (4.36)$$

azaz a fázisáramok különbségének abszolút értékével arányos fékezést valósítanak meg. Az utóbbi természetesen csak két végpontú alakzaton alkalmazható, ezért a 4.35. egyenlet szerinti fékezés a szokásosabb.

A modern fékezett differenciálvédelmek szinte kizárólag *nemlineáris fékezésűek*. Ennek oka az a felismerés, hogy egy adott zárlati áramig az áramváltók jól képezik le a primer áramot szekunderre, és csak bizonyos zárlati áramérték felett következik be telítés, és így durva leképezési hiba (l. a 4.9. alfejezetet). Ez a tranzienstelítés miatti hibára is ugyanúgy érvényes, csak kisebb áramnál kezdődik. Ez azt jelenti, hogy a telítés  $I_T$  határáramáig a hibaáram külső zárlatkor kb. zérus, ill. kis értékű, afelett azonban igen jelentős mértékben megnő. Ha feltételezzük, hogy  $I_T$  felett az egyik lezáró áramváltó több áramot már *egyáltalán nem* szolgáltat, azaz az áramváltó karakterisztikája a 4.49. ábra szerinti idealizált görbe, akkor külső zárlatkor a vonalkázott abszcisszáknak megfelelő hibaáram jelenik meg a differenciálrelén.

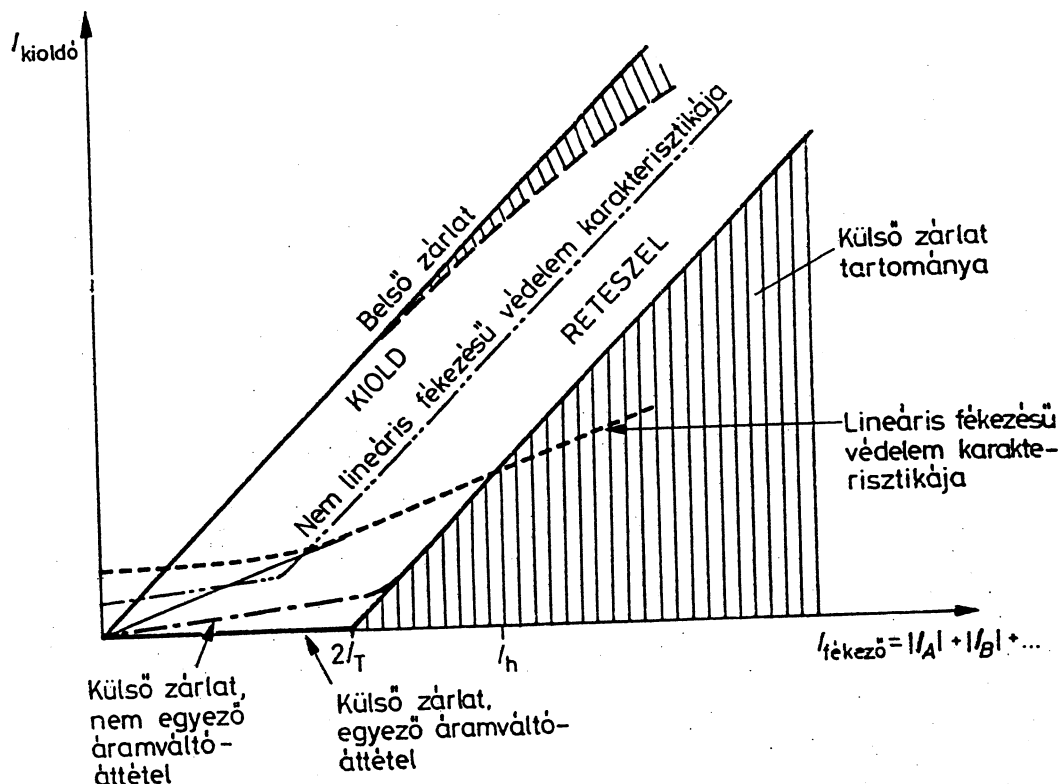


4.49. ábra. Idealizált áramváltó-karakterisztika

A 4.50. ábrán látható a differenciálrelén folyó kioldóáram a fékezőáram 100%-os értéke ((4.35) egyenlet,  $\beta = 1$ ) függvényében, ha az *egyik* lezáró áramváltó a 4.49. ábra szerint működik. Belső zárlat alkalmával, ha nincs telítés, a folytonos vonal, ha van, a szaggatott vonal adja az összefüggést. Külső zárlat esetén, a 4.49. ábrát véve alapul  $2I_T$ -ig nincs hibaáram ( $I_A + I_B = I_T + I_T = 2I_T$ ), ezután lineárisan nő. Ha csak az egyik áramváltó telítődését vesszük alapul, a görbe a belső zárlattal párhuzamos, ha mindkettő telítődik, a hibaáram ennél kisebb, tehát kedvezőbb a helyzet. Hibaáramot okoz még az áramváltó áttételek nem pontos kiegyenlítése is (pl. szabályozó transzformátornál), ez a zárlati árammal, tehát a dupla értékű fékezőárammal is lineárisan nő (eredményvonal). A védelem nemlineáris karakterisztikáját célszerűen a belső és a külső zárlat karakterisztikája közé kell beállítani (--- jelű görbe). A teljesség kedvéért egy lineáris, százalékos fékezésű differenciálvédelem lehetséges karakterisztikáját is berajzoltuk az ábrába (pontozott vonal). Látható ennek alkalmazási határa, azaz csak  $I_Z = I_h/2$  zárlati áramig működik megfelelően, afelett külső zárlatra kioldhat.

A nemlineáris fékezés könyökpontjainak pontos beállítása a védelem helyes működése érdekében igen fontos. Ez általában azt jelenti, hogy a védelem kapcsán a relé névleges áramának kell folyni, amikor a transzformátor névleges árama folyik a primerben. Szükség esetén közbenső áramváltó alkalmazása is indokolt erre a célra.

A nemlineáris fékezésű differenciálvédelem jellegzetes alkalmazási területe: transzformátorok differenciálvédelme (4.57. ábra), gyűjtősn-differenciálvédelem (4.8. alfejezet), generátor-differenciálvédelem stb.

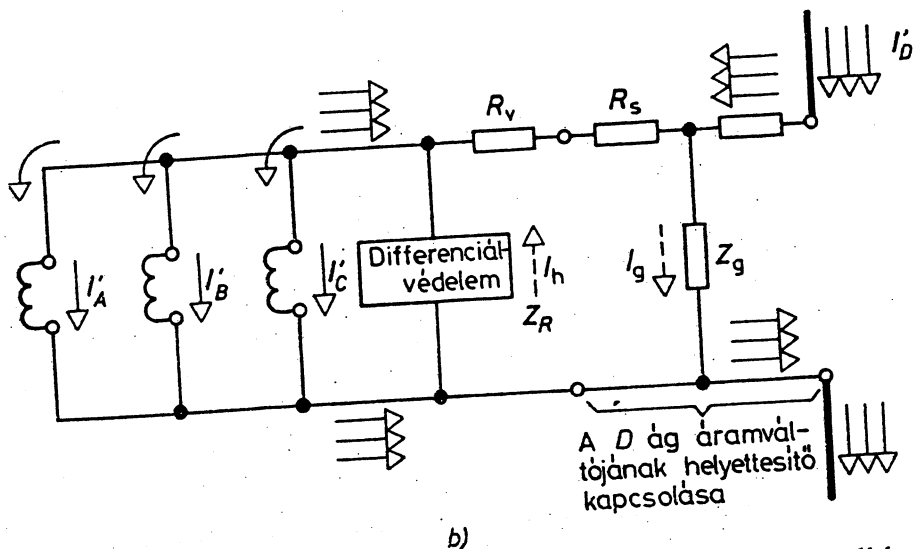
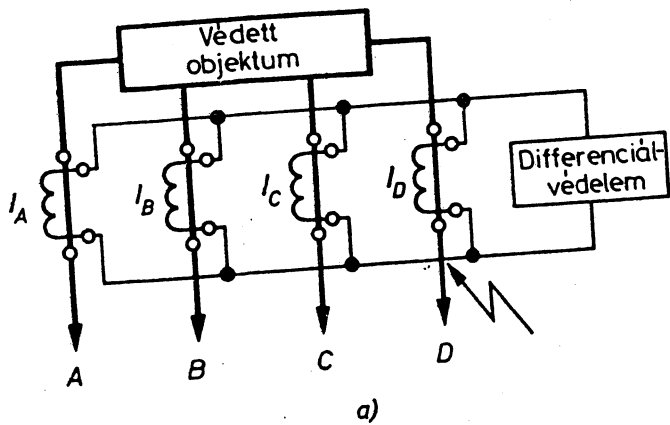


4.50. ábra. A nemlineáris fékezés viszonyai és feltételei

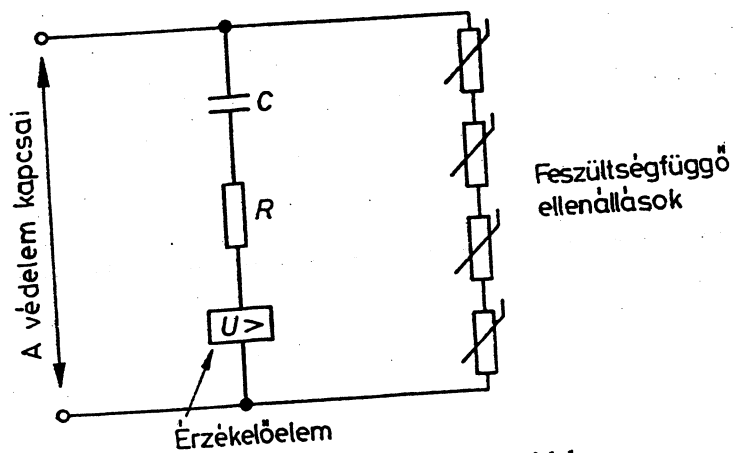
### b) Nagy impedanciájú differenciálvédelem

Működése azon a tényen alapul, hogy a differenciálvédelmek nagy hibaáramát külső zárlatkor az egyik – több végpontú védelemnél a zárlat melletti – áramváltó telítése okozza, és telítéskor az áramváltó impedanciája szekunder oldalról jelentős mértékben lecsökken. Lényegében az áramváltó gerjesztőkori impedanciája lesz közel zérus értékű. A 4.51a ábra elrendezése szerint a fellépett külső zárlat hatására  $A$ ,  $B$  és  $C$  ágakon betáplált áram  $D$  ágon folyik ki a külső zárlatra. Kirchhoff I. törvénye értelmében a négy primer áram előjeles összege zérus. A  $b$ ) ábra szekunder köri helyettesítő kapcsolásán azonban láthatjuk, hogy ha a  $D$  áramváltó telítődik,  $I_D'$  áram nem fog teljes egészében a differenciálrelé felé folyni, és ezzel biztosítani annak zérus áramát, hanem jelentős mértékben a  $D$  áramváltó kis impedanciájú  $Z_g$  gerjesztési impedanciáján folyik át. Így  $I_D'$  áram jelentős része „hiányzik” a kiegyenlítődérsből, ezért a differenciálrelén nagy értékű  $I_h$  hibaáram folyik.

Ha  $Z_R$  reléimpedancia kis értékű (pl. egyszerű túláramrelé), akkor a leírt jelenség előáll. Ha azonban a reléimpedanciát növelik, akkor  $I_A'$ ,  $I_B'$  és  $I_C'$  egyre kisebb része fog a relén folyni, és egyre nagyobb rész a  $D$  áramváltó  $Z_g$  impedanciáján, azaz csökkenti az azon átfolyó  $I_D'$  áramrészt. Megfelelően megemelt  $Z_R$  esetén már az  $A$ ,  $B$  és  $C$  áram szekunder oldalról „pótolja”  $I_D'$ -t, azaz azt az áramot, amely hiányzott a védelem kiegyenlítéséhez. Ha a differenciálrelé igen nagy ellenállású, ez külső zárlatnál mindig biztosítja a differenciálvédelem helyes működését. Belső zárlatnál azonban ez problémát okoz, mivel ekkor mind a négy ág árama egyirányú, és a relén kell, hogy átfolyjon, ezért azon igen nagy feszültség lépne fel. Olyan lesz a helyzet, mintha az áramváltók szekunder köre nyitott lenne. Ezért a védelem érzékelő reléjét a 4.52. ábra szerint építik fel: az érzékelőelem feszültségrelé, amellyel nemlineáris ellenállásokat kötnek paralel, ezek határolják a feszültség maximális értékét. A feszültségrelé beállítását a külső zárlattól való elhangolás szabja meg. Ekkor ugyanis 4.51. ábra szerint a relén fellépő feszültség



4.51. ábra. Hibaáram keletkezése külső zárlatkor egy áramváltó (D) telítése miatt  
 a) primer séma; b) szekunder helyettesítő vázlat

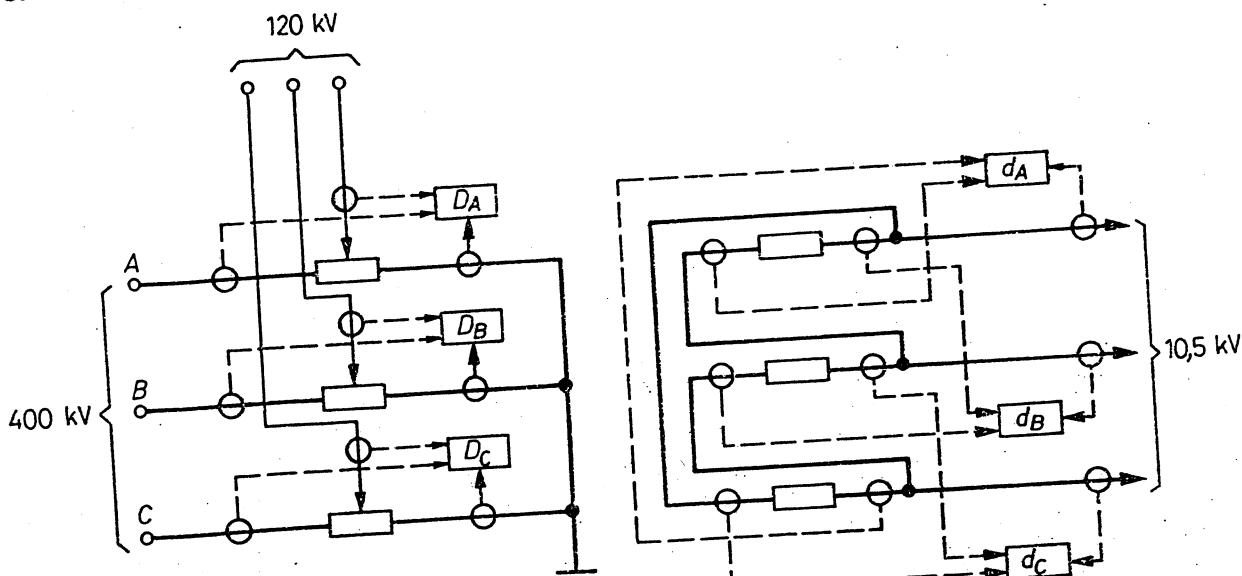


4.52. ábra. Nagy impedanciájú differenciálvédelem

$$U_M = I'_{z \max} (\alpha R_V + R_S), \quad (4.37)$$

azaz a maximális zárlati áram szekunderre átszámított értékét ( $I'_{z \max}$ ) be kell szorozni a differenciálrelé és a legtávolabbi áramváltó közötti kábel  $R_V$  ellenállásával és a telítődő áramváltó szekunder tekercsének  $R_S$  ellenállásával.  $\alpha$  értéke az áramváltó kapcsolásától függ (l. a 4.9. alfejezetet), értéke leggyakrabban 2 (az áramváltó vezetőinek saját fázisága és a visszavezető

nullaág miatt). A feszültségrelét kb. a fenti  $U_M$  érték kétszeresére, míg a feszültségfüggő ellenállás könyökpontját annak kétszeresére kell beállítani (pl.  $U_M = 75 \text{ V}$ ,  $U_{be} = 150 \text{ V}$ ,  $U_{fesz.f.} = 300 \text{ V}$ ). Az áramváltó telítési könyökpontját jellemző  $U_K$  szekunder határfeszültség előlött legyen.



4.53. ábra. Transzformátor védelmére alkalmazott nagy impedanciájú differenciálvédelem. A bekapcsolási áramlökés nem okoz problémát  
*D* nagyfeszültségű tekercsek önálló védelme, *d* tercier tekercsek önálló védelme. Az áramváltó-átteteleknek egy önálló rendszerben minden feszültség szinten azonosnak kell lenniük

A fenti megoldás igen széles körben alkalmazható és külföldön nagyon elterjedt. Három lényeges alkalmazási feltétele van: önálló áramváltómagot igényel; az áramváltó és a relétér közötti kábel ellenállása ne legyen nagy; a lezáró áramváltók lehetőleg *galvanikusan kapcsolt* primer részhez kapcsolódjanak. Ez utóbbi miatt a transzformátor differenciálvédelmére csak korlátozottan alkalmazható: vagy a nagy impedanciájú érzékelést csak mint segítőeszközt alkalmazzák a klasszikus differenciáláram érzékeléshez (a  $Z_R$  reléimpedancia csak „emelt” érték), vagy külön építenek ki védelmet a primerre és külön a szekunder tekercsre (4.53. ábra). Ez utóbbi esetben viszont *nincs bekapcsolási áramlökés okozta probléma*.

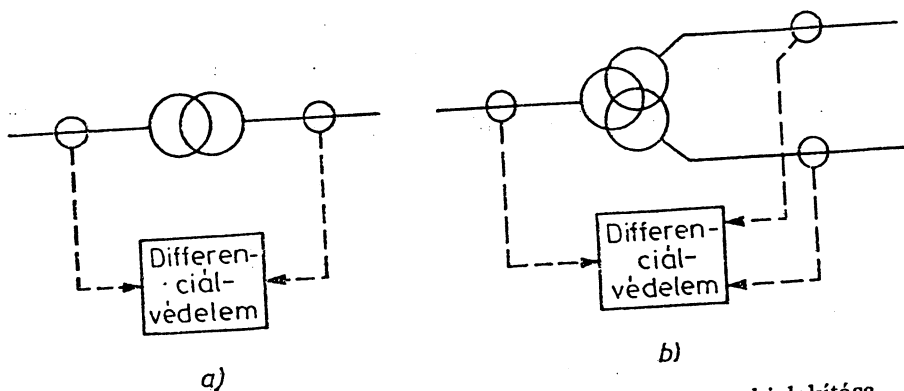
### c) Transzformátorok differenciálvédelme

A differenciálvédelmekről eddig leírtak a transzformátor-differenciálvédelmekre is vonatkoznak. Van azonban *néhány speciális probléma*, amely csak a transzformátorokra alkalmazott differenciálvédelmeknél lép fel.

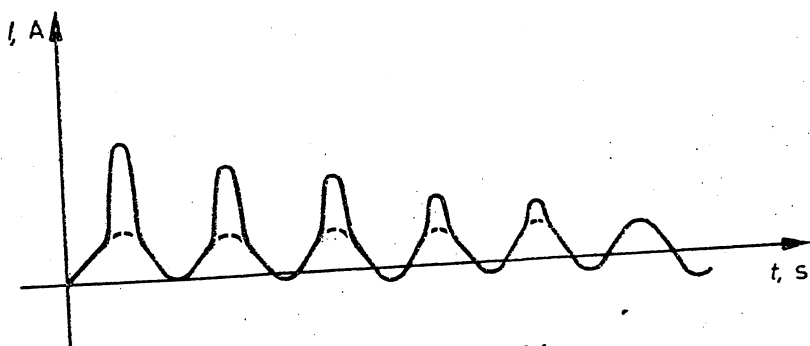
– A *transzformátor bekapcsolási áramlökése* hibaáramként jelentkezik minden olyan transzformátor-differenciálvédelemnél, amely a 4.54. ábra szerinti kivitelű, azaz a teljes transzformátort, annak minden tekercsét és kivezetését, sínezését, kábelezését és az esetlegesen egybeépített szabályozót együtt védi. A bekapcsolási áramlökés ugyanis ilyen esetben csak az egyik lezáró áramváltó csoporton folyik keresztül – amelyik oldalról a bekapcsolás történt –, így nagy értéke esetén a védelem hibás működését idézheti elő.

A bekapcsolási áramlökés hibás kioldása ellen a következő módszerekkel lehet védekezni:

– Galvanikusan összetartozó részekre bontani és nagy impedanciájú differenciálvédelmet alkalmazni (4.53. ábra).



4.54. ábra. Teljes transzformátort védő differenciálvédelem kialakítása (egy fázisban ábrázolva). Áttételek (4.38) egyenlet szerint



4.55. ábra. Jellegzetes bekapcsolási áramlökés

– A bekapcsolási áramlökésben levő második felharmonikussal, vagy annak meghatározott szintjével, vagy a differenciaáramban levő meghatározott viszonyértékével (tartalmával) reteszelni a kioldást vagy fékezni az érzékelést (4.58. ábra).

– A bekapcsolási áramlökés második szubharmonikusával (25 Hz, 4.55. ábra) reteszelni vagy fékezni.

– Régebbi módszer a nagymértékű érzéketlenítés, elektromechanikus reléknél ez kb. 3...3,5-szeres transzformátor névleges áramerősség feletti beállítást, gyors elektronikus relénél kb. 6...8-szoros áramot jelent. Ha tehát a differenciaáram ezen értékeknél nagyobb, akkor már nem kell bekapcsolási reteszelés. Így nagy áramú belső zárlatra áramváltó-telítés miatt létrejövő, a bekapcsolási áramhoz hasonló alakú áram nem reteszeli le hibásan a differenciálvédelmet.

– Azzal reteszelni a védelmet, hogy az egyenirányított áramjelben bekapcsolási áramlökés esetén minden második félperiódusban kiugró jel jelenik meg (l. részletesen a 7.2.2. pontot.)

*Transzformátor szögforgatása* a 4.54. ábra szerinti teljes differenciálvédelmeknél okoz problémát, mert csak olyan áramok hasonlíthatók össze, amelyek fázisban vannak egymással. Ezért a 4.53. ábra szerinti védelemnél *nincs* probléma.

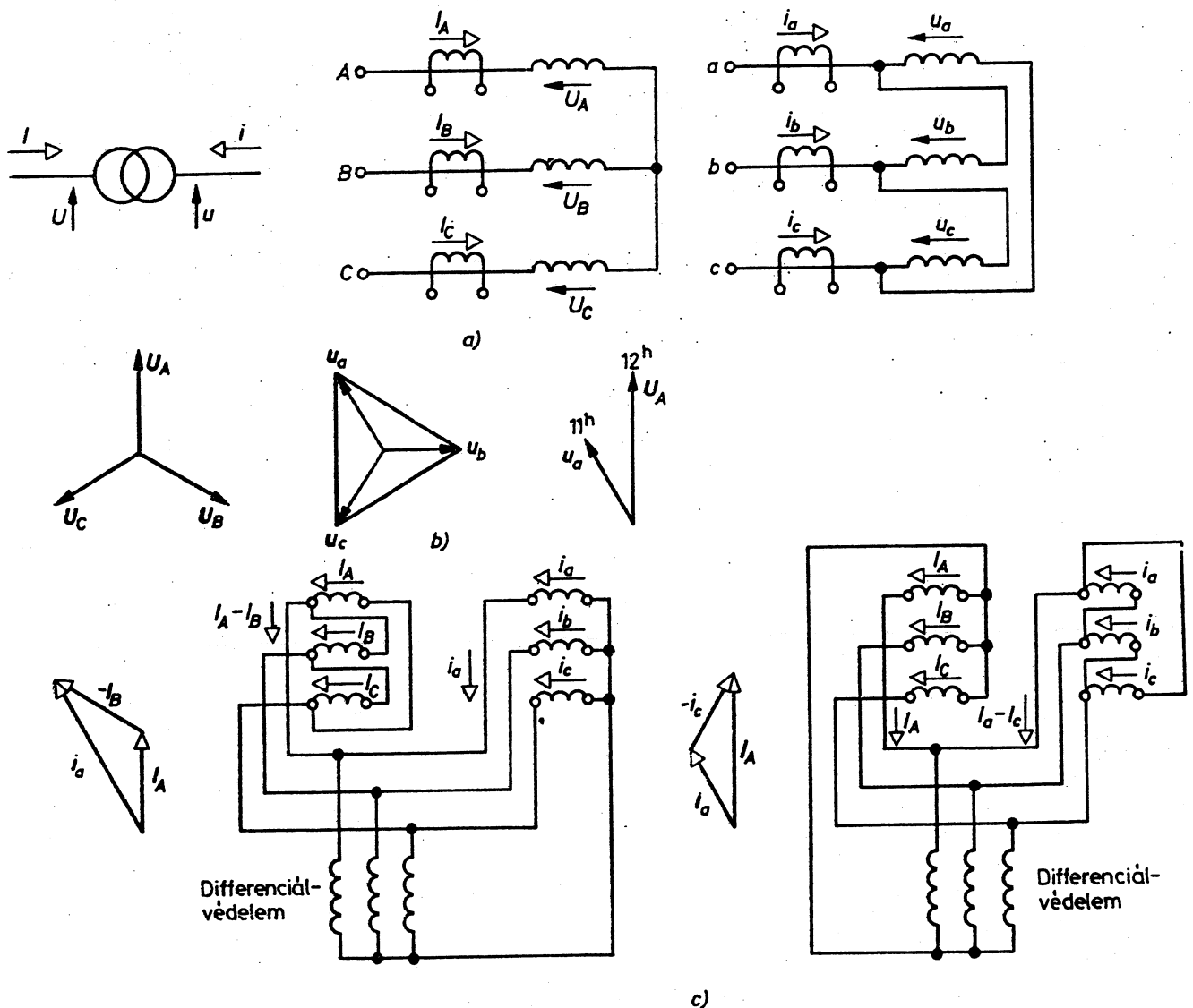
A transzformátor szögforgatása a csillag-, delta- és zezugkapcsolások és a fázisvariációk (sorrendek) változtatása következtében 30°-onként különböző lehet, ezért a szabványos jelölésben óraértéket szokás megadni: ha a primer *A* fázis feszültségvektora az órászám lap 12 órájára mutat, a szekunder oldali *a* feszültség iránya megadja a transzformátor kapcsolási csoportját (elé még a primer és a szekunder tekercs tényleges kapcsolását is beírják, így lesz a jel pl. Yd 11, azaz csillag/delta kapcsolás, 30°-ot siető szekunder vektor).

A különböző kapcsolási óraszámú transzformátorok áramváltóinak szekunder áramait vissza kell forgatni úgy, hogy azok fázisban legyenek, és így a differenciálvédelemben összehasonlíthatók legyenek. A visszaforgatást két módszer egyidejű alkalmazásával kell megvalósítani:

- ciklikus fáziscsere, ill. polaritáscsere,
- az áramváltók szekunder tekercseit vagy a közbenső áramváltókat szükség szerint csillagba vagy deltába kapcsolni.

Ha a transzformátor kapcsolási órszáma páros, akkor az áramváltók szekunder tekercseit azonos kapcsolásban (csillag vagy delta) kell kötni mindkét oldalon, és az első módszert alkalmazni. Pl. 6 órás transzformátornál egyik oldalon polaritáscserét, 4 órás transzformátornál egy ciklikus fáziscserét (az  $n \times 4$  órát forgat) kell alkalmazni.

Ha a transzformátor kapcsolási órszáma páratlan, akkor az egyik oldali áramváltócsoportot szekunder oldalon csillagba, a másikat deltába kell kötni, és így alkalmazni a szükséges ciklikus fáziscserét, ill. polaritáscserét.

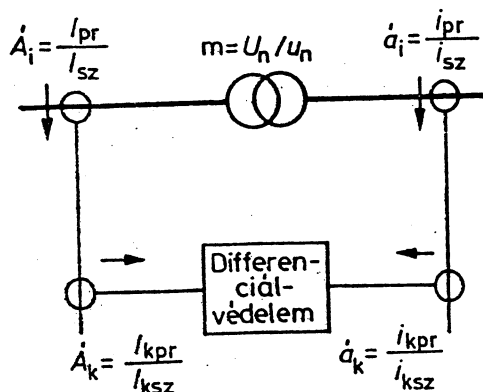


4.56. ábra. Differenciálvédelem áramirány-kiegyenlítése

a) Yd 11 transzformátor kapcsolása; b) vektorábrák; c) a kiegyenlítés módjai

Példaként egy Yd 11 kapcsolási csoportú transzformátor differenciálvédelmének iránykiegyenlítése látható a 4.56. ábrán. Elvileg bármelyik visszaforgatás alkalmazható, és létrehozható a védelemnél az azonos áramirány ( $I_A - I_B$  és  $i_a$  vagy  $I_A$  és  $i_a - i_c$ ). A választást az dönti el, hogy melyik megoldásnál nem kell egyáltalán közbenső áramváltót alkalmazni. (Ez a szempont a kis fogyasztású elektronikus védelmeknél nem döntő; azoknál néha pl. a védelembe építik be a közbenső illesztő áramváltókat.) A szabad választás azonban csak akkor igaz, ha egyik tekercsoldal sincs sem közvetlenül, sem kis impedancián át földelve.

Ha egy transzformátor egyik oldalának csillagpontja közvetlenül földelt, és van szekunder vagy tercier delta tekercselés, akkor a transzformátor a hálózati FN zárlatra rátáplál zérus sorrendű áramot. Ez a zérus sorrendű áram csak az egyik oldali áramváltócsoporthon folyik keresztül. A hibás megszólalás ellen ezen az oldalon az áramváltó szekunder tekercseit deltába kell kötni, és így a zérus sorrendű áramok nem jutnak el a differenciálvédelemhez.



4.57. ábra. Transzformátor-differenciálvédelem kiegyenlítése  
Áttételek értelmezése a nyilak irányában

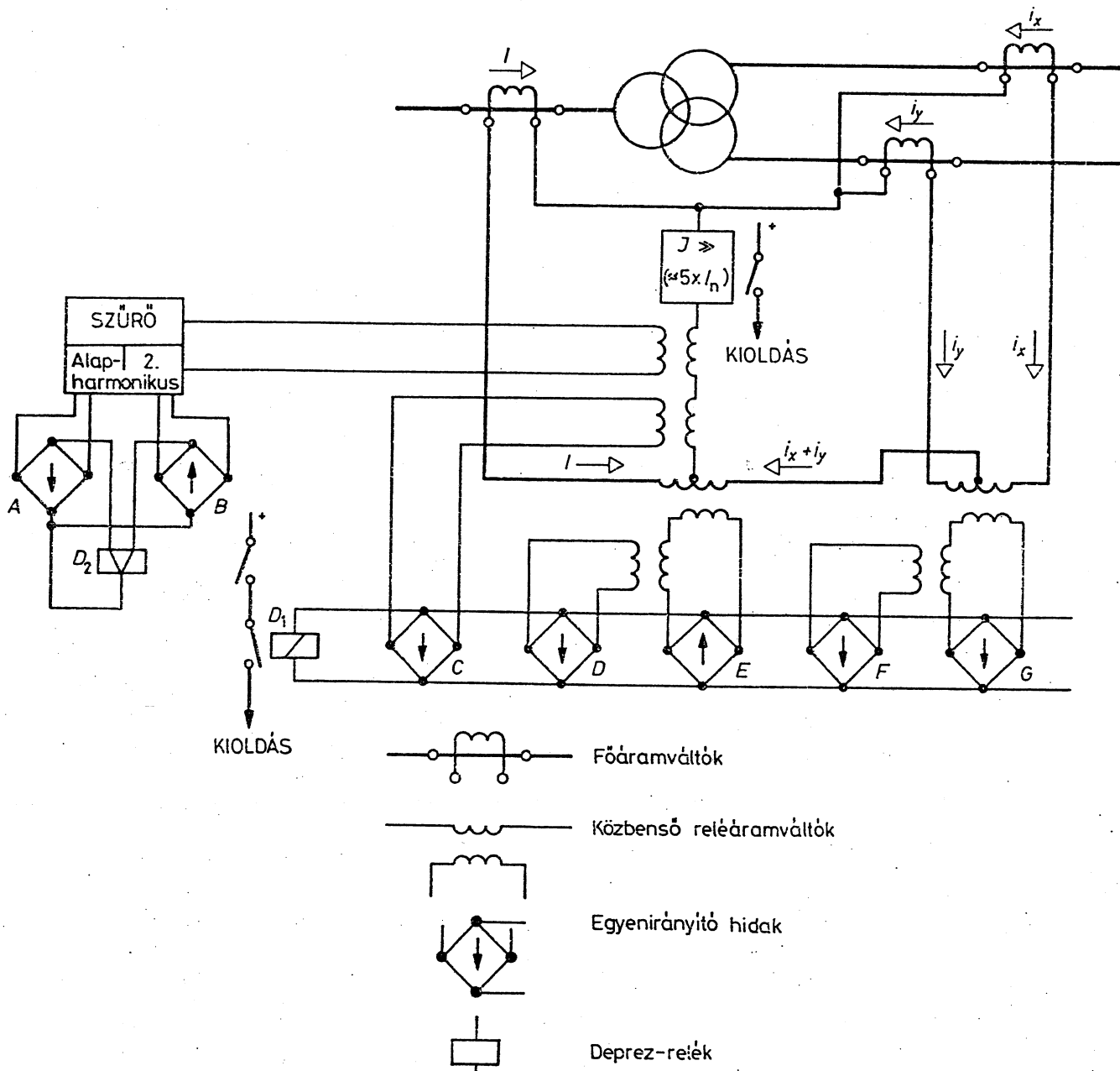
– *Transzformátor-differenciálvédelem eredő áttételének kiegyenlítése a 4.57. ábra alapján:*

$$0,8 \cong \frac{U_n \dot{A}_i \dot{A}_k}{u_n \dot{a}_i \dot{a}_k} \cong 1,25, \quad (4.38)$$

azaz a fő és közbenső áramváltók és a transzformátor *eredő áttétele az egység körül legyen*. Ha valamely áramváltó csoport a nyíl irányában értelmezve csillag/delta kötésben van; akkor az áttételt  $1/\sqrt{3}$ -mal, delta/csillag kapcsolás esetén pedig  $\sqrt{3}$ -mal szorozni kell. A transzformátor áttételén a kapcsolástól függetlenül a vonali feszültségek arányát, szabályozós transzformátor esetén a középáttételt kell érteni. Ezenkívül törekedni kell arra, hogy *névleges szimmetrikus transzformátoráram kb. a védelem névleges áramát hozza létre a védelem kapcsain*.

Példaként látható a 4.58. ábrán egy háromtekercselésű transzformátorhoz kifejlesztett, nemlineáris fékezésű, második felharmonikus/alapharmonikus viszonytal reteszelő differenciálvédelem vázlatos sémája, egyetlen fázisra kirajzolva.

Háromtekercselésű transzformátornál – a zárlati áram útjának megfelelően – a (4.38) egyenlet szerinti kiegyenlítést mindig egy úton, *két kivezetés között* kell számolni, és *minden irányban külön-külön* teljesíteni kell.



4.58. ábra. Egyenirányító, nemlineáris fékezésű transzformátor-differenciálvédelem (egy fázisban ábrázolva) A–B összehasonlító áramkörök. A 2. harmonikus összegáram viszonyítva az 1. harmonikusra:  $\approx 15\%$  felett reteszelt (bekapcsolási áramra); C összegáram kioldása; D–F l. a 4.50. ábrán: nemlineáris fékezés alsó szakasza; E–G fázisáram-fékezés: l. a 4.50. ábrán: nemlineáris fékezés felső szakasza

### 4.7.3. Szakaszvédelmek

A szakaszvédelem olyan differenciálevlű védelem, amelynek lezáró áramváltói különböző állomásokban vannak. A végponti jelek összehasonlítása céljából a két végpont között megbízható információs csatornát kell létesíteni. A csatorna lehet gyengeáramú (postai) és erősáramú kábel-összeköttetés, lehet a védett távvezetéken létesített vivőfrekvenciás csatorna, valamint mikrohullámú csatorna és fénykábeles összeköttetés.

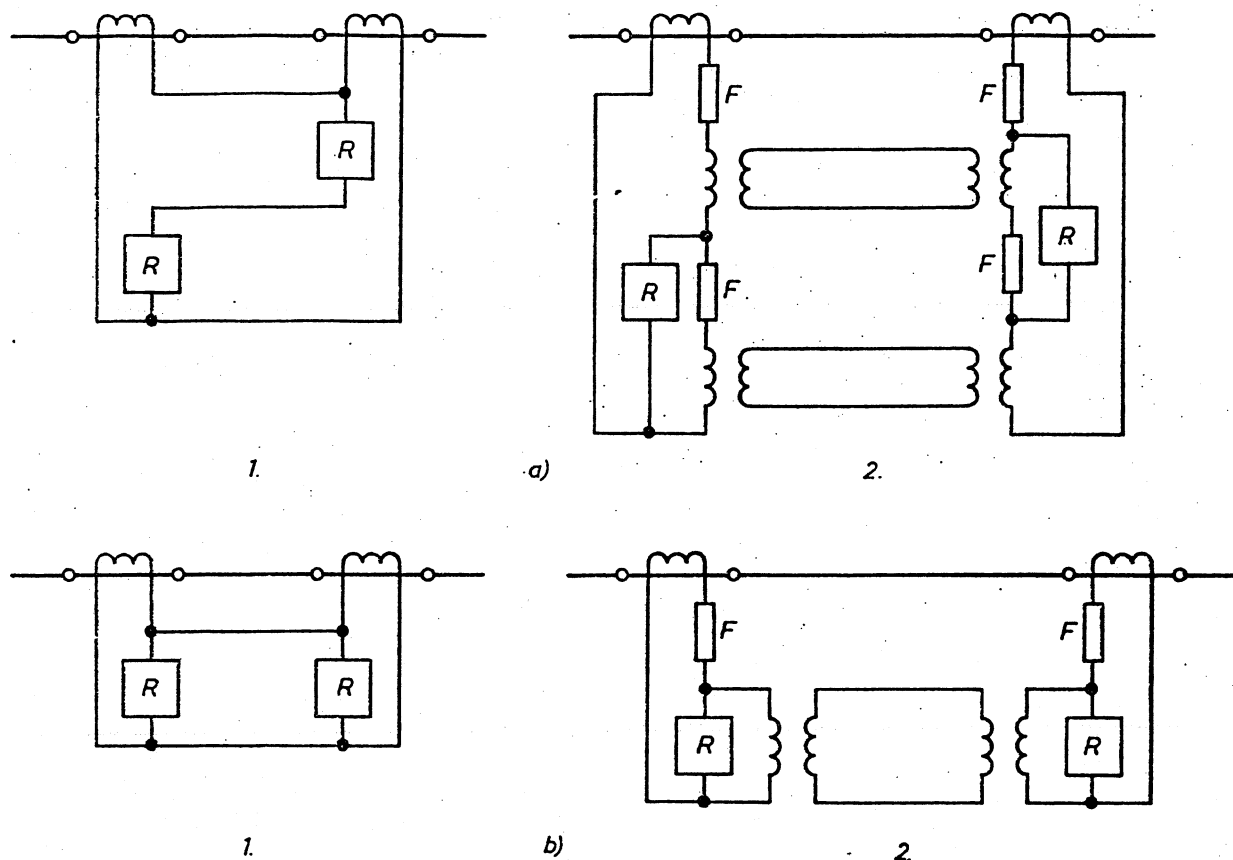


Az átvitt, tehát az *összehasonlítandó* jel lehet:

- lineáris jel, ami lehet áram vagy árammal arányos feszültség;
- nemlineáris jel, leggyakrabban az áram egyik *félhullámának fázishelyzetét hasonlítják össze* a másik oldalival, nagyság-összehasonlítás nélkül;
- logikai (igen-nem) jel, ami lehet a *zárlati teljesítmény irányának* összehasonlítása, távolsági védelmet szinkronozó vagy reteszelő jelátvitel stb.

#### a) Lineáris jelátvitelű szakaszvédelem

A differenciálvédelmek mintájára kezdetben lineáris leképezéssel az áramokat hasonlították össze (4.59. ábra, 1. változatok). A hosszú kábel-összeköttetés nagy ellenállását a *kábel elé beiktatott közbenső áramváltók* segítségével transzformálják a főáramváltó számára kis értékre; ez a kábelben kis áramot, de viszonylag nagyobb feszültséget hozott létre (4.59. ábra, 2. változatok). A 4.59a ábrán sorba kapcsolt, a b ábrán pedig paralel kapcsolt reléekkel oldják meg azt a problémát, hogy a *védelemnek mindkét végponti megszakítót önállóan ki kell tudni kapcsolni*.

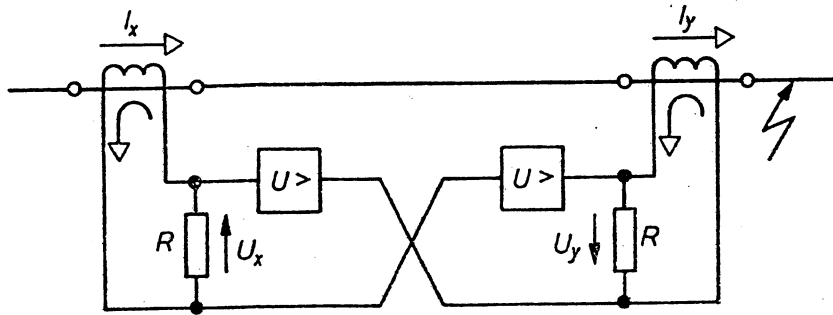


4.59. ábra. Lineáris jelátvitelű szakaszvédelem áramösszehasonlításra

a) soros relékapcsolás; b) paralel relékapcsolás

1 ábra: elv; 2 ábra: közbenső áramváltók az összekötő kábel terhelésének a csökkentésére  $F$ : fékezőtekercsek

A 4.60. ábra az ún. feszültség-összehasonlító kapcsolású védelmet mutatja be. Mivel a lineáris átvitel következtében minden hiba, amely a differenciálvédelemnél jelentkezett, itt is előjön, ezért a lineáris szakaszvédelmet is stabilizálni kell. A 4.59a ábrán az  $F$  tekercsekkel áramirány-stabilizálást lehet megvalósítani. Mind a 4.59a, mind a b ábrán az  $F$  tekercsekkel nemlineáris fékezés valósítható meg (l. a 4.7.2. szakasz a) pontját).



Külső zárlat:  $U_x + U_y = 0$

4.60. ábra.  
Feszültség-összehasonlító  
szakaszvédelem

A lineáris érzékelést zavarja még az összekötő kábel kapacitása, valamint a kábelbe a primer áram távolbahatása miatt beindukálódó kereszt-, és hosszirányú feszültségek és az állomási potenciálemelkedés is. Nehézséget okoz gyakran a zárlatkor a védelem normális működése során a kábelerek között fellépő, néha több ezer voltos feszültség is. Mindezek miatt különleges kivitelű kábelekre van szükség. Fontos, hogy kábeles összeköttetés esetében csak egy helyen szabad földelést készíteni.

A modern relétechnikában lineáris leképezést már nem alkalmaznak. Helyette a nem-lineáris jeleket átvivő fázis-összehasonlító szakaszvédelem és a logikai (igen-nem) jeleket átvivő szakaszvédelem terjedt el.

#### b) Fázis-összehasonlító szakaszvédelem

A fázis-összehasonlító szakaszvédelem alapelve a 4.61. ábrán követhető. Valamely védett elem végponti áramváltói csatoláson és szűrőkön keresztül egy négyszögösítő shapert táplálnak. A saját és a túloldalról érkező jelek külső zárlat esetén  $180^\circ$ -kal el vannak tolvódva, tehát kitöltik egymás hézagait. Ha belső zárlat lép fel – akár egyoldali a táplálás, akár kétoldali –, hézag lép fel, a jel lüktetővé válik. Ez a lüktető jel hozza létre a kioldást a mindkét oldalon beépített kiértékelőegységben. Figyelembe kell venni azt, hogy

- külső zárlat esetén a két oldal árama között pl. a kapacitív áramok miatt szögeltérés lehet, ill. az összeköttetésen a jelátviteli idő ad szögeltérést (4.61. ábra;  $x$ ), de ezeknek nem szabad kioldást előidézni;

- belső zárlat esetén a kétoldalról betáplált áram fázisszöge általában eltérő, ezért a 4.61. ábrán  $y$  értéke lényegesen kisebb lehet, mint  $180^\circ$ ; erre azonban a kioldásnak létre kell jönni.

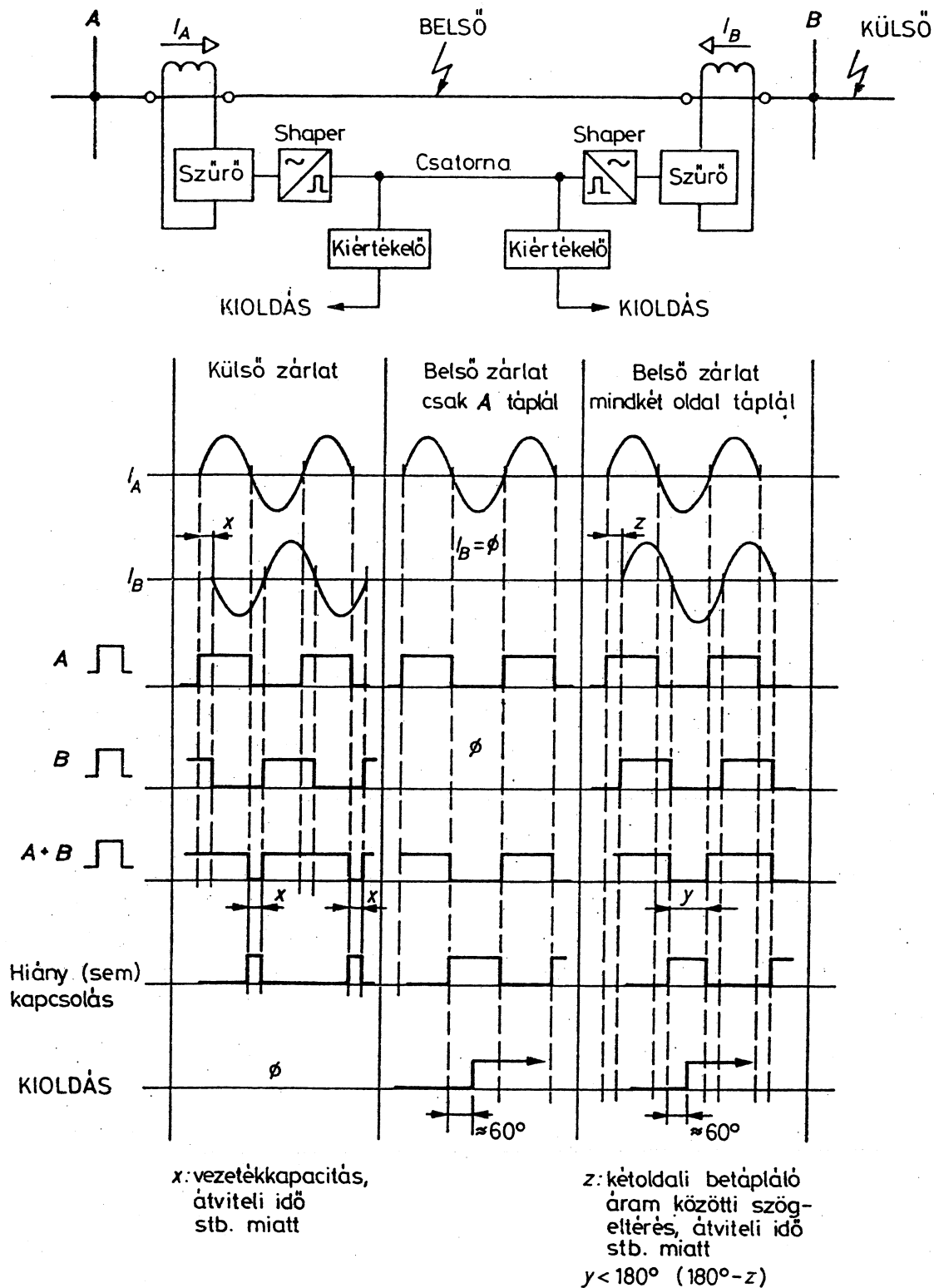
Az egyszerű kivitelezhetőség és a csak egy csatorna érdekében háromfázisú áramot keverik, és csak egy áramot hasonlítanak össze (pl.  $I = I_1 + k_2 I_2 + k_0 I_0$ ).

Ki kell emelni, hogy a fentiek szerint megvalósított elv lényege az, hogy a pl. csak pozitív félhullámra létrejövő négyszöggel reteszeli a kioldást, akár saját oldalról, akár a másik oldalról érkezik. Kioldás akkor jön létre, ha sem az egyik, sem a másik oldalról nem érkezik reteszelő-jel. Ezt hívják SEM-kapcsolásnak. Természetesen lehet két mérőelemmel külön a pozitív és külön a negatív félhullámokat is hasonlítani, így a védelem gyorsabb, ill. megbízhatóbb lesz.

Az elv szükségessé teszi ébresztőelem alkalmazását: ha nincs egyik oldalról sem jel, de van zárlati áram, akkor jön létre a kioldás. Az ébresztés egyúttal meggátolja a bizonytalan fázisszögű kis áramoknál esetleg előálló hibás kioldást.

Az elv lehetővé teszi, hogy több végpontú alakzatnál is alkalmazzák (a külső zárlatos leágazás reteszeli a többbit).

Az elv megkívánja, hogy a hasonlítandó áramok nullaátmenetében lényeges hiba ne legyen. Az áramváltó telítődése, a tranziens jelenségek, a zárlati áram egyenáramú komponense



4.61. ábra. Fázis-összehasonlító szakaszvédelem

ezt súlyosan megzavarhatja, ezért gondos méretezés, megfelelő szűrők alkalmazása és gyakran a kezdeti hibák kiszűrésére 10...30 ms késleltetés beépítése is szükséges. Ezáltal nem kívánt késleltetés jön létre.

A négyszögjel átvihető közvetlenül kábelben vagy vivőfrekvenciás összeköttetéssel. Utóbbi esetben a négyszögjel közvetlenül vezérelheti a VF jelet (vagy van, vagy nincs VF), ill. HF frekvenciaváltást vezérelhet, amelyet ráültetnek a VF csatornára.

c) Logikai jelátviteli szakaszvédelem

A csak igen-nem jelet átvivő szakaszvédelem működési elvét tekintve lehet:

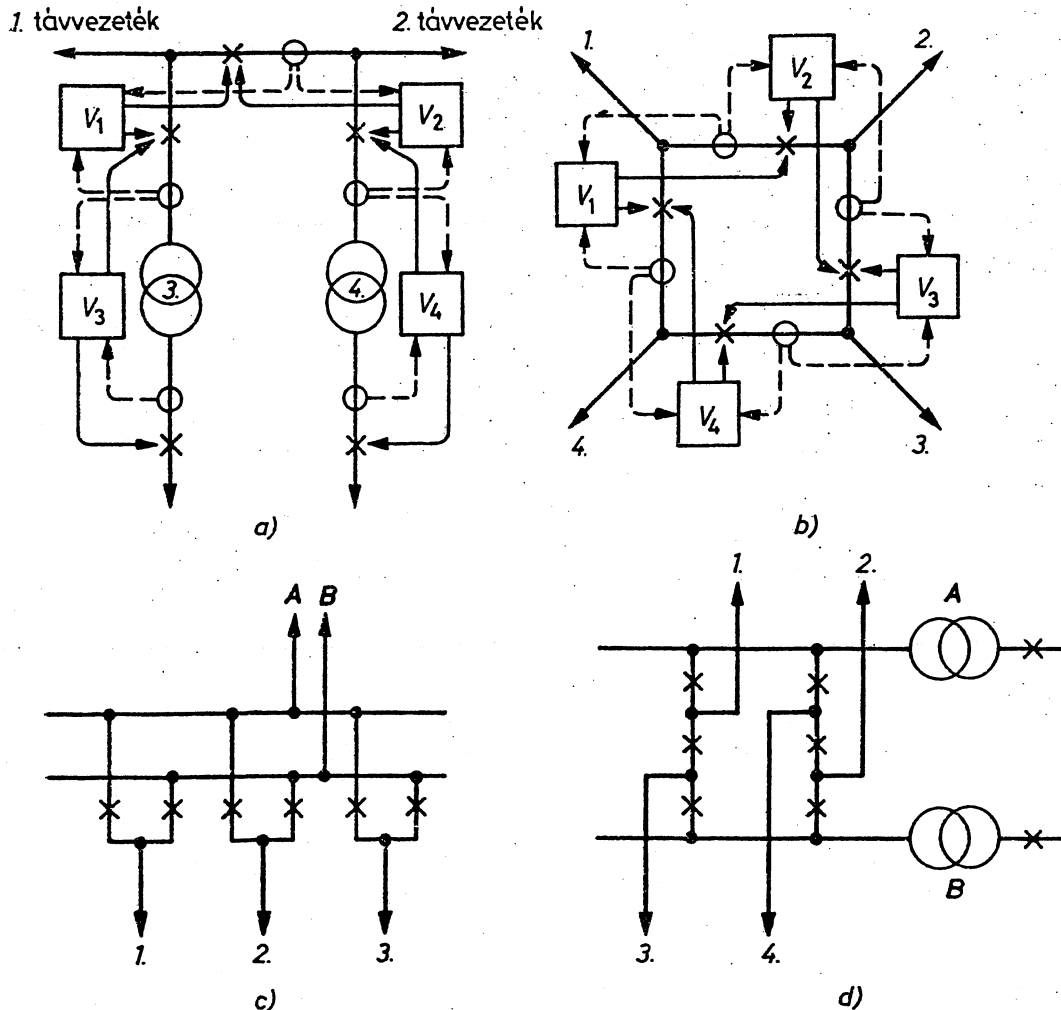
- zárlati teljesítményirány összehasonlításán alapuló; gyakorlatban a zérus sorrendű irányított túláramvédelmeket alkalmazzák ilyen kapcsolásban a nagy hibahelyi átmeneti ellenállású földzáratok gyors megfogására;
- távolsági védelem begyorsítása a vezetékvégi zárlatokra (l. részletesen a 4.6.6. pontot).

### 4.8. Gyűjtősínvédelmek

A villamosenergia-átvivő és -elosztó hálózat igen lényeges elemei a gyűjtősínek. Különleges helyzetük, koncentráltóságuk miatt védelmi problémáik is különlegesek.

A gyűjtősínvédelmek megoldását három csoportban célszerű tárgyalni:

- a primer állomás olyan kialakítása, amely önálló gyűjtősínvédelmi zónát nem tartalmaz, tehát gyűjtősínvédelem nem szükséges;
- gyűjtősínzáratok elhárítása a leágazások védelmével (természetes gyűjtősínvédelmi rendszer);
- önálló, speciális gyűjtősínvédelmek alkalmazása.



---> áramváltó-csatlakozás  
 —> kioldás

4.62. ábra. Gyűjtősínvédelmi zóna nélküli állomáselrendezések

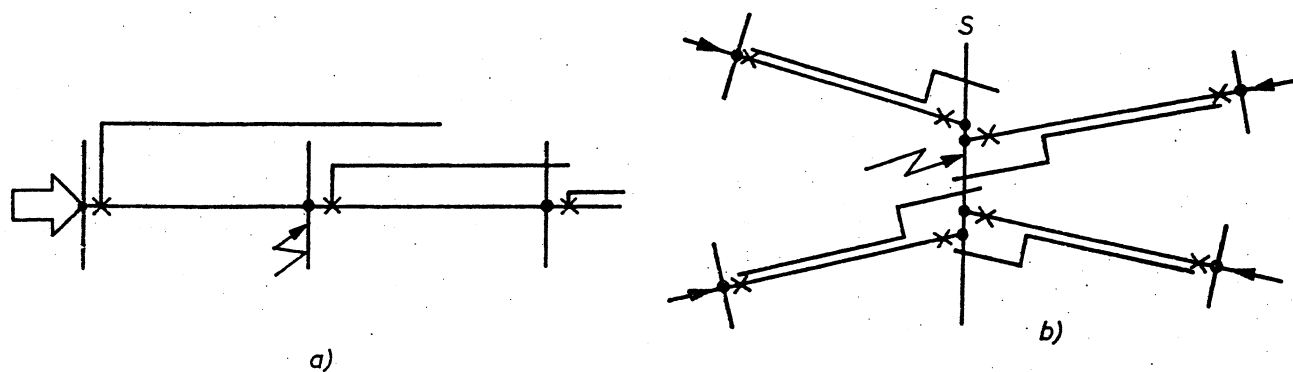
### 4.8.1. Gyűjtősínvédelmi zóna nélküli primer állomáselrendezés kialakítása

Több állomáskép nélkülözi a gyűjtősínzónát. A 4.62a ábra az ún.  $\Pi$ -kapcsolású állomás. A  $V_1$  és a  $V_2$  távvezetéki védelmet két-két áramváltó áramának összege táplálja, a védelmek saját két megszakítójukat működtetik. A  $V_3$  és a  $V_4$  transzformátorvédelem zónája közvetlenül csatlakozik  $V_1$  és  $V_2$  zónáihoz, így gyűjtősín az elrendezésben nincs.

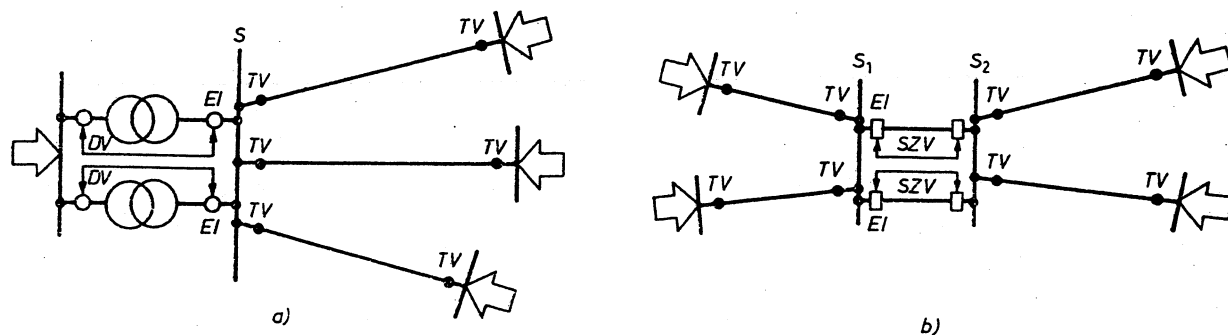
Hasonló a helyzet a 4.62b ábra négyleágazású poligon állomásképén is. A 4.62c és d ábra elrendezésén látszólag van gyűjtősín, de az  $A$  és  $B$  leágazásoknál nincs megszakító, így az egyik gyűjtősín az  $A$ , másik a  $B$  leágazás védelmi zónájához tartozik.

### 4.8.2. Természetes gyűjtősínvédelem

Ha a gyűjtősínzárlatokat a leágazási védelmek hártják, természetes gyűjtősínvédelemről beszélhetünk. A 4.63a ábrán sugaras hálózat túláramvédelmei védik a távvezetékhez csatlakozó gyűjtősíneket, a b) ábrán pedig hurkolt hálózat távolsági védelmei működnek második fokozatban. A természetes gyűjtősínvédelem elvéből adódóan késleltetett, hiszen a védett gyűjtősínek éppen a védelmek alap- és tartalékvédelmi határán helyezkednek el. Ha ez a késleltetés nem engedhető meg, önálló gyűjtősínvédelmet kell létesíteni.



4.63. ábra. Természetes gyűjtősínvédelem  
a) sugaras hálózaton; b) hurkolt hálózaton



- TV távolsági védelem
- DV differenciálvédelem
- SZV szakaszvédelem
- EI szinziárlat hártására beépített egylépcsős impedanciavédelem

4.64. ábra. Természetes gyűjtősínvédelem kiegészítése differenciálevű védelemmel ellátott leágazásoknál

A differenciálevlű védelmek nem adnak tartalék védelmet a csatlakozó elemekre, mivel határuk egzakt, tehát nem adnak természetes gyűjtősínvédelmet sem. Ilyen esetben a gyűjtősín védelmére külön kiegészítést kell beépíteni. Többnyire egylépcsős impedanciavédelmeket (EI) alkalmaznak e célra, szelektivitási okok miatt mindig késleltetve. Két ilyen megoldást láthatunk a 4.64. ábrán. A *b*) ábrán a beépített EI védelmek mindkét gyűjtősín zárlata esetén működnek, és ezzel egyúttal az egyik gyűjtősín zárlatakor mentik a másik, ép gyűjtősínt.

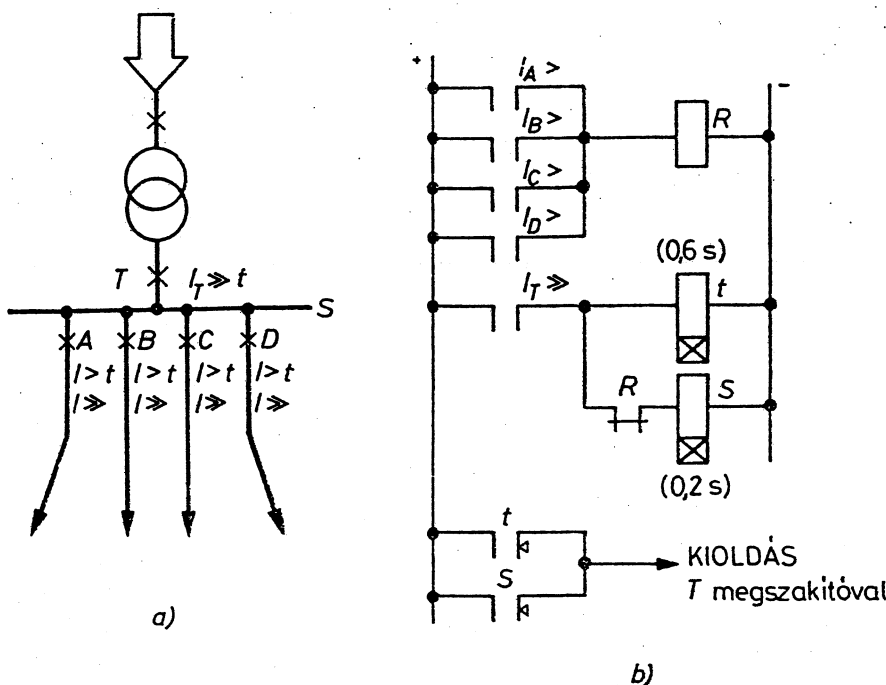
### 4.8.3. Önálló gyűjtősínvédelem

Önálló gyűjtősínvédelmet kell alkalmazni, ha a természetes gyűjtősínvédelem késleltetett kioldása nem felel meg, tehát pillanatműködésű gyűjtősínzárlat-hárítás szükséges. Ez a szigorú követelmény akkor áll elő, ha:

- a nagy zárlati teljesítmény miatt a rombolódás veszélye nagy;
- fémtokozású gyűjtősínt alkalmaztak (átégési veszély);
- szennyezett környezet, köd stb. miatt a zárlati gyakoriság nagy;
- a tranziens stabilitási vizsgálatok szerint pillanatműködésű zárlathárítás szükséges.

#### a) Egyedi gyűjtősínvédelmek

A sugaras hálózaton alkalmazott gyűjtősínvédelmek, így az áramszelektív túláramvédelmek (l. a 4.3.6. szakasz *b*) pontját) vagy beállítási ütközés esetén a 4.5. alfejezet szerinti egylépcsős impedanciavédelmek mint gyűjtősínvédelmek helyes működéséhez szükséges egy szelektív időlépcsős késleltetés. Ez elhagyható, ha a védett gyűjtősínről leágazó összes elem koncentrált impedanciával indul. Ilyen eset áll elő pl. ha minden leágazásba zárlatkorlátozó fojtótekercset építenek be (3.6*b*. ábra), ezenkívül esetleg még transzformátor ágazik le a gyűjtősínről. Ekkor egyedi gyűjtősínvédelem beállítási feltétele az, hogy minimális gyűjtősínzárlatra biztosan megszólaljon, de a legkisebb impedenciájú koncentrált elem túloldalán fellépő zárlatra ne.



4.65. ábra. Logikai reteszelésű, ún. „egyenáramú” differenciálvédelem  
*a*) primer séma; *b*) egyenáramú séma

## b) Logikai reteszelésű gyűjtősínvédelem, más néven „egyenáramú differenciálvédelem”

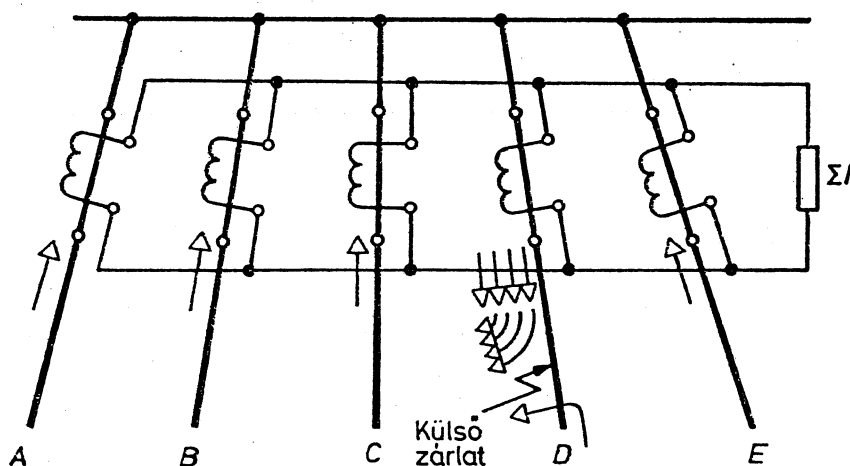
Az *a)* pontban említett, sugaras hálózatokon alkalmazott gyűjtősínvédelmek késleltetését logikai reteszeléssel általános esetben is – tehát koncentrált impedancia nélkül is – gyakorlatilag pillanatműködésűvé (kb. 0,2 s késleltetés) lehet tenni.

Az elv a 4.65. ábrán követhető. Az *S* tápsín védelmére a 4.3.6. szakasz *b)* pontja szerinti, egy szelektív időlépcső késleltetésű, áramszelektív túláramvédelmet ( $T, I_T \gg t$ ) alkalmazzák. A késleltetés megszüntethető, ha a leágazások kétlépcsős túláramvédelmének (4.11. ábra) kisebb árambeállítású, késleltetett fokozatát használják reteszelés céljára. A 4.65b ábra szerint a késleltetett fokozatok túláramreléinek pillanatérintkezője behúzza *R* relét. Ha tehát megszólal a *T* gyűjtősínvédelem  $I_T \gg$  reléje és *R* relé nem, akkor sínzárlat lépett fel, és *S* relén át azonnal kiold *T* megszakító. Ha közeli leágazási zárlat lépett fel, akkor megszólal az egyik leágazás késleltetett túláramreléje is, ezáltal behúz *R* relé, és reteszeli *S* működését. Ekkor csak a leágazási gyorsfokozatokhoz képest szelektív *t* időrelé késleltetésével juthat a gyűjtősínvédelem szóhoz. *S* kb. 0,2 s-os késleltetése az érintkezőjátékok átfedéséhez szükséges.

## c) Gyűjtősín-differenciálvédelem

Általános esetben, főleg hurkolt hálózat gyűjtősínein pillanatműködésű gyűjtősínvédelmet csak differenciálvédelemmel lehet megvalósítani. A gyűjtősín-differenciálvédelem alapelve – mint általában a differenciálevű védelmeké – Kirchhoff I. törvényén alapul (4.66. ábra). A vele kapcsolatos probléma is ugyanabból ered: a primer áramokra külső zárlatkor a  $\Sigma I = 0$  egyenlet pontosan érvényes, a szekunder-áramokra az áramváltóhibák miatt nem. Amíg telítés nincs, addig tisztán áramérzékeléssel lehet megoldani a problémát úgy, hogy az áramrelét biztonsággal a maximális hiba fölé, de a minimális zárlati áram alá állítják be. Az elvi lehetőség megemlítése mellett azonban le kell szögezni, hogy ez a megoldás igen alárendelt esetben megvalósítható ugyan, de gyakorlatilag *nincs* alkalmazási területe.

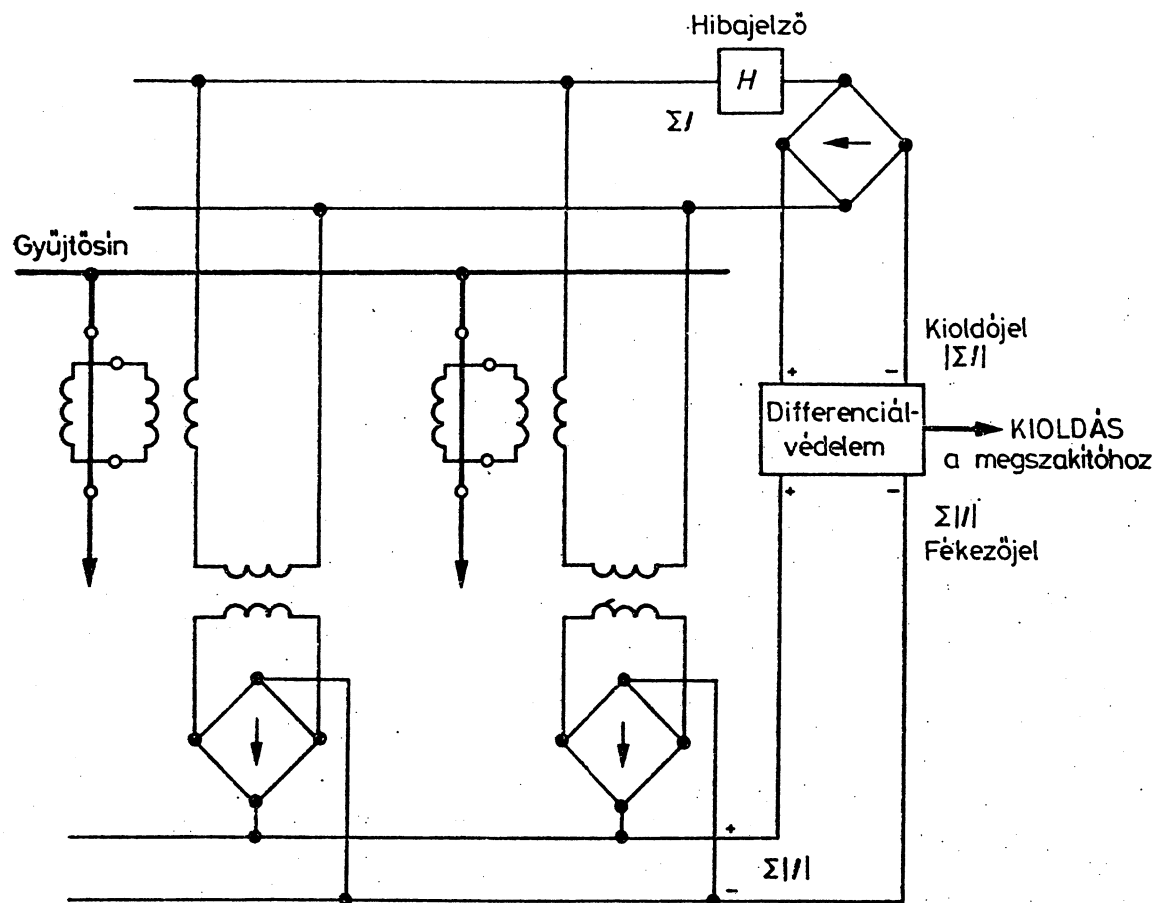
A gyűjtősín-differenciálvédelem működése belső zárlatra általában nem problematikus, hiszen minden leágazás a maga áramát hozza, telítés nem vagy csak kismértékben következhet be. Az alapvető probléma itt is a *külső zárlatkor való hibás megszólalás megakadályozása*. A 4.66. ábrán látható egy közeli külső zárlat áramképe: minden leágazás a maga áramát táplálja be, a *D* leágazáson ezek összege koncentráltan zúdul ki, tehát a *D* leágazás áramváltója nagy valószínűséggel telítődik (l. 4.9. alfejezetet is).



4.66. ábra. Gyűjtősín-differenciálvédelem elve

Mivel a problémák lényegében ugyanazok, mint a differenciálvédelmeknél, a megoldások is azonosak. A 4.7.2. a) pontja szerinti stabilizált differenciálvédelem gyűjtősínvédelem céljaira alkalmas kivitelét láthatjuk a 4.67. ábrán (l. még a 6.3.3. pontot is).

A 4.7.2. szakasz b) pontja szerinti nagy impedanciájú differenciálvédelem (l. még a 4.51. és 4.52. ábrát is) igen jó eredménnyel használható gyűjtősín-differenciálvédelemként, ezért gyakran alkalmazzák.



4.67. ábra. Nemlineáris fékezésű gyűjtősín-differenciálvédelem elvi kapcsolása

Az áramirány-összehasonlító gyűjtősín-differenciálvédelem elve a 4.66. ábrán követhető. Belső zárlatkor az összes leágazás árama a gyűjtősín felé folyik, tehát kb. azonos irányú. Külső zárlatkor egy áram, a zárlatos leágazásé fordított, tehát a fázis-összehasonlító szakaszvédelemnél (4.7.3. szakasz b) pontja) leírt, és a 4.61. ábrán bemutatott elv gyűjtősínvédelem céljaira is alkalmazható (l. a 8. fejezetet).

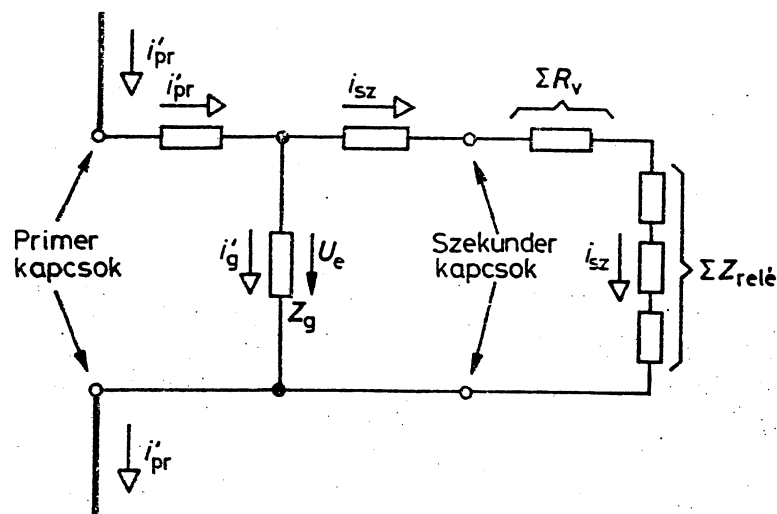
## 4.9. Áramváltók viselkedése zárlati tartományban

Az áramváltó célja egyrészt a primer több száz vagy több ezer amperes áramerősség letranszformálása a védelmek és műszerek számára könnyen kezelhető kis értékre, másrészt a primer nagyfeszültség elszigetelése a szekunder berendezésektől. Az áramváltó lényegében rövidrezárt transzformátor. A szekunder tekercsre azonban sorosan reléket és műszereket kapcsolnak rá, így a rövidzár nem teljes. Az áramváltó szekunder körü terhelése zérus, ha rövidre zárják, és annál nagyobb, minél több relét és műszert kell sorba kötni, minél nagyobb  $Z_t$  impedanciát jelentenek a relék és műszerek, és a velük sorba kötött vezeték, amely az áramváltókat a relékkel és a műszerekkel összeköti. A terhelés növekedésével nő az áramváltó



$U_{sz}$  szekunder kapocsfeszültsége, a nála valamivel nagyobb  $U_e$  indukált feszültség, és így az áramváltó vasmagjában a  $\Phi$  váltakozó fluxus, tehát az  $i_g$  gerjesztőáram is.

Az áramváltó leképezési hibáját a 4.68. ábra alapján lehet megállapítani, a csomóponti törvény alapján:  $i'_g = i'_{pr} - i_{sz}$ , ahol  $i_{sz}$  a szekunder áram,  $i'_{pr}$  az áramváltó áttételével szekunder oldalra átszámított primer áram. Az egyenlet mind állandósult, mind tranziens viszonyokra érvényes. Megállapítható, hogy minden üzemállapotban az áramváltó minden leképezési hibájának forrása az  $i_g$  gerjesztőáram.



4.68. ábra.

Áramváltó helyettesítő kapcsolása

A védelmek megbízható és pontos működésének egyik legfontosabb, mondhatni sarkalatos pontja az, hogy a védelmet tápláló áramváltó hogyan képezi le az áramot, hogyan adja vissza a primer zárlati áram nagyságát és görbealakját a szekunder oldalon. A védelmek — a mérőműszerekkel, különösen a fogyasztásmérőkkel ellentétben — nem kívánnak az áramváltóktól nagy pontosságot, általában 3...5 % megfelelő, gyakran még 10 % hiba is elviselhető. Ennek oka az, hogy a védelmek pontos érzékelését számos egyéb hiba is zavarja, mint pl. a hibahelyi átmeneti ellenállás, adatismereti bizonytalanságok a zárlatszámításnál figyelembe vett hálózati elemeknél stb. Ez azt jelenti, hogy az áramváltó hibája mindaddig nem zavarja meg a védelmek működését, amíg a *vasmag el nem jut a telítésig, mert ekkor  $i_g$  gerjesztőáram már ugrásszerűen megnő*, és a leképezés akár 50...80 %-osan hibás lehet. A méretezés alapja mind stacioner, mind tranziens viszonyok között a telítés elkerülése vagy kordában tartása.

Az áramváltóknak többnyire 2–4 független magjuk van, közülük egy vagy kettő mérőmag, a többi relémag.

A *mérőmag* elsősorban műszerek és fogyasztásmérők táplálására szolgál. Pontos leképezést (0,1...1 %) a névleges áram alatti értékeknél kell, hogy adjon, és a névleges fölött — éppen a műszerek kímélése érdekében — hamar telítődik. A biztonsági határtényező (túláramszorzó) azt adja meg, hogy a névlegesen terhelt műszernél hány-szoros névleges áramértéknél lesz a hiba 10 %, azaz hol kezdődik a telítés. Védelem kapcsolható rá, de csak viszonylag kis áramra működő (telítés *alatt* megszólaló) áramrelé, pl. tartalékvédelemként.

A *relémag* elsősorban védelmek táplálására való. Pontos leképezést (3...5 %) főleg a névleges áramérték feletti tartományban ad. A továbbiakban az ilyen magok tulajdonságaival foglalkozunk.

#### 4.9.1. A védelem és a sorba kötött vezeték mint áramváltó-terhelés

Az áramváltók méretezésében mind a stacioner, mind a tranziens telítés elkerülését célzó számítások alapja az, hogy milyen terhelést kapcsolnak az áramváltóra.

a) Az áramváltóra kötött védelem mint terhelés

Az áramváltóra kapcsolt védelemterhelést teljesítményben ( $S_n^V$ ) adják meg. Ez a teljesítmény a védelem névleges áramértékére ( $I_n^V$ ) vonatkozik. Mivel:

$$S_n^V = (I_n^V)^2 \cdot Z^V \quad \text{VA},$$

ezért a védelem terhelő impedanciája

$$Z^V = \frac{S_n^V}{(I_n^V)^2}. \quad (4.39)$$

Ha a tápláló áramváltó  $I_n^A$  árama eltér a védelemétől, akkor a védelem

$$S^A = (I_n^A)^2 Z^V = \left( \frac{I_n^A}{I_n^V} \right)^2 S_n^V \quad \text{VA}$$

teljesítménnyel terheli az áramváltót. Pl. 1 A-es védelmi és 5 A-es áramváltó névleges áram esetén a szorzó 25-szörös. A főáramváltót terhelő impedancia természetesen azonos marad, de az 1 A-es védelem impedanciája kb. 25-szörös, mint az 5 A-esé. Emiatt célszerű mindig a védelem terhelő impedanciájával számolni. Figyelembe kell venni az összes lehetséges zárlatfajtát is. Pl. a legtöbb távolsági védelem áramváltóköri impedanciája a nullaköri járulékos elemek miatt FN zárlatkor nagyobb, mint pl. 2F vagy 3F zárlatkor.

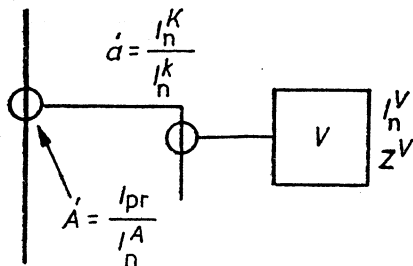
b) Közbenső áramváltó hatása

Ha a védelem és a főáramváltó közé közbenső áramváltót iktatnak be, akkor a védelemterhelés a közbenső áramváltóra (4.69. ábra)

$$S^K = (I_n^K)^2 Z^V = \left( \frac{I_n^K}{I_n^V} \right)^2 S_n^V \quad \text{VA}$$

és a főáramváltóra:

$$S^A = (I_n^A)^2 \left( \frac{I_n^K}{I_n^K} \right)^2 Z^V = \left( \frac{I_n^A}{I_n^V} \right)^2 \left( \frac{I_n^K}{I_n^K} \right)^2 S_n^V \quad \text{VA}. \quad (4.40)$$



4.69. ábra.

Közbenső áramváltó hatása az áramváltó-terhelésre

A terhelőimpedancia az ismert módon számítható. A főáramváltóra:

$$Z^A = \frac{S^A}{(I_n^A)^2} = \left( \frac{I_n^K}{I_n^K} \right)^2 \frac{S_n^V}{(I_n^V)^2} = \left( \frac{I_n^K}{I_n^K} \right)^2 Z^V, \quad (4.41)$$

azaz változik.

A közbenső áramváltót azért alkalmazzák, hogy pl. differenciálvédelmek kiegyenlítését megvalósítsák, nem megfelelő érzékenységű, ill. nem megfelelő névleges áramú védelmet illesszenek a főáramváltóhoz stb. A közbenső áramváltónak lényeges hátránya is van azonban

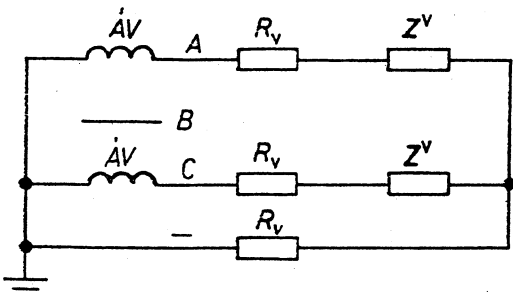
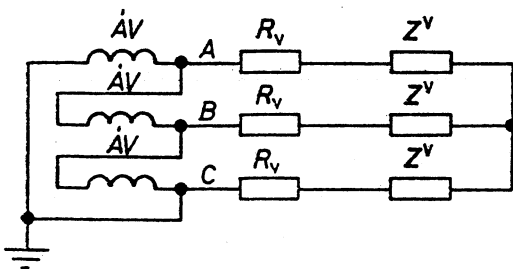
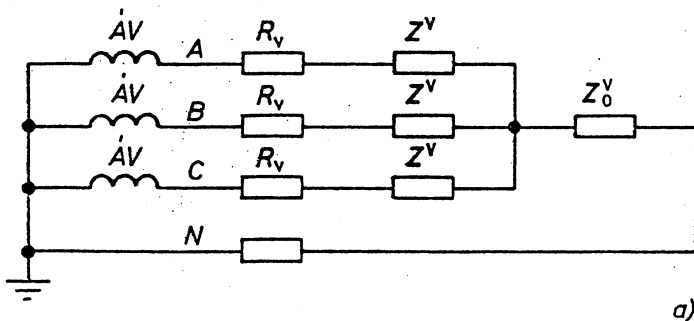
- saját járulékos terhelésével (önfogyasztás) többletként terheli a főáramváltót;
- általában kedvezőtlen tranziens viselkedése járulékos problémákat okoz;
- a védelem irányában emelő áttétel esetén veszélyesen felemeli a védelem terhelését a főáramváltóra [l. a (4.41) egyenletet; pl. 1/5 A-es emelés esetén 25-szörösre].

c) Teljes vezetékterhelés és védelemterhelés számítása

A védelmek impedanciájához hozzá kell adni az áramváltó és a védelem közötti kábelerek és vezetékek impedanciáját is a  $Z_t$  teljes szekunder terhelőimpedancia meghatározása céljából. A vezetékek impedanciája gyakorlatilag teljesen határos, induktív rész nélkül.

Az áramváltó terhelésének tényleges értékét alapvetően befolyásolja az áramváltó szekunder tekercseinek kapcsolása is. A terhelést általában úgy kell kiszámítani, hogy az adott kapcsolásra fel kell venni az előforduló zárlati áramképeket, kiszámítani az áramváltók szekunder kapcsaira eső feszültséget és el kell osztani a kérdéses áramváltó tényleges szekunder áramával. Az így kapott értékek közül a maximális impedancia a tényleges terhelés. Mivel ez igen gyakran nagyobb, mint a valódi vezeték-, ill. védelemimpedancia, a tényleges és a valódi érték hányadosát  $\alpha$  tényezővel szokás jellemezni és méretezésnél azzal szokás számolni.

Példaként végezzük el a számítást a 4.70. ábra leggyakrabban alkalmazott három különböző kapcsolására. Az a) ábrán 3F zárlatkor  $\alpha$  értéke mind  $R_v$  vezetékimpedanciára, mind  $Z^v$  védelemimpedanciára: 1. FN zárlatra, ha  $I_1 = I_2 = I_0$ ,  $\alpha$  értéke  $R_v$ -re: 2 (a nullági visszavezetés miatt),  $Z^v$ -re: 1,  $Z_0^v$ -ra is 1; ha végponti esetben  $I_1 = I_2 = 0$ , és csak  $I_0$  áramfolyik, akkor  $R_v$ -re: 4,  $Z^v$ -re: 1, és  $Z_0^v$ -ra: 3. A többi zárlati esetre és kapcsolásra a szorzókat a



4.70. ábra. Áramváltó-terhelések  $\alpha$  szorzói

	$R_v$			$Z_v$			$Z_{c0}$		
	3F	2F	FN	3F	2F	FN	3F	2F	FN
a) 1	1	1	2 (4)	1	1	1 (1)	0	0	1 (3)
b) 3	3	3	–	3	3	–	–	–	–
c) $\sqrt{3}$	2	2	2 (3)	1	1	1 (1)	–	–	–

c)  $\alpha$  szorzó maximális értékei (a zárójeles értékek végponti esetre vonatkoznak) a) csillagkapcsolás; b) deltakapcsolás; c) V-kapcsolás;

4.70. ábra táblázatában találhatjuk meg. Méretezéskor mindig a legnagyobb impedanciát adó szorzókkal kell számolni.

A teljes  $Z_t$  terhelőimpedanciába bele szokták érteni az áramváltó szekunder tekercsellenállását is. Az áramváltók szekunder szórási reaktanciája a gyakorlati esetekben elhanyagolható.

#### 4.9.2. Áramváltók méretezése stacioner viszonyokra

A védelmet tápláló áramváltó jellemző névleges értékei a következők: névleges szekunder áram:  $I_n^A$ , névleges szekunder terhelés:  $Z_{tn}$ , névleges teljesítmény:  $S_n^A = (I_n^A)^2 Z_{tn}$ , pontossági határtényező:  $n_v$ , névleges határfeszültség:  $U_K = n_v I_n^A Z_{tn}$ .

A stacioner méretezés *alapja az, hogy elkerüljük a telítést*. Ez előáll, ha a következők szerint méretezzük az áramváltót:

$$I'_{z \max} \cong n_v I_n^A, \quad (4.42)$$

ahol  $I'_{z \max}$  az áramváltó szekunder oldalára átszámított maximális zárlati áram, és

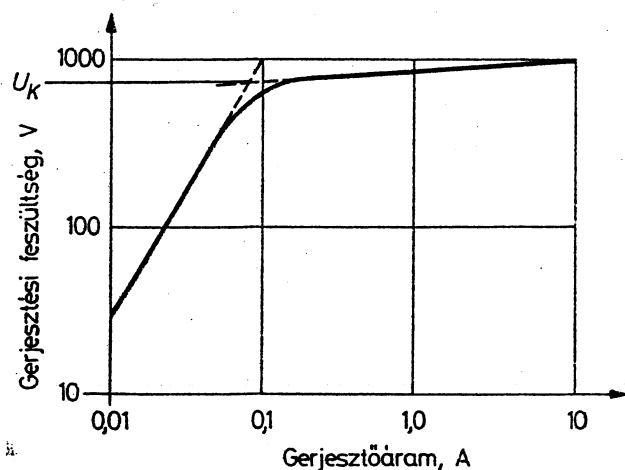
$$Z_t \cong Z_{tn}, \quad (4.43)$$

ahol  $Z_t$  a 4.9.1. szakasz alapján kiszámított teljes szekunder terhelőimpedancia.

E két méretezési egyenlet lényegében egyben is felírható:

$$U_{sz} = I'_{z \max} Z_{tn} \cong U_K, \quad (4.44)$$

ahol  $U_{sz}$  a tényleges szekunder feszültség. (4.44) szerint a telítés stacioner viszonyok között nem áll elő, ha a tényleges szekunder feszültség soha nem lépi át a telítésre jellemző  $U_K$  határfeszültséget, más néven a könyök feszültséget.  $U_K$  értéke az áramváltó gerjesztési görbéjéből a 4.71. ábra alapján határozható meg. Lényeges, hogy mindkét tengelyen logaritmusos lépték legyen.



4.71. ábra. Áramváltó határfeszültségének (könyökfeszültségének) megállapítása szekunder oldali gerjesztéssel

#### 4.9.3. Áramváltók tranziens viszonyai

##### a) Alapadatok

A tranziens viszonyok tárgyalásánál a következő adatokat, tényezőket, ill. időállandókat vesszük figyelembe:

- $A$  az áramváltó vizsgált vasmagjának keresztmetszete;
- $B$  a vasmagban fellépő indukció pillanatértéke;

- $B_K$  telítési indukció;  
 $B_R$  az áramváltó vasmagjának remanenciája;  
 $H$  az áramváltó vasmagjának mágneses térerőssége;  
 $i_{pr}$  a zárlati áram pillanatértéke;  
 $i_{sz}$  az áramváltó szekunder áramának pillanatértéke;  
 $i_g = i_{pr} - N_{sz}i_{sz}$  az áramváltó gerjesztőárama ( $i'_g = i_{pr}/N_{sz} - i_{sz}$  a szekunder oldalra átszámítva);  
 $I_{pr}$  a zárlati áram váltakozó áramú összetevőjének effektív értéke ( $I'_{pr}$  a szekunder oldalra átszámítva);  
 $K$  telítési tényező (túlméretezési tényező, tranziens méretezési tényező), a telítésig lehetséges maximális stacioner terhelés és a tényleges terhelés viszonya;  
 $K_R = \frac{B_R}{B_K} 100$  az áramváltó vasmagjában fellépő remanencia százalékos értéke;  
 $L_0$  az áramváltó gerjesztőkörének induktivitása (a gerjesztőkör hatásos ellenállása elhanyagolva);  
 $L_t$  az áramváltó  $Z_t$  terhelésének induktivitása (az áramváltó szekunder tekercsének szórásos induktivitását elhanyagoljuk;  $L_t$ -nél figyelembe kell venni a stacioner méretezés 4.9.1. pontjának szorzóit),  
 $l$  az áramváltó vizsgált vasmagjának közepes erővonalhossza;  
 $N_{sz}$  az áramváltó szekunder tekercsének menetszáma (a primer tekercs menetszámát  $N_{pr} = 1$ -nek tételezzük fel, így az áramváltó áttétele  $N_{sz}/1$ ),  
 $R_1$  a primer hálózat zárlati helyre vonatkozó mérésponti impedanciájának hatásos része,  
 $X_1$  az előző induktív része;  
 $R_t$  az áramváltó  $Z_t$  terhelésének hatásos része, beleértve az áramváltó szekunder tekercsének ellenállását is (itt figyelembe kell venni a stacioner méretezés 4.9.1. szakasz szerinti szorzóit is);  
 $t_t$  a zárlat pillanatától az áramváltó tranziens telítésének megkezdéséig eltelt idő, a telítési idő;  
 $T_1 = \frac{L_1}{R_1} = \frac{X_1}{\omega R_1}$  a primer hálózatnak a zárlati helyre vonatkozó időállandója (0,005... ..0,5 s);  
 $T_2 = \frac{L_t + L_0}{R_t}$  az áramváltó időállandója (1...3 s);  
 $u_e$  az áramváltó szekunder tekercsében indukált feszültség pillanatértéke;  
 $U_K$  az áramváltó telítési feszültségének (névleges határfeszültség, könyökfeszültség) effektív értéke;  
 $Z_t = \sqrt{R_t^2 + \omega^2 L_t^2}$  a teljes terhelési impedancia, a szekunder tekercs ellenállásával együtt (a szórásos elhanyagolják, de figyelembe kell venni a stacioner méretezés 4.9.1. pontjának szorzóit is);  
 $\vartheta_t = \arctg \frac{\omega L_t}{R_t}$  a szekunder terhelés fázisszöge;  
 $\vartheta_0 = \arctg \frac{\omega(L_t + L_0)}{R_t}$  az áramváltó teljes áramkörének fázisszöge;  
 $\Psi_{sz} = N_{sz}\Phi$  az áramváltó szekunder tekercsfluxusa;  
 $\Phi$  az áramváltó vasmagjában fellépő fluxus;  
 $\mu_0$  a levegő permeabilitása;  
 $\mu_r$  a vasmag relatív permeabilitása.

b) Az áramváltó tranziens viszonyai lineáris és telítődő vasmag esetén

A 4.68. ábra és az előzőkben megadott alapadatok segítségével felírhatók a kiindulóegyenletek:

$$u_e = \frac{d\Psi_{sz}}{dt}, \text{ másrészt: } u_e = i_{sz}R_t + L_t \frac{di_{sz}}{dt}, \text{ továbbá: } \Psi_{sz} = N_{sz}\Phi = N_{sz}BA.$$

E három egyenletet összevonva:

$$AN_{sz} \frac{dB}{dt} = i_{sz}R_t + L_t \frac{di_{sz}}{dt}. \quad (4.45)$$

A (4.45)-ben szereplő szekunder áram az áramváltó gerjesztési egyenletéből határozható meg:

$$Hl = i_{pr} - i_{sz}N_{sz}, \text{ ebből: } i_{sz} = \frac{i_{pr} - Hl}{N_{sz}},$$

$$\text{és mivel } H = \frac{B}{\mu_0\mu_r},$$

$$\text{így } i_{sz} = \frac{i_{pr}}{N_{sz}} - \frac{Bl}{\mu_0\mu_r N_{sz}}, \text{ és } \frac{di_{sz}}{dt} = \frac{1}{N_{sz}} \frac{di_{pr}}{dt} - \frac{l}{\mu_0\mu_r N_{sz}} \frac{dB}{dt}.$$

Behelyettesítve ezt (4.45)-be, és figyelembe véve, hogy az áramváltó gerjesztőkörének induktivitása

$$L_0 = \frac{\mu_0\mu_r AN_{sz}^2}{l} \quad (4.46)$$

( $L_0$  értéke állandó, mivel *lineáris* vasmagot feltételeztünk), az eredmény a következő differenciálegyenlet lesz:

$$\frac{dB}{dt} = \frac{R_t}{AN_{sz}^2} i_{pr} - \frac{R_t}{L_0} B + \frac{L_t}{AN_{sz}^2} \frac{di_{pr}}{dt} - \frac{L_t}{L_0} \frac{dB}{dt}.$$

Feltételezve, hogy a primer zárlati áram

$$i_{pr} = \sqrt{2}I_{pr} \left( e^{-\frac{t}{T_1}} - \cos \omega t \right), \quad (4.47)$$

és megoldva a differenciálegyenletet, az áramváltó vasmagjában levő  $B$  indukció időfüggvénye:

$$B = \left[ \frac{L_0}{AN_{sz}} \right] \sqrt{2}I_{pr} \left[ \frac{T_1}{T_2 - T_1} \left( e^{-\frac{t}{T_2}} - e^{-\frac{t}{T_1}} \right) + \frac{L_t}{R_t} \frac{T_1}{T_2 - T_1} \left( \frac{1}{T_1} e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{1}{T_2} e^{-\frac{t}{T_2}} \right) - \frac{L_t}{R_t} \frac{1}{T_2} e^{-\frac{t}{T_2}} - \frac{Z_t}{Z_t + X_0} \cos(\omega t + \vartheta_t - \vartheta_0) \right]. \quad (4.48)$$

Az indukció függvényéből az áramváltó gerjesztőárama könnyen megkapható:

$$i'_g = \frac{i_{pr}}{N_{sz}} - i_{sz},$$

és mivel  $N_{sz}i'_g = Hl$ , és  $H = B/\mu_0\mu_r$ ,

és felhasználva (4.46)-ot:

$$B = \left[ \frac{L_0}{AN_{sz}} \right] i'_g, \quad \text{azaz} \quad i'_g = \left[ \frac{AN_{sz}}{L_0} \right] B. \quad (4.49)$$

Feltételezve a következő elhanyagolásokat

$$L_0 \gg L_t \quad \text{és} \quad \omega L_0 \gg R_t,$$

így

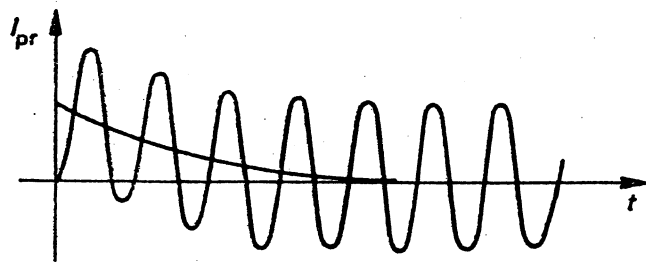
$$\vartheta_0 = 90^\circ, \quad \frac{L_t}{R_t} \frac{1}{T_2} \approx 0, \quad \frac{\omega T_2 \cdot Z_t}{Z_t + X_0} \approx \frac{1}{\cos \vartheta_t},$$

eért a második és harmadik tag kiesik, és a következő egyszerűsített összefüggés adódik:

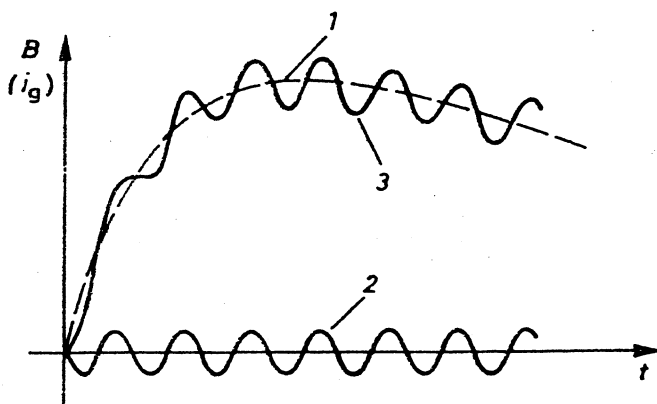
$$B = \left[ \frac{L_0}{AN_{sz}} \right] \sqrt{2} I'_{pr} \frac{1}{\omega T_2} \left[ \frac{\omega T_1 T_2}{T_2 - T_1} \left( e^{-\frac{t}{T_2}} - e^{-\frac{t}{T_1}} \right) - \frac{1}{\cos \vartheta_t} \sin(\omega t + \vartheta_t) \right]. \quad (4.50)$$

A (4.50) maximumértéke a biztonság irányában tévedve  $\sin x = -1$  esetén kapható:

$$B = \left[ \frac{L_0}{AN_{sz}} \right] \sqrt{2} I'_{pr} \frac{1}{\omega T_2} \left[ \frac{\omega T_1 T_2}{T_2 - T_1} \left( e^{-\frac{t}{T_2}} - e^{-\frac{t}{T_1}} \right) + \frac{1}{\cos \vartheta_t} \right]. \quad (4.51)$$



a)



b)

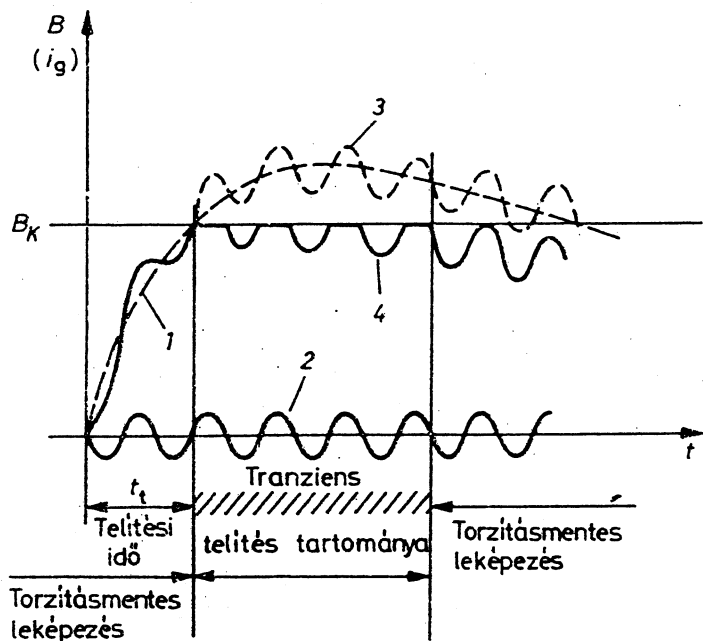
4.72. ábra. Áramváltó tranziens viszonyai telítetlen állapotban

a) primer áram; b) indukció (gerjesztőáram)

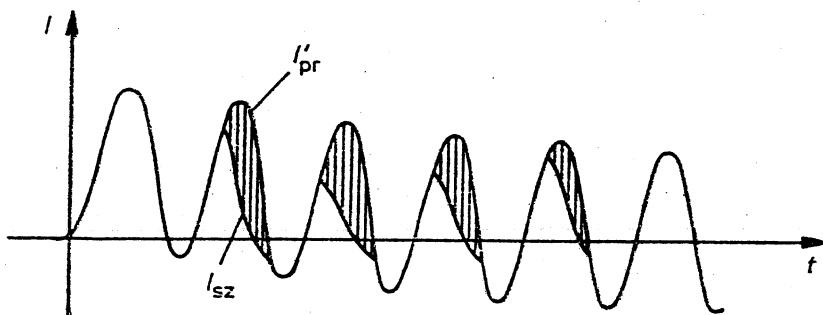
1 egyenáramú összetevő;

2 váltakozó áramú összetevő; 3 eredő görbe

A 4.72. ábrán látható a (4.47) egyenlet szerinti primer áram és a (4.48) egyenlet szerint létrejövő indukciógörbe [ez a (4.49) egyenlet szerint az  $i'_g$ -vel arányos], ha a vasmag *nem* telítődik. *Telítés esetére* a 4.73. ábra mutatja a viszonyokat, a 4.74. ábrán pedig a primer és a szekunde ráram görbéje látható példaként ugyancsak telítés esetén. A görbék jól tükrözik a valódi viszonyokat. Látható, hogy tranziens telítés esetén *a szekunder áram egy ideig pontosan van leképezve, azután súlyosan torzul, végül újból pontos lesz*. A 4.73. ábrán jól látható, hogy telítés esetén a telített állapot elméleti időtartama a valóságban lényegesen lecsökken (gerjesztés „elvész”), így a torzult leképezés rövidebb ideig tart.



4.73. ábra. Indukció alakulása a telítés figyelembevételével  
 1 egyenáramú összetevő; 2 váltakozó áramú összetevő;  
 3 eredő telítés nélkül; 4 telítés miatt torzult eredő görbe



4.74. ábra. Tranziens telítés hatása a szekunder áramra  
 $I'_{pr}$  primer áram;  $I_{sz}$  torzult szekunder áram

#### 4.9.4. Áramváltók méretezése tranziens viszonyokra

A védelmeket a torzuló szekunder áram (4.74. ábra) megzavarhatja. Ezt az áramváltókörök tranziens méretezése gátolja meg. Két különböző módszer ismeretes erre (gyakran a kettőt kombináltan használják): a telítés teljes elkerülése, ill. a telítés elkerülése a védelem működési idejéig. Szükséges mindkét módszerhez kiegészítő szigorító feltétel: a remanencia figyelembevétele.



A két tranziens méretezési módszernél az áramváltóköröket a 4.9.2. pont szerinti stationer méretezéshez képest lényegesen, (5...100)-szorosán túl kell méretezni. Feladat tehát a szükséges  $K$  túlméretezési tényező megállapítása és betartása.

a) A telítés teljes elkerülése

A tranziens telítés elkerülhető, ha az áramváltó vasmagjában fellépő indukció sohasem lépi át a  $B_K$  telítési indukció értékét. Kiindulva a (4.51) egyszerűsített egyenletből és feltételezve, hogy a szekunder terhelés csak hatásos, azaz  $\cos \vartheta_t \approx 1$ , ill.  $L_0/T_2 \approx R_t$ , és figyelembe véve, hogy a telítés éppen fellép, azaz

$$B = B_K = \sqrt{2} U_K / \omega N_{sz} A$$

írható:

$$K \cong \frac{U_K}{I'_{pr} R_t} = \frac{\omega T_2 T_1}{T_2 - T_1} \left( e^{-\frac{t}{T_2}} - e^{-\frac{t}{T_1}} \right) + 1. \quad (4.52)$$

A minimálisan szükséges  $K$  túlméretezési tényező a (4.52) egyenletben a  $t$  idő függvénye. Teljes telítésmentességet a tényező maximális értéke biztosít, amely szélsőérték-számítással határozható meg:

$$K \cong \frac{\omega T_2 T_1}{T_2 - T_1} \left[ e^{-\frac{T_1}{T_2 - T_1} \ln \frac{T_2}{T_1}} - e^{-\frac{T_2}{T_2 - T_1} \ln \frac{T_2}{T_1}} \right] + 1.$$

A gyakorlati méretezési számításokhoz újabb elhanyagolást célszerű bevezetni. Könnyű belátni, hogy  $T_2$  minden határon túli növelése növeli  $K$  értékét is, tehát a biztonságot fokozza. Ha tehát  $T_2 W \rightarrow \infty$ , azaz az áramváltó gerjesztőárama telítetlen állapotban elhanyagolhatóan kicsi (kedvezőtlen eset, mert nagy gerjesztőáram, azaz kis  $T_2$  a telítési veszélyt csökkenti):

$$K \cong \omega T_1 + 1, \quad (4.53)$$

ill. ha  $\omega T_1 \gg 1$ , akkor

$$K \cong \omega T_1 = \frac{X_1}{R_1}. \quad (4.54)$$

A szükséges túlméretezési tényező tehát kizárólag a primer hálózat időállandójától függ. Másként:

$$U_K \cong \frac{X_1}{R_1} I'_{pr} R_t. \quad (4.55)$$

Ez egy igen könnyen kezelhető méretezési egyenlet.  $X_1/R_1$  és  $I'_{pr}$  értékeit a legkedvezőtlenebb helyre, általában a védelem mellett közvetlenül fellépő zárlatra kell felvenni. Ez pl. távolsági védelemnél a védett távvezeték elején fellépő zárlat, differenciálvédelemnél a nagyobb teljesítményű oldalon fellépő, de belső zárlat. Így teljes telítésmentességet lehet elérni.

A (4.55) egyenletben szereplő  $R_t$  értékét a 4.9.1. pont alapján kell meghatározni. Ha a szekunder induktivitás nem hanyagolható el,  $R_t$  helyébe  $Z_t$  abszolút értéke kerül.

Az áramváltó vasmagjában visszamaradó remanencia nehezíti a méretezést. Figyelembevételét a c) pont mutatja be.

Ha a legnagyobb zárlati igénybevételre való méretezés műszaki vagy gazdaságossági okok miatt nem lehetséges, akkor kompromisszumként a következő két pontba foglalt méretezési elvet lehet követni:

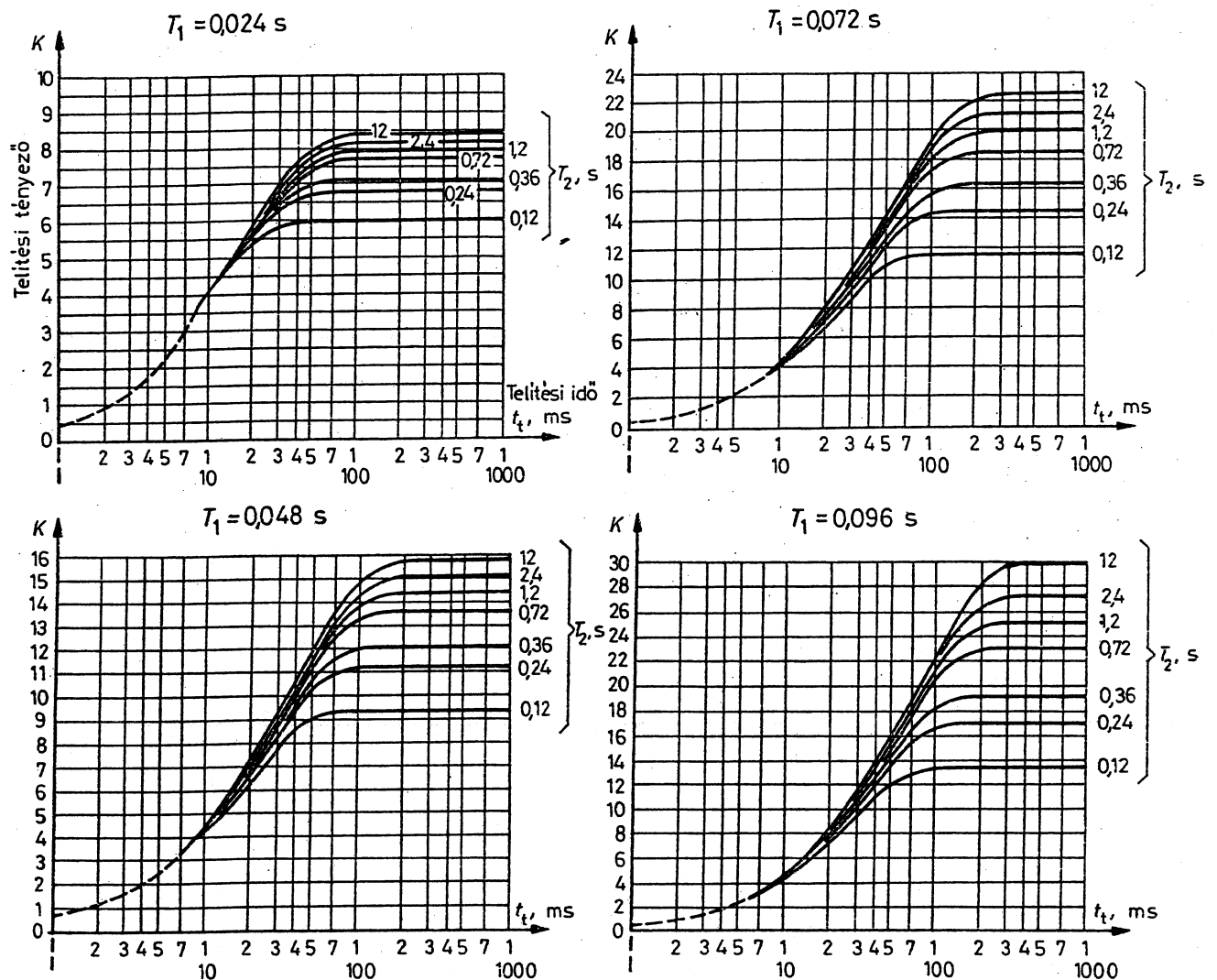
– a teljes telítésmentességet csak a védelem számára kritikus pontra kell elérni,  $X_1/R_1$ ,

ill.  $I'_{pr}$  adatait erre a pontra kell meghatározni (pl. távolsági védelemnél az első fokozathatár végén fellépő külső zárlat, differenciálvédelemnél a legközelebbi *külső* zárlat), és csak a védelmen átfolyó áramot, ill. a saját oldalra vonatkozó  $X_1/R_1$ -et kell figyelembe venni;

– egyidejűleg a védelem helyes és gyors működéséhez fokozathatáron belüli, *belső* zárlatokra (az említett legkedvezőtlenebb helyre) a *b*) módszert alkalmazni, azaz a telítést csak a védelem pillanatműködési idejéig elkerülni.

### b) A telítés elkerülése a védelem működési idejéig

A módszert elsősorban az *a*) módszerrel kombinálva, az ott leírtak szerint kell alkalmazni. Olyan védelmeknél azonban, amelyek külső zárlatra telítéskor nem szólnak meg hibásan, legfeljebb a kiértékelő/mérő elemük működése lassul le, e módszer önállóan is alkalmazható. Távolsági védelmeknél pl. e módszer igen közeli saját zárlatra, gyors működés elérésére jól alkalmazható; ha viszont fokozathatárnál második fokozati zárlat lép fel, nem baj, ha a



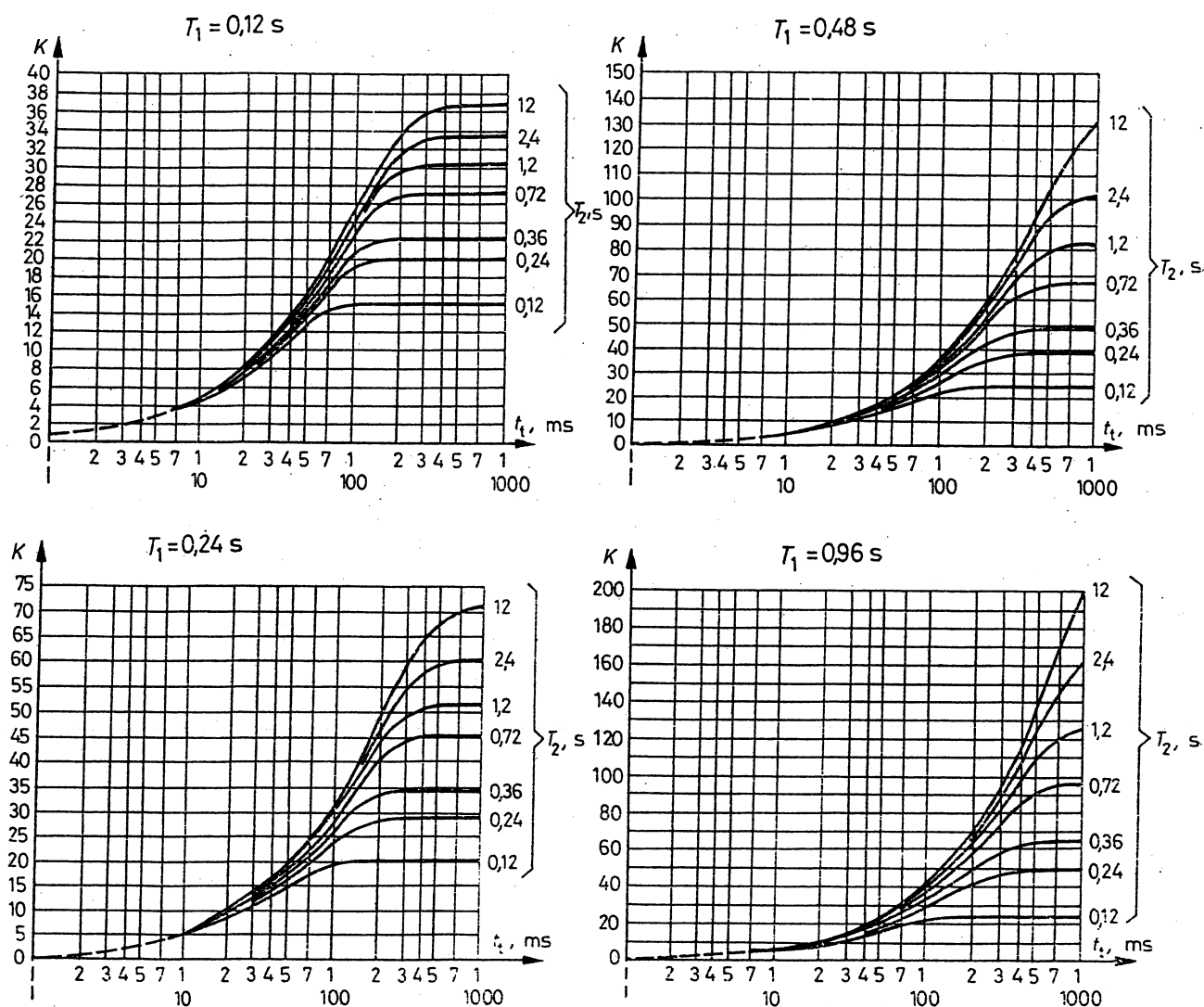
4.75. ábra. Nomogramok  $T_1$ ,  $K$ ,  $T_2$  és  $t_t$  közötti összefüggésekre, a (4.52) egyenlet alapján

védelem késleltetett fokozatának mérőeleme csak a tranziens telítés lezajlása után tud jól mérni, hiszen késleltetése nagyobb a teljes tranziens telítési időnél. Ez a megállapítás természetesen csak akkor igaz, ha második fokozati zárlatkor hibás gyors kioldás (első fokozati kioldás) a telítés miatt nem jöhet létre. Differenciálvédelem esetén külső, közeli zárlatra a telítés miatt létrejöhet ilyen hibás kioldás, tehát azokat csak az *a*) módszer szerint, vagy a kombinált *a) – b*) módszer szerint lehet méretezni.

A *b*) módszer lényege az, hogy tudomásul veszi a tranziens telítés bekövetkezését, de kellő túlméretezéssel (*K*) biztosítja, hogy a kezdeti, telítés- és torzításmentes leképezés ideje elég legyen a védelem pillanatfokozatának helyes működéséhez. Ezt a módszert a *telítési idő módszerének* nevezik.

A telítési idő (angolul „time-to-saturation”) az előző, *a*) pont (4.52) egyenlete alapján határozható meg. Ha ezt a módszert alkalmazzák,  $T_2$  tényleges értékét is figyelembe szokták venni, mert ez is segít *K* értékének leszorításában.

A (4.52) egyenletre a 4.75. ábrán található nomogramok. Ezek segítségével gyorsan megtalálható minden irányú összefüggés  $T_1$ , *K* és  $T_2$ , valamint a  $t_t$  telítési idő között.



Mivel a *b*) módszer pontosabb, kisebb tartalékú, itt feltétlenül figyelembe kell venni, ha a szekunder kör nem tisztán hatásos ellenállású. Lényegében a (4.51) egyenlet végén levő  $1/\cos \vartheta_t$  tényezőt pótlólag figyelembe kell venni. Ez úgy lehetséges, hogy a 4.75. ábrán a  $K$  túlméretezési tényező függőleges tengelyen levő értékeihez  $\Delta K = \frac{1}{\cos \vartheta_t} - 1$  értéket hozzá kell adni, azaz  $K$  szükséges értéke  $\Delta K$ -val nagyobb lesz (adott  $K'$  esetén  $\Delta K$ -t le kell vonni, és a tengelyen  $K$  csökkentett értékét kell figyelembe venni).

A különböző típusú és kivitelű védelmekhez a minimális telítési időt a gyártó cégek adják meg.

### c) A remanencia figyelembevétele

Zárlati áramok megszakításakor, áramváltók egyenáramú mérésekor (tekercsellenállás mérése, egyenáramú polaritásvizsgálat), üzemi áramokkal terhelt áramváltó szekunder körének megszakításakor vagy geomágneses okok miatt az áramváltó vasmagjában remanencia keletkezhet. Ha a remanencia iránya egybeesik a tranziens fluxusával, a tranziens telítés hamarabb létrejöhet. Ezt további túlméretezéssel lehet meggátolni.

A szükséges túlméretezés remanencia esetén:

$$K' = K \frac{1}{1 - \frac{K_R}{100}} \quad (4.56)$$

ahol  $K$  az előzőekben megállapított, remanencia nélkül szükséges túlméretezés;  $K_R = \frac{B_R}{B_K} 100$  a remanenciának a telítésre vonatkozó százalékos értéke.

Adott  $K'$  lehetséges túlméretezés esetén az  $(1 - K_R/100)$  tényezővel szorozni kell  $K'$ -t, és az így kapott  $K$  értéket kell a 4.74. ábra diagramjaiban használni.

A maximálisan lehetséges százalékos remanenciát az áramváltót gyártó cég adja meg, értéke igen változó (0...60 %) lehet.

## 5. Üzemzavari automatikák

Az üzemzavari automatikákat azért létesítik, hogy a védelmek által megvalósított zárlathárítás (a rendellenes üzemállapot megszüntetése) után ezek az üzemet megkíséreljék helyreállítani. Fő feladatuk tehát a rendszerben bekövetkezett hibák, zárlatok miatti kikapcsolások bekövetkezése ellenére a *villamosenergia-szolgáltatás folyamatosságának biztosítása*. Lényegében a kezelőszemélyzet helyett végzik az üzemzavar utáni visszatérítést, az üzem folytonosságának mentését, de az embernél sokkal gyorsabban, biztosabban és határozottabban.

Az üzemzavari automatikák a következő fő csoportokra oszthatók:

- *visszakapcsoló automatikák*, amelyek a hibás és a védelmek által kikapcsolt berendezést kísérlik meg újra üzembe venni (5.1. alfejezet);
- *átkapcsoló automatikák*, azaz tartalék táplálást bekapcsoló automatikák, amelyek a védelmek által kikapcsolt berendezés helyett, annak pótlására egy másik berendezést kapcsolnak be (5.2. alfejezet);
- *fogyasztói automatikák*, amelyek az előbbi két automatikacsoportnak megfelelő működtetés során a különböző időtartamú feszültségletörés, ill. feszültségszünet okozta zavart szüntetik meg vagy korlátozzák (l. részletesen a 3.2. alfejezetben), lehetővé téve ezáltal az automatikus visszakapcsolás, ill. átkapcsolás előnyeinek minél nagyobb mértékű kihasználását;
- *az együttműködő rendszer speciális automatikái* (l. részletesen a 3.3. alfejezetben, ill. a 9. fejezetben).

### 5.1. Visszakapcsoló automatikák

Ha egy zárlat átívelés jellegű, azaz levegőben keletkezett, a zárlat gyors megszüntetése (kikapcsolása) után igen nagy valószínűséggel remélhető, hogy a berendezést újból feszültség alá lehet helyezni anélkül, hogy az ív újragyulladna. Ha valamely rendellenes üzemállapot megszüntetése kikapcsolással történik, az esetek egy részében ugyancsak remélhető, hogy visszakapcsolással a berendezés ismét üzembe vehető.

E feladatokat valósítják meg a visszakapcsoló automatikák.

#### 5.1.1. A visszakapcsolás optimális holtidejének megállapítása

A visszakapcsolási ciklus holtidejét a következő lényeges szempontok alapján kell meghatározni.

### a) Megszakítóhajtás

A zárlat kikapcsolását végző megszakító hajtásának képesnek kell lenni arra, hogy a kioldás után kapott bekapcsolási parancsot végrehajtsa. A korszerű megszakítótól ma már megkövetelik, hogy az így adódó feszültségmentes holtidő a hajtás miatt akár 0,3 s-ig is lecsökkenthető legyen. Régebbi megszakítóknak a hajtás miatt megengedhető legkisebb holtideje 0,6...1,5 s. Szükség esetén e megszakítókat ki kell cserélni.

### b) Megszakító ismételt megszakítási képessége

A zárlatot megszüntető megszakító ívöltő közegeinek az első megszakítás igénybevétele után, az automatikus visszakapcsoláskor esetleg újragyulladó zárlat idején is hatásosnak kell lenniük, azaz a megszakítónak a zárlati áramot újból meg kell tudnia szakítani. Ez megkívánja, hogy egyrészt az ívöltő tényezők az esetleg igen rövid holtidő után is újból hatásosak legyenek (az elgőzölgött folyadékok lecsapódjanak, a keletkezett belső nyomás megszűnjön, a felmelegedett érintkezők lehűljenek, az ív útja kitisztuljon stb.). Ha a holtidő rövid, akkor az ívöltő tényezők egy részének eredeti hatásossága nem áll vissza (pl. a nyomás a maximumról csak 1/4-ére csökken le), így a második ívöltés nehezebb körülmények között történik. Egy adott megszakítót úgy szokás jellemezni, hogy megszakítóképesége a szabványos zárlatolási és visszakapcsolási ciklusokat együttesen tudja teljesíteni, azaz névlegesnek az egyszeres zárlatolási képességnél kisebb jellemzőket adnak meg. Pl. egy szabványos ciklus: CO–0,3''–CO–3'–CO, azaz C = close (bekapcsolás), O = open (kikapcsolás), és a közbeírt idők (0,3 s, ill. 3 min) a holtidők. A leírt ciklus pl. egy kétlépcsős visszakapcsolásnak felel meg.

Ha a megszakító katalógusában szereplő, ill. megszakítószabványban előírt feltételeknél szigorúbb körülmények között akarjuk a megszakítót üzemeltetni (pl. az előző ciklus helyett CO–0,3''–CO–15''–CO, mint pl. a magyar közép-feszültségű hálózaton), akkor a megszakító névleges megszakítóképeségét csak csökkentett értékben szabad igénybe venni. Ezt a csökkentett értéket vagy a megszakítót gyártó cég adja meg, vagy a változott igénybevételek megfelelő típusvizsgálat határozza meg.

### c) A zárlati ív helyének deionizációja. Az eredményesség valószínűsége

A visszakapcsolás akkor eredményes, ha a visszakapcsolás után a zárlat nem gyullad újra. Ennek az a feltétele, hogy a hibahelyen a holtidő alatt az ív útja deionizálódjon. Tapasztalat szerint a deionizációs idő függ a hálózat feszültség szintjétől, a vezeték hosszától stb. Zárlat után, ha a kikapcsolás háromsarkú, akkor a deionizációs idő a tapasztalatok szerint 20 kV-on kb. 80 ms, 120 kV-on kb. 170 ms és 220 kV-on kb. 340 ms (az újragyulladás valószínűségét 5 %-ra feltételezve).

Egyértelmű az az összefüggés, hogy minél nagyobb holtidőt választunk, annál nagyobb mértékben válik sikeressé a visszakapcsolás. A valószínűbben bekövetkező deionizáció mellett ilyen irányú hatást ad a különböző okok miatt létrejövő zárlatok természete: pl. hosszabb holtidőt igényel az az eset, ha a hibahelyen felületnedvesedés, párák időjárás, szennyeződés van, illetőleg múló, de művi ok hozta létre a zárlatot, mint pl. gally, faág, szél által ráhordott idegen anyag, repülőgép által leejtett anyag (pl. vontatókötél) stb. A tapasztalat a 15...132 kV-os feszültség szintű távvezetésekre a következő tájékoztató adatokat szolgáltatja: ha a visszakapcsolási holtidő kb. 0,35 s, a sikeresség valószínűsége kb. 70%, ha a holtidő kb. 2 s, a valószínűség kb. 85%, ha pedig kb. 30 s, a valószínűség kb. 92% lesz. Az adatok közepes értékek, és sok más tényezőtől is függenek, de a tendencia általános érvényű: *Minél hosszabb a feszültségmentes holtidő, annál nagyobb a visszakapcsolás eredményességének valószínűsége.* Kb. 120 s holtidőn felül gyakorlatilag már nem növekszik az eredményesség, azaz az eredménytelen visszakapcsolásokat ekkor már a tartós (állandó) zárlatok (vezeték-szakadás, oszlopkidőlés, szigetelőtörés stb.) okozzák, és ezek a holtidő növelésével sem szűnnek meg.

#### d) A fogyasztó szempontjai

Ha valamely fogyasztót hurkolt hálózat lát el, azaz az energia több úton is eljuthat a fogyasztóhoz, akkor egy elem kiesése, ill. a visszakapcsolás alkalmazása a fogyasztóra nézve közömbös.

Ha a fogyasztót sugaras hálózat látja el, vagy a hálózat hurkolt ugyan, de az karbantartás, meghibásodás stb. miatt időnként sugarassá válhat, a hálózat egy elemének kiesése az ellátás megszűnését jelenti. A fogyasztónak ekkor *létérdeke a visszakapcsoló rendszer alkalmazása*. A kérdés ekkor egyedül a feszültségmentes holtidő megválasztása.

A fogyasztók jelentős része érzékeny a feszültségszünetre (l. részletesen a 3.2. alfejezetet). Ezek egy része elkerülhetetlen. Ilyen pl. a zárlati feszültségletörés, amelynek jellegzetessége még, hogy a nagyobb összefüggő hálózat miatt előfordulása éppen a hurkolt hálózaton nagyobb. A feszültségszünetre érzékeny fogyasztóknál már ebben az esetben is megfelelő védekezést kell alkalmazni (3.2.1. szakasz a) pontja). Az automatikus visszakapcsolás holtidejére lényegében ugyanezen eszközök a megfelelők. Természetesen az eszközök hatásossága annál nagyobb és az eszközök kivitelezhetősége annál könnyebb, *minél rövidebb a visszakapcsolási holtidő*.

#### e) Stabilitási követelmények

Olyan elemek visszakapcsolásánál, amelyeken keresztül erőművi kooperáció valósul meg, a holtidő megállapításánál figyelembe kell venni a stabilitási követelményeket is.

Kis erőművek kooperációs vezetékének zárlata esetében a kikapcsolás után a generátorok a túlterhelés következtében lelassulnak. A [7]-nek a (4.2) egyenlete szerint a háromfázisú visszakapcsolási holtidő alatt a szögelfordulás mértéke:

$$\Delta\delta \approx 900 \frac{\Delta P}{P_n} t^2, \quad (5.1)$$

ahol  $t$  a holtidő, s.

Pl. az 5.1. ábra szerint 20 MW fogyasztói teljesítmény és 5 MW generátorteljesítmény esetén

$$\Delta\delta \approx 900 \frac{15}{5} t^2 = 2700 t^2,$$

azaz a szögelfordulás:

$t, s$	0,1	0,2	0,3	0,4
$\Delta\delta^\circ$	27	108	243	432

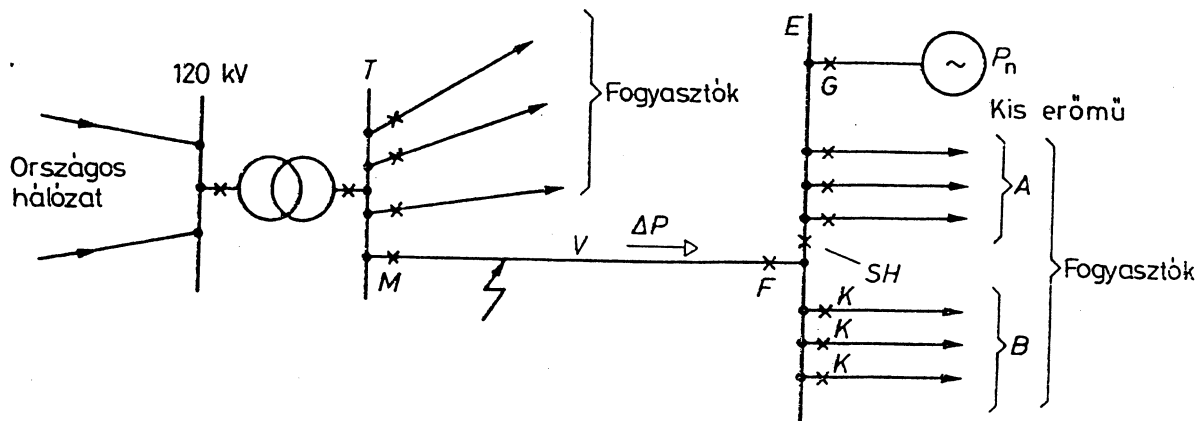
Látható, hogy a lehetséges leggyorsabb visszakapcsolási holtidő sem előzi meg a generátorok szinkron állapotból való kiesését, így a visszakapcsolás nagy valószínűséggel eredménytelen lesz.

Kis erőművek esetén a következő intézkedések célszerűek (5.1. ábra):

– Kikapcsolni a generátorok  $G$  megszakítóját, ezzel biztosítani a  $V$  vezeték tápoldali visszakapcsolásának eredményességét, és az  $A+B$  fogyasztókat a hálózatról ellátni.

– Kikapcsolni az  $SH$  sínáthidaló megszakítót, ezzel a generátorok  $P_n$  teljesítményével egyensúlyban levő  $A$  fogyasztók ellátását a kis erőműről folyamatosan biztosítani, ugyanakkor a  $B$  fogyasztókat a  $V$  vezetékről visszakapcsolással ellátni.

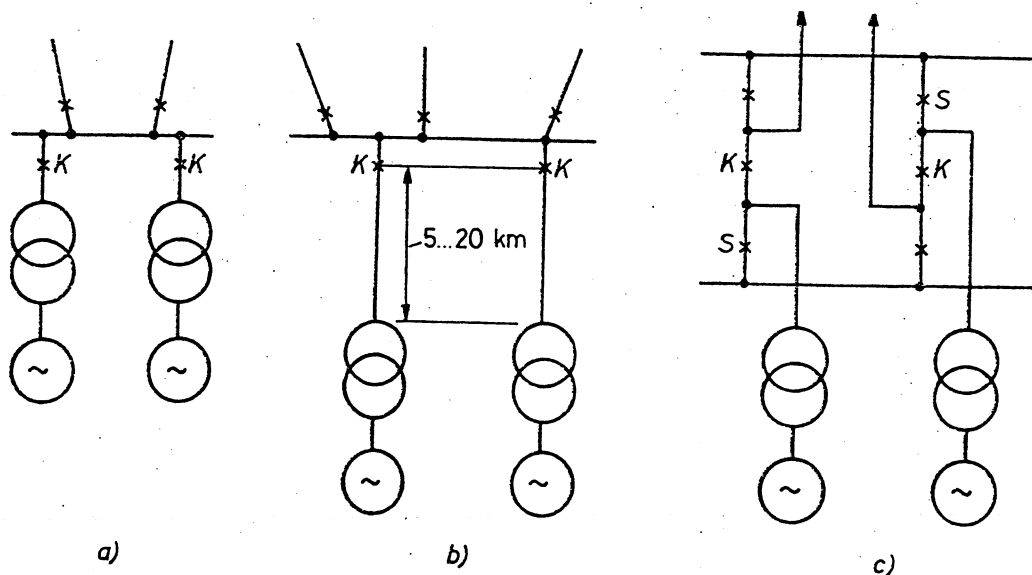
– Kikapcsolni a  $K$  megszakítókat és nem alkalmazni visszakapcsolást. Ezáltal az  $A$  fogyasztók a kis erőműről folyamatosan el vannak látva, a  $B$  fogyasztók pedig a  $V$  vezeték visszavételéig kiesnek.



5.1. ábra. Kis erőmű leválasztása

– Semmiféle működtetést nem végeztetni, és bízni abban, hogy az esetleg aszinkron visszakapcsolódó *kis erőmű reszinkronizálódik* (ezt számítással ellenőrizni kell). A reszinkronizációt művi eszközökkel (pl. automatikus durva szinkronozás) elő lehet segíteni.

E lehetőségek közül az optimálisat a körülmények figyelembevételével kell kiválasztani. A működtetéseket az egyedül maradt *E* állomás gyűjtősinének frekvenciáját érzékelő frekvenciacsökkenési védelem, vagy a *V* vezeték *F* végpontjára beépített, visszenergiát érzékelő, irányított, zárlati túláramvédelem, vagy a *T* tápállomás *M* védelmétől áthozott távkioldó impulzus hozhatja létre.



5.2. ábra. Közvetlen erőművi vezetékek

a) Egységkapcsolású vezetékek; b) kihelyezett erőművek; c) másfél megszakító erőművek (*K*-nál HVA akkor nem lehet, ha *S* megszakító ki van kapcsolva és fordítva)

*Közvetlen erőművi vezetéken* (az 5.2. ábra *K* megszakítóin) háromfázisú visszakapcsolást nem szabad létrehozni, mert a gép a visszakapcsolási holtidő alatt megszalad és biztosan kiesik a szinkronizmusból. Az (5.1) egyenlet alapján ugyanis, ha a háziüzemi fogyasztásra a generátor névleges teljesítményének 8 %-át vesszük fel:

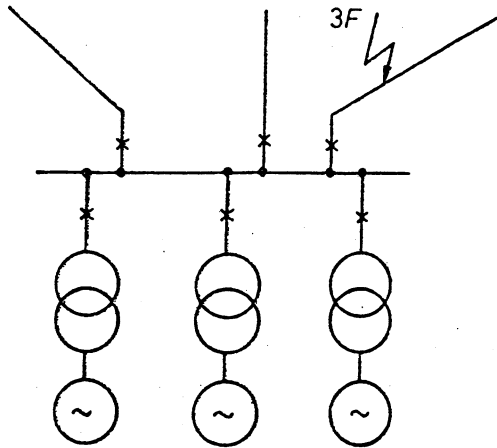
$$\Delta\delta = 900 \frac{0,92}{1} t^2,$$



amiből

$t, s$	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	1
$\Delta\delta^\circ$	2,07	8,28	33,1	74,5	132,5	207	828

Ezekhez a szögelfordulásokhoz hozzáadódik még a generátor üzemi terhelési szöge (pl.  $30^\circ$ ), így pl. a reális 0,4 s-os visszakapcsoláskor már  $162,5^\circ$  szögeltérés van a gép és a hálózat között, a tranzien stabilitás tehát biztosan megbomlik (l. a 2.8.2. pontot).



5.3. ábra.  
Erőműhöz közeli zárlat

Erőműhöz közeli zárlatokra pillanatműködésű védelmi működés szükséges az erőművek stabilitásának megőrzéséhez (5.3. ábra). Az (5.1) egyenlet szerint ugyanis, ha egy erőműhöz közeli 3F távvezetéki zárlatot  $t$  idő alatt (védelem + megszakító-önidő) hárít egy védelem, akkor az erőmű összes generátorának szögelfordulása (mivel egy 3F zárlat megszüntet az erőmű gyűjtősinén minden energiaáramlást, így a háziüzemet is):

$$\Delta\delta = 900 \frac{1}{1} t^2,$$

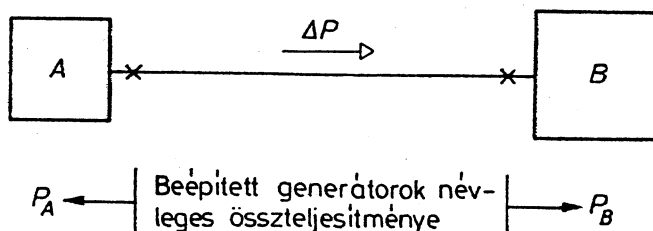
azaz

$t, s$	0,1	0,2	0,3	0,4
$\Delta\delta^\circ$	9	36	81	144

Ehhez járul még az üzemi terhelési szög. Ezekből megállapítható az előbbi állítás helyessége.

Hurkolt hálózati távvezetéseken akkor nem okoz problémát a háromfázisú automatikus visszakapcsolás, ha a kiesett távvezeték söntölése stabilitás szempontjából hatásos, azaz a holtidő alatt nincs veszélyes szögelfordulás. Ennek ellentétes szélsőséges esete, ha a söntkapcsolat a zárlati kikapcsoláskor teljesen megszűnik, azaz két rendszerrészt egyetlen távvezeték köt össze. [7] (4.3) egyenlete szerint holtidő alatt a két rendszerrész közötti szögelfordulás a következőképpen számolható (a jelölések értelmezését l. az 5.4. ábrán):

$$\Delta\delta \approx 900 \left( \frac{1}{P_A} + \frac{1}{P_B} \right) \Delta P t^2. \quad (5.2)$$



5.4. ábra.  
Rendszerrészek közötti távvezeték automatikus visszakapcsolása

Ha pl. egy 3000 MW-os és egy 30 000 MW-os rendszert egyetlen távvezeték köt össze, amelyen előtte 100 MW áramlott üzemszerűen, a szögelfordulás mértéke az idő függvényében szétválás után:

$t, s$	0,1	0,2	0,4	1	1,5	2
$\Delta\delta^\circ$	0,33	1,32	5,25	33	74,25	132

Látható, hogy a távvezetéken háromsarkú gyorsvisszakapcsolás kisebb, mint 1 s holtidővel minden további nélkül alkalmazható, de nagyobb holtidejű háromfázisú visszakapcsolás (2...5 s) csak szinkronellenőrzéssel megfelelő, vagyis annak a ténynek az ellenőrzésével, hogy a visszakapcsolandó vezetéknek van üzemelő hatásos söntvezetéke (l. részletesen az 5.1.3. pontban). A példa jellegzetes, ezért a következtetés általánosítható, de esetenként ellenőrizni kell az előforduló üzemi és üzemzavari eseteket.

#### f) Túlfeszültségek hatása a holtidőre

Távvezeték bekapcsolásakor kapcsolási túlfeszültség keletkezik, amely legkedvezőtlenebb esetben — azaz feszültségmaximum pillanatában való bekapcsoláskor — a fázisfeszültség maximális értékének kb. kétszerese lehet.

Egyfázisú vagy kétfázisú zárlat kikapcsolásakor az ép fázisban a kikapcsoláskor rajtamaradt töltés (trap charge) következtében az ép fázisvezető feszültség alatt marad. Ha a visszakapcsolás gyors, és a visszakapcsolt feszültség éppen ellenfázisban van az ép fázisvezető feszültségével, a visszazökő feszültség elméletileg háromszoros értékre [l. (4-1)] is emelkedhet. Ez a normál bekapcsoláshoz képest lényegesen emelt feszültségigénybevétel, és minden vezetéki berendezést erre kell méretezni (pl. fázistávolságok stb.).

E hármas tényező csökkentésére három módszer van:

— Egysarkú földrövidzárlatok esetén csak a zárlatos fázis megszakítóját kikapcsolni, majd visszakapcsolni, azaz egyfázisú visszakapcsoló automatikát (EVA) alkalmazni. Ez a módszer azonban kétfázisú zárlatokra nem ad megoldást.

— Megnövelni a háromfázisú visszakapcsoló automatika holtidejét olyan értékre, ami alatt az ép fázisvezetőkön visszamaradt töltés nagy része ki tud sülni (elsősorban a feszültségváltókon, esetleg a vezetékre kapcsolt söntfojtókon keresztül). A tapasztalat szerint a holtidőt ebből a célból kb. 3...5 s-ra kell emelni. Emiatt a visszakapcsoláskor általában szinkronállapotellenőrzést is alkalmazni kell (l. az 5.1.3. szakasz a) pontját).

— Olyan megszakítót alkalmazni, amely bekapcsoláskor először *primer* segédérintkező segítségével a vezeték hullámimpedanciájával kb. megegyező ellenálláson keresztül kapcsolja be a vezetéket (ez az ún. preinsertion resistor), majd utána rövid időn, kb. 10 ms-on belül a főérintkezővel rövidrezárja az ellenállást. Ezáltal bekapcsoláskor kb. feleződik a kapcsolási túlfeszültség, így kisebb lesz, mint a vezeték feszültségmentes állapotában való bekapcsoláskor. A vezetéket az első bekapcsoláskor jelentkező túlfeszültség, ill. az EVA-nál fellépő túlfeszültség közül a nagyobbra kell méretezni (ez általában nem nagyobb, mint kb. 2...2,3).

#### 5.1.2. Egyfázisú visszakapcsoló automatika (EVA) alkalmazása és speciális problémái

Hatásosan földelt csillagpontú hálózaton az FN zárlatok előfordulási valószínűsége távvezetéken kb. 90...95%. Ezt a szinte kizárólagos zárlatfajtát éppen ezen a hálózaton lehetséges kizárólag a zárlatos megszakítófázisok minden oldali kikapcsolásával és visszakapcsolásával háritani, mivel a holtidő alatti „sántaüzem”-ben a két ép fázison és a földön keresztül az energiaátvitel csekély aszimmetriával és az egyfázisú szakadásnak megfelelő csekély transzferimpedancia-növekedéssel biztonságosan fenntartható. Ez a kapcsolat mind a sugarasan ellátott fogyasztók, mind a csak ezen vezetéken keresztül kooperáló erőművek számára az esetek döntő többségében kielégítő.

Az FN zárlat esetére alkalmazott EVA *előnyei* a háromfázisú visszakapcsoló automatikával (HVA) szemben a következők:

- Holtidő alatt terhelhető összeköttetést ad a két végpont között mind erőmű, mind fogyasztó számára, mivel az egyfázisú szakadás hálózatmetszeténél a transzformátorok kis értékű, zérus sorrendű impedanciája miatt csak kismértékben emelkedik az összeköttetés transzfer impedanciája.

- Az előbb mondottakra alapozva jelentősen emelhető a holtidő, mert a gyakorlatban sem a fogyasztó szempontjai, sem a stabilitási követelmények nem szabnak határt.

- Az előnyöket a távvezetékre T-leágazásban csatlakozó transzformátorokon keresztül is ki lehet használni.

- A nagyobb holtidő miatt a két végpont egyikének késleltetett kikapcsolása sem idézi elő a visszakapcsolás elmaradását.

Az EVA *hátrányai* a csak háromfázisú visszakapcsoló automatikával szemben:

- Megbízható fáziskiválasztó elemeket igényel.

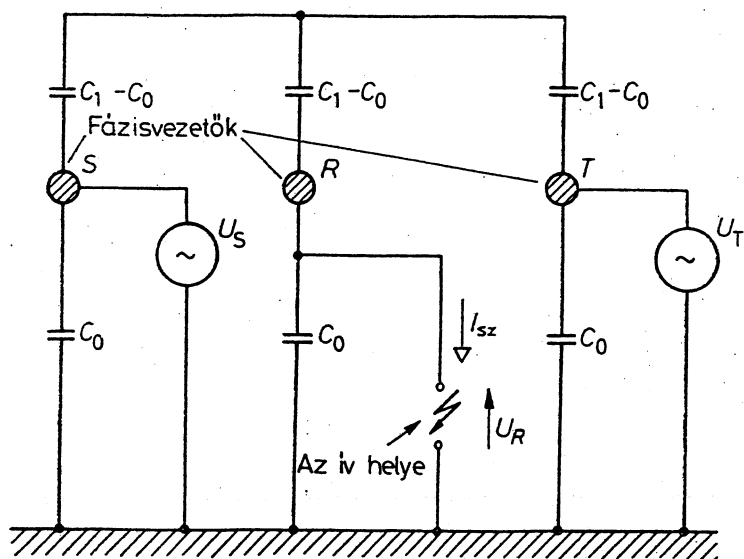
- A védelmi és a vezénylő kioldó áramkörök bonyolultabbak.

- A megszakító drágább és bonyolultabb, mert pólusonkénti hajtás szükséges.

- A hosszabb holtidejű sántaüzem az érzékeny, zérus sorrendű tartalékvédelmeket megzavarja.

Az előnyök és hátrányok megítélése szerint egyes rendszerekben (szovjet, amerikai, magyar stb.) alkalmazzák az EVA-t, másokban (pl. angol) nem, helyette csak háromfázisú visszakapcsoló automatikát (HVA) építenek be.

Az EVA alkalmazásának speciális problémái is adódhatnak:



5.5. ábra.

A szekunder ív áramának és kialvása után a hibahelyen fellépő feszültségnek a meghatározása

a) Az egyszakúan kikapcsolt fázis a holtidő alatt kapacitív úton kapcsolatban marad a két ép fázissal (5.5. ábra). A még égő zárlati ív kikapcsolás utáni árama, az ún. *szekunder ív* árama emiatt [17]:

$$I_{sz} = I_{nC} \frac{1 - \frac{C_0}{C_1}}{1 + 2 \frac{C_1}{C_0}}, \quad (5.3)$$

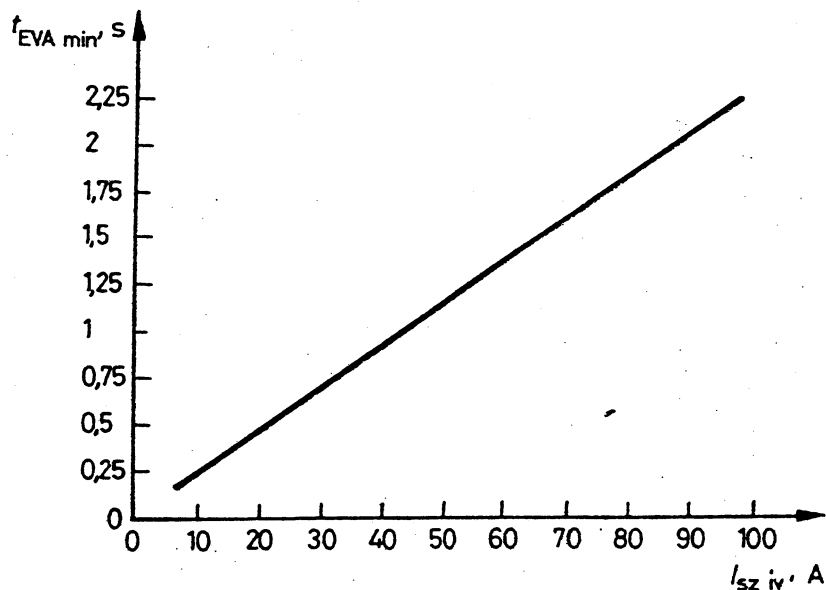
ahol  $I_{nC} = U_f \omega C_1$  a vizsgált távvezeték kapacitív töltőárama;  $C_1$  és  $C_0$  a vizsgált távvezeték pozitív és zérus sorrendű kapacitása. Ha pl.  $\frac{C_0}{C_1} = 0,6$ , akkor  $I_{sz} = \frac{9}{100} I_{nC}$ .

Ez a szekunder ív a kialvást késlelteti. Az 5.6. ábra mutatja a szekunder ív valószínű időtartamát [22]. A holtidőt ezeknél az értékeknél nagyobbra kell választani.

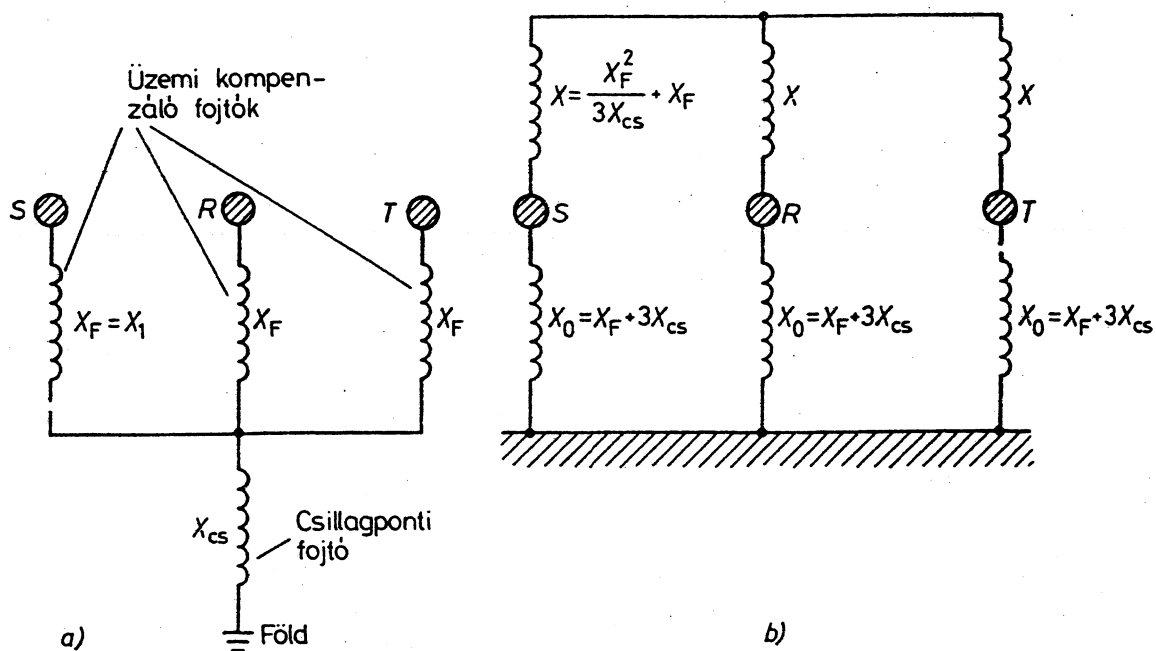
Egysarkú kikapcsolt állapotban a zárlat megszünte után a kapacitív osztásból származó feszültség [17]:

$$U_R = I_C \frac{1}{\omega C_0} = U_f \frac{C_1 - C_0}{2C_1 + C_0}. \quad (5.4)$$

Ha pl.  $\frac{C_0}{C_1} = 0,6$ ;  $U_R = \frac{15,4}{100} U_f$ .



5.6. ábra. Minimális EVA holtidő a szekunder ív áramának függvényében

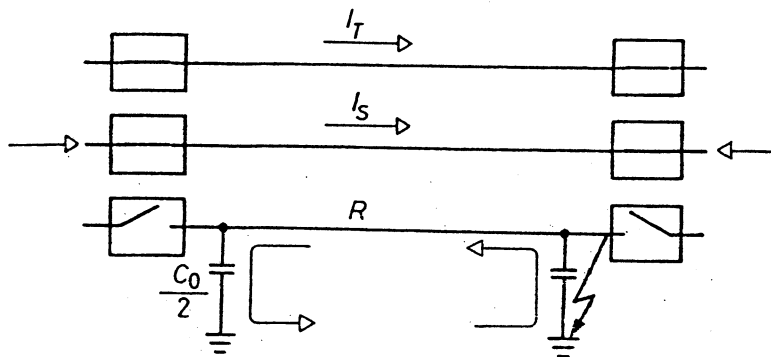


5.7. ábra. A szekunder ívet kompenzáló csillagponti fojtó beiktatása  
a) tényleges kapcsolás; b) helyettesítő kapcsolás

Ha a szekunder ív időtartama, ill. a szükséges holtidő az adott hálózaton nem engedhető meg, kompenzálni kell a kapacitív áramot. Ezt az 5.7. ábra szerint a távvezetékre holtidőben is csatlakozó, az üzemi kapacitív töltőáramot részben kompenzáló, háromfázisú  $X_F$  fojtótekerces csillagpontja és a föld közé beiktatott  $X_{cs}$  csillagponti fojtótekerces segítségével lehetőséges.  $X_{cs}$  értéke:

$$X_F + 3X_{cs} = X_0 = \frac{1}{\omega C_0}; \quad X_{cs} = \frac{1}{3} \left( \frac{1}{\omega C_0} - X_F \right). \quad (5.5)$$

$X_F$  értéke az üzemi kompenzálás igénye szerint választandó, ettől függ az (5.5) szerint szükséges  $X_{cs}$  érték.



5.8. ábra.  
Induktív eredetű szekunder íváram

b) A kikapcsolt hibás fázis zárlati helyén a szekunder ív áramát induktív hatás is fokozhatja. Ha a zárlat pl. az egyik végpont közelében lép fel (5.8. ábra), az ép fázisokban folyó  $I_S$  és  $I_T$  áram feszültséget indukál az  $R$  fázisvezetőben, amely a még égő zárlaton, az  $R$  fázisvezetőn, a  $C_0/2$  kapacitáson és a földön keresztül áramot indít. Ha a zárlatot a vezeték közepe felé közelítjük, ez az áram csökken. Pontosan a vezeték közepén fellépő zárlat esetén induktív hatásra a zárlati helyen áram nem folyik.

Az induktív módon létrehozott szekunder íváramot egyszerűen úgy lehet kompenzálni, hogy az (5.5) szerinti paralel kompenzálást a vezeték két végére elosztva létesítik. Ez azonban egyrészt túlhatározott (más szempontok szerint választják  $X_F$ -et), másrészt gyakran feleslegesen drága megoldást ad.

### 5.1.3. Visszakapcsolási rendszerek, ajánlott holtidők

#### a) Nagyfeszültségű, hatásosan földelt csillagpontú hálózati rendszerek

Az egyes energiarendszerekben a következő visszakapcsolási rendszereket alkalmazzák:

– FN zárlatokra EVA, általában emelt holtidővel (1...2 s), 2F, 2FN és 3F zárlatokra HVA, rövid holtidővel (0,3...0,4 s), szinkronellenőrzés nélkül. Ez a gyors visszakapcsolás az 5.1.1. pont szerint általában megfelelő a stabilitás megőrzése szempontjából, de számítással ellenőrizni kell.

– FN zárlatokra EVA, mint előbb, a többsarkú zárlatokra HVA, de hosszú holtidővel (3...5 s), abból a célból, hogy a kapcsolási túlfeszültségi tényezőt kisebb értéken tartsák. A hosszú HVA mellé természetesen szinkronellenőrzést alkalmaznak. Ennek lényege az, hogy a zárlatra háromsarkúan kikapcsolt távvezeték egyik (kezdeményező) oldalán a holtidő után akkor történik visszakapcsolás, ha a vezetéken mindhárom feszültség eltűnt, míg a másik oldalon akkor, ha a kétoldali frekvencia azonos (pl.  $\Delta f < 0,05$  Hz), és a feszültségek közötti szögeltérés korlátozott (pl.  $\delta < 60^\circ$ , azaz  $\Delta U < U_{fn}$ , de mindkét oldalra  $U_f > 0,7U_{fn}$ ). Ezt az oldalt ki szokták egészíteni járulékos holtidő után működő, az eltűnt állomási sínfeszültséget érzékelő engedélyezéssel is.

– Minden zárlatfajtára HVA, az előbbieket szerint rövid vagy hosszú holtidővel, utóbbi esetben szinkronellenőrzéssel.

– Kisebb jelentőségű földelt csillagpontú hálózaton, ha az állomásban állandó kezelőszemélyzet nincs, járulékosan alkalmazni szoktak lassú visszkapcsoló automatikát, így vég-eredményben kétlépcsős visszkapcsolási rendszert (l. részletesen a *b*) pontban). A lassú visszkapcsolás módja az első visszkapcsolásnak megfelelően lehet EVA vagy HVA, holtideje 10...120 s.

### b) Hatásosan nem földelt csillagpontú hálózati rendszerek

Ilyen rendszer távvezetékein rendszerint többlépcsős visszkapcsoló automatikák rendszerét alkalmazzák. Ennek oka az 5.1.1. pontban tárgyalt szempontok, miszerint a fogyasztóknak a *minél gyorsabb* visszkapcsolás, míg a zárlat kialakása, a zárlat helyének tisztulása szempontjából a *minél lassúbb* visszkapcsolás alkalmazása célszerű.

Két rendszer terjedt el a különböző energiarendszerekben: a háromlépcsős és a kétlépcsős visszkapcsoló automatika. Többlépcsősök (pl. négy vagy öt) is léteznek, de alkalmazásuk ritka.

*Háromlépcsős visszkapcsoló automatika.* Ennek

- első lépcsője gyors visszkapcsolás, 0,3...0,5 s holtidővel;
- második lépcsője hosszú holtidős visszkapcsolás, 5...45 s holtidővel;
- harmadik lépcsője lassú visszkapcsolás, 60...120 s holtidővel.

*Kétlépcsős visszkapcsoló automatika (KVA).* Ennek

- első lépcsője gyors visszkapcsolás (GVA), 0,3...1 s holtidővel;
- második lépcsője lassú visszkapcsolás (LVA), 30...120 s holtidővel.

A visszkapcsoló automatikák megítélése terén elsősorban az eredményesség a döntő, amit a statisztikai adatok tükröznek:

Háromlépcsős visszkapcsolás (USA)		Kétlépcsős visszkapcsolás (hazai adatok)	
Holtidő, s	Eredményesség, %	Holtidő, s	Eredményesség, %
0,4	82	0,6	73
15	11	30	17
120	2	Maradó	10
Maradó	5		

A tájékoztató statisztikai adatok arról egyértelműen meggyőznek mindenkit, hogy többlépcsős visszkapcsoló automatikát célszerű alkalmazni. Egyúttal azt is valószínűsítik, hogy a kétlépcsős rendszer hatásossága is megfelelő, tehát háromlépcsős alkalmazása csak akkor indokolt, ha a fogyasztók a csökkentett holtidejű (15 s), középső visszkapcsolási lépcsőt hasznítani tudják, azaz kevesebb fogyasztó esik ki, több hozható vissza gyorsan, mintha csak a lassú holtidejűt alkalmaznák. Egyes vélemények szerint viszont a többszörös visszkapcsolás miatt többször újragyulladó ív jobban kiegészíti a zárlat helyén az idegen anyagokat, és ezzel csökkenti a maradó zárlati esetek számát.

### c) Kábelhálózati automatikák

Kábelhálózaton akkor célszerű a visszkapcsoló automatika alkalmazása, ha a zárlatok több, mint 50%-a nem a kábelben, hanem a csatlakozó, levegőszigetelésű részekben (szakaszoló, támszigetelő stb.) átfelvésként jön létre. A tapasztalat szerint a közép feszültségű kábelhálózatokon ez az arányszám kb. 50%, azaz ilyen mértékű a sikeres visszkapcsolások valószínűsége. Nyilvánvalóan *vegyes hálózatokon* az automatikus visszkapcsolás alkalmazása célszerű.

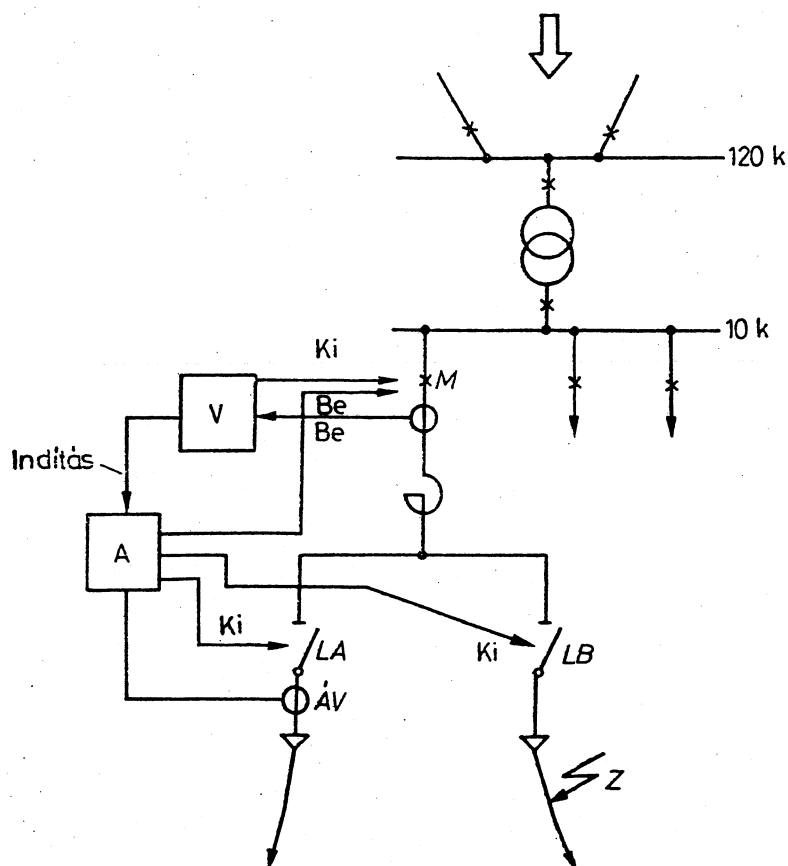
#### d) Egyéb célú visszakapcsolás

A visszakapcsoló automatikát alapvető célján – a zárlatok védelmi kikapcsolása után a kiesett elem automatikus visszavételén – kívül egyéb feladatokra is alkalmazni lehet.

– A *zárlatkorlátozó automatika* alapvető funkciója az, hogy a megengedett zárlati teljesítmény kismértékű túllépése esetén az egyik betáplálást ultragyors relékel (pl. UTV) kikapcsolja, ezzel a zárlatos leágazás megszakítóját névleges megszakítóképesége alatti igénybevételre korlátozza. Ezután a zárlatos leágazásban automatikus visszakapcsolás, majd esetleg végleges kioldás jön létre. Megbízhatóan ezután, tehát emelt holtidővel, biztosan sikeresen visszakapcsolható a korlátozásként kikapcsolt betáplálás. *A zárlatkorlátozó automatika mellé tehát kb. 3...6 s-os holtidővel visszakapcsoló automatikát célszerű telepíteni.*

– Kábelhálózatokon gyakori az ikerkábel-elrendezés (5.9. ábra), azaz két kábel táplálása egy megszakítón keresztül. Ilyenkor gyakran alkalmaznak *ikerkábel-szétválasztó automatikát*. A teljes automatikarendszer, tehát a visszakapcsoló automatika és az ikerkábel-szétválasztó automatika egyetlen, kétlépcsős visszakapcsoló automatikával oldható meg. A működés a következő: a *Z* zárlat felléptekor a *V* védelem kikapcsolja az *M* megszakítót, majd az *A* automatika rövid holtidős visszakapcsolást kísérel meg. Ha ez sikeres (a zárlat levegőben való átívelés volt), az üzem mindkét kábel fogyasztóinál helyreáll. Ha *Z* zárlat tartós (pl. kábelzárlat áll fenn), akkor a *V* védelem újabb kioldóparancsot ad az *M* megszakítónak, és lassú visszakapcsolási ciklust indít. Az *A* automatika az *ÁV* áramváltó járulékos információjára („a zárlat nem az *A* ágon van”), a lassú visszakapcsolás holtideje alatt kikapcsolja az *LB* motoros szakaszolót, így az *M* megszakító most már biztosan sikeresen kapcsol vissza, megmentve ezzel *A* kábel fogyasztóinak üzemét.

– *Tartalék védelmek* működését általában nem követi visszakapcsolás, mivel ez már „pótkötél”. Ha azonban az állomáson nincs sem állandó kezelőszemélyzet, sem megbízható telemechanikai vezérlési kapcsolat az üzemirányítóval, akkor célszerű *egyszeres lassú visszakapcsolási ciklussal* kísérelni meg az üzem újrafelvételét.



5.9. ábra.

Ikerkábel-szétválasztó automatika

## 5.2. Átkapcsoló automatikák

Átkapcsoló automatikát ott lehet alkalmazni, ahol a fogyasztókat egy kijelölt, fő betápláló be-  
rendezésen keresztül látják el, de van tartalék ellátási lehetőség is.

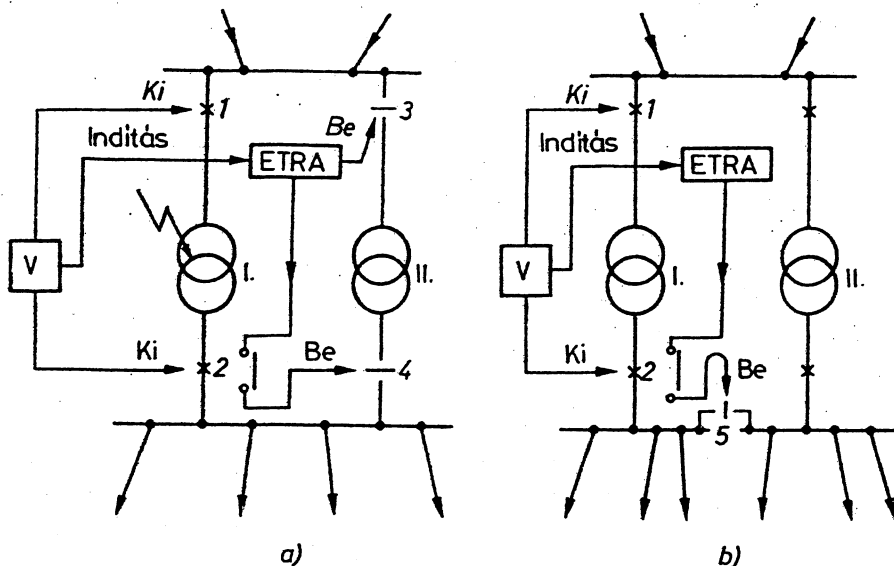
A tartalék ellátás egyes esetekben azonos értékű (pl. egy állomáson két azonos 120/20 kV-os  
transzformátor), de lehet csökkent értékű tartalék is (pl. ugyanezen esetben a másik transzfor-  
mátor már terhelt, vagy pl. 20 kV-os vonal adja a tartalékot). Kisebb teljesítményű tartalék be-  
táplálás esetén el kell kerülni az átkapcsoláskor létrejövő túlterhelést. Ezt előre kijelölt fo-  
gyasztók átkapcsoláskor történő kikapcsolásával, vagy a tartalék táplálás bekapcsolásakor  
– annak túlterhelését érzékelve – automatikus terhelésledobással lehet megoldani.

Az átkapcsoló automatikák két alapvető csoportja: az eseményvezérlésű és az állapotve-  
zérlésű automatikák.

### 5.2.1. Eseményvezérlésű átkapcsoló automatika

Az eseményvezérlésű átkapcsoló automatika ott alkalmazható, ahol az eredeti táplálás kiesését  
előidéző működtetés (védelmi parancs), a tartalék betáplálást végző megszakító helyén (azo-  
nos állomásban) közvetlenül érzékelhető.

Mivel az eseményvezérlés következtében biztosan (szelektíven), már a kioldóimpulzusok  
pillanatában megállapítható, hogy az eredeti táplálás ki fog esni, ezért az automatikának *nem  
kell késleltetést adni*. Ez ennek az automatikatípusnak igen nagy előnye. Elérhető vele, hogy a  
tartalék betáplálás olyan gyorsan bekapcsolódjék, hogy a fogyasztók többsége nem is érzi meg,  
nem esik ki, és csak kisebb részénél kell intézkedéseket tenni (l. a 3.2. alfejezetet).



5.10. ábra. Eseményvezérlésű átkapcsoló automatika

a) hideg tartalék transzformátorral; b) osztottan ellátott területek (preferált megoldás)

Tipikus példát láthatunk az 5.10. ábrán. Az *a* ábrán egy 120/20 kV-os transzformátor látja  
el a területet, a másik transzformátor hidegtartalék. Ha az *I.* transzformátor meghibásodik,  
védelme kikapcsolja 1 és 2 megszakítót és indítja az eseményvezérlésű transzformátorát-  
kapcsoló automatikát (ETRA). Ez bekapcsolja a tartalék transzformátor 3 és 4 megszakítóját  
– utóbbit a 2 a megszakító kikapcsolt helyzetben zárt segédérintkezőjén keresztül – meggá-  
tolva ezzel a *II.* transzformátor esetleges zárlatra táplálását. Az automatikus átkapcsolás fe-  
szültségmentes ideje a zárlati letörési időn túl a jelenlegi védelmekkel és megszakítókkal mind-  
össze 0,15...0,2 s.



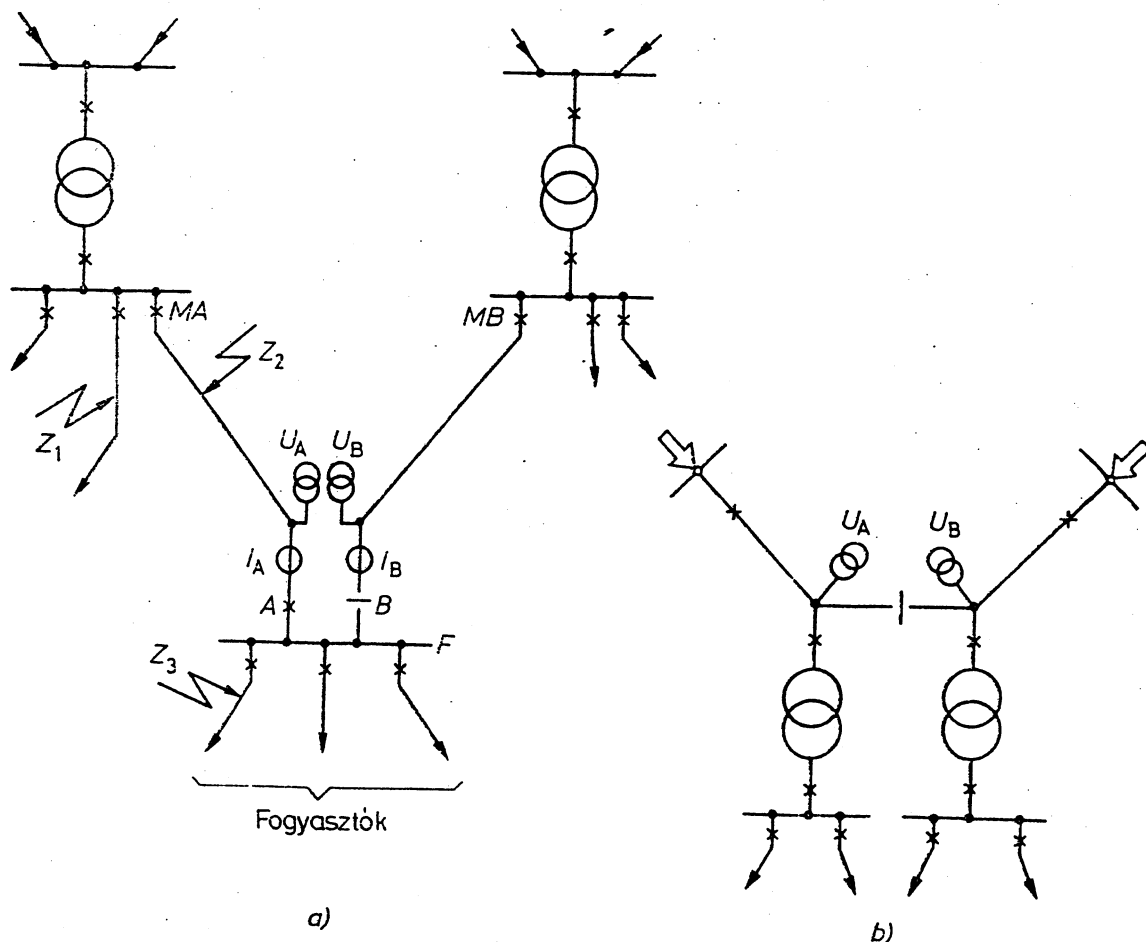
Az 5.10b ábra osztottan ellátott területet mutat. Az 1. transzformátor záratakor az 1 és 2 megszakítók kikapcsolnak, és az ETRA az 5 sínáthidalót kapcsolja be. Mivel egy állandóan kikapcsolt, esetleg üresen járó transzformátorra rázúduló terhelés annak meghibásodására vezethet, lehetőleg a b ábra elrendezését kell megvalósítani.

Ha az eseményvezérlésű automatikát olyan helyen alkalmazzuk, ahol nagy aszinkron motorok üzemelnek, amelyek a kábelek kapacitása segítségével a feszültséget egy ideig visszaadják, az azonnali átkapcsoláskor a nagy valószínűséggel nem szinkron állapotban bekapcsolódó tartalékra igen nagy áramlökések adódnak, így az is kiesik. Ennek elkerülésére helyszíni méréssel meg kell állapítani a motor-kábel rendszer kikapcsolásakor lecsengő feszültséget, és meghatározni, mikor lesz az már veszélytelenül kis értékű (pl. kisebb, mint 30%). Ennek megfelelően kell késleltetni az eseményvezérlésű átkapcsolást. Erőművi háziüzemben és ipartelepi hálózaton ez az érték 0,6...1,2 s-ra szokott adódn.

Ha a fogyasztóknál nagy szinkronmotor vagy kis erőmű generátora üzemel, ezeket ki kell zárni az átkapcsolásból az 5.1.1. szakasz e) pontjában a visszakapcsoló automatikák hasonló problémájára adott megoldási variációi szerint.

### 5.2.2. Állapotvezérlésű átkapcsoló automatikák

Ha az átkapcsolás helyén, a megszakítóknál nincs megbízható információ a táplálás kiesésére, azt csak a *feszültség eltűnése alapján* lehet érzékelni. Ezen alapul az állapotvezérlésű átkapcsoló automatika.



5.11. ábra. Állapotvezérlésű átkapcsoló automatika

a) hálózati automatika; b)  $\Pi$ -állomási automatika csak vezetéki zárlatra, mert transzformátorzárlatra eseményvezérlés megvalósítható)

A feszültség rövid időre akkor is eltűnik, ha

- idegen, a táplálásban részt nem vevő hálózati elemen zárlat keletkezik, a zárlati kikapcsolás idejéig (5.11. ábra;  $Z_1$ );
- a táplálási útvonalon következik be zárlat. A feszültségszünet a zárlati kikapcsolás, majd az azt követő gyors háromfázisú visszakapcsolás idejéig tart (5.11. ábra;  $Z_2$ );
- saját, táplált fogyasztóknál lép fel zárlat. Ekkor nincs feszültség a zárlati kikapcsolás idejéig (5.11. ábra;  $Z_3$ ).

Az első két esetben a felesleges átkapcsolást csak annak késleltetésével lehet kivédeni, ezért az állapotvezérlésű átkapcsoló automatika *jellegzetessége a jelentős késleltetési idő*. A harmadik eset ellen késleltetés helyett áramreteszélést is lehet alkalmazni. Könnyen belátható, hogy az 5.11a ábrán az  $A$ -ról  $B$ -re való áttéréskor az  $U_A$  feszültségre kapcsolt automatika indító-feszültségreléi és az  $I_A$  áramra kötött reteszelő-áramrelék között a beállítási feltétel:

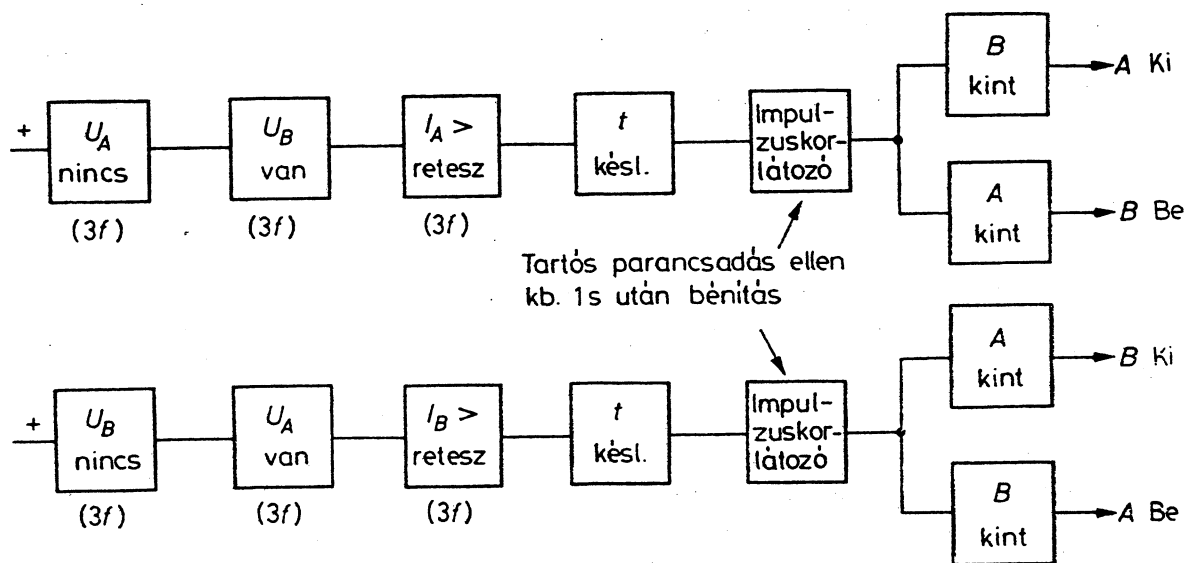
$$U_{Abe} \leq U_n - \frac{1}{1 + \varepsilon} I_{Abe} Z_{m \min},$$

ahol  $Z_{m \min}$  a táplálás impedanciája a hálózat minimális állapotában. Ekkor ugyanis fogyasztói zárlatra vagy az áramrelé reteszél, vagy az indító feszültségrelé nem ejt el. Meg kell azonban jegyezni, hogy a harmadik eset is gyakran kivédhető az első két eset miatt szükséges késleltetéssel.

Ha egymás után több állapotvezérlésű automatikát telepítenek, akkor egymás között is szükséges a lépcsőzés: a magasabb rendű, nagyobb feszültségű átkapcsolás legyen elsődleges, tehát kisebb késleltetésű, így érhető el, hogy csak a szükséges szinten jöjjön létre átkapcsolás. Végeredményben az automatika késleltetése biztonsággal nagyobb kell, hogy legyen, mint

- az idegen vezetéki zárlat alapvédelmi zárlathárítási ideje;
- a saját táplálóvezetéken fellépő zárlat alapvédelmi ideje + HVA holtideje (az LVA-t rendszerint nem várják ki);
- a magasabb rendű állapotvezérlésű átkapcsoló automatika késleltetési ideje.

A késleltetés mértéke pl. egy sugaras közép feszültségű hálózaton a szokásos adatokkal és beállításokkal (0,5 s-os legnagyobb védelmi idő + 0,1 s-os megszakító önideje + 0,6 s HVA holtidej + 0,8 s biztonsági idő) kb. 2 s-ra tehető. Mivel ez az idő lényegesen nagyobb, mint az eseményvezérlésű automatikáé, mindenképpen törekedni kell állapotvezérlés helyett az eseményvezérlés alkalmazására.



5.12. ábra. Állapotvezérlésű automatika logikai vázlata

Példaként lehet erre egy ipartelepi hálózati esetet felhozni. Az ipartelep egyik üzeme két oldalról kaphat ellátást, egyik a fő betáplálás, másik a tartalék. Mivel az ellátás sugaras, az üzemben a tápvonal zárlatára nincs védelmi működés, mert a tápoldali védelem kapcsolja ki a zárlatot. Az 5.11a ábra sémája szerint az állapotvezérlésű átkapcsoló automatika látszik megfelelőnek. Ha azonban megbízható összeköttetéssel át lehet hozni az *MA* vagy *MB* védelmi működés okozta kikapcsolódásának az információját az *F* állomásba (ez egy ipartelepen belül viszonylag könnyen megvalósítható), akkor eseményvezérlésű átkapcsoló automatika alkalmazható, és az állapotvezérlés csak az információs út hibája esetére, tartalékként kerülne beépítésre.

Állapotvezérlésű átkapcsoló automatika logikai tömbvázlata látható az 5.12. ábrán. Az automatikát néha kiegészítik főtápvonali visszatérítéssel is. Ennek lényege az, hogy ha visszatér a kijelölt alapellátási irány feszültsége (pl. LVA után vagy az üzemzavar végleges megszűntetésével), akkor kellően nagy késleltetéssel (pl. 10 s) visszatéríti a fogyasztókat a fő betáplálásra. Az automatika programozható úgy is, hogy ha szinkron állapot van a két táplálás feszültsége között (pl.  $\Delta f < 0,05$  Hz és  $\Delta U < 50\%$ ), a visszatérítés világosan, a fogyasztó zavarása nélkül, rövid idejű, paralel kapcsolással történjék.

# 6. Elektromechanikus és egyenirányítós relék és védelmek

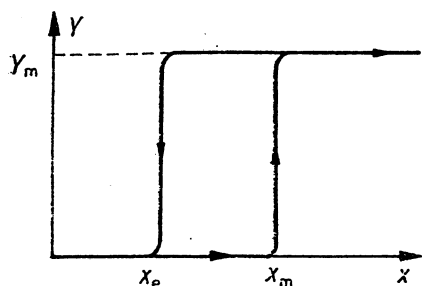
## 6.1. Általános feladatok, fogalmak

A relék feladata, a hagyományos relézés alatt klasszikus értelemben jelerősítést értettünk. Bizonyos alkalmazási esetekben az erősítés követelménye ma is szóhoz jut. A hálózatvédelmi célokból kialakult relézés azonban már messzekerült az átviteltechnikai relézés fogalmától. Mai értelemben a védelmi technikában használatos *relé* olyan készüléket jelent, amelyet az általa érzékelt fizikai mennyiség adott értékhatárának átlépése működtet, és amely működésekor készülékeket vezérel.

A villamosenergia-rendszerben alkalmazott relék feladata a villamos mennyiségek (áramerősség, feszültség, frekvencia, impedancia, energiairány stb.) nagyságának, viszonyának, ill. megváltozásának a figyelése. Ha a figyelt mennyiség egy előre megállapított értéket átlép, akkor bekövetkezik a relé működése, *megszólalása*. Ez a megszólalás kiváltja az előre beprogramozott vezérlési feladatokat. Egy védelem különféle funkciót megvalósító relékből (ébresztőrelék; mérőrelék; késleltetőelemek, azaz időrelék; átkapcsoló-, jelző-, kioldóelemek, azaz segédrelék) épül fel. Egy villamosenergia-rendszer átfogó és teljes védelmét csak az egyes védelmek koordinált rendszere biztosíthatja.

### 6.1.1. Védelmi relék és jellemzőik

A mérőrelék működése, *megszólalása billenésszerű*, azaz a bemenő jel  $X$  változása a megszólalási érték elérésekor a kimenő jel ugrásszerűen  $Y_m$  értékre vált a 6.1. ábrának megfelelően.



6.1. ábra. Relé jellegű működés

$X$  bemenő jel;  $Y$  kimenő jel;

$X_m$  meghúzási (indulási, megszólalási) érték;

$X_2$  elengedési (ejtési) érték

Az ábrán látható, hogy a reléműködésnek „hiszterézise” van: a meghúzáshoz és ejtéshez (azaz a működéshez és a működés utáni visszatéréshez) az érzékelt fizikai jellemző más és más értéke tartozik. Ennek alapján a relék két fontos jellemzője definiálható:

$$\text{Ejtőviszony} = \frac{\text{visszatérési érték}}{\text{megszólalási érték}} : C_e = \frac{X_e}{X_m} ;$$

$$\text{Tartóviszony} = \frac{\text{megszólalási érték}}{\text{visszatérési érték}} : C_t = \frac{X_m}{X_e} .$$

A relék további két fontos jellemzője a működés pontosságára utal. Az egyik a *h skála-hiba*, amely megmutatja, hogy a relé megszólalása milyen mértékben tér el a skálán beállított értéktől. A gyakorlatban még elfogadott érték 3...5 %. A definíció:  
 skálahiba = megszólalási átlagérték (több mérésből számítva) – a skálán beállított érték:

$$h = X_{\text{átl.}} - X \quad h\% = \frac{X_{\text{átl.}} - X}{X} \cdot 100.$$

A másik jellemző a *működési szórás*, amely – ugyancsak több működés esetén – megadja a legnagyobb és legkisebb megszólalási érték különbségének viszonyát a működések megszólalási átlagértékéhez viszonyítva. A gyakorlatban még elfogadott érték ugyancsak 3...5 %. Definíciója:

$$\text{működési szórás} = \frac{(\text{legnagyobb megszólalási érték}) - (\text{legkisebb megszólalási érték})}{\text{megszólalási átlagérték}} ,$$

$$\sigma\% = \frac{X_{\text{max}} - X_{\text{min}}}{X_{\text{átl.}}} \cdot 100.$$

Mindkét esetben minimálisan 10 mérést kell elvégezni. A garantált érték ellenőrzésénél a megengedett szélsőséges hőmérsékleti viszonyokat is figyelembe kell venni, és a méréseket üzemmeleg állapotban (tartós bekapcsolás után) kell elvégezni.

A védelmekkel szemben támasztott egyik fontos követelmény a gyorsaság (3.1.2. pont), így feltétlenül ismerni kell a relék *működési önidejét*, azaz a megszólalási határértéket átlépő, bemenő mennyiség rákapcsolásától, a kimenő jel váltásáig eltelő időtartamot.

Mivel az elektromechanikus mérőrelék működésükhöz az érzékelt fizikai mennyiségek energiáját használják fel, így igen fontos ismerni az egyes relék terhelését, azaz *fogyasztását* is. Ezt a névleges (és nem a megszólalási) értékre vonatkozó VA teljesítményben, vagy a relé névleges frekvencián mért impedanciaértékében adják meg.

A relék indokolatlan, felesleges, hibás működése a védett hálózat vagy berendezés indokolatlan kikapcsolását okozhatja, ezért a relékkel szemben támasztott lényeges követelmény a *megbízhatóság*.

A relék egy része a mennyiségek növekvő irányú megváltozását érzékeli, ezek a maximálrelék, más relék a mennyiségek csökkenésére reagálnak, ezek a minimálrelék.

### 6.1.2. Elektromechanikus relék fő szerkezeti elemei

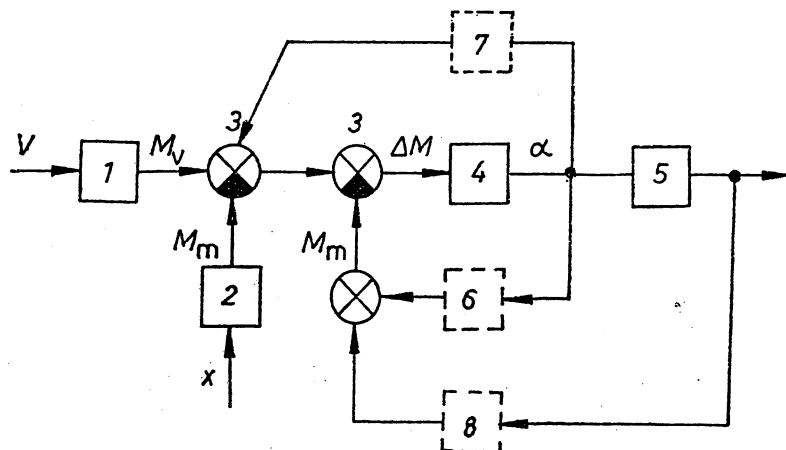
Az elektromechanikus relék fő szerkezeti elemei egymáshoz hasonlóak. Azokat a működési sorrendnek megfelelően a hatásvázlat (6.2. ábra) alapján tekintjük át.

A relé *állórésze* (1) a bemenő  $V$  villamos mennyiséget a relé fegyverzetére ható  $M_v$  mechanikai mennyiséggé alakítja át.

Villamos szempontból az állórész elektromágnes, amelynek fő része a vasmag és a tekercs(ek). A tekercs(ek) a fluxus létrehozását, a vasmag annak vezetését szolgálja. Az állórész egyben a szerkezeti részek rögzítési helye is.

A *fegyverzet* (4) a relé elmozduló része, erre hat az állórész fluxusa. A mechanikai nyomatékot típustól függően a fluxus mágneses hatása vagy a fluxus és a fegyverzetben folyó áram

kölcsönhatása hozza létre. A fegyverzet így lehet tekercs nélküli, ill. tekercselt. A fegyverzet elmozdulása lehet elfordulás, billenés vagy haladó mozgás, azaz behúzás. A fegyverzet az első két esetben *tengelyre* van erősítve, amely egyben a relé 3 különbségképző szerve, erre hat a beállítást jelentő referencianyomaték; a 2 beállítórugó nyomatéka és a fegyverzet (vagy fegyverzetek) villamos nyomatéka, amely gyakran függ a fegyverzet állásától. A tengely csapágyazva van, amelynek mindig van súrlódása.



6.2. ábra.  
Elektromechanikus relé hatásvázlata

A tengely elmozdulása mechanikai kapcsolat útján kiváltja az 5 érintkezők működését, ez jelenti a kimenő jel megváltozását. Az érintkezőknek biztos érintkezést kell adniuk, ennek érdekében a relé alkalmazási céljától függően egy adott érintkezőnyomással kell rendelkezniük. Az érintkezők (zárás, nyitás, váltás) ennek az érintkezőnyomásnak a létrehozásával rugóként működnek, ami alapvetően befolyásolja a relé működési jellemzőit. Ezt a hatásvázlat 8 eleme veszi figyelembe.

A működés során a referencianyomatékot adó rugó hossza változik, és ezzel változik a visszatérítő nyomadék nagysága is (6).

A működés során, a fegyverzet elmozdulásával gyakran változik (nő) a fegyverzet villamos nyomatéka. Ezt veszi figyelembe a hatásvázlat 7 eleme.

A relék fontos, bár a működésben részt nem vevő része a reléház. Feladata a relé védelme a külső behatásoktól (portól, nedvességtől). Nagy teljesítményt fogyasztó relék háza a hűtés érdekében nem lehet teljesen zárt, de a por és a nedvesség behatolását itt is meg kell gátolni. Bizonyos esetekben a háznak feladata a külső villamos és mágneses tétől való elhatárolás is. Az ilyen ház vaslemezből készül, és potenciálját a földhöz rögzítik.

### 6.1.3. Elektromechanikus relék osztályozása

a) Működési elvük szerint vannak állandómágnesű (Deprez-, forgótekerceses), elektromágneses, indukciós, elektrodinamikus és hőhatáson alapuló relék.

Működési elvük lényegében a mechanikus műszerek működési elvével azonos.

b) A megszólalást kiváltó fizikai mennyiségek szerint a relék lehetnek áramrelék, feszültségrelék, teljesítmény-irányrelék, impedanciarelek, frekvenciarelek, impulzus-, ill. igen/nem változást „erősítő”, valamint érintkezősokszorozó relék.

c) A relé tekercsének elhelyezése szerint lehet közvetlen, primer feszültségre kapcsolva, ill. a tekercs csatlakozhat közvetve a mérőváltó szekunder körére.

d) A parancsadó szerv kialakítása, a kioldás módja szerint vannak közvetlen kioldású szerkezetek (azaz kioldók), valamint közvetett kioldásúak, azaz relék. A kioldást a relé érintkezője segéden energiával hozza létre.

e) A reléérintkezők működési módjuk szerint lehetnek munkaáramúak, nyugalmi áramúak, váltóérintkezők („Morse”-érintkezők).

A védelmi technikában általában szekunder relét használunk munkaáramú kimeneti érintkezővel, automatikakörökben azonban elterjedt minden érintkezőváltozat.

Egyszerű, alárendelt hálózatokon kielégítő védelmi működést nyújtanak a primer kioldók, amelyeknek pontossága kisebb.

f) A védelmekben betöltött szerepük szerint léteznek indító- vagy ébresztő-, mérő-, késleltető (idő-), kiválasztó-, logikai relék (segédrelék), valamint kioldóelemek (nagy kapcsolási teljesítményű segédrelék).

## 6.2. Elektromechanikus relék és védelmek

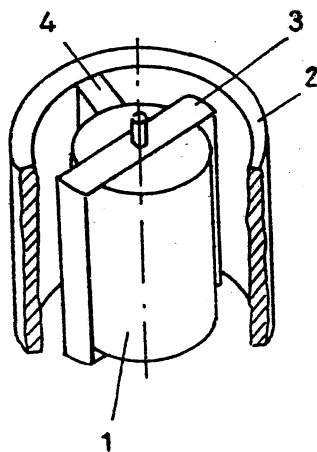
### 6.2.1. Állandó mágnesű relék

Az állandó mágnesű relék nyomatéka az állandó mágnes fluxusa és a tekercselt forgórészben (fegyverzetben) folyó egyenáram kölcsönhatásaként jön létre. Ezeket a védelemtechnikában mérőreléként használják egyenáramú, ill. egyenirányított váltakozó áramú mennyiség mérésére állórészen elhelyezett állandó mágneses, forgó fegyverzetű kivitelben (6.3. ábra). A relé villamos nyomatéka

$$M_v = 1,1 \quad BNIID = k |I|,$$

ahol  $B$  az állandó mágnes fluxusa,  $\text{Wb/m}^2$ ;  $l$  a vezető közepes hossza,  $\text{m}$ ;  $D$  az erőpár karja (a forgó tekercs átmérője),  $\text{m}$ ;  $I$  a forgótekercsben folyó áramerősség,  $\text{A}$ ;  $N$  a forgótekercs menetszáma. Az 1,1 konstans szorzó csak egyenirányított váltakozó áramú mennyiség esetén szükséges, amikor az áramerősség az egyenirányítás előtt a relébe befolyó váltakozó áram effektív értékét jelenti.

A relé referencianyomatékát és egyúttal az árambevezetést finom bronz spirálrugó adja.



6.3. ábra. Állandó mágneses relé

1 magmágnes; 2 köpeny; 3 forgótekercs (fegyverzet); 4 köpenytartók

### 6.2.2. Elektromágneses relék

Az elektromágneses relék nyomatéka az állórészen keltett fluxus és az elmozduló, lágyvasból készült fegyverzet mágneses kölcsönhatásából adódó vonzás következtében jön létre. A kölcsönhatás eredményeként a fegyverzet olyan helyzetet kíván felvenni, amelyben az elektromágneses rendszer energiája a legnagyobb. Az elektromágneses relét a védelemtechnikában igen elterjedten használják mind egyen-, mind váltakozó áramú érzékelésre a kialakítástól függően segédreléként, áram- és feszültségreléként és elektromechanikus kioldóként. Válta-

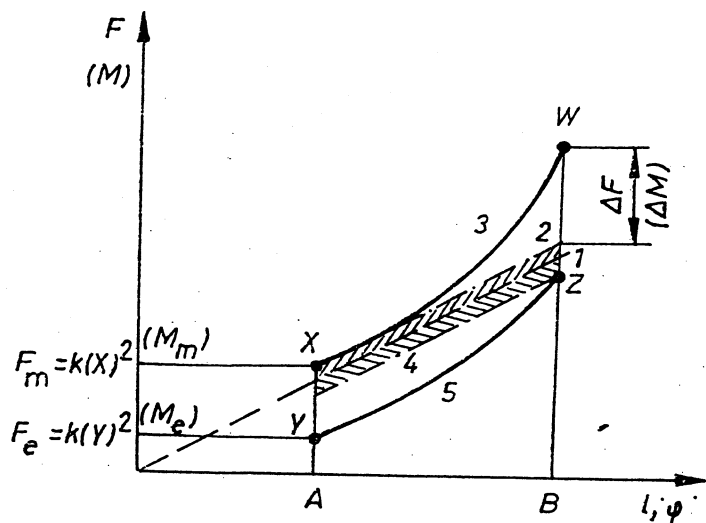
kozó áramú alkalmazás esetén az állórész pólusain rezgésmentesítő gyűrűt kell elhelyezni, vagy kététercsű elrendezés esetén egyik tekercsel sorba kell kötni 90°-os elforgatást létrehozó ellenállást és kondenzátort.

A relé villamos nyomatéka a rákapcsolt villamos mennyiség négyzetével arányos:

$$M_v = C_i I^2, \quad \text{ill.} \quad C_u U^2,$$

ahol  $C_i$  és  $C_u$  működési állandók;  $I$  a relé tekercsein folyó áramerősség;  $U$  a relé tekercsére kapcsolt feszültség. A referencianyomatékot általában rugóerő szolgáltatja.

Az összes elektromágneses relé működése során változnak a nyomatékvizonyok a meghúzás, azaz az elmozdulás függvényében. Az elmozdulás során, behúzás közben rövidül az erővonalhossz, csökken a légrés. Az erőviszonyok változása nyomon követhető a 6.4. ábrán.



6.4. ábra.

Elektromágneses relék erő – út diagramja

$X$  a megszólalás pontja;

$W$  a meghúzott relé helyzete;  $Z$  az elejtés pontja;

$Y$  az elejtett relé helyzete

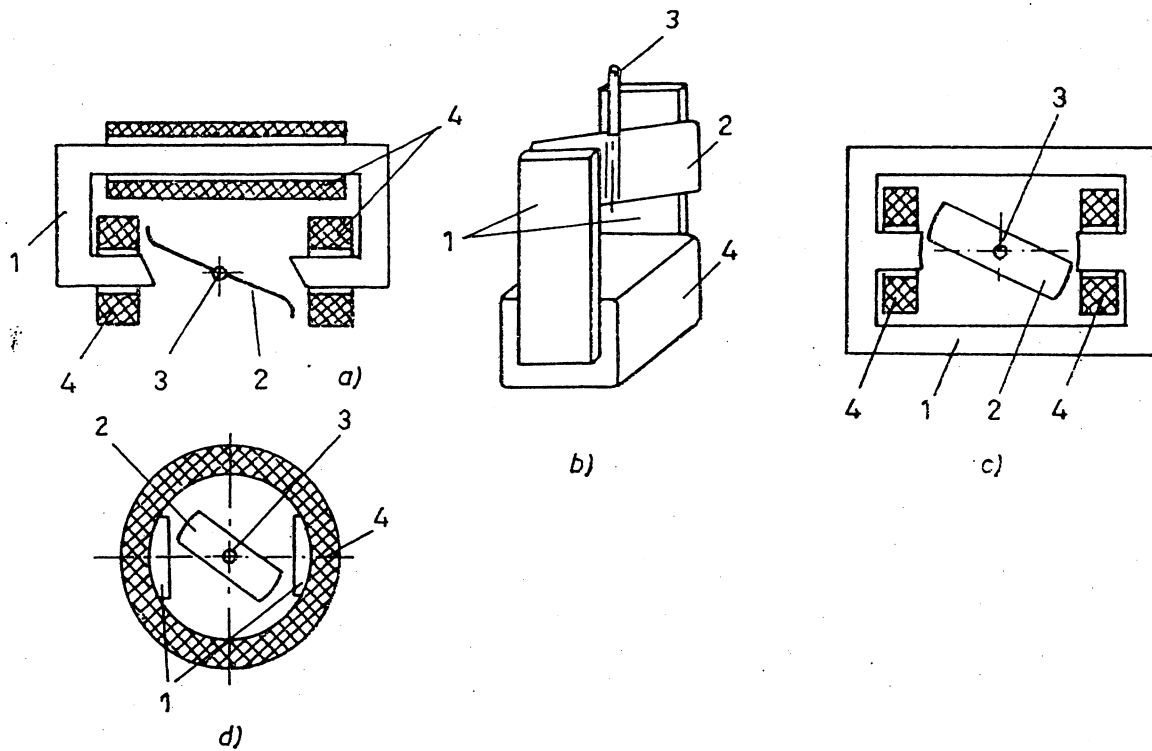
A vízszintes tengelyen az elmozdulás útja van feltüntetve, mégpedig az  $A$  helyzet a nyugalmi, a  $B$  a behúzott állapotnak felel meg.  $A$  esetében a  $\delta$  légrés nagy, a referenciarugó (-nyomaték) előfeszített, nyugalmi állapotban van,  $B$  esetén a  $\delta$  légrés kicsi, a referencia-rugóerő a  $\Delta X$  rugóhosszváltozás ( $\Delta \varphi$  rugóelfordulás) miatt megnő. Az  $l$  egyenes jelzi a mindenkor rugóerőt. Az ábrából jól látszik, hogy a súrlódást kifejező vonalkázott terület mindig a mozgást létrehozó erőt (nyomatékot) akadályozza. Ha a meghúzás során a mágneses erőhatás (3 görbe) jobban növekszik, mint a lineáris rugóerő (nyomaték) és a súrlódás összege (2 egyenes), akkor billen a relé. A relé csak akkor ejt el, ha a ható mennyiség által keltett mágneses erőhatás 5 görbéje a lineáris rugóerő súrlódással csökkentett értékénél (4) kisebb értéket képvisel ( $Z$  pont). Ez az ejtőviszonyt befolyásolja. A relék szerkezeti kialakítása igen sokféle lehet. Ezek három fő csoportba foglalhatók össze:

#### a) Forgó fegyverzetű elektromágneses relék

Szerkezeti kialakításuk a 6.5. ábrán látható. Áram- és feszültségreléként a 6.5a ábra szerinti nyitott állóvasmagú, Z-fegyverzetű relét alkalmazzák. A mérőrelé jellegű alkalmazást a vékony, gyorsan telítődő Z-fegyverzet teszi lehetővé, mivel a kis fluxusnál telítődő lemez további elmozdulása során, a mágneses viszonyokat már nem befolyásolja jelentősen (6.4. ábra,  $\Delta F$  kicsi). Ezzel kedvező ejtőviszony érhető el ( $C_e > 0,8$ ).

A nyitott állóvasmagú, lemezfegyverzetű relé tulajdonságai a Z-fegyverzetűéhez hasonlóak (6.5b ábra). A zárt állóvasmagú, tömör fegyverzetű relé tartóviszonya rosszabb, és a forgórész nagyobb tömege miatt a működési önideje nagyobb, ezért elsősorban segédreléként vagy időreléként célszerű használni (6.5c ábra).

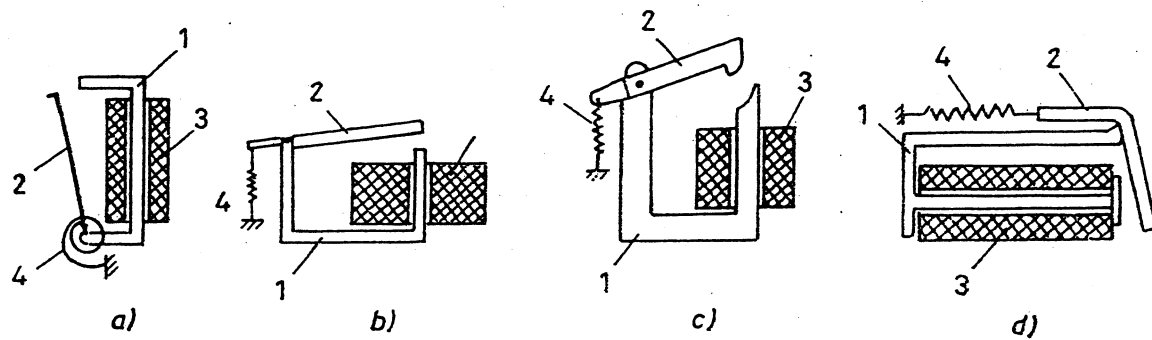




6.5. ábra. Forgó fegyverzetű elektromágneses relék  
 1 vasmag; 2 fegyverzet; 3 tengely; 4 tekercs

b) Billenő fegyverzetű elektromágneses relék

Szerkezeti kialakításuk a 6.6. ábrán látható. A védelemtechnikai gyakorlatban elsősorban a szögemelyűs relé terjedt el (6.6d ábra), főleg segédreléként. Jellemzője a nagy tartóviszony.



6.6. ábra. Billenő fegyverzetű elektromágneses relék  
 1 állórész; 2 fegyverzet; 3 tekercs; 4 rugó

## 6. Elektromechanikus és egyenirányítós relék és védelmek

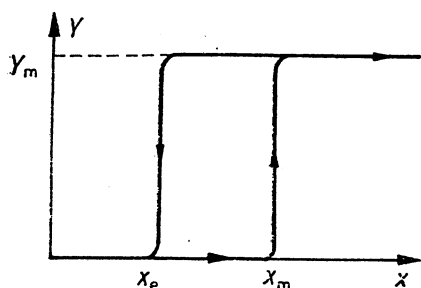
### 6.1. Általános feladatok, fogalmak

A relék feladata, a hagyományos relézés alatt klasszikus értelemben jelerősítést értettünk. Bizonyos alkalmazási esetekben az erősítés követelménye ma is szóhoz jut. A hálózatvédelmi célokból kialakult relézés azonban már messzekerült az átviteltechnikai relézés fogalmától. Mai értelemben a védelmi technikában használatos *relé* olyan készüléket jelent, amelyet az *általa érzékelt fizikai mennyiség adott értékhatárának átlépése működtet, és amely működésekor készülékeket vezérel.*

A villamosenergia-rendszerben alkalmazott relék feladata a villamos mennyiségek (áramerősség, feszültség, frekvencia, impedancia, energiairány stb.) nagyságának, viszonyának, ill. megváltozásának a figyelése. Ha a figyelt mennyiség egy előre megállapított értéket átlép, akkor bekövetkezik a relé működése, *megszólalása*. Ez a megszólalás kiváltja az előre beprogramozott vezérlési feladatokat. Egy védelem különféle funkciót megvalósító relékből (ébresztőrelék; mérőrelék; késleltetőelemek, azaz időrelék; átkapcsoló-, jelző-, kioldóelemek, azaz segédrelék) épül fel. Egy villamosenergia-rendszer átfogó és teljes védelmét csak az egyes védelmek koordinált rendszere biztosíthatja.

#### 6.1.1. Védelmi relék és jellemzőik

A mérőrelék működése, *megszólalása billenésszerű*, azaz a bemenő jel  $X$  változása a megszólalási érték elérésekor a kimenő jel ugrásszerűen  $Y_m$  értékre vált a 6.1. ábrának megfelelően.



6.1. ábra. Relé jellegű működés

$X$  bemenő jel;  $Y$  kimenő jel;

$X_m$  meghúzási (indulási, megszólalási) érték;

$X_2$  elengedési (ejtési) érték

Az ábrán látható, hogy a reléműködésnek „hiszterézise” van: a meghúzáshoz és ejtéshez (azaz a működéshez és a működés utáni visszatéréshez) az érzékelt fizikai jellemző más és más értéke tartozik. Ennek alapján a relék két fontos jellemzője definiálható:

$$\text{Ejtőviszony} = \frac{\text{visszatérési érték}}{\text{megszólalási érték}} : C_e = \frac{X_e}{X_m};$$

$$\text{Tartóviszony} = \frac{\text{megszólalási érték}}{\text{visszatérési érték}} : C_t = \frac{X_m}{X_e}.$$

A relék további két fontos jellemzője a működés pontosságára utal. Az egyik a *h skála-hiba*, amely megmutatja, hogy a relé megszólalása milyen mértékben tér el a skálán beállított értéktől. A gyakorlatban még elfogadott érték 3...5 %. A definíció:  
skálahiba = megszólalási átlagérték (több mérésből számítva) – a skálán beállított érték:

$$h = X_{\text{átl.}} - X \quad h\% = \frac{X_{\text{átl.}} - X}{X} \cdot 100.$$

A másik jellemző a *működési szórás*, amely – ugyancsak több működés esetén – megadja a legnagyobb és legkisebb megszólalási érték különbségének viszonyát a működések megszólalási átlagértékéhez viszonyítva. A gyakorlatban még elfogadott érték ugyancsak 3...5 %. Definíciója:

$$\text{működési szórás} = \frac{(\text{legnagyobb megszólalási érték}) - (\text{legkisebb megszólalási érték})}{\text{megszólalási átlagérték}},$$

$$\sigma\% = \frac{X_{\text{max}} - X_{\text{min}}}{X_{\text{átl.}}} \cdot 100.$$

Mindkét esetben minimálisan 10 mérést kell elvégezni. A garantált érték ellenőrzésénél a megengedett szélsőséges hőmérsékleti viszonyokat is figyelembe kell venni, és a méréseket üzemmeleg állapotban (tartós bekapcsolás után) kell elvégezni.

A védelmekkel szemben támasztott egyik fontos követelmény a gyorsaság (3.1.2. pont), így feltétlenül ismerni kell a relék *működési önidejét*, azaz a megszólalási határértéket átlépő, bemenő mennyiség rákapcsolásától, a kimenő jel váltásáig eltelő időtartamot.

Mivel az elektromechanikus mérőrelék működésükhöz az érzékelt fizikai mennyiségek energiáját használják fel, így igen fontos ismerni az egyes relék terhelését, azaz *fogyasztását* is. Ezt a névleges (és nem a megszólalási) értékre vonatkozó VA teljesítményben, vagy a relé névleges frekvencián mért impedanciaértékében adják meg.

A relék indokolatlan, felesleges, hibás működése a védett hálózat vagy berendezés indokolatlan kikapcsolását okozhatja, ezért a relékkel szemben támasztott lényeges követelmény a *megbízhatóság*.

A relék egy része a mennyiségek növekvő irányú megváltozását érzékeli, ezek a maximálrelék, más relék a mennyiségek csökkenésére reagálnak, ezek a minimálrelék.

### 6.1.2. Elektromechanikus relék fő szerkezeti elemei

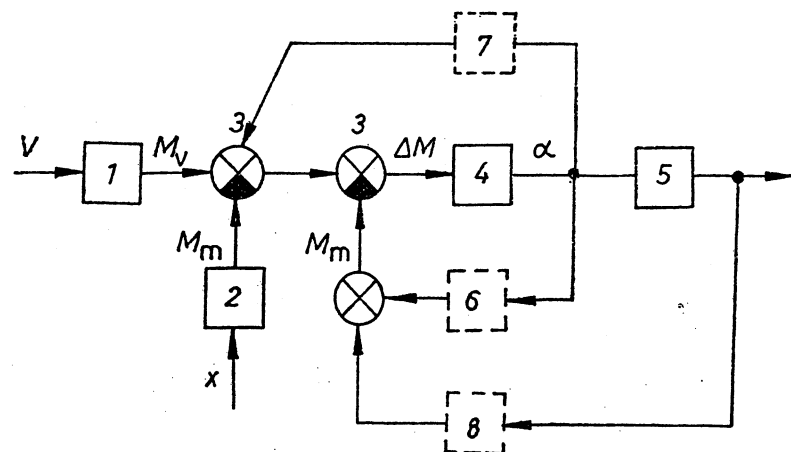
Az elektromechanikus relék fő szerkezeti elemei egymáshoz hasonlóak. Azokat a működési sorrendnek megfelelően a hatásvázlat (6.2. ábra) alapján tekintjük át.

A relé *állórésze* (1) a bemenő  $V$  villamos mennyiséget a relé fegyverzetére ható  $M_v$  mechanikai mennyiséggé alakítja át.

Villamos szempontból az állórész elektromágnes, amelynek fő része a vasmag és a tekercs(ek). A tekercs(ek) a fluxus létrehozását, a vasmag annak vezetését szolgálja. Az állórész egyben a szerkezeti részek rögzítési helye is.

A *fegyverzet* (4) a relé elmozduló része, erre hat az állórész fluxusa. A mechanikai nyomatót típustól függően a fluxus mágneses hatása vagy a fluxus és a fegyverzetben folyó áram

kölcsönhatása hozza létre. A fegyverzet így lehet tekercs nélküli, ill. tekercselt. A fegyverzet elmozdulása lehet elfordulás, billenés vagy haladó mozgás, azaz behúzás. A fegyverzet az első két esetben *tengelyre* van erősítve, amely egyben a relé 3 különbségképző szerve, erre hat a beállítást jelentő referencianyomaték; a 2 beállítórugó nyomatéka és a fegyverzet (vagy fegyverzetek) villamos nyomatéka, amely gyakran függ a fegyverzet állásától. A tengely csapágyazva van, amelynek mindig van súrlódása.



6.2. ábra.  
Elektromechanikus relé hatásvázlata

A tengely elmozdulása mechanikai kapcsolat útján kiváltja az 5 érintkezők működését, ez jelenti a kimenő jel megváltozását. Az érintkezőknek biztos érintkezést kell adniuk, ennek érdekében a relé alkalmazási céljától függően egy adott érintkezőnyomással kell rendelkezniük. Az érintkezők (zárás, nyitás, váltás) ennek az érintkezőnyomásnak a létrehozásával rugóként működnek, ami alapvetően befolyásolja a relé működési jellemzőit. Ezt a hatásvázlat 8 eleme veszi figyelembe.

A működés során a referencianyomatékot adó rugó hossza változik, és ezzel változik a visszatérítő nyomaték nagysága is (6).

A működés során, a fegyverzet elmozdulásával gyakran változik (nő) a fegyverzet villamos nyomatéka. Ezt veszi figyelembe a hatásvázlat 7 eleme.

A relék fontos, bár a működésben részt nem vevő része a reléház. Feladata a relé védelme a külső behatásoktól (portól, nedvességtől). Nagy teljesítményt fogyasztó relék háza a hűtés érdekében nem lehet teljesen zárt, de a por és a nedvesség behatolását itt is meg kell gátolni. Bizonyos esetekben a háznak feladata a külső villamos és mágneses tértől való elhatárolás is. Az ilyen ház vaslemezről készül, és potenciálját a földhöz rögzítik.

### 6.1.3. Elektromechanikus relék osztályozása

a) Működési elvük szerint vannak állandómágneseű (Deprez-, forgótekerceses), elektromágneses, indukciós, elektrodinamikus és hőhatáson alapuló relék.

Működési elvük lényegében a mechanikus műszerek működési elvével azonos.

b) A megszólalást kiváltó fizikai mennyiségek szerint a relék lehetnek áramrelék, feszültségrelék, teljesítmény-irányrelék, impedanciarelék, frekvenciarelék, impulzus-, ill. igen/nem változást „erősítő”, valamint érintkezősokszorozó relék.

c) A relé tekercsének elhelyezése szerint lehet közvetlen, *primer* feszültségre kapcsolva, ill. a tekercs csatlakozhat közvetve a mérőváltó *szekunder* körére.

d) A parancsadó szerv kialakítása, a kioldás módja szerint vannak közvetlen kioldású szerkezetek (azaz kioldók), valamint közvetett kioldásúak, azaz relék. A kioldást a relé érintkezője segédenergiával hozza létre.

e) A reléérintkezők működési módjuk szerint lehetnek munkaáramúak, nyugalmi áramúak, váltóérintkezők („Morse”-érintkezők).

A védelmi technikában általában szekunder relét használunk munkaáramú kimeneti érintkezővel, automatikakörökben azonban elterjedt minden érintkezőváltozat.

Egyszerű, alárendelt hálózatokon kielégítő védelmi működést nyújtanak a primer kioldók, amelyeknek pontossága kisebb.

f) A védelmekben betöltött szerepük szerint léteznek indító- vagy ébresztő-, mérő-, késleltető (idő-), kiválasztó-, logikai relék (segédrelék), valamint kioldóelemek (nagy kapcsolási teljesítményű segédrelék).

## 6.2. Elektromechanikus relék és védelmek

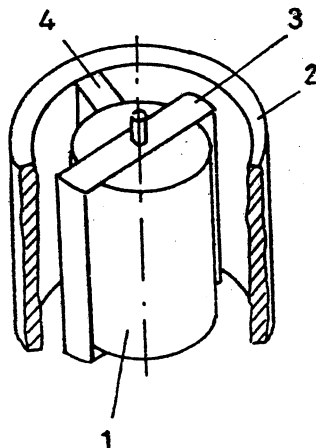
### 6.2.1. Állandó mágnesű relék

Az állandó mágnesű relék nyomatóka az állandó mágnes fluxusa és a tekercselt forgórészben (fegyverzetben) folyó egyenáram kölcsönhatásaként jön létre. Ezeket a védelemtechnikában mérőreléként használják egyenáramú, ill. egyenirányított váltakozó áramú mennyiség mérésére állórészen elhelyezett állandó mágneses, forgó fegyverzetű kivitelben (6.3. ábra). A relé villamos nyomatóka

$$M_v = 1,1 \quad BNIID = k |I|,$$

ahol  $B$  az állandó mágnes fluxusa,  $\text{Wb/m}^2$ ;  $l$  a vezető közepes hossza,  $\text{m}$ ;  $D$  az erőpár karja (a forgó tekercs átmérője),  $\text{m}$ ;  $I$  a forgótekercsben folyó áramerősség,  $\text{A}$ ;  $N$  a forgótekercs menetszáma. Az 1,1 konstans szorzó csak egyenirányított váltakozó áramú mennyiség esetén szükséges, amikor az áramerősség az egyenirányítás előtt a relébe befolyó váltakozó áram effektív értékét jelenti.

A relé referencianyomatókát és egyúttal az árambevezetést finom bronz spirálrugó adja.



6.3. ábra. Állandó mágneses relé

1 magmágnes; 2 köpeny; 3 forgótekercs (fegyverzet); 4 köpenytartók

### 6.2.2. Elektromágneses relék

Az elektromágneses relék nyomatóka az állórészen keltett fluxus és az elmozduló, lágyvasból készült fegyverzet mágneses kölcsönhatásából adódó vonzás következtében jön létre. A kölcsönhatás eredményeként a fegyverzet olyan helyzetet kíván felvenni, amelyben az elektromágneses rendszer energiája a legnagyobb. Az elektromágneses relét a védelemtechnikában igen elterjedten használják mind egyen-, mind váltakozó áramú érzékelésre a kialakítástól függően segédreléként, áram- és feszültségreléként és elektromechanikus kioldóként. Válta-

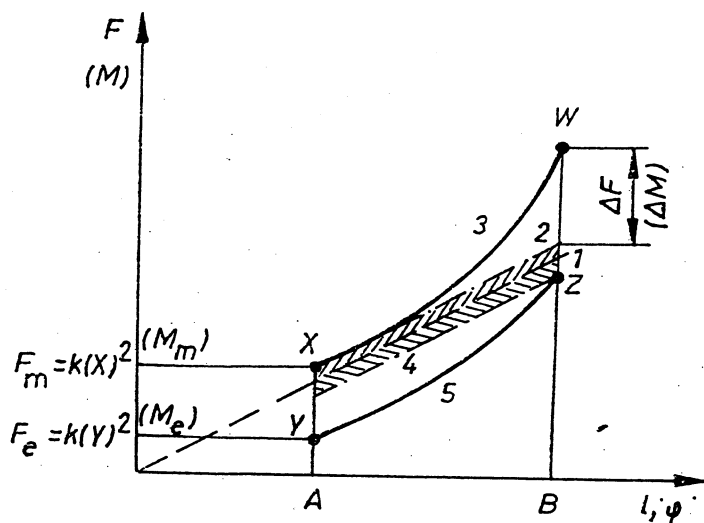
kozó áramú alkalmazás esetén az állórész pólusain rezgésmentesítő gyűrűt kell elhelyezni, vagy kétkercesű elrendezés esetén egyik tekercsel sorba kell kötni 90°-os elforgatást létrehozó ellenállást és kondenzátort.

A relé villamos nyomatéka a rákapcsolt villamos mennyiség négyzetével arányos:

$$M_v = C_i I^2, \quad \text{ill.} \quad C_u U^2,$$

ahol  $C_i$  és  $C_u$  működési állandók;  $I$  a relé tekercsein folyó áramerősség;  $U$  a relé tekercsére kapcsolt feszültség. A referencianyomatékot általában rugóerő szolgáltatja.

Az összes elektromágneses relé működése során változnak a nyomatékviszonyok a meghúzás, azaz az elmozdulás függvényében. Az elmozdulás során, behúzás közben rövidül az erővonalhossz, csökken a légrés. Az erőviszonyok változása nyomon követhető a 6.4. ábrán.



6.4. ábra.

Elektromágneses relék erő – út diagramja

X a megszólalás pontja;

W a meghúzott relé helyzete; Z az elejtés pontja;

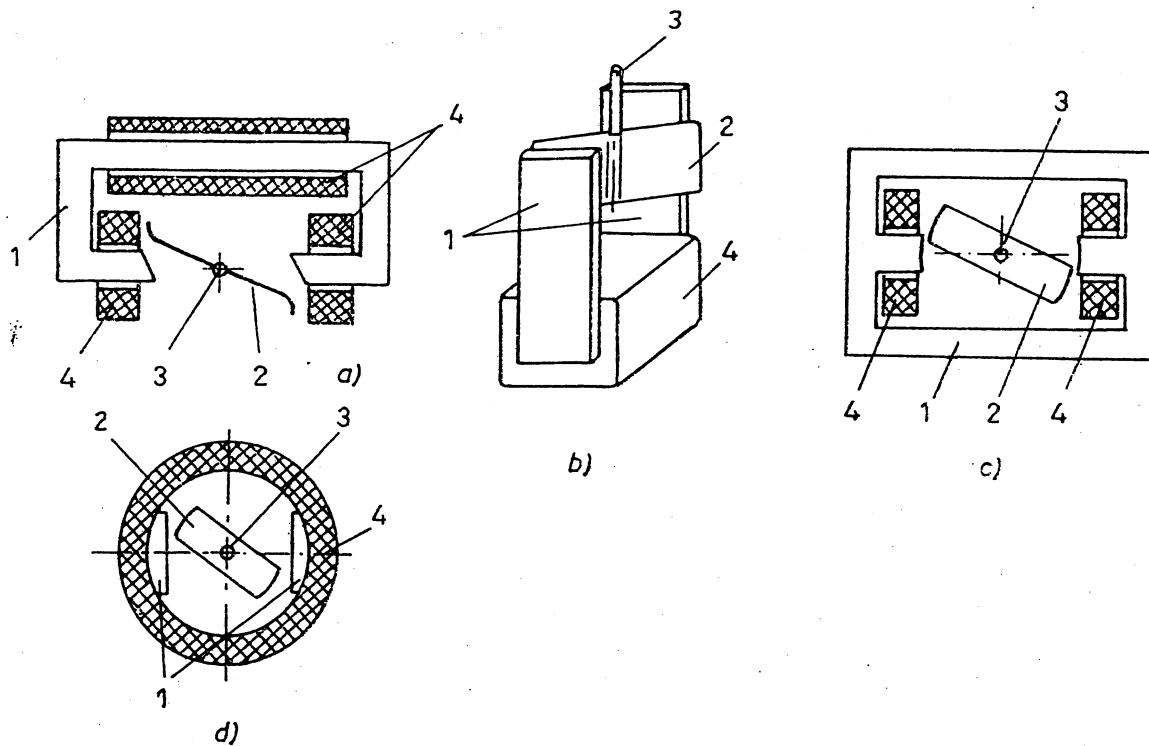
Y az elejtett relé helyzete

A vízszintes tengelyen az elmozdulás útja van feltüntetve, mégpedig az  $A$  helyzet a nyugalmi, a  $B$  a behúzott állapotnak felel meg.  $A$  esetében a  $\delta$  légrés nagy, a referenciarugó (-nyomaték) előfeszített, nyugalmi állapotban van,  $B$  esetén a  $\delta$  légrés kicsi, a referenciarugóerő a  $\Delta X$  rugóhosszváltozás ( $\Delta\varphi$  rugóelfordulás) miatt megnő. Az  $l$  egyenes jelzi a mindenkor rugóerőt. Az ábrából jól látszik, hogy a súrlódást kifejező vonalkázott terület mindig a mozgást létrehozó erőt (nyomatékot) akadályozza. Ha a meghúzás során a mágneses erőhatás (3 görbe) jobban növekszik, mint a lineáris rugóerő (nyomaték) és a súrlódás összege (2 egyenes), akkor billen a relé. A relé csak akkor ejt el, ha a ható mennyiség által keltett mágneses erőhatás 5 görbéje a lineáris rugóerő súrlódással csökkentett értékénél (4) kisebb értéket képvisel (Z pont). Ez az ejtőviszonyt befolyásolja. A relék szerkezeti kialakítása igen sokféle lehet. Ezek három fő csoportba foglalhatók össze:

#### a) Forgó fegyverzetű elektromágneses relék

Szerkezeti kialakításuk a 6.5. ábrán látható. Áram- és feszültségreléként a 6.5a ábra szerinti nyitott állóvasmagú, Z-fegyverzetű relét alkalmazzák. A mérőrelé jellegű alkalmazást a vékony, gyorsan telítődő Z-fegyverzet teszi lehetővé, mivel a kis fluxusnál telítődő lemez további elmozdulása során, a mágneses viszonyokat már nem befolyásolja jelentősen (6.4. ábra,  $\Delta F$  kicsi). Ezzel kedvező ejtőviszony érhető el ( $C_e > 0,8$ ).

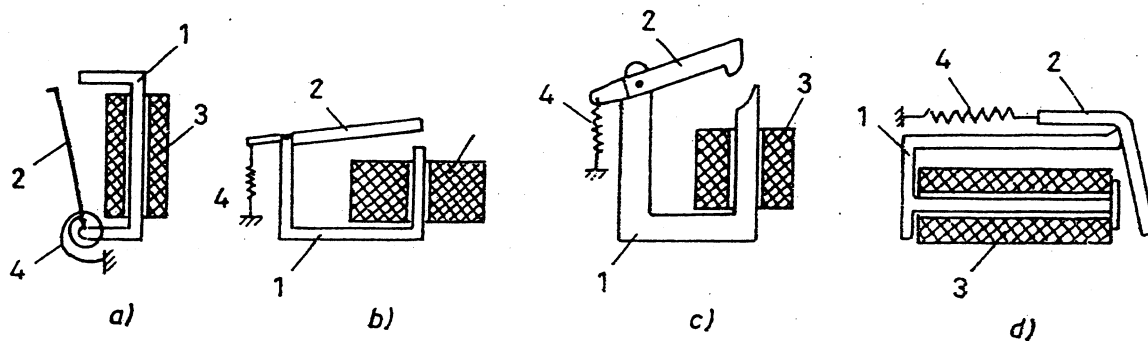
A nyitott állóvasmagú, lemezfegyverzetű relé tulajdonságai a Z-fegyverzetűéhez hasonlóak (6.5b ábra). A zárt állóvasmagú, tömör fegyverzetű relé tartóviszonya rosszabb, és a forgórész nagyobb tömege miatt a működési önideje nagyobb, ezért elsősorban segédreléként vagy időreléként célszerű használni (6.5c ábra).



6.5. ábra. Forgó fegyverzetű elektromágneses relék  
 1 vasmag; 2 fegyverzet; 3 tengely; 4 tekercs

b) Billenő fegyverzetű elektromágneses relék

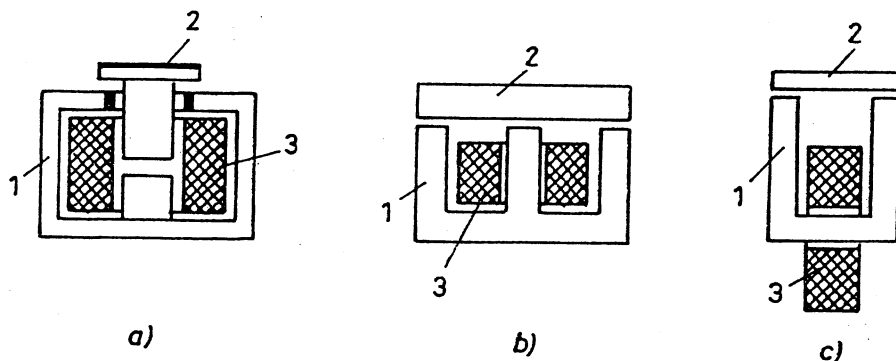
Szerkezeti kialakításuk a 6.6. ábrán látható. A védelemtechnikai gyakorlatban elsősorban a szögemelyűs relé terjedt el (6.6d ábra), főleg segédreléként. Jellemzője a nagy tartóviszony.



6.6. ábra. Billenő fegyverzetű elektromágneses relék  
 1 állórész; 2 fegyverzet; 3 tekercs; 4 rugó

### c) Behúzó fegyverzetű elektromágneses relék

Szerkezeti kialakításukat a 6.7. ábra szemlélteti. A mozgatott, viszonylag nagy tömeg és a nagy tartóviszony miatt főleg kioldóként, esetleg segédreléként vagy időreléként alkalmazzák.



6.7. ábra. Behúzó fegyverzetű elektromágneses relék  
1 állórész; 2 fegyverzet; 3 tekercs

### 6.2.3. Indukciós relék

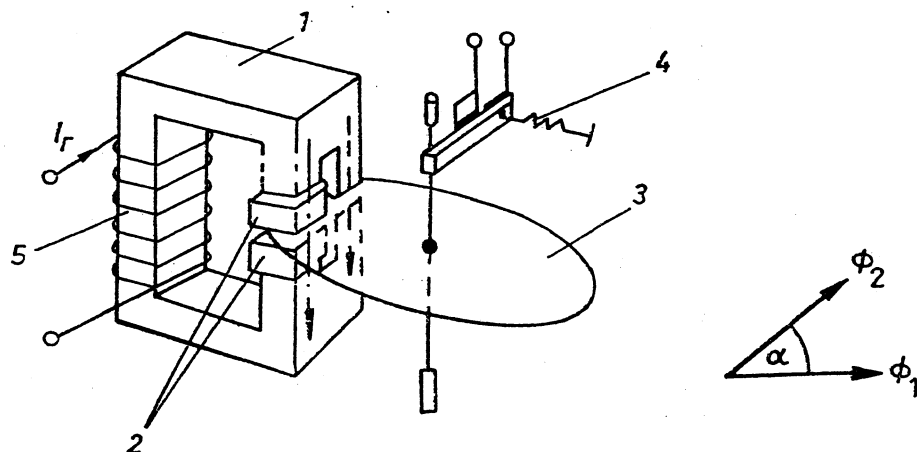
Az indukciós relék működési elve azonos az indukciós motorokéval: ha térben eltolt tekercsekben, időben eltolt fluxusok alakulnak ki, akkor ott forgómező keletkezik, amelynek fluxusa a fémből készült forgórészt magával viszi. A működés elvéből adódóan ez a relé csak váltakozó árammal működik. A villamos nyomaték:

$$M_v = k |\Phi_1| \cdot |\Phi_2| \sin \alpha$$

alakban kapható, ahol  $\Phi_1$  és  $\Phi_2$  a térben egymáshoz képest eltolt fluxus,  $\alpha$  pedig a fluxusok közötti szög. Adott nagyságú fluxusok akkor adják a legnagyobb nyomatékot, ha a fluxusok közötti szög  $90^\circ$ . Az indukciós reléknek két kiviteli módja van.

A tárcsás forgórészű indukciós relé szerkezeti felépítése a 6.8. ábrán látható. A fluxusok térbeli eltolása a lágyvas pólus geometriai osztásával hozható létre, az időbeli eltolást viszont rövidrezárt rézgyűrű biztosítja, amely csak az egyik pólusrészt fogja közre. A két fluxus a tárcsában köráramokat indukál.

Az érintkezést (működést) a tengelyhez erősített érintkezőnek az elfordulás során bekövetkező zárása adja. A referencianyomatékot az érintkezőhöz erősített rugó biztosítja.

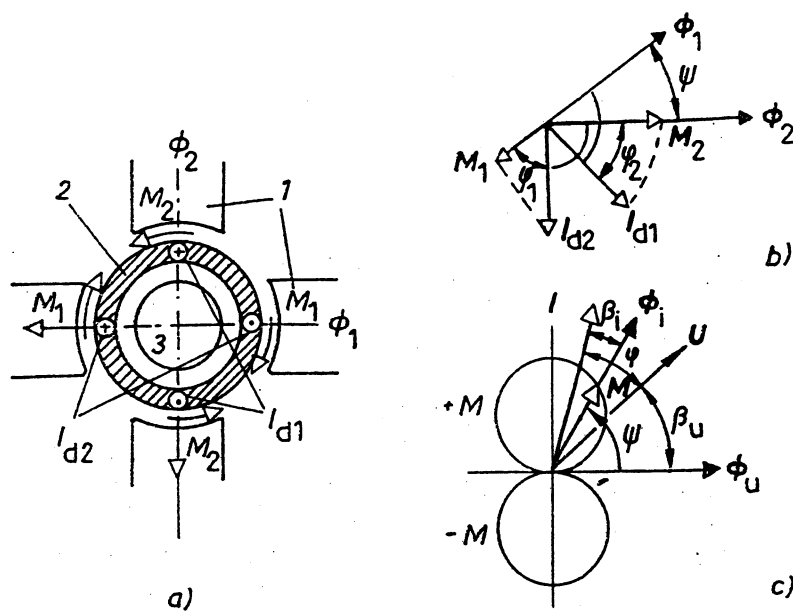


6.8. ábra. Tárcsás forgórészű indukciós relé  
1 vasmag; 2 rövidrezárt rézgyűrű; 3 fegyverzet – alumínium tárcsa; 4 érintkező rugó; 5 tekercs



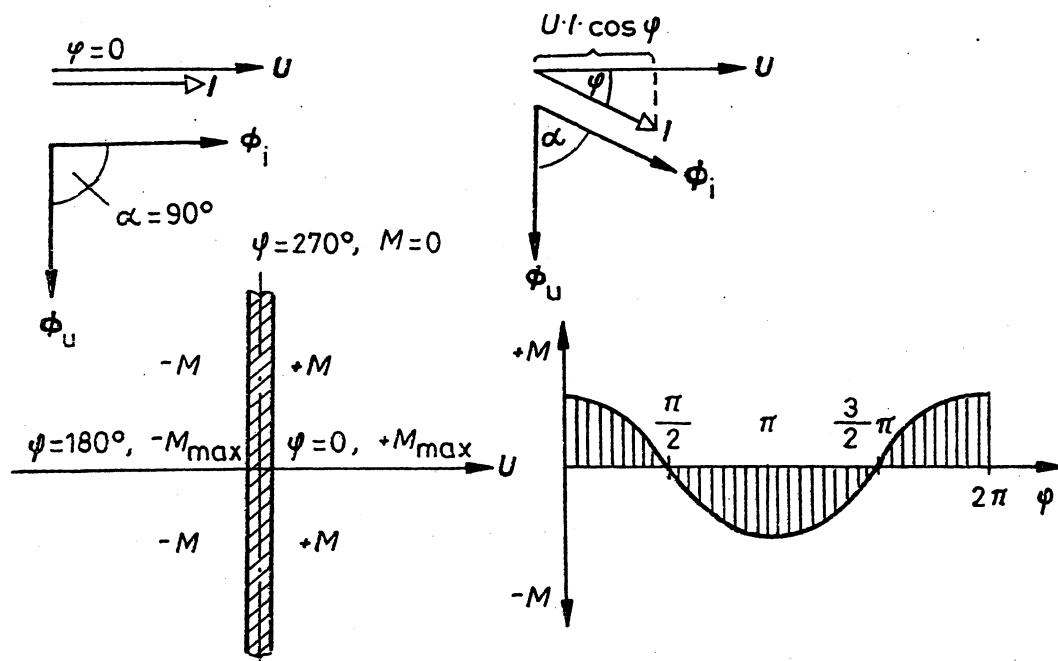
Mivel a villamos nyomaték a szerkezetből adódóan állandó nagyságú, a rugónyomaték viszont az elmozdulással nő és a villamos nyomatékkal azonos lehet, így a relé nem billen, vagyis bizonytalan helyzetbe kerülhet, ezért önálló mérőrelének nem használják. A villamos mennyiség (áram vagy feszültség) által keltett villamos nyomaték, mivel mindkét fluxust ugyanaz a mennyiség hozza létre, négyzetes.

A *dobos forgórészű indukciós relé* elvi felépítése a 6.9. ábrán látható. A szerkezeti kialakítás biztosítja a maximális nyomaték elérését lehetővé tevő  $\alpha = 90^\circ$  geometriai eltolást, ez egyben azt is jelenti, hogy a villamos nyomatéknak az egyik tekercs fluxusához képest, a másik tekercs fluxusának időbeli szögétől függően lesznek maximum-, minimum- és zérushelyei.



6.9. ábra. Dobos forgórészű indukciós relé

a) elvi szerkezeti elrendezés – dobáramok és nyomatékok: 1 állórész pólusai; 2 forgódob; 3 vasmag  
b) vektorábra; c) nyomatéki ábra



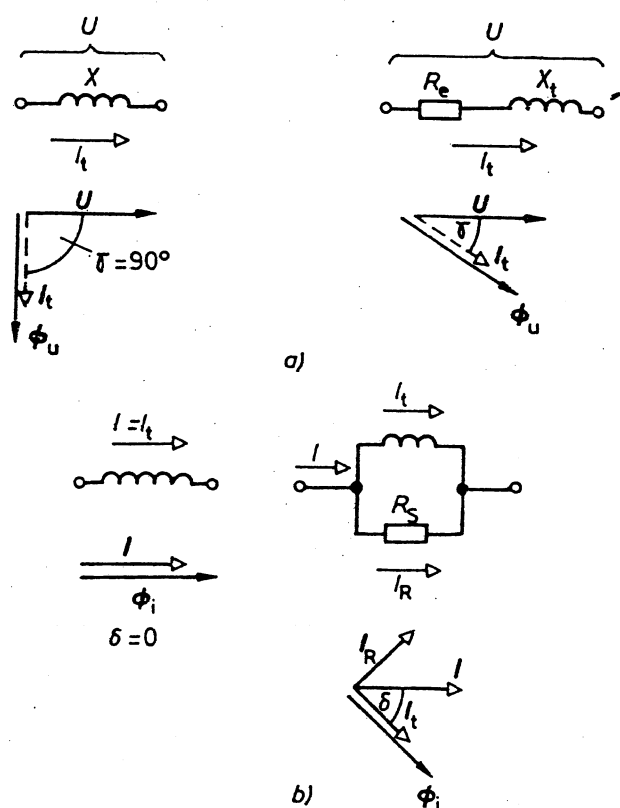
6.10. ábra.  $\alpha = 90^\circ$  belső eltolási szögű, azaz  $\psi = 0^\circ$  belső szögű teljesítmény-irányrelé karakterisztikája és nyomatékviszonyai ( $\psi$  az  $U$  és  $+M_{\max}$  közötti szög)

A relé a 6.10. ábrának megfelelő nyomatékértékeket vehet fel a fluxusok időbeli  $\alpha$  szögétől függően.  $0-90^\circ-180^\circ$  intervallumban a relé pozitív nyomatékot, míg a  $180^\circ-270^\circ-360^\circ$  tartományban a relé negatív nyomatékot szolgáltat. Ha az egyik tartomány kioldást, akkor a másik reteszélést jelent. A két tartományt elválasztó egyenest *vágási egyenesnek* nevezzük. A mindig meglévő súrlódás miatt az egyenes „megvastagszik”, és emiatt *holtsávról* beszélhetünk. A relé semerre sem tér ki, amíg a villamos nyomaték a súrlódást nem győzi le. A relének referencianyomatékot szolgáltató rugója nincs. A fluxustengelyek merőleges geometriai kialakítása miatt a relé nyomatékirány-érzékenysége nagy, ezért igen elterjedten teljesítményirányrelének alkalmazzák. Ebben az esetben az egyik tekercs fluxusát a feszültségtekercs árama, a másik tekercs fluxusát az átfolyó áramerősség gerjeszti.

A feszültségtekercs erősen induktív, ezért a feszültségtekercs árama és a keltett fluxusa a feszültséghez képest  $90^\circ$ -ot időben késik, míg az áramtekercs fluxusa fázisban van a gerjesztőárammal, azaz a maximális nyomatékát a rendszer a feszültség és áramerősség fázisa, ill. ellenfázisa esetén szolgáltatja. Eszerint a villamos nyomaték nagysága a fluxusok helyett feszültségre és áramra is átírható:

$$M_v = k |\Phi_1| \cdot |\Phi_2| \sin \alpha = k' |U| \cdot |I| \cos \varphi.$$

Ez azt jelenti, hogy a relé a hatásos teljesítményre érzékeny, ezért hatásosteljesítményirányrelének vagy  $\cos \varphi$ -relének nevezik. A relé nyomatékviszonyai és karakterisztikája a 6.10. ábrán látható. Mind az az áramtekercs, mind a feszültségtekercs árama a relére vezetett áramokhoz képest eltolható, azaz a relé belső szöge megváltoztatható.

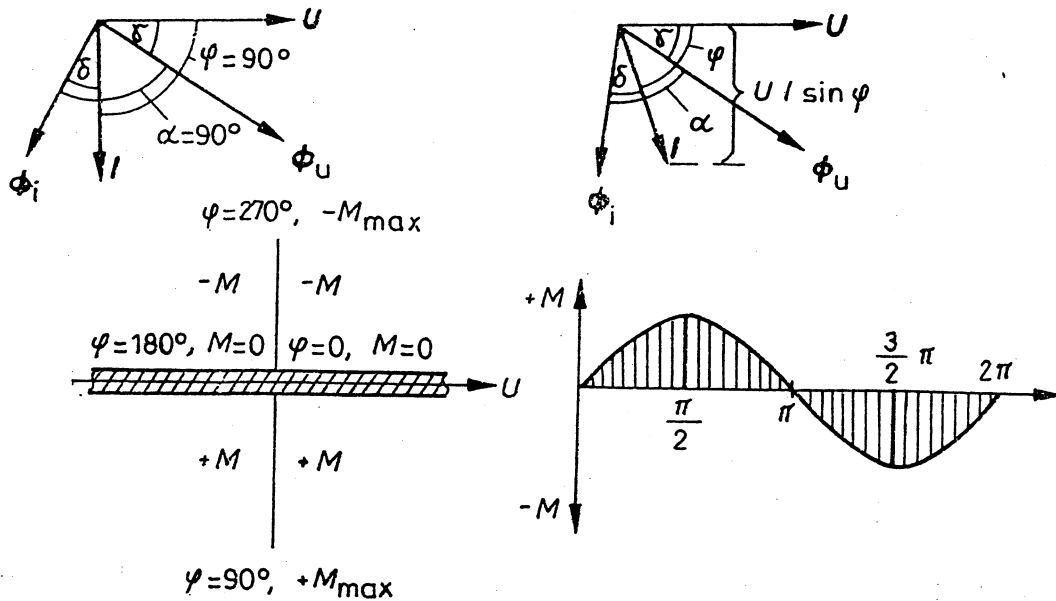


6. 11. ábra

- a) Feszültségtekercs előtétézése;  
b) áramtekercs söntölése

Az áramtekercs megfelelő söntölése és a feszültségtekercs megfelelő előtétézése esetén (6.11. ábra) pl. elérhető, hogy a tekercsek árama egymásra merőleges legyen, és a fluxusok időben egyirányúak legyenek. Ez azt jelenti, hogy a nyomaték 0 lesz, azaz időben  $90^\circ$ -kal eltolódott. A maximális nyomatékot ezek szerint a relé akkor fejt ki, ha a feszültség és áramerősség között  $90^\circ$  időbeli eltolás van. Ezzel a meddő teljesítményre érzékeny, vagyis  $\sin \varphi$ -reléhez jutottunk. A nyomatéki egyenlet:

$$M_v = k |\Phi_1| \cdot |\Phi_2| \sin \alpha = k' |U| \cdot |I| \sin \varphi.$$



6.12. ábra.  $\alpha = 0^\circ$  belső eltolási szögű, azaz  $\psi = 90^\circ$  belső szögű teljesítmény-irányrelé karakterisztikája és nyomatékviszonyai ( $\psi$ :  $U$  és  $+M_{\max}$  közötti szög)

A relé nyomatékviszonyai és karakterisztikája a 6.12. ábrának megfelelően alakulnak. Könnyű belátni, hogy elvileg tetszőleges belső szögeltolású relé hozható létre a sönt-, ill. előtét ellenállások megfelelő megválasztásával. A belső szögeltolás egyben meghatározó a külső mennyiségek (feszültség és áram) között értelmezett maximális érzékenységre jellemző irány és a vágási egyenes elhelyezkedése szempontjából.

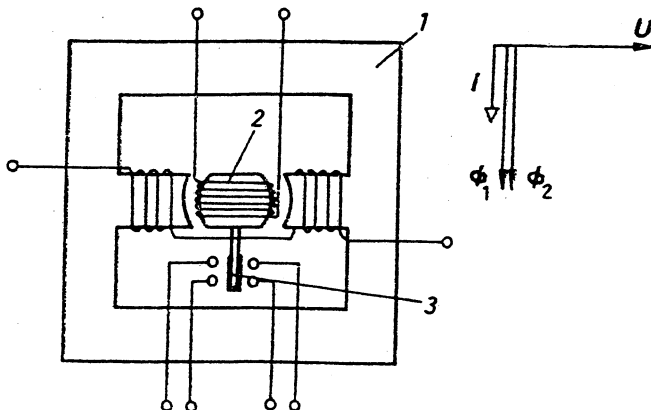
Természetesen nem célszerű mindenféle belső szögű relét gyártani. A gyakorlati igények alapján ki kell emelni a kapacitív  $45^\circ$ -os belső szögű teljesítmény-irányrelét, amelyet elterjedten használnak ép feszültséggel polarizálva zárlati teljesítmény irányának meghatározására (l. a 4.2. alfejezetet). A relé nyomatéki egyenlete

$$M_v = k' |U| \cdot |I| \cos(\varphi - 45^\circ), \quad \text{ahol } \psi = 45^\circ \text{ a relé belső szöge.}$$

#### 6.2.4. Elektrodinamikus relék

Az elektrodinamikus relék állórészének gerjesztett tekercse által létrehozott mágneses térben fordul el a forgórész tekercse (fegyverzet), ha az gerjesztést kap. Ezek a relék érzékeny irányreléként nyernek alkalmazást a hálózatvédelmi technikában. A relé elvi szerkezeti kialakítása a 6.13. ábrán látható. A relé villamos nyomatéka:

$$M_v = k |\Phi_1| \cdot |\Phi_2| \cos \alpha.$$

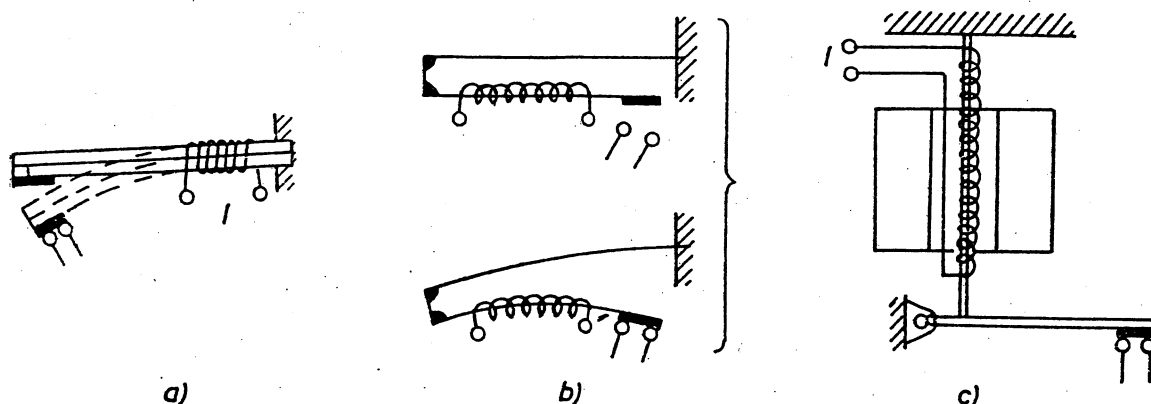


6.13. ábra.  
Elektrodinamikus relé szerkezeti kialakítása  
1 állórész; 2 forgórész (fegyverzet); 3 érintkező

Ha az állórész tekercsére az áramerősséget vezetjük, a forgórészre pedig a feszültséget kapcsoljuk, akkor meddőteljesítményirány-reléhez jutunk. Műkapcsolás esetén a relé belső szöge az indukciós reléknél bemutatottaknak megfelelően módosítható.

### 6.2.5. Termikus relék

A termikus relék alapvető sajátossága, hogy hőmérséklet-változás hatására működnek. Működésük alapját többnyire mechanikailag két egymáshoz rögzített különböző hőtágulású lemez – ikerfém (bimetall) – hőmérséklet-növekedés hatására bekövetkező lehajlása jelenti, de pl. a hőmásrelé alapja a hő hatására lineárisan kiterjeszkedő rúd (6.14c ábra). A különböző szerkezeti kialakítások célja a védendő berendezés minél jobb hőtani leképezése. Ennek megfelelően megkülönböztetünk (6.14. ábra) egyszerű hőrelét (vagy kioldót), kompenzált hőrelét (vagy kioldót), valamint hőmásrelét (vagy kioldót).



6.14. ábra. Termikus relék

a) ikerfém; b) kompenzált ikerfém; c) hőmásvédelem

Az ikerfém működése független attól, hogy a hőközlés kívülről történik-e vagy közvetlenül a rajta átfolyó áramerősség hatására melegszik-e. Ennek megfelelően az ikerfém lehet közvetlen és közvetett fűtésű (fűtőspirál).

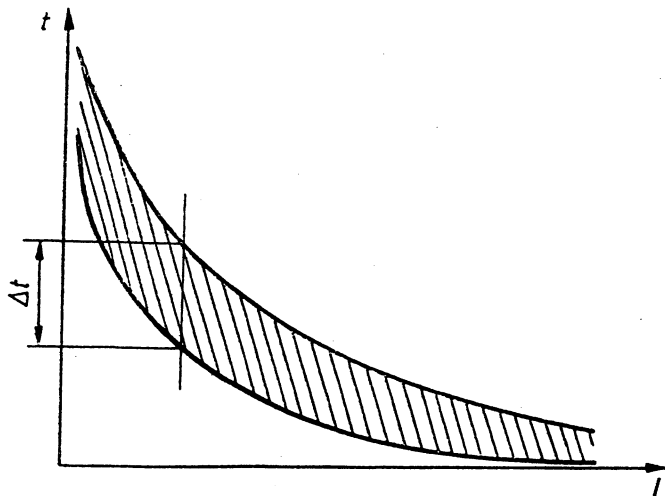
A lehajlás mértéke, és így a működés gyorsasága a hőfejlesztést létrehozó áramerősségtől függ. Azonos hőmennyiség eléréshez nagyobb áramerősség esetén a Joule-törvény értelmében négyzetesen kisebb idő szükséges, azaz a működés jelleggörbéje függő karakterisztikájú.

A 6.14a ábrán bemutatott ikerfém lehajlása mind a környezet, mind a fűtőspirált fűtő áram melegítő hatásától függ, így csak kevésbé kényes helyen alkalmazható védelemként. Főleg mágnescapcsolókkal összeépíthető hőkioldóként, esetleg megszakítók termikus kioldójaként használatos. A 6.14b ábrán feltüntetett kompenzált hőkioldó lehajlása kizárólag az áramerősségtől függ. Ezt a változatot használják motorvédelemhez.

A 6.14c ábra hőmásvédelmet vázol fel. Az ikerfém köré épített különböző hővezető képességű és hőkapacitású tömegek termikus viszonyai és időállandója jól képezi le a védeni kívánt gép, berendezés azonos jellemzőit. Természetesen ezt nehéz, csaknem lehetetlen biztosítani, így tökéletes, az egyenlőtlen hőeloszlást is figyelembe vevő hőmásvédelem gyakorlatilag nem készíthető.

A termikus relék alkalmazását hálózatvédelmi célokra nehezíti továbbá az, hogy a működés során mechanikai elmozdulást (lehajlást) végző lemezek súrlódása miatt mechanikai hiszterézis alakul ki, amely széles működési sávot vagy működési szórást jelent (6.15. ábra). Ez a hiszterézishajlam az ikerfém előfárasztásával csökkenthető.

Ha a védendő berendezésre termikus védelmet kell kiépíteni, akkor azt helyesebb a közvetlen hőállapot mérésére alapozni (termisztor, ellenállás-hőmérő, hőelem, érintkezős hőmérő beépítése a kritikus helyekre).



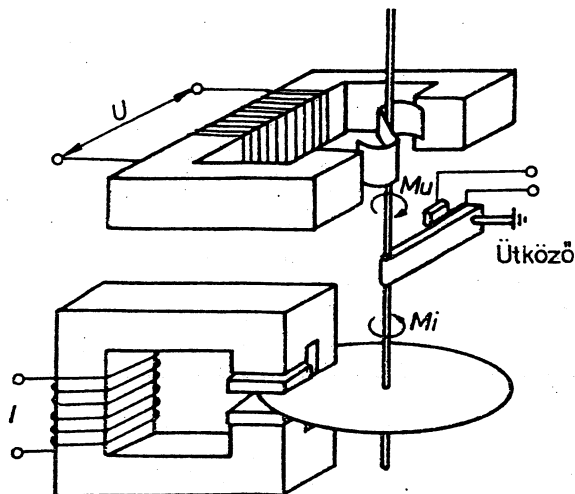
6.15. ábra

### 6.2.6. Kombinált elektromechanikus relék

A védelmi érzékelési feladatokat szükség esetén azonos vagy különféle érzékelésű, de több egyedi elektromechanikus relé összeépítésével is meg lehet oldani, ekkor kombinált elektromechanikus relét alkalmaznak. Példaként bemutatunk néhány megoldást.

#### a) Impedanciarelé, elektromechanikus mérlegrelé

Az impedanciarelét általában egy elektromágneses reléből és egy indukciós reléből alakítják ki (6.16. ábra). A két különböző rendszer nyomatéka ellentétesen hat a tengelyre, azaz a mindenkor nyomatékok egyensúlyától függ a kitérés iránya, tehát a relé mérlegeli, hogy melyik nyomaték a nagyobb.



6.16. ábra

Ha az indukciós részt az áramerősség, az elektromechanikus részt a feszültség gerjeszti, akkor impedanciareléhez jutunk. A villamos nyomatékok egyensúlya alapján a relé megszólal, ha

$$k_1 |I|^2 \cong k_2 |U|^2,$$

amelyből a megszólalási impedancia:

$$Z = \frac{|U|}{|I|} \cong \frac{k'_1}{k'_2}.$$

A relé megszólal tehát, ha az impedancia egy meghatározott érték alá csökken.

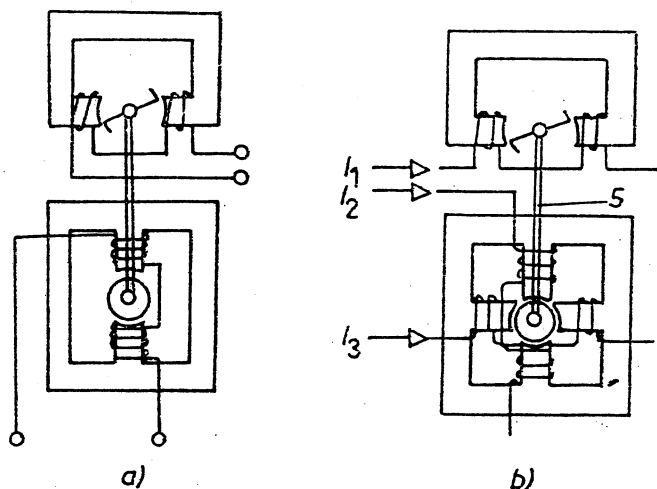
b) Százalékos differenciálrelé, elektromechanikus mérlegrelé

Téves kioldások elkerülése érdekében a differenciálvédelmeket (l. a 4.7.2. pontot) stabilizálni kell. Ennek egyik lehetséges megoldása az ún. *fékezés* megvalósítása. Ez szerkezetileg pl. egy olyan relékombinációt jelent, amelynek két egytengelyű, egymással szemben dolgozó elektromágneses és indukciós tagja van (6.17a ábra). Az egyik rendszer villamos nyomatéka a differenciálág áramára, a másik rendszer nyomatéka a kiválasztott fékező ág áramára ( $I_F$ ) működik („féloldalas” fékezés).

Az eredő villamos nyomaték

$$M_v = k_1 |\Delta I|^2 - k_2 |I_F|^2.$$

Mivel a védelemnek minden belső hibára működnie kell, ez csak úgy lehetséges, ha  $k_1 > k_2$ .



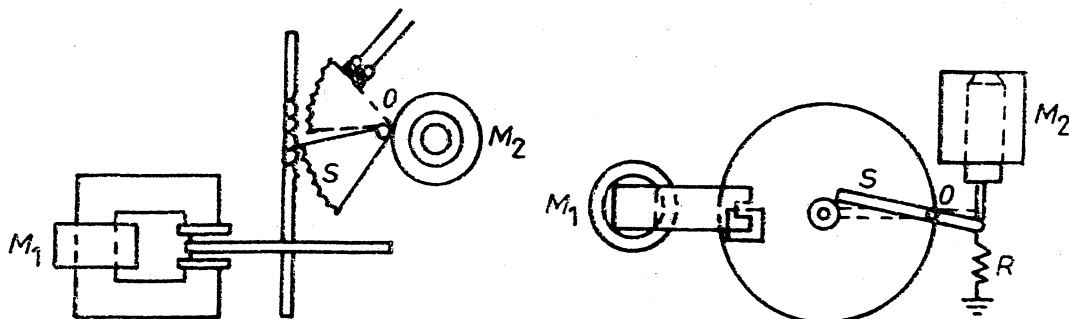
6.17. ábra  
Stabilizált differenciálrelék  
a) százalékos;  
b) áramirány-összehasonlító

c) Szakaszwédelmi relé, elektromechanikus mérlegrelé

Ez a differenciálrelék családjába tartozik. Szerkezetileg két egytengelyű relérendszert tartalmaz (6.17b ábra). Az egyik rész egy elektromágneses rendszer, erre kapcsolják a differenciálág áramát, a másik rendszer egy dobos forgórészű, kétkerceselésű indukciós áramirányrelé, amit a fékezőágak árama gerjeszt. Az áramok irányától függően – azaz, hogy külső vagy belső zárlat lépett-e fel – változik a nyomaték iránya, amellyel a kívánt stabilitás elérhető (l. a 4.7.3a pontot).

d) Áramtól függően késleltetett túláramrelé

A relé egy indukciós és egy elektromágneses relé kombinációja (6.18. ábra). Az indukciós áramrelé alumíniumtárcsája az  $M_1$  tekercsen átfolyó áramtól függő szögsebességgel forog, mivel fékezését állandó mágnes biztosítja.



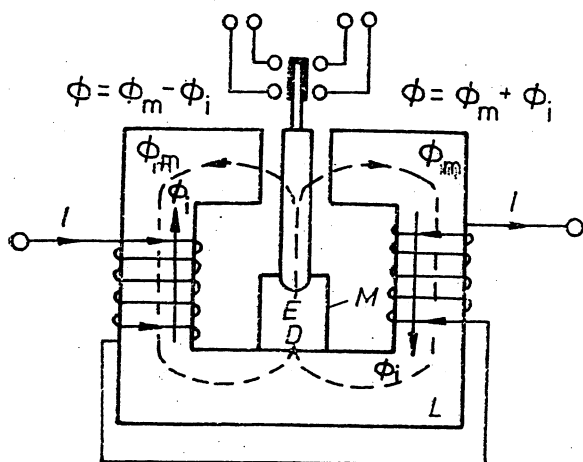
6.18. ábra

A relé tengelyének egy része menetes orsónak van kialakítva, amelyhez az  $S$  szegmens kapcsolódhat akkor, ha az  $M_2$  elektromágnes a rajta átfolyó áram hatására megszólal. Összekapcsolódás után a szegmens — az orsó forgása miatt — elkezd emelkedni. Az emelkedés ideje az érintkező zárásáig az orsó forgási sebességétől, vagyis az indukciós tagot gerjesztő áram erősségétől függ. A relé működéséhez a tekercseket az áramkörbe sorosan kell kapcsolni.

A késleltetés nagysága az ellenérintkezőnek a szegmens nyugalmi helyzetéhez viszonyított távolságától függ. A relé — szerkezetéből adódóan — ma már kényes védelmi feladatokra nem alkalmas, csak mint tartalék védelem jöhet szóba.

#### e) Polarizált relé

A relé működését, ill. billenési irányát az határozza meg, hogy az állandó mágnes fluxusát milyen módon torzítja az egyenárammal gerjesztett elektromágnes fluxusa (6.19. ábra).



6.19. ábra

Az  $L$  lágyvasjárom alsó részéhez csatlakozó  $M$  állandó mágnes a mágneses szimmetria miatt a járom mindkét ágában azonos  $\Phi_m$  fluxust létesít. A vasmagot körülfogó tekercselés menetiránya olyan, hogy a benne folyó áram hatása a vasmag egyik ágában a fluxust erősíti, a másikban gyengíti. Ennek hatására az érintkezőt tartó lágyvas nyelv az erősebb mágneses terű oldalra elbillen.

### 6.3. Egyenirányítós relék és védelmek

A megbízhatóság és a gyors működés követelménye érdekében szükséges volt az elektro-mechanikus relékhez képest fejlettebb finommechanikával készülő, kisebb teljesítményigényű, kisebb tömegű relére. Erre a lehetőséget a *félvezető diódák* teremtették meg, velük kialakíthatóvá váltak az ún. *egyenirányítós relék*.

Az egyenirányítós relé érzékelőeleme a 6.2.1. szakaszban bemutatott állandó mágnesű vagy a 6.2.6. e) pontban leírt polarizált relé lehet. A kitérés iránya az érzékelt egyenáram irányától függ. Az érzékelők mozgó tömege kicsi, ezért kicsi a gerjesztési igényük, ezzel a megszólalási szintjük is, valamint csekély a fogyasztásuk a hagyományos elektromechanikus relékhez képest. Megszólalási határuk rugóerővel állítható. Elvileg bármilyen mennyiség érzékelése megoldható, azonban önállóan, egy villamos mennyiség érzékelésére ritkán használják. Általában két egyenirányított és szembekapcsolt mennyiség hídági érzékelése terjedt el, ekkor rugóerő nélkül, azaz *nullindikátorként* használatosak.

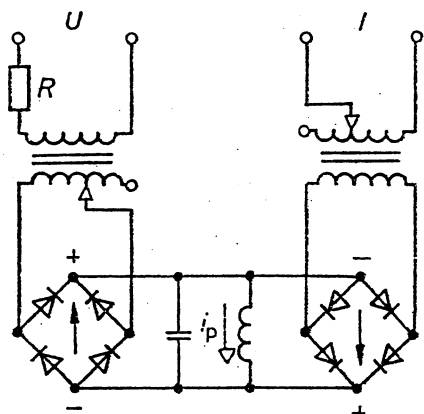
### 6.3.1. Egyenirányítós impedanciarelé

A működés elve a 6.20 ábrán követhető. Az  $U$  és  $I$  a feszültségváltó és az áramváltó szekunder kapcsait jelenti. Mivel ezeket a hídkapcsolásban fémesen összekötni nem szabad, ezért a rajzon látható segédmérőváltók szükségesek, amelyek a körök elszigetelésén kívül a kedvező illesztést szolgáló áttétel módosítást is végzik. A hídkapcsolásban az  $U$  feszültséggel és az  $I$  árammal ily módon arányos áramokat egymáshoz képest ellentétes értelemben egyenirányítjuk. A hídáramban elhelyezett polarizált relé tekercsén átfolyó  $i_p$  áram iránya attól függ, hogy a két oldal közül melyik van túlsúlyban. A relé árama:

$$i_p = i_i - i_n = k_1 |I| - k_2 |U|.$$

A relé tehát két állapotot tud megkülönböztetni:

$$k_1 |I| > k_2 |U|, \quad k_1 |I| < k_2 |U|.$$



6.20. ábra

Határesetben, amikor a két egyenfeszültség egyforma, a relén nem folyik át áram. A megszólalás feltétele tehát:

$$i_p = 0 \quad \text{és} \quad k_1 |I| = k_2 |U|,$$

amiből

$$\frac{|U|}{|I|} = |Z| = \frac{k_1}{k_2}.$$

A relé tehát impedanciát mér, és úgy állítják be, hogy akkor szólaljon meg, ha

$$|Z| = \frac{|U|}{|I|} \cong \frac{k_1}{k_2}.$$

A relé megszólalási impedanciája a feszültségkörben levő segédáramváltó változtatható megcsapolásával állítható.

Végeredményben az egyenirányítós impedanciarelé is a mérlegelvet valósítja meg, akár csak az indukciós és elektromágneses relé kombinációja, csupán az egymással szemben működő nyomatékok szerepét veszik át az ellentétes irányban ható egyenáramok.

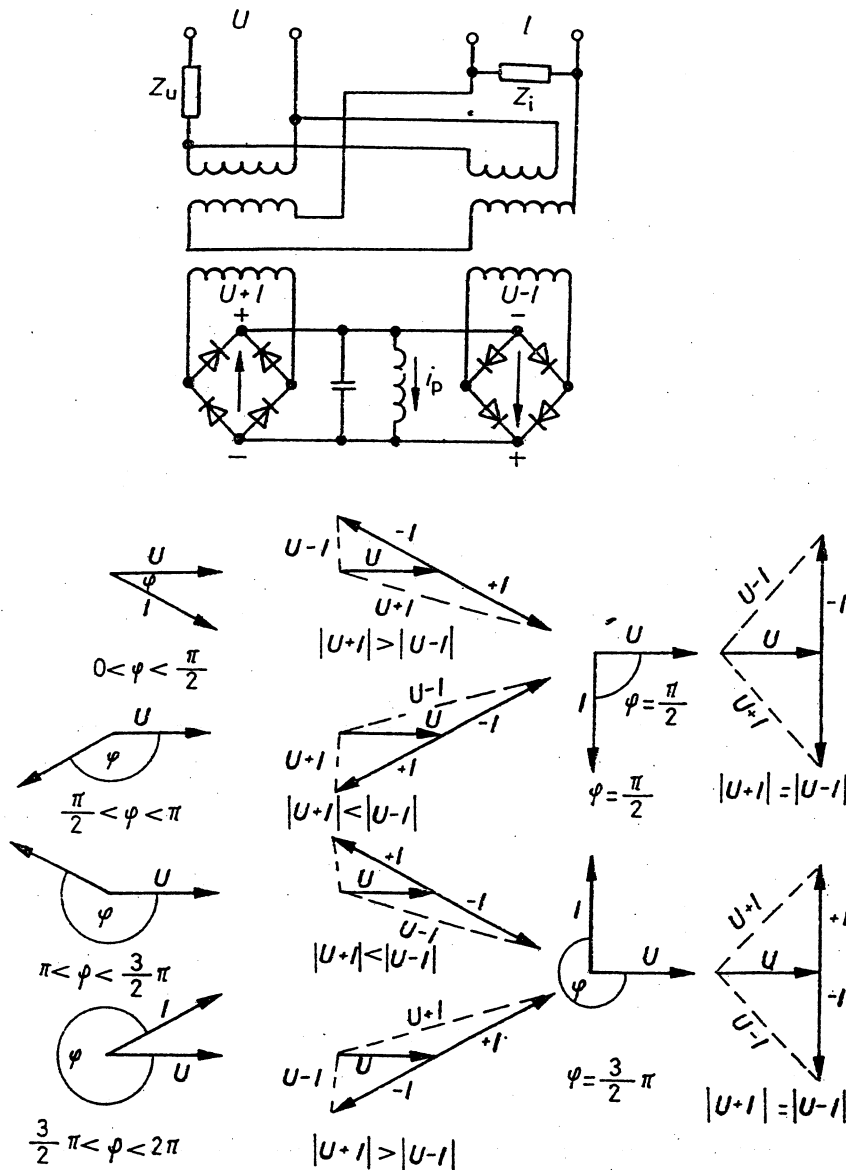
Kivitelezhető a leírt impedanciarelé úgy is, hogy az ún. áramkényszer-kapcsolás helyett „feszültségkényszer-kapcsolást” alkalmaznak. Ekkor az áramoldalon söntöt kell beépíteni, az egyenirányítókra így váltakozó feszültségek jutnak, a nullindikátor-relé pedig a két híd közötti vezetékbe sorosan lesz beépítve. Ekkor a megszólalás egyenlete:

$$U_p = U_i - U_u \cong 0.$$



### 6.3.2. Egyenirányítós teljesítmény-irányrelé

Mind a feszültségváltó ( $U$ ), mind az áramváltó ( $I$ ) szekunder köréhez egy-egy háromtekercselésű segédáramváltót kell csatlakoztatni (6.21. ábra). A hídkapcsolás egyik oldalán a váltakozó feszültség és áram vektoros összegét, a másik oldalán ezek vektoros különbségét képezik és egymással ellentétes értelemben egyenirányítják.

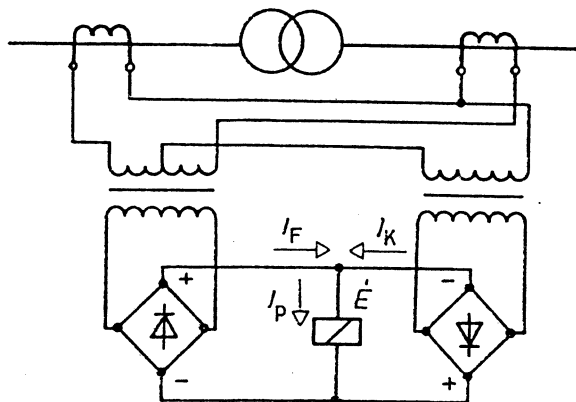


6.21. ábra

Az egyes ténnyedekre felrajzolt vektorábrákból közvetlenül kiolvasható, hogy ha  $U$  és  $I$  egymással hegyesszöget zár be, akkor a vektoros összeg abszolút értéke, tehát a híd bal oldalán jelentkező egyenfeszültség van túlsúlyban a jobb oldalihoz képest, ahol a vektoros különbség abszolút értékével arányos egyenfeszültség uralkodik. A hídágban levő relén az áram akkor az ábrán jelölt irányú lesz. Ha  $U$  és  $I$  tompaszöget zár be,  $i_p$  áram iránya ellentétesé válik. Ha pedig az áram a feszültségre éppen merőleges, akkor a hídágban nem folyik áram. Ez a viselkedés pontosan megfelel a hatásosteljesítmény-irányrelé ( $\cos \varphi$  relé) tulajdonságainak.

Az ábrán a feszültségkörben feltüntetett  $Z_u$  előtét impedancia és az áramváltó körben elhelyezett  $Z_i$  söntimpedanciával az egyenirányítandó váltakozó áramú mennyiségek szöghelyzete módosítható, s így nemcsak  $\cos \varphi$  relé, hanem  $\sin \varphi$  relé, 45°-os relé, vagy bármilyen más belső szögű relé is egyszerűen kialakítható.

Az egyenirányítós teljesítmény-irányrelék igen nagy érzékenyséűek és kis fogyasztásúak, ezért az összetett védelmekben elterjedten alkalmazzák őket.



6.23. ábra

Kétoldalt azonos mögöttes hálózatot figyelembe véve az áramarányok:

	$I_F/I_Z$	$I_K/I_Z$
Külső zárlat	2	0
Belső zárlat	0	2

egyoldali táplálás esetén viszont:

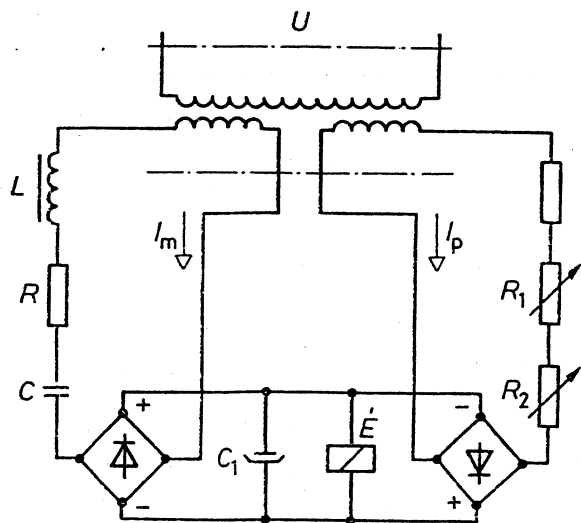
	$I_F/I_Z$	$I_K/I_Z$
Külső zárlat	2	0
Belső zárlat	1	1

ahol  $I_F$  a fékezőoldal egyenirányított mennyisége,  $I_K$  a kioldóoldal egyenirányított mennyisége.

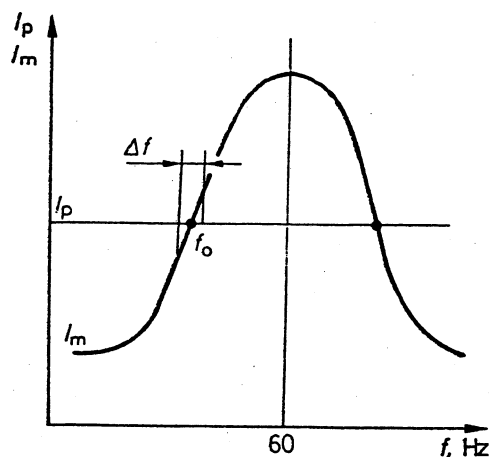
Látható, hogy itt a mechanikus mérlegelvű differenciáreléhez hasonlóan az a követelmény, hogy a kioldás belső zárlatra akkor is létrejöjjön, ha a fékező- és a kioldóoldal mennyisége azonos.

### 6.3.4. Egyenirányítós frekvenciarelé

E relé működési elvét a hídkapcsolásra alapozták. A 6.24. ábrának megfelelően a híd egyik oldalára az érzékelt kívánt feszültség arányos egyenirányított része, míg a másik oldalra egy 60 Hz-re hangolt rezgőkör egyenirányított feszültsége kerül. A megszólalás viszonyai a 6.25. ábrán követhetők nyomon. Az arányos rész nagyságát változtatva beállítható a két oldal



6.24. ábra



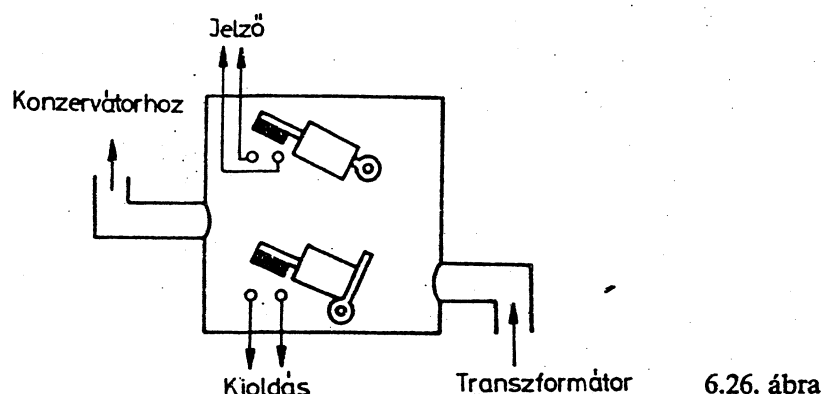
6.25. ábra

mennyiségének egyensúlyi helye, azaz a megszólalás frekvenciája. A megszólalás oka az, hogy a hangolt kör feszültségének a nagysága a tényleges frekvencia függvényében megváltozik, és a híd egyensúlya felborul.

## 6.4. Egyéb elven működő relék és védelmek

### a) Buchholz-relé

Az olajszigetelésű berendezések (transzformátorok, fojtótekercek stb.) alapvédelmét képezi. Működését az eddig ismertetett relékkel ellentétben nem villamos mennyiség, hanem gázképződés vagy folyadékáramlás váltja ki (6.26. ábra). A relét a védeni kívánt berendezés kazánja és az olajóvó közötti csőszakaszba iktatják be, így a Buchholz-relé edénye állandóan olajjal van tele. A relé házán belül két úszó van, a felső a konzervátorhoz menő cső feletti harangszerű térben van felerősítve.



6.26. ábra

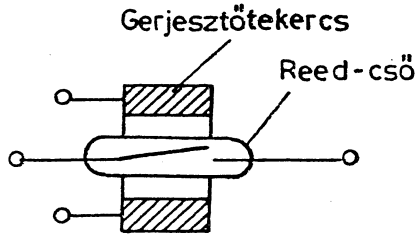
A védett berendezés olajterében létrejövő villamos hibák íve és hője az olajat vegyileg bontja, és a fejlődő gázbuborékok útjuk során a gázrelé felső terében összegyűlnek. A növekvő gáztérfogat a relében lenyomja az olaj szintjét, mígnem a felső úszó megbillen és zárja az érintkezőit. A felső úszó akkor is lebillen és zárja az érintkezőjét, ha olajszivárgás vagy hideg okozta térfogatcsökkenés miatt az olajsint annyira leszáll, hogy a gázrelé is kiürül.

Ha a védett berendezésen belül rövidzárlat lép fel, akkor az olajban hirtelen nagy nyomás keletkezik, ezért nagy sebességgel olaj áramlik a kazánból a konzervátor felé. Ennek az intenzív folyadékáramlásnak az útjában helyezkedik el a relé alsó úszója, így azonnal átbillen, és az alsó érintkező záródik.

A felső érintkező működése kezdődő hibára vagy olajsintcsökkenésre utal, ezért csak előjelzést ad, az alsó érintkező záródása súlyos belső hibára utal, ezért a védett berendezés azonnali kikapcsolását váltja ki.

### b) Reed relé

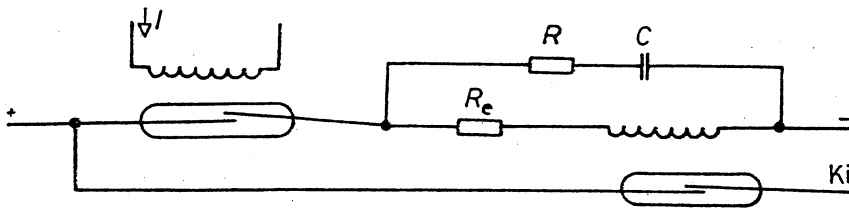
Kioldást közvetítő reléként gyakran alkalmaznak reed-relét (6.27. ábra), mivel kicsi a fogyasztása és gyors a működése. A zárt üvegcső nyugalmi helyzetben nyitott, rugós, lágyvas érintkezőlemezkét tartalmaz, és benne vákuum vagy védőgáz van. Ha a csövet körülvevő tekercs gerjesztése elegendően nagy, a mágneses tér az érintkezőt zárja. A működési önidő mindössze 0,5...3 ms. A „vákuumtöltésű” reed relék kielégítik a védelemtechnika szigorú biztonsági követelményeit. A reed relék készülnek váltóérintkezővel is. Kapcsolási teljesítményük higany nedvesítéssel növelhető. Állandó mágnesek külső elhelyezésével ún. memória reed relét lehet előállítani.



6.27. ábra

c) Ultragyors túlárámvédelem

A reed relé gyors működésének kihasználására születtek az ultragyors túlárámrelék: az áramerősséget mérő reed relék. Az 50 Hz-es hálózat szinuszos áramát a relé követni képes, ezért mérőreléknél a megszólalást egyenáramú szintre át kell emelni, és a visszajetés idejére a 6.28. ábrának megfelelően az ejtést RC-elemekkel meg kell akadályozni.



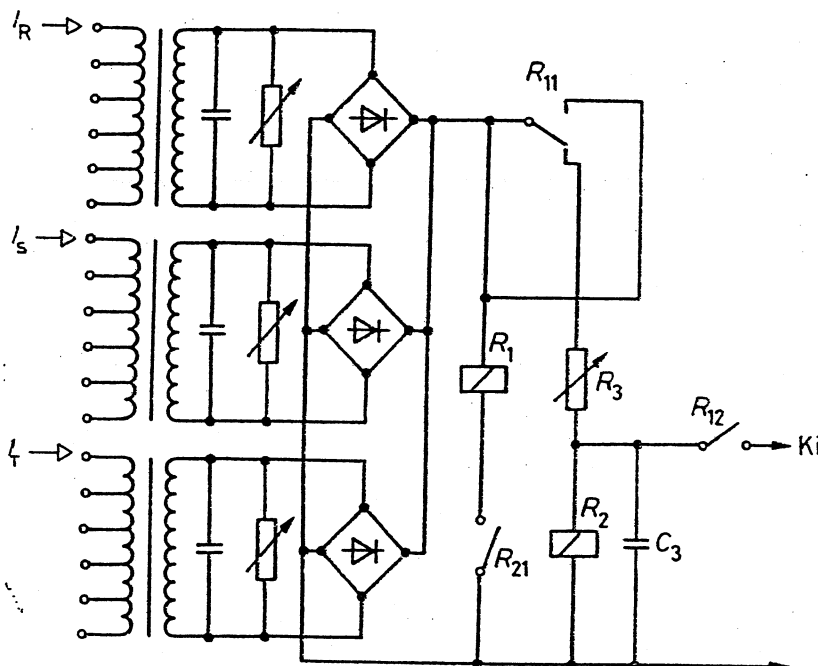
6.28. ábra

Gyors működése folytán a relé a szubtranzienis zárlati áram tartományában működik megszólalását a zárlati áram egyenáramú komponense befolyásolja.

Az egyenáramú komponens az áramérzőelő elé beépített differenciáló transzformátorral kiszűrhető. A megszólalási áramérték beállítása a tekercsek egyedi készítésével, valamint a reed csővel párhuzamosan elhelyezett, mágneses söntölő, lágvas lemezekkel lehetséges.

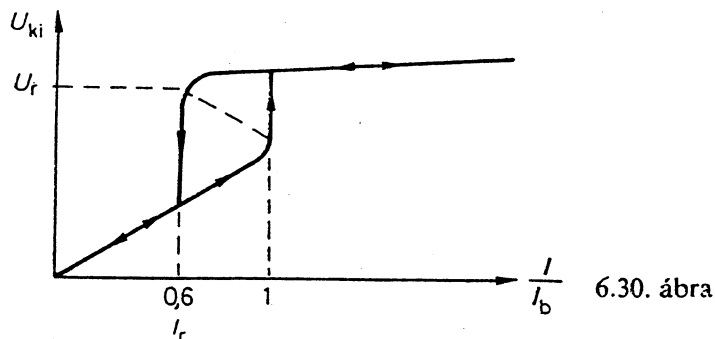
d) Autonóm zárlati tartalék védelem (AZT)

A védelem külön segédenergia nélkül képes megszólalás esetén a zárlati áram energiáját felhasználva kioldást kiváltani (6.29. ábra). A relé bemeneti egységét egy áram – feszültség átalala-



6.29. ábra

kító transzformátor képezi, amely a szekunder tekercsére kapcsolt kondenzátorral ferrezonáns feszültségstabilizáló kört alkot. A párhuzamos ferrezonáns kör karakterisztikája ugrászerű változást mutat a rezonanciahelyeknél (6.30. ábra). Ezzel egy határozott megszólalási szintet lehet beállítani.



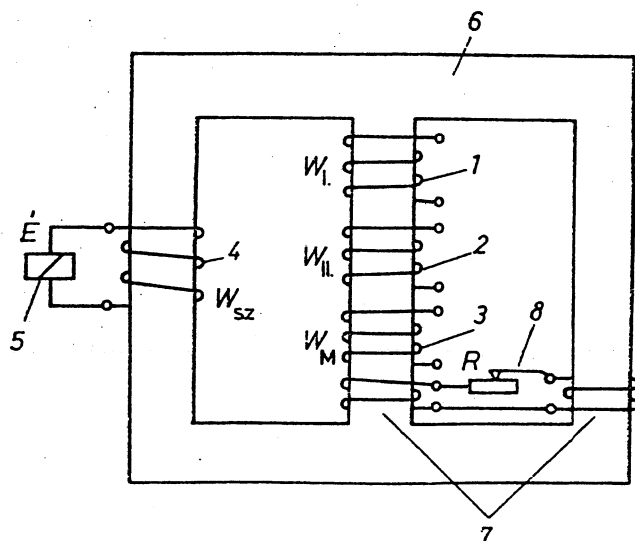
6.30. ábra

A ferrezonáns körök feszültsége egyenirányításra kerül, amely a  $C_3$  kondenzátort feltölti. Az  $R_2$  reed-relé megszólalása esetén  $R_{12}$  érintkezője a  $C_3$  kondenzátor energiáját a megszakító kioldótekercseire sűti, és a megszakító kiold.

A védelem tartalékvédelmi feladatok ellátására alkalmas, karakterisztikája áramtól függő késleltetésű. A karakterisztika időbeállítása az  $R_3$  ellenállás változtatásával lehetséges.

#### e) Telítődő áramváltós differenciárelé

A differenciálevl áramok helyett, az általuk létrehozott fluxusokra is alkalmazható. Ilyenkor az áramok egyensúlya helyett a fluxusok egyensúlyát kell elérni: a külső közbenső áramváltók helyett a relé tekercseinek menetszámát változtatva állítható be a fluxusegyensúly.



6.31. ábra

1 kiegyenlítő tekercs I; 2 kiegyenlítő tekercs II;  
3 munkatekercs; 4 szekunder tekercs;  
5 túláramrelé; 6 telítődő vasmag;  
7 rövidzárt tekercspár; 8 beállító ellenállás

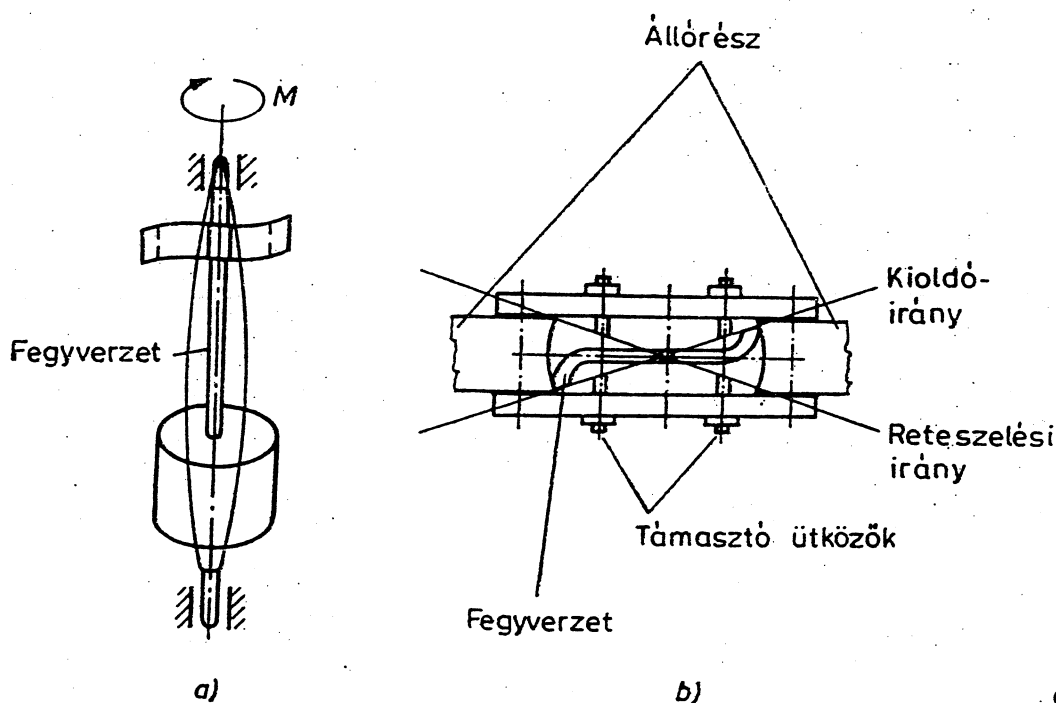
A relé lényegében egy háromoszlopos transzformátor (6.31. ábra). A középső oszlopon helyezkednek el a kiegyenlítő- és munkatekercsek, a bal oldali oszlopon az eredő fluxus által gerjesztett szekunder tekercs, a középső és jobb szélső oszlopon pedig az egymással rövidzártnan párt alkotó stabilizálótekercs. Normál állapotban a kiegyenlítő- és munkatekercs eredő fluxusa nulla. A védendő berendezés belső zárlatánál a fluxusegyensúly megbomlik, és kialakul egy eredő gerjesztés, amely a szekunder tekercsbe feszültséget indukál és megszólaltatja az általa táplált érzékeny elektromechanikus túláramrelét.

A rövidrezárt tekercspár biztosítja a transzformátoroknál a bekapcsolási tranziens idejére a relé működési tiltását a jobb oldali oszlop telítése révén. A relét jelenleg hazánkban már csak elvétve alkalmazzák.

## 6.5. Az elektromechanikus és az egyenirányítós relék kiegészítő rendszerei

### a) Elektromechanikus relék visszapattanása

Teljesítmény-irányreléknél és kombinált elektromechanikus mérlegrelék esetén — amikor kétirányú kitérés lehetséges — a reteszelő irányú kitérés után, a villamos nyomaték megszűnésekor a fegyverzet „átpattanhat” nyitóirányba, és késleltetés nélküli védelmeknél téves kioldás jöhet létre. A jelenség oka az, hogy a fegyverzetnek a relékombináció miatt viszonylag hosszú tengelye torziós rugóként működik (6.32a ábra) és amikor a reteszelőnyomaték megszűnik, ez a rugóerő felszabadul és kioldóirányba működteti az érintkezőt. Ennek elkerülésére a fegyverzetet egyenletesen megfogó támasztószerkezetet (6.32b ábra) kell beépíteni, vagy egy reteszelőirányú kitéréskor behúzó, ejtés-késleltetett segédrelé érintkezőjével kell a kioldást reteszelni.



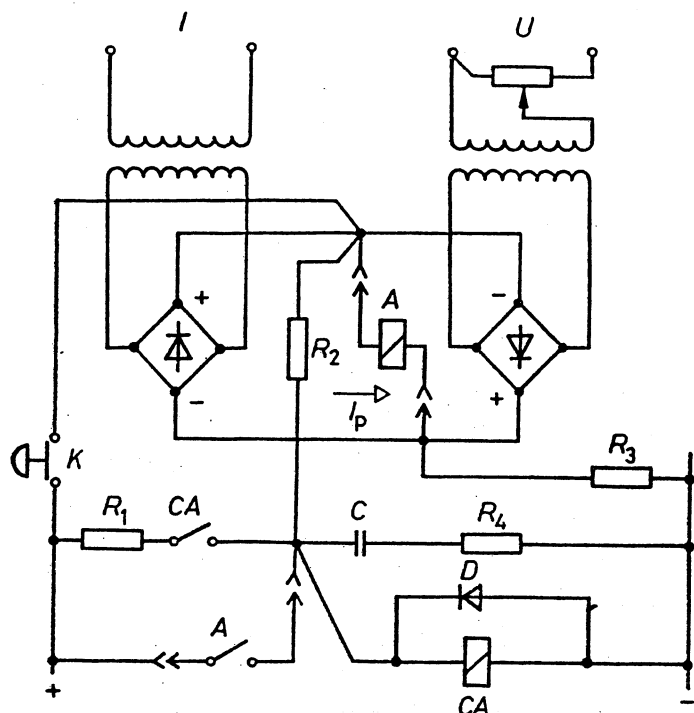
6.32. ábra

### b) Egyenirányítós relék érintkezőinek védelme

Az egyenirányítós hídkapcsolás érzékelő reléi állandó mágnesű vagy polarizált relék lehetnek. Ezeket az érzékenység fokozása céljából rendkívül kis teljesítmény kapcsolására alkalmas érintkezőkkel látják el. Az érintkezők kímélésének egyszerű módja párhuzamos működésű segédrelé alkalmazása, amelynek érintkezője párhuzamosan kapcsolódva tehermentesíti a mérőrelé érintkezőjét, és mivel a mérőrelé érintkezője hamarabb bont, mint a párhuzamos segédrelé-érintkező, az az áramerősség megszakításában nem vesz részt. A párhuzamos relézés mellett kedvező megoldás az ún. érintkezőerősítő kapcsolás is (6.33. ábra).

Megszólalás esetén az  $A$  érzékelőrelé meghúzza a  $CA$  segédrelét, amelynek érintkezője az  $R_1$ ,  $R_2$  és  $R_3$  ellenálláson keresztül az  $A$  relére működtető egyenfeszültséget kapcsol. Ezáltal az  $A$  relén nemcsak a megszólaláshoz elegendő, hanem annál nagyobb működtető áram fog folyni. Ezzel a kapcsolás meggátolja a megszólalási határon való működés esetén az érintkezők pergését (prellezését), bizonytalan működését, a kis érintkezőnyomást.

Az érintkezők túlfeszültségvédelmére azért van szükség, mert működésük során gyakran induktív áramot szakítanak meg, amely veszélyes túlfeszültséget indít. Ezek ellen a tekercsekkel ellenpolaritással párhuzamosan kötött dióda, ellenállás stb. jelenthet védelmet. Az érintkezőszikrázás kiküszöbölhető az érintkező RC-tagú védelme segítségével, azaz az érintkező vagy a működtetett tekercs soros RC-elemekkel való áthidalásával (6.33. ábra).



6.33. ábra

## 6.6. Relévizsgálati előírások és módszerek. Relévizsgálók

A relét és védelmeket laboratóriumban üzembehelyezésükkor és üzemük közben rendszeresen vizsgálatnak kell alávetni [75]. Az első vizsgálat egyrészt a készülék általános vizsgálatára, másrészt a beépítési helyen a készülék bekötésének és működőképességének vizsgálatára terjed ki. Ennek megfelelően beszélhetünk: laboratóriumi vizsgálatokról és helyszíni ellenőrzésekről.

Az üzem közbeni vizsgálat ellenőrző vagy a készülék karbantartás, ill. javítás utáni vizsgálatát jelenti. Utóbbi a karbantartás mélységétől függően (nagyjavítás, kisjavítás) ismét laboratóriumi és helyszíni vizsgálat lehet.

### 6.6.1. Laboratóriumi vizsgálatok

A laboratóriumi vizsgálatok célja lehet típusvizsgálat és új készülék felszerelés előtti első vizsgálata.

A vizsgálat lépései:

- szemrevételezés, amelynek célja a durva sérülések, hibák felderítése. Ez a vizsgálat kiterjed a tokozás, a fegyverzet mozgása akadálytalanságának, a huzalozás rögzítésének, a kapcsolók működésének, az alkatrészek épségének és bekötésének ellenőrzésére.
- készülék specifikáció szerinti ellenőrzése;
- villamos vizsgálatok;

- szigetelésvizsgálat, amely kiterjed az egymástól független áramkörök egymás közötti és földhöz képesti szigetelésvizsgálatára;
- jegyzőkönyvezés.

A készüléket üzemszerű, termikus egyensúlyi állapotban kell vizsgálni, amit a vizsgálat előtti korai bekapcsolással lehet elérni.

#### A) Típusvizsgálat

A vizsgálat célja annak igazolása, hogy a készülék feladatát kifogástalanul végrehajtja-e. Eredményessége esetén a készülék „rendszerengedélyt” kaphat, azaz a villamosenergia-rendszerbe való betervezésre és beépítésre jogot kap.

A vizsgálat lépései sorrendben:

- működési vizsgálat névleges paraméterek mellett;
- működőképesség ellenőrzése a tápfeszültség (+ 10, – 20%) tűréshatárain;
- készülék hőmérsékletfüggésének vizsgálata klímakamrában;
- zavarérzékenység vizsgálata;
- a termikus szilárdság ellenőrzése;
- működésvizsgálat együttes, nagy tápfeszültség- és hőmérsékleti igénybevétel mellett;
- üzemszerű állapotban levő, felszerelt készülék próbaüzeme (időtartama legalább egy év);
- dinamikus működés vizsgálata zárlati próbák segítségével, üzemszerű működés során;
- próbaüzem utáni ellenőrző vizsgálatok, amelynek célja felderíteni a próbaüzem alatti hatások működési befolyását.

#### B) Új készülék felszerelés előtti vizsgálata

A már típusvizsgálattal (rendszerengedéllyel) rendelkező készülék további példányain csak az adott készüléket és nem a típusajátosságokat kell ellenőrizni. Így az általános rész vizsgálata mellett a villamos vizsgálatokon belül elegendő a működőképesség ellenőrzése.

### 6.6.2. Helyszíni ellenőrzések

A készülék beépítési helyén az üzembehelyezés során ellenőrizni kell

- a készülék felszerelésének előírás szerű állapotát;
- a készülék működési körülményeit (klimatizáltság, rezgések stb.);
- a készülék külső villamos bekötését;
- a tápfeszültség rendelkezésre állását, nagyságát és polaritását;
- a feszültség- és áramkörök folytonosságát és értékazonosságát;
- a funkcionális körök (jelző-, kioldó- stb.) működőképességét;
- az előírt beállításokat;
- a készülék működési pontosságát.

### 6.6.3. Relévizsgálók

A relévizsgálók olyan készülékek, amelyeket relék és védelmek hitelesítésére fejlesztettek ki, és amelyek alkalmasak az általuk előállított villamos mennyiség segítségével e készülékek működésének ellenőrzésére. Általános kívánalom az előállított villamos mennyiséggel szemben, hogy torzításmentesen kellő teljesítményt szolgáltatson a vizsgálandó készülék ellenőrzéséhez.



Pl. olyan, áramváltóhoz csatlakozó körökben, ahol a védelemben telítődő vasmag vagy egyéb nemlineáris elem van, a vizsgálóba beiktatott állandó ellenállással, az ún. ballasztellenállással a szinuszos áramalakot az áramváltóhoz hasonlóan áramgenerátorosan kell biztosítani. A ballasztellenállás feladata emellett az is, hogy a relé nyitott, ill. zárt állapotban levő fegyverzete okozta impedanciakülönbőség hatására a vizsgáló árama gyakorlatilag ne változzék.

A relévizsgálók egyedi hitelesítő készülékek, amelyek az általuk előállított mennyiségek alapján osztályozhatók. A vizsgálók intelligenciaszintjüktől függően az előállított mennyiségeket analóg vagy digitális módon kijelzik. A korszerű vizsgálórendszerek programozhatók, a vizsgált berendezés működési jellemzőit tárolják, esetleg kinyomtatják.

#### *Egyáramkörös vizsgálóberendezések*

- *Áram- vagy feszültséggenerátorok.* Változtatható áram vagy feszültség előállítására alkalmasak (esetleg átkapcsolhatóan). Áram-, ill. feszültségtartomány-átfogásuk több lépcsőben állítható, a fokozaton belül a szabályozás folyamatos.
- *Frekvenciagenerátorok.* Változtatható feszültségű és 50 Hz környezetében változtatható frekvenciájú jelet állítanak elő.

#### *Kétkörös vizsgálóberendezések*

Változtatható nagyságú áram és feszültség egymástól független előállítására alkalmasak. A két mennyiség közötti fázisszög is állítható. Általában az egyfázisú kivétel terjedt el, de háromfázisú változata is ismert.

#### *Célberendezések*

Bonyolult védelmek vizsgálatához (távolsági védelmek, komplex rendszerek) olyan vizsgálórendszert alakítottak ki, amelynek segítségével a szükséges vizsgáló mennyiségek előállításán túl a védelem teljes működésvizsgálatát is el lehet végezni.

## 7. Elektronikus relék és védelmek

Az elektromechanikus relék és védelmek fejlesztési korszaka a 60-as évek végén, a 70-es évek elején lezárult. Természetesen ez nem jelentette azt, hogy gyártásuk és felhasználásuk is azonnal megszűnt, azonban a relégyárak a mechanikus relék fejlesztését már nem folytatták, és a gyártási volument is folyamatosan csökkentik. Jól jelzi a helyzetet az, hogy míg napjainkban újonnan beépített relék és védelmek kb. 80 %-ban elektronikusak, addig az üzemben levők kb. 80 %-a elektromechanikus.

A relék és védelmek újabb generációját a félvezető elektronikus változatok jelentik. Előbb a tranzisztorok, később pedig az integrált áramkörök nagy megbízhatósága és ipari tömeggyártásban való megjelenése alkalmassá tette ezeket a védelmi készülékekben való felhasználásra. Az elektronika által nyújtott nagyobb kapcsolástechnikai lehetőségek olyan új működési elvek alkalmazását segítették elő, amelyekkel gyorsabb érzékelést, mérést és beavatkozást lehetett elérni. Ezen alapvető előnyök mellett az elektronikus védelmeknek még egy sor egyéb kedvező tulajdonsága is volt: a mérőváltókról felvett teljesítményük a mechanikus relékhez képest közel egy nagyságrenddel kisebb, és helyigényük is messze elmarad az előző generációkétól. Különösen szembeűnő ez a különbség komplex berendezéseket tekintve, ahol közepes méretű szekrényben elhelyezhetők egy generátor–transzformátor mező, egy nagy/középfeszültségű transzformátormező vagy egy nagyfeszültségű távvezetési mező összes alap- és tartalékvédelmei, üzemzavar-elhárító automatikái. Ezeket klasszikus szerelési technikával, egyedi készülékekkel csak több relétáblán lehetett elhelyezni, és kiterjedt szekunder összekötő hálózat volt szükséges hozzá. Itt jelentkezik a komplex berendezések további előnye, nevezetesen az, hogy a komplett védelem—automatika rendszert tartalmazó szekrény már a gyárban nagy biztonsággal teljes egészében ellenőrizhető, éleszthető és hitelesíthető. A berendezés belső huzalozási rendszere az üzemi körülmények között védettebb, sokkal kevésbé van kitéve a sérüléseknek (véletlenszerű külső beavatkozás, sorozatkapocs-lazulások stb.).

A korszerű üzemvitel egyre inkább megköveteli a karbantartói és kezelői létszám csökkentését, sőt ez utóbbinak egyes esetekben a teljes elhagyását is (állandó kezelőszemélyzet nélküli állomások). Ebből a szempontból vitathatatlan előnyei vannak az elektronikus védelmeknek, hiszen rendszeres karbantartást nem igényelnek, sőt a legtöbb esetben mód van a belső áramkörök egyszerű nyomógombos ellenőrzésére vagy egyes esetekben az önellenőrzésre. Ezenkívül a hozzájuk kapcsolódó külső szekunder hálózat legfontosabb elemeinek folyamatos figyelésére is lehetőség nyílik.

Tagadhatatlan azonban, hogy félvezető elemek alkalmazásával olyan problémák is felvetődnek, amelyek a korábbi készülékgenerációknál nem jelentkeztek. Ezek elsősorban az erősáramú szekunder túlfeszültséggel és kellemetlen zavarjelekkel erősen „szennyezett” környezet és a viszonylag sérülékeny és zavarérzékeny elektronika együttéléséből adódnak. Gondos tervezéssel és az elektronikus berendezésekre külön kidolgozott szigorított vizsgálati előírások

(l. a 7.5. alfejezetet) következetes betartásával a problémák megoldhatók. Ezek az állomásokra telepített más elektronikus (pl. telemechanikai) berendezésekre is érvényesek.

Mint minden új technika bevezetésével kapcsolatban, itt is felvetődik a gazdaságosság kérdése. Az egyedi védelmi feladatokat ellátó elektronikus készülékek ára még világszerte magasabb a mechanikus készülékek áránál, gyakran 1,5...4-szerese. Különösen az egyszerűbb védelmek (pl. egyedi túláramrelé, feszültségrele) drágák, hiszen ezekhez is éppúgy külön tápegységek, bemeneti és kimeneti leválasztó áramkörök szükségesek, mint a bonyolultabbakhoz. Ezen a téren a komplex berendezéseknél jelentkezik egyértelműen a költségmegtakarítás.

A 7. fejezetben röviden bemutatjuk az elektronikus védelmekben alkalmazott, tipikusnak tekinthető alapkapsolásokat és a legelterjedtebben használt védelmi készülékeket. Elsősorban a Magyarországon kifejlesztett és gyártott típusok szerepelnek itt, mivel a gyakorlatban a védelmes szakemberek döntő többségben ezekkel találkoznak, kitérünk azonban neves külföldi relégártó cégek Magyarországon alkalmazott egyes védelmi megoldásaira is.

## 7.1. Elektronikus relék alapkapsolásai

### 7.1.1. Bemeneti és kimeneti áramkörök

Az elektronikus védelmek belső félvezető áramköreit el kell választani a hozzá csatlakozó külső „szennyezett” erősáramú szekunder hálózatoktól. Ez olyan galvanikus elszigetelést, árnyékolást és speciális kiefeszültségű túlfeszültséglevezető beépítését jelenti, amely hatásosan megakadályozza az erősáramú oldalról (áramváltóktól, feszültségváltóktól, segédüzemi táphálózatból) eredő nagyfeszültségű és nagyfrekvenciás zavarok behatolását. A védelmek bemeneti és kimeneti egységei látják el ezeket feladatokat (l. a 7.5. alfejezetet is).

#### A) Bemeneti egységek

A bemeneti áramköröket tartalmazó egységeken belül három fő csoportot kell megkülönböztetni. Az elsőbe az *analóg mennyiségeket* fogadó egységek tartoznak, amelyek az áramváltók és feszültségváltók szekunder oldalától kapott jeleket illesztik az elektronikus áramkörök szintjére.

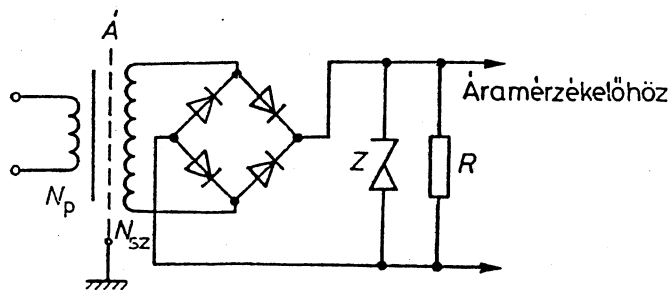
A második csoport a *digitális, kétállapotú logikai jelek*, pl. külső vezérlő-, reteszelő-, engedélyezőparancsok, primer készülékek állásjelzéseinek bevitelét teszi lehetővé. A jelek galvanikus leválasztás és jelformálás után kerülnek az elektronikus áramkörökbe.

A harmadik csoportba a *védelmek tápegységei* sorolhatók.

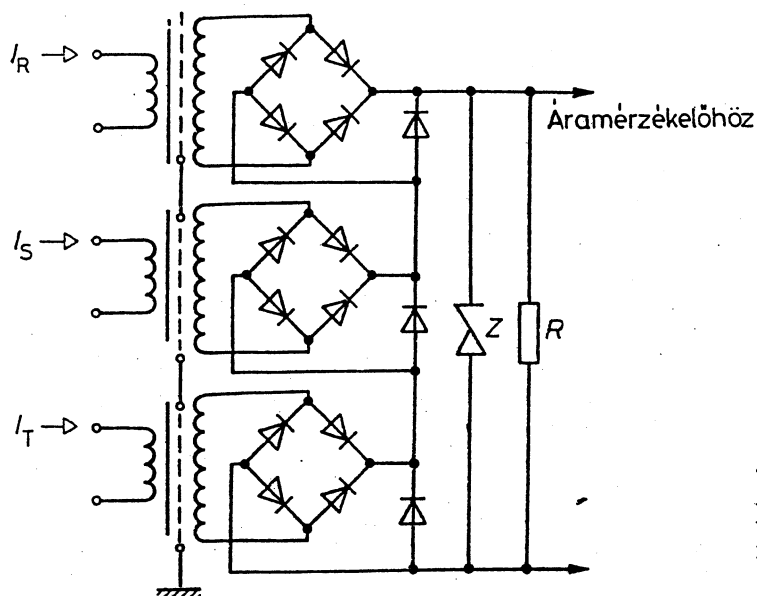
#### Analóg mennyiségek bevitele

A védett objektum áramával arányos jeleket mindig közbenső áramváltókon, a feszültségével arányos jeleket pedig közbenső feszültségváltókon keresztül — a megfelelő szintre csökkentve — vezetik az elektronikus áramkörökhöz.

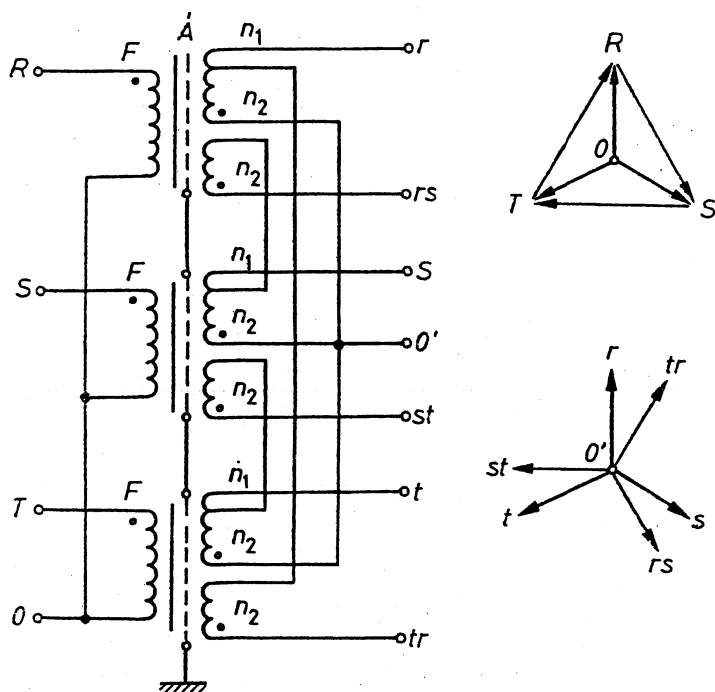
A 7.1. ábrán példaként egy túláramvédelemnél alkalmazott megoldás látható. Az  $N_p$  primer tekercs a védelem külső sorozatkapsaira csatlakozik, az  $N_{sz}$  szekunder tekercs pedig hídkapcsolású egyenirányítón keresztül táplálja az  $R$  ellenállást, amelyen az árammal arányos egyenirányított feszültség jelenik meg. Ilyen kapcsolási elrendezés mellett (ti. hogy az egyenirányítás után zárják le az áramváltó szekunder oldalát) az egyenirányító diódákon eső feszültség az áramgenerátoros jellegű táplálás következtében még egészen kis áramok esetén sem befolyásolja a pontos, alakhú leképezést. A primer és szekunder tekercs közé felhasított  *$A$  árnyékolófoliát* kell elhelyezni, amelyet a védelem földelt fémházával össze kell kötni. Így megakadályozható, hogy a nagyfeszültségű primer áramváltók felől kapacitív úton túlfeszültségek és zavarok kerüljenek az elektronikus áramkörökbe.



7.1. ábra.  
Bemeneti áramkör egyfázisú áram fogadására



7.2. ábra.  
Háromfázisú áramok fogadására alkalmas,  
maximumkiválasztó bemeneti áramkör



7.3. ábra.  
Bemeneti áramkör  
háromfázisú feszültség fogadására

A Z Zener-dióda a maximális érzékelési tartomány feletti nagy zárlati áramoknak megfelelő, túlzottan nagy feszültségek ellen nyújt védelmet. A 7.2. ábrán pl. egy háromfázisú áramérzékelőt tápláló bemeneti egység látható, amely maximumkiválasztó egyenirányító kapcsolást tartalmaz. Így egyetlen elektronikus elemmel minden fáziszárlati esemény érzékelhető.

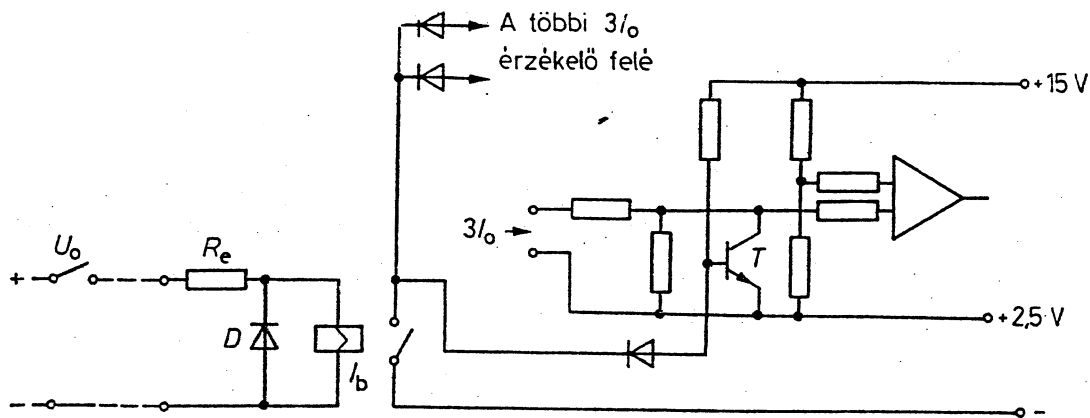
A feszültségváltóktól jövő váltakozó feszültségű jelek bevitelére mutat példát a 7.3. ábra. A három fázisban elhelyezett  $F$  közbenső feszültségváltók feladata a megfelelő galvanikus leválasztás, árnyékolás és a szük-

séges mértékű feszültségcsökkentés. Az ábrán látható megoldás lehetővé teszi, hogy a szekunder oldalon egy közös  $O'$  ponthoz képest rendelkezésre álljon mind a fázisfeszültségekkel ( $RO, SO, TO$ ), mind pedig a vonali feszültségekkel ( $RS, ST, TR$ ) arányos vektormennyiség ( $r, s, t$ , valamint  $rs, st, tr$ ). Ilyen kapcsolásra van szükség pl. távolsági védelmek impedanciaérzékelő elemeinél, ahol az elektronika nullavezetőjéhez mint közös ponthoz rögzítve kell megjelenítenie az előbbi vektormennyiségeknek. Ha a szekunder oldali fázis- és vonali feszültségek abszolút értékét egyformára kell beállítani, akkor a szekunder menetszámok aránya:  $\frac{n_1}{n_2} = (\sqrt{3} - 1)$ .

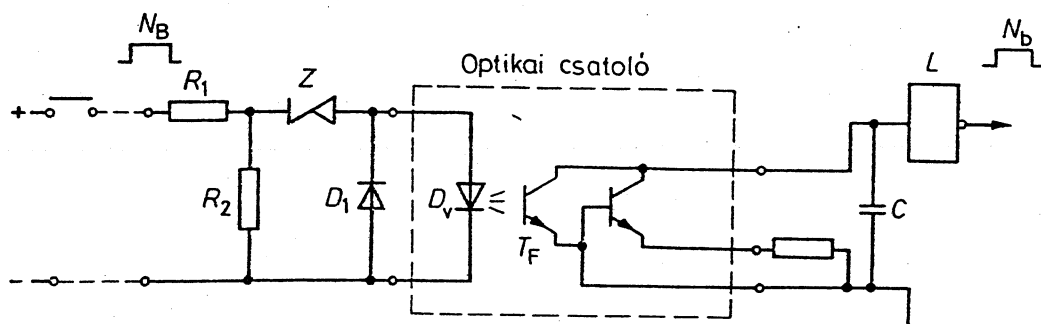
A közbenső feszültségváltók szekunder oldalaira kisfeszültségű, gyorsműködésű túlfeszültség-levezetőket kell beépíteni az állomási szekunder hálózatból érkező túlfeszültség-hullámok ellen. Ez a közbenső áramváltók-nál a primer oldali igen kis tekercsellenállás miatt nem szükséges.

## Kétállapotú logikai jelek bevitele

A kétállapotú jelek belső elektronikába való bevitelére az egyik kézenfekvő megoldás a miniatűr, általában nyomtatott áramkörbe ültethető, kis reed relé alkalmazása. A másik lehetőség az optikai csatoló felhasználása, ahol a külső parancs világítódiodát vezérel, amelynek fényét fototranzisztor érzékeli. Mindkét megoldás esetén olyan elemeket kell kiválasztani, amelyek biztosítják a bemeneti oldalról szükséges 2 kV-os szigetelési szilárdságot és az 5 kV-os lökőfeszültség-tűrést (7.5. alfejezet).



7.4. ábra. Relés bemeneti áramkör



7.5. ábra. Optikai csatolás bemeneti áramkör

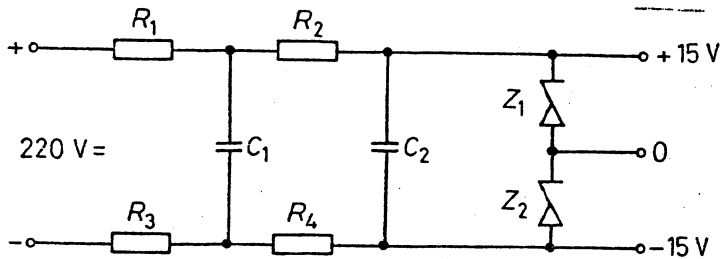
Relés bemenetre látható példa a 7.4. ábrán. Egy külső, központilag elhelyezett, zérus sorrendű feszültség-érzékelő ( $U_0$ ) ad engedélyezőparancsot a  $J_1$  reed-relé közbeiktatásával a  $T$  tranzisztoron keresztül az elektronikus érzékelő  $3I_0$  jelet fogadó IC bemenetére.

Az optikai csatoló alkalmazását a 7.5. ábra mutatja. Az  $N_B$  bemenő négyzetjel – pl. egy megszakító állásjelzése – az elektronikában levő  $L$  logikai kapu kimenetén vele szinkronban levő  $N_b$  négyzetjelenként jelenik meg. Az  $R_1 - R_2$  ellenállásokkal megfelelően leosztott, a  $Z$  Zener-diódával zavarmentesített, a  $D_1$  diódával pedig fordított polaritás ellen védett bemenő jelet fogadja az optikai csatoló  $D_v$  világítódiodája. A  $T_F$  fototranzisztor további tranzisztoros erősítés után már közvetlenül tudja működtetni a  $C$  kondenzátorral fokozottan zavarmentesített  $L$  logikai kaput.

## Tápegységek

A bemeneti áramkörök speciális, de nagyon fontos elemeként foghatók fel a tápegységek. Feladatuk az, hogy az állomási vagy erőművi akkumulátoros segédüzemi feszültségből előállítsák a belső elektronika táplálására alkalmas stabilizált egyenfeszültségeket, és meggátolják a segédfeszültségben igen gyakran megjelenő túlfeszültségek és zavarjelek behatolását a belső elektronikába.

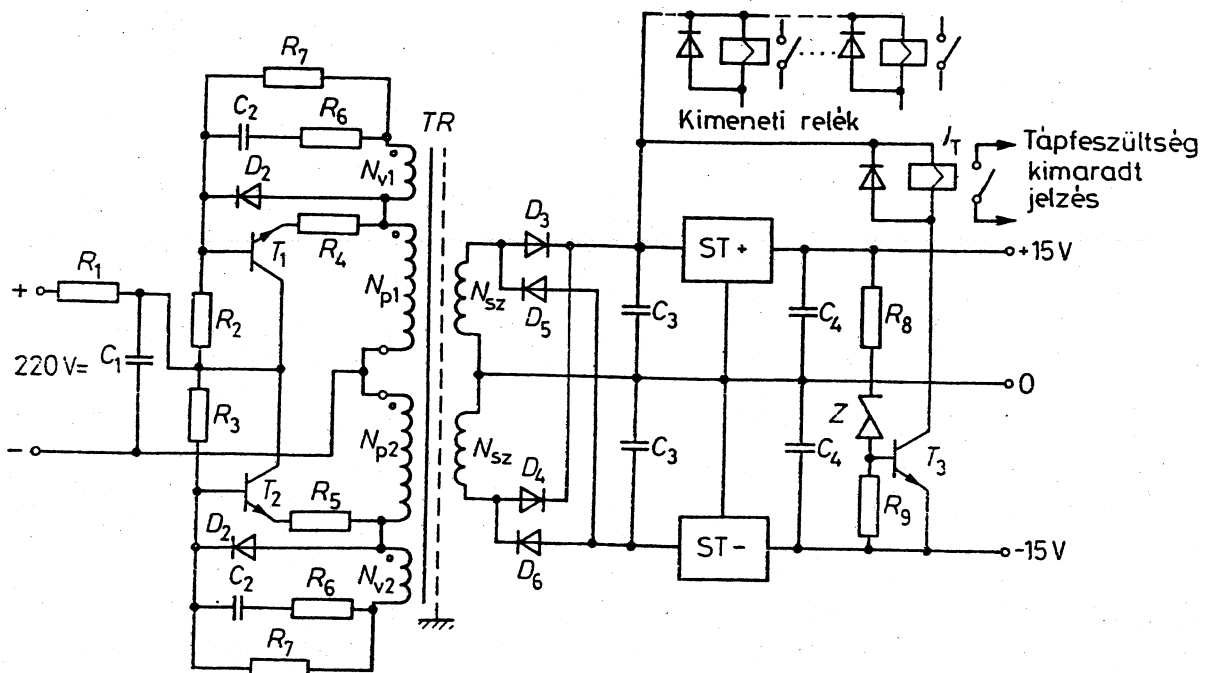
A legegyszerűbb tápegységtípus, amely egy lépésben oldja meg a feszültségcsökkentést és a stabilizálást, a Zener-diódás tápegység.



7.6. ábra. Zener-diódás tápegység

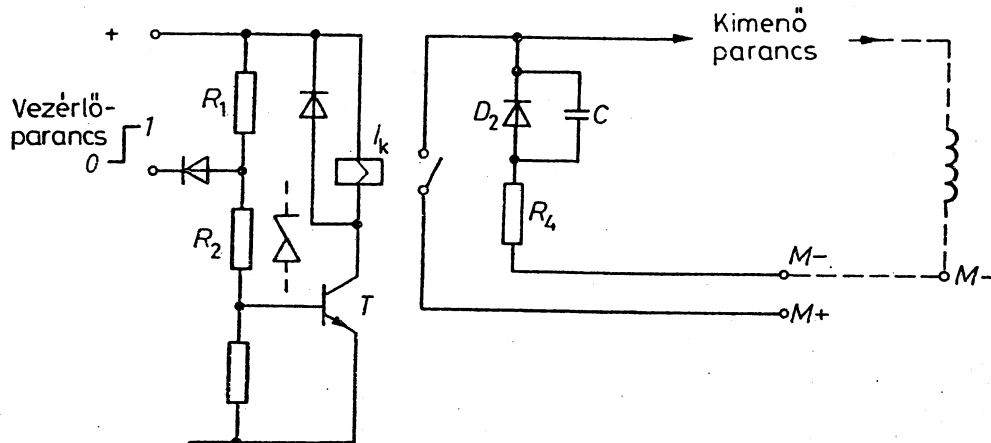
Ez csak kis fogyasztású védelmek táplálására alkalmas, és nem biztosít galvanikus leválasztást a külső hálózattól, ezért az ilyen védelmek összes elektronikus áramkörét a reléházhoz képest megfelelően el kell szigetelni. A 7.6. ábrán van feltüntetve a 220 V egyenfeszültségből,  $\pm 15 \text{ V} = 0$  előállító változata. Az  $R_1 - R_4$  bemeneti ellenállások és  $C_1 - C_2$  kondenzátorok a  $Z_1 - Z_2$  Zener-diódák áramának beállítását és a külső zavarok kiszűrését végzik. Ez a fajta tápegység nagyon rossz hatásfokú, a kb. egy nagyságrendnyi feszültségcsökkentés miatt. A bemeneti ellenállásokon fellépő, állandó hőfejlődés elvezetése gondot jelent, ezért max. 50 mA áramfelvételig szokás csak használni. Egyszerűsége, valamint nagy megbízhatósága folytán alkalmazzák bizonyos korlátozott területeken.

Bonyolultabb feladatokat ellátó, nagyobb fogyasztású védelmekhez általában az egyszerű kivitelű DC-DC konverteres (egyen-egyenfeszültség átalakító) tápegységeket használnak.



7.7. ábra. DC/DC konverteres tápegység

A 7.8. ábrán egy ilyen reed-relés kimeneti egység látható. Az elektronikától jövő vezérlőparancs, amelyet a negatív tápfeszültségről a pozitív tápfeszültségre (vagy a logikai áramkörök nyelvén logikai 0-ból logikai 1-be) való feszültségugrás valósít meg, az  $R_1 - R_2$  ellenállások közös pontjára kerül. Ennek hatására a nyugalmi állapotban lezárt tranzisztor kinyit, és a kollektorkörében levő  $J_k$  reed relét működteti. Az  $R_2$  ellenállás helyett sokszor alkalmaznak Zener-diódát. Így elérhető, hogy erősen lecsökkent tápfeszültség esetén, amikor már az elektronikus áramkörök helyes működése nem biztosítható, a kimeneti reed relét vezérlő  $T$  tranzisztor sem tud kinyitni.



7.8. ábra. Parancsadó kimeneti áramkör

A  $J_k$  érintkezőt, amely a segédüzemi egyenfeszültséget kapcsolja a működtetendő készülékre, ivoltó áramkörrel kell ellátni ( $D_2, C, R_4$ ). Enélkül a kimenő parancs megszűnésekor az induktív jellegű külső áramkörben (kioldótekercsben) a reed relé gyors megszakításának következtében igen nagy túlfeszültségek keletkeznének. Ezek a működtetőtekercsben, a szekunder vezetékben átütéseket, az elektronika felé pedig nagyfrekvenciás zavarokat gerjesztenének. Az ilyen túlfeszültség-korlátozó áramköröket tulajdonképpen mindig közvetlenül a kapcsolt induktivitásra kellene kötni, mert a leghatásosabb korlátozás ott érhető el. Ez sok esetben nehézségekbe ütközik, ezért kerülnek a túlfeszültség-korlátozó elemek magába a védelembe.

Bizonyos esetekben a vákuumcsöves reed relék helyett nyomtatott áramkörbe ültethető segédrelét alkalmaznak.

Ez pl. vagy a Schrack gyártmányú RP010024 típusú kisrelé vagy annak licence alapján NDK-ban gyártott GBR 10.2–11.24 típusú relé lehet. Működtetése hasonló a 7.8. ábrán bemutatotthoz. Érintkezőinek megszakításakor az ívhúzás miatt lényegesen kisebb túlfeszültségek keletkeznek, ezért a belső, diódás ivoltó áramkörök elhagyhatók. Megszakítóképeségük azonban sokkal kisebb, így az elektromechanikus reléknél megszokottan, megszakító-beragadásakor érintkezőjük leég. Ez a túlfeszültség-korlátozó áramkörrel ellátott HAMLIN DRVT–10 reed reléknél biztosan nem áll elő.

### 7.1.2. Látjelzés, számlálás

A védelmek előlapján elhelyezett látjelző elemek feladata az, hogy a kezelőszemélyzet számára lehetővé tegyék a készülék üzemképességének ellenőrzését és működésének regisztrálását. Ezek a jelzések lehetnek maradók vagy nem maradók (pillanatjelzés, csak a megszólalás idejére). Az előbbi esetben az esemény bekövetkezésekor jelenik meg a látjelzés, és az esemény megszűnése után is fennmarad, egészen a kézzel való nyugtázásig. A nem maradó látjelzés csak az őt kiváltó esemény fennállása idejéig működik, ezért főképp ellenőrző áramkörökben (pl. tápfeszültség jelenléte) vagy a hitelesítés megkönnyítésére építik be őket.

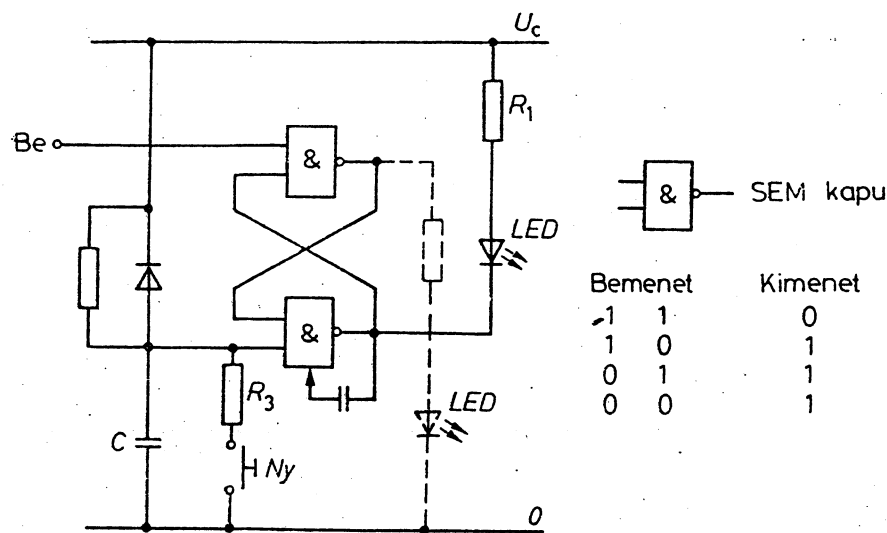
Elektronikus relékben általában nem alkalmazzák az elektromechanikus reléknél megszokott esőlemezes vagy egyéb elmozduló látjelzőket. Általánosan használt a *világítódióda* (LED) erre a célra, amely méreteiben, működésében illeszkedik az elektronikus alkatrészekhez, élettartama pedig gyakorlatilag korlátlan. Ritkán (pl. ASEA védelmekben) a vasúti pályaudvari kijelzők elemeihez hasonló, elforduló és *emlékező mechanikus tárcsajelzőt* alkalmaznak.

A látjelzők színének megválasztása általában következetes. A normál helyzetben világitó – főképpen üzemkésztséget jelző – diódák zöldek, a működést jelző diódák pirosak, az egyéb – pl. energiairányt, késleltetési lépcsőt jelző – diódák sárgák. Ennek megfelelően a zöld diódáknak normál üzemben világítaniuk kell, a pirosak kigyulladásra valamilyen működést jelez. A sárgák normál üzemben funkciójuktól függően világítanak vagy nem.

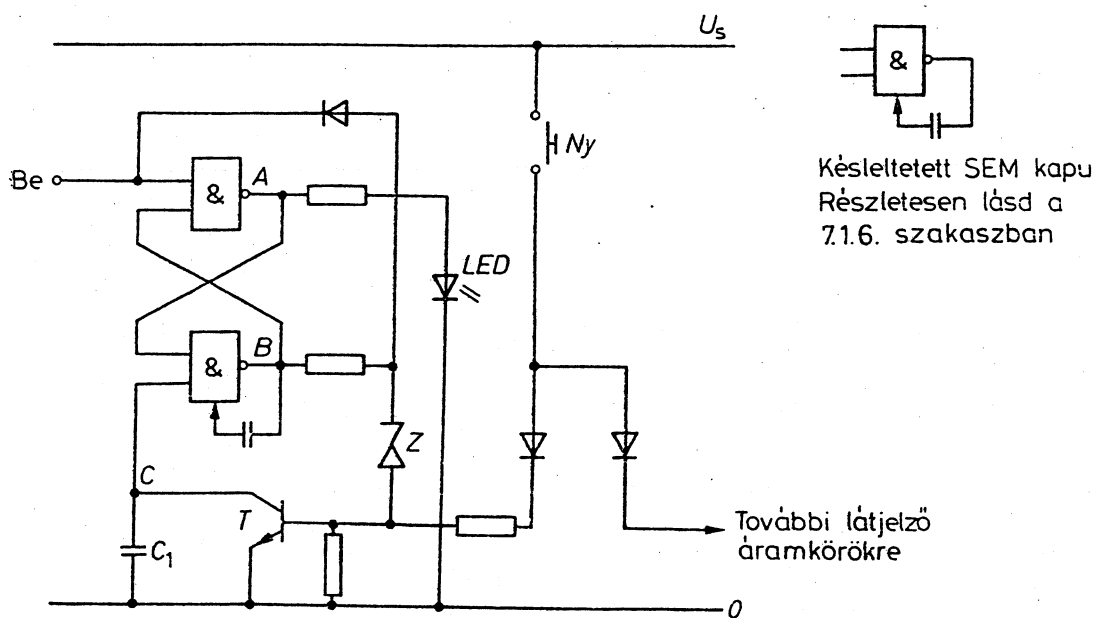
Pillanat látjelzésre olyan világítódioda használható, amelynek áramát egy soros ellenállás megfelelő értékűre állítja be, és amely a meghajtó logikai áramkör kimenete és a tápfeszültség közé kapcsolódik.

Maradó látjelzést adó áramkörök logikai kapuk felhasználásával építhetők, ezért a következő rész tanulmányozása előtt ajánlatos az ezzel foglalkozó 7.1.6. szakasz áttekintése.

Létezik „emlékező” látjelzés is, amely tápfeszültség kimaradásakor nem törlődik, és visszatérésekor újból megjelenik.



7.9. ábra. A maradó látjelző kapcsolása



7.10. ábra. Az emlékező látjelző kapcsolása



Egyszerű látjelző kapcsolás építhető fel a 7.9. ábrán látható  $R-S$  flip-flop segítségével. A bemenetre adott logikai nullával lehet a kapcsolást működtetni, a nyomógommbal pedig nyugtázható az áramkör.

A  $C$  kondenzátor biztosítja azt, hogy a tápfeszültség-bekapcsoláskor a látjelző kitorölt helyzetbe kerüljön. A nyomógommbal sorosan kapcsolt pár száz ohmos ellenállás csak a kondenzátor kisütőáramát korlátozza. A kondenzátor a tápfeszültség bekapcsolásakor a diódával párhuzamosan kapcsolt ellenálláson keresztül töltődik fel, s rövid ideig logikai 0-n tartja a nyugtázóbemenetet. A tápfeszültség kikapcsolásakor a diódán és a védelem többi áramkörén keresztül sül ki. Az új bekapcsoláskor a kondenzátor csak akkor fejt ki a hatását, ha volt ideje kisülni, ezért a kikapcsolt állapot ideje egy minimális időnél rövidebb nem lehet. Ezt az időt a tápegységnek kell biztosítania.

Az alsó kapu késleltetőkondenzátorával a zavarérzékenységet lehet csökkenteni, azonban a kapacitás értékével arányosan a beírásához szükséges impulzus hossza is megnő. A LED folytonos vonallal rajzolt bekötését alkalmazva kedvezőbb a logikai áramkör hődisszipációja, a szaggatott vonallal jelzett (világítódioda) bekötésének alkalmazásával viszont egy olyan áramkör alakul ki, amely állandóan benyomott nyugtázógomb esetén pillanatjelzéssé alakítja a kapcsolást, ami pl. tartóviszony mérése esetén igen hasznos lehet.

Az előzőekben ismertetett áramkör minden tápfeszültség-bekapcsoláskor vagy -visszatéréskor nyugtázódik. Előállítható „emlékező” látjelzés is, amely a tápfeszültség eltűnése esetén nem „felejt el” a benne tárolt információt, és a feszültség visszatérése után kiolvasható. Ilyen kapcsolásra mutat példát a 7.10. ábra.

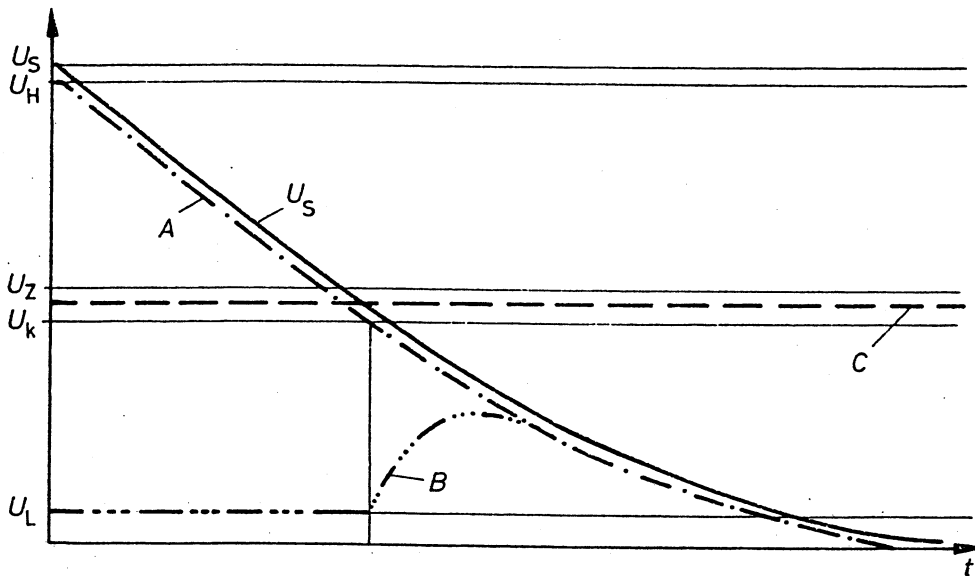
A kapcsolás működésének megértéséhez előbb meg kell vizsgálni a kétbemenetű NAND (SEM) kapu belső áramkörét a 7.1.6. szakaszban a 7.34. ábrán, és képzeletben be kell kötni az egyik bemenet és a kapcsolás nulla-vezetője közé egy kisütött kondenzátort. Ha a másik bemenet közben logikai 0-n áll, nem történik semmi, de ha logikai 1 kerül rá, akkor a kondenzátor a belső, 10 k $\Omega$ -os ellenálláson, az 1 k $\Omega$ -on és a két diódán keresztül töltődni kezd. Amíg a kondenzátor feszültsége a kapu komparálási (összehasonlítási, billenési) szintje alatt van, a kimenet logikai 1-ben van. Amikor a kondenzátor feszültsége nagyobb lesz, mint a komparálási szint, akkor a kimenet logikai 0-ra vált. A kondenzátor még töltődik valamennyit, mert az 1 k $\Omega$ -on és a diódákon eső feszültség a töltőáram csökkenésével csökken. Ha kikapcsolják a tápfeszültséget, a záróirányba került bemeneti diódák miatt a kondenzátor nem tud kisülni. A látjelzőre visszakapcsolva a tápfeszültséget, a kapu kimenete rögtön 0-ra vált, mert mindkét bemenete a komparálási szint felett van. Kisütött kondenzátorral bekapcsolva a tápfeszültséget, a kondenzátor feltöltődési idejéig a kimenet logikai 1-ben van, mert a bemenet logikai 0-t érzékel. A kondenzátor hosszu ideig (néhány óráig) képes tápfeszültség nélkül is az információ tárolására. A bekapcsolás utáni rövid időszakban a kapu kimenete a kikapcsolás előtti állapotnak megfelelő értéket vesz fel.

A 7.10. ábra ezt az elvet használja fel az „emlékező” jelzés kialakítására. Az ábra kapcsolásán az alsó kapu késleltetése biztosítja azt, hogy a tápfeszültség bekapcsolása után mindig a  $C_1$  kondenzátort érzékelő kapu állapota határozza meg a flip-flop állapotát. A nyugtázógombot megnyomva kinyit a tranzisztor, kisüti a kondenzátort, 0-ra húzza a  $C$  pontot, ezzel törli a tárolóáramkört, a LED kialszik. A  $B$  pont logikai 1-be kerül, és továbbra is nyitva tartja a tranzisztort. A beírás a bemenetre adott logikai 0-val lehetséges, amely a  $D_1$  diódán keresztül lezárja a tranzisztort, ezzel lehetővé teszi a  $C_1$  töltődését, ami meg is kezdődik, hiszen az  $A$  pont logikai 1-be került. Ennek megfelelően a LED világít, és mivel a  $B$  pont 0-ba váltott, a tranzisztor a beírójel megszűnése után is lezárva marad.

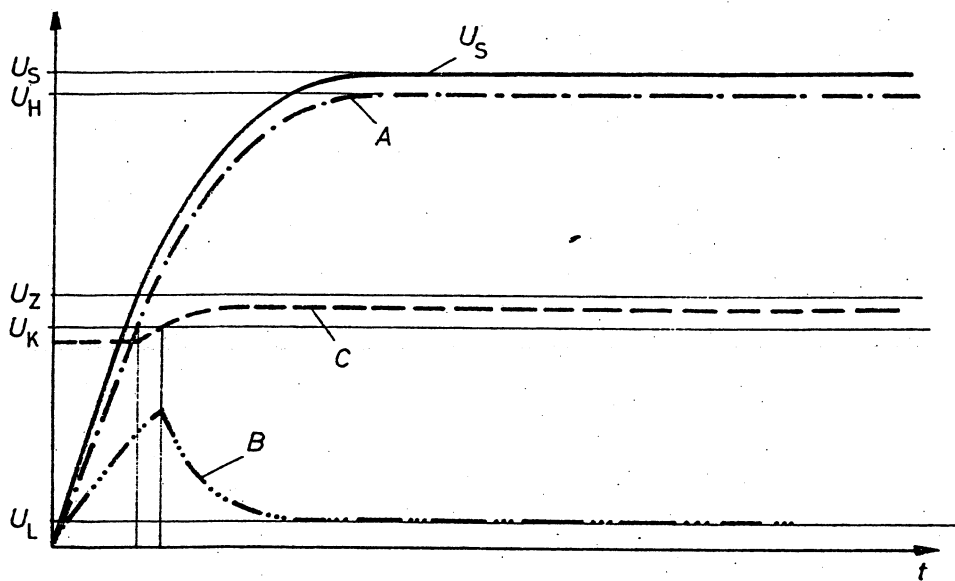
Kikapcsolva a tápfeszültséget, a  $C_1$  bizonyos ideig (néhány óráig) feltöltve marad. Visszakapcsolás után amíg a tápfeszültség a komparálási szint alatt van, az  $A$  és  $B$  pont feszültsége is követni igyekszik azt, természetesen a  $B$  ponté a késleltetés miatt lassabban. Ha az  $A$  ponté meghaladja azt, a  $B$  kimenet visszafordul, hiszen a másik bemenete a feltöltött kondenzátor miatt van komparálási szint felett. Visszaállt tehát az előző állapot, a LED világít, a kondenzátor töltésvesztése pótlódik.

Nyugtázott helyzetben kikapcsolva a tápfeszültséget, miután az a komparálási szint alá kerül, az  $A$  és  $B$  kimenet is megindul a tápfeszültség felé, a tranzisztor már lezár, a  $C_1$  töltődni kezd. Ha elég gyorsan tűnik el a tápfeszültség, a kondenzátor feszültsége jóval a komparálási szint alatt marad. Visszakapcsolva a tápfeszültséget, a komparálási szint alatt mindkét kimenet követni igyekszik azt, a  $C_1$  tovább töltődik, de helyes méretezés esetén a teljes felfutás alatt sem emelkedik az alsó kapu komparálási szintje fölé. Amikor a lassúbb  $B$  pont feszültsége meghaladja a komparálási szintet, az  $A$  kimenet 0-ra vált, megszűnik  $C_1$  további töltődésének lehetősége. Ha a  $B$  pont feszültsége már ki tudja nyitni a tranzisztort, az teljesen kisüti  $C_1$ -et, és visszaáll a megelőző állapot. A tranzisztor beépítése nélkül néhány ki-bekapcsolás után a kondenzátor teljesen feltöltődne, így a kitorölt állapotot „elfelejtené” a kapcsolás, azaz hibás működés jelzés jönne létre. Az előzőkből következik, hogy a helyes működéshez a késleltetéseket össze kell hangolni. Gyors fel- és lefutású tápegységet kíván a kapcsolás, időben ezt követi a visszacsatolt alsó kapu késleltetési ideje, legnagyobb pedig a  $C_1$  és a belső 11 k $\Omega$  által adódó időállandó. A beíró impulzusnak még ennél is hosszabbnak kell lennie, s mivel ez nem nagyon emelhető 10...20 ms fölé, látható, hogy igen gyors felfutású tápegység szükséges a leírt kapcsolás helyes működéséhez.

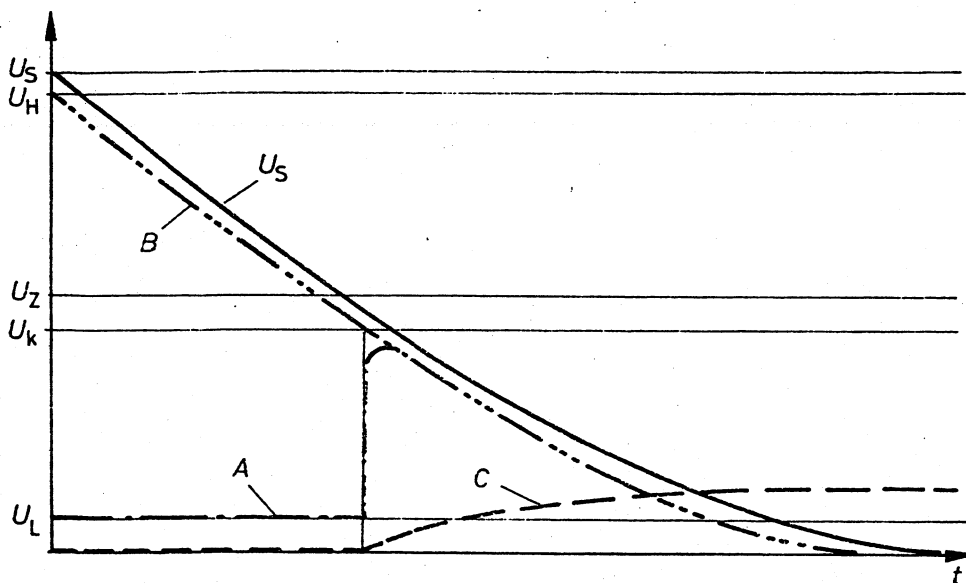
Az „emlékező” látjelzés jellegzetes pontjai (l. a 7.10. ábrát) feszültségeinek alakulása a 7.11. – 7.14. ábrán látható.



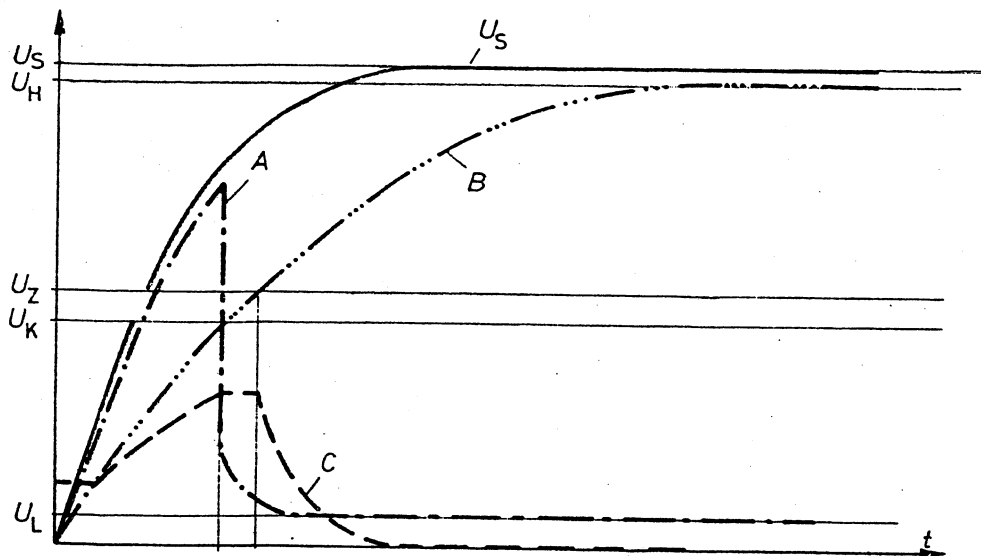
7.11. ábra. A tápfeszültség kikapcsolása a beírt állapotú emlékező látjelzőn



7.12. ábra. A tápfeszültség bekapcsolása az előzőleg beírt állapotú emlékező látjelzőn



7.13. ábra. A tápfeszültség kikapcsolása a törölt állapotú emlékező látjelzőn



7.14. ábra. A tápfeszültség bekapcsolása az előzőleg törölt állapotú emlékező látjelzőn

**Számlálásra** elektronikus védelmekben a szokásos mechanikus számlálójelfogók használatosak, ha nincs különösebb sebességi igény. Ilyen feladat pl. a kioldások, automatikus visszakapcsolások számlálása. A megoldás előnye, hogy a tápfeszültség kikapcsolásakor nem nullázódnak.

Speciális, gyors működésű számlálók és számjegyes kijelzők szükségesek a hibahelytáv-mérőben és a mikroprocesszoros védelmekben. Itt a számítástechnikában szokásos logikai áramköröket és számkijelzőket alkalmaznak, s mivel a kis fogyasztás nem annyira fontos, mint a hordozható készülékeknél, a jobb láthatóság céljából a világítódiodás kijelzők terjedtek el.

### 7.1.3. Maximum- és minimumérzékelők

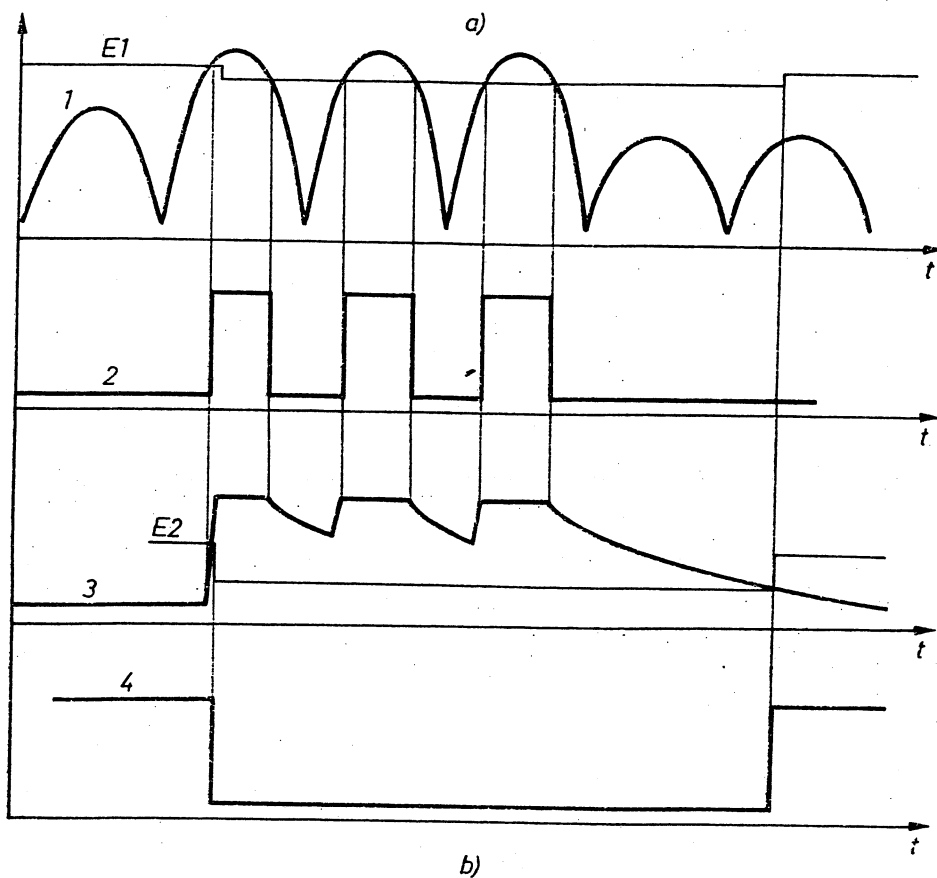
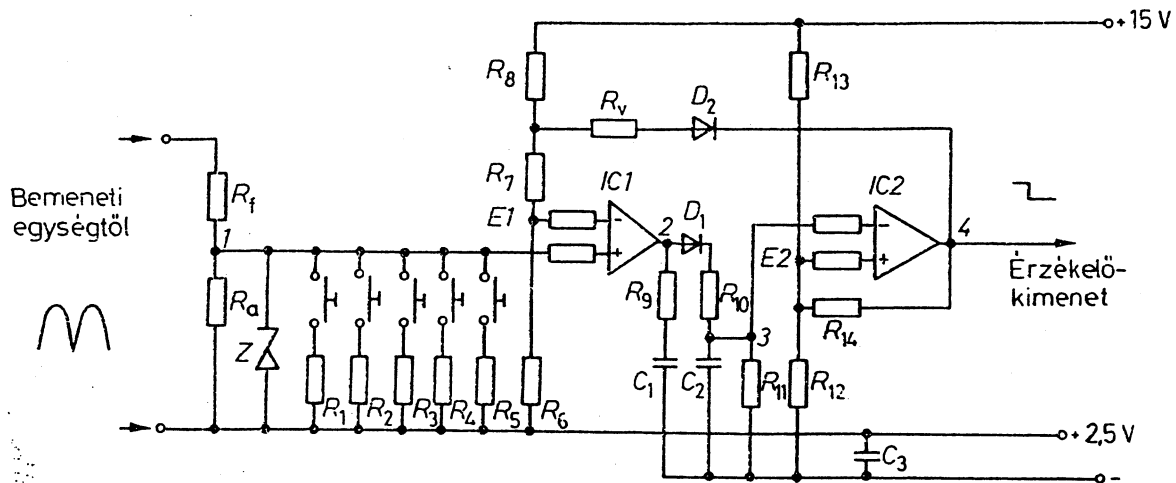
A védelmek nagy részénél szükség van a védendő objektum áramának vagy feszültségének állandó figyelésére annak eldöntése céljából, hogy ezek pillanatértéke egy előre meghatározott, a védelmen beállított maximumot nem lép-e túl, ill. nem kerül-e egy bizonyos minimális érték alá.

#### A) Maximumérzékelők

A maximumérzékelők egyik tipikus felhasználási területét a túláramvédelmek jelentik, amelyekben az áramok pillanatértékének folyamatos figyelésére van szükség.

Ezt a feladatot látja el pl. a 7.15a ábrán feltüntetett kapcsolás, amely lényegében két műveleti erősítőből van felépítve. A kapcsolás bemenetét a 7.1.1. szakaszban szereplő, a 7.1. és a 7.2. ábrán látható áramkör táplálja, amely az árammal arányos egyenirányított feszültséget szolgáltatja. Ez a feszültség az  $R_1 - R_2$  és az  $R_1 - R_5$  ellenállásokból álló osztóláncren kerül. Az első két ellenállás a megszólalási tartományt, a többi öt ellenállás pedig a velük sorba kötött nyomókapcsolók segítségével a konkrét megszólalási értéket határozza meg.

A Zener-dióda vágási feszültségét úgy határozzák meg, hogy a legnagyobb beállítható megszólalási érték feletti – árammal arányos – feszültségektől megvédje az  $IC1$  műveleti erősítő bemenetét. Ez utóbbi komparátorként (összehasonlító elemként) működik, és a negatív jelfű (invertáló) bemenetére kapcsolt  $E_1$  referenciafeszültséggel hasonlítja össze a pozitív bemenetére jutó egyenirányított szinuszhullám pillanatértékét. A 7.15b ábrán – amelyen a kapcsolás négy jellegzetes pontjának feszültségállapota látható az idő függvényében – jól követhető a maximumérzékelő működése.



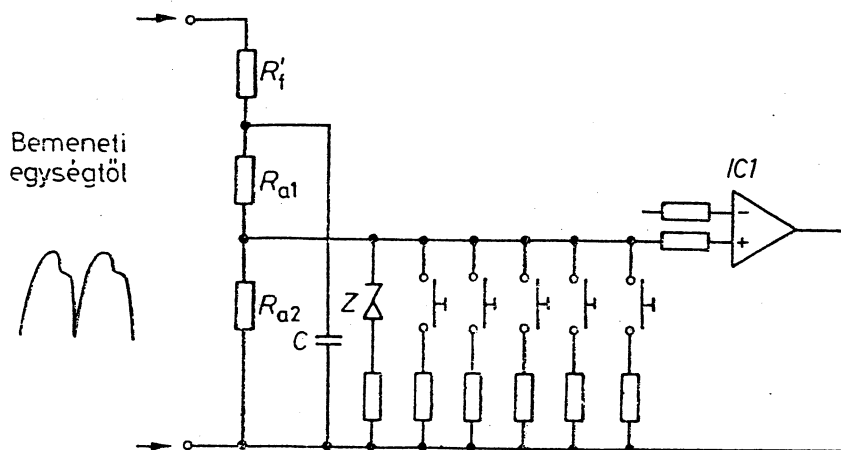
7.15 ábra. a) Szinuszos mennyiségek maximumát érzékelő kapcsolás;  
b) Állapot-idő diagram a maximumérzékelőhöz

Az 1 pontra az árammal arányos feszültség megfelelően leosztott hullámalakja kerül. Ha a bemenő szinuszhullám pillanatértéke meghaladja az  $E_1$  referenciafeszültség értékét, akkor az IC 1 kimenetén a 2 négyzetjel jelenik meg. Az  $R_{10}-C_2-R_{11}$  jelű elemekből álló, impulzusnyújtó áramkör 3 pontján a négyzetjelekből formált feszültség adja a második műveleti erősítő bemenő jelét. Az IC 2 ezt hasonlítja össze a pozitív bemenetére kapcsolt  $E_2$  referenciafeszültséggel, amelyet az  $R_{12}-R_{13}$  ellenállásosztó állít elő.

$E_2$  értékét megszólaláskor az  $R_{14}$  ellenállással meghatározott pozitív visszacsatolás a biztos működés elérése céljából lecsökkenti. A kapcsolás 4 kimeneti pontjáról ugyancsak pozitív visszacsatolás hat az  $R_v-D_2$  elemen keresztül az  $E_1$  referenciafeszültséget előállító  $R_6-R_7-R_8$  osztóláncre. Ez határozza meg a maximumérzékelő éjtőviszonyát.

Az  $R_9-C_1$ , valamint a  $C_3$  áramköri elem a kívülről behatoló nagyfrekvenciás zavarok hatását csökkenti.

A bemutatott kapcsolás alkalmas arra, hogy 50 Hz-es szinuszos mennyiségek – áramok vagy feszültségek – előre meghatározott értéke felett további beavatkozó szerveken keresztül folyamatos működtetőparancsot adjon.



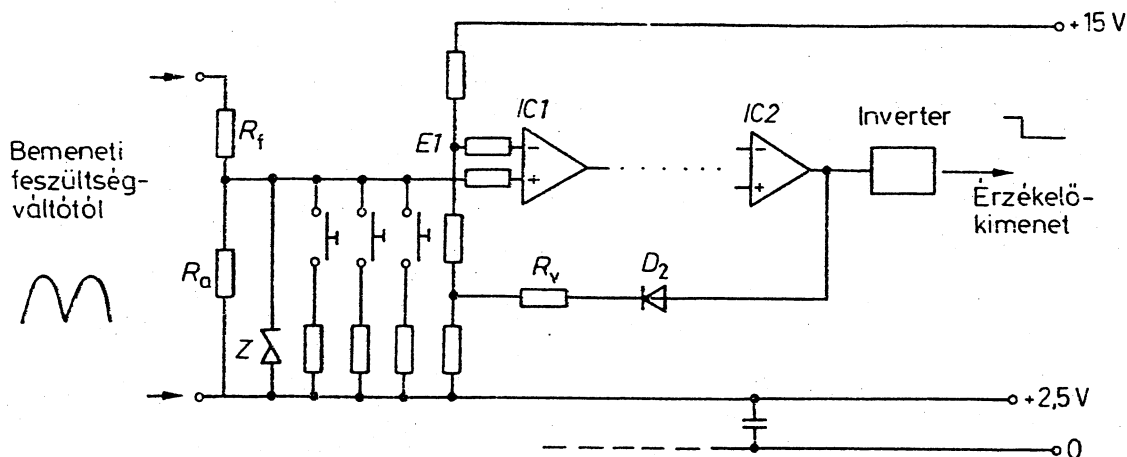
7.16. ábra. Felharmonikusszűrővel ellátott érzékelőbemenet

A megszólalási pontosságot elsősorban a bemenő hullámalak felharmonikustartalma befolyásolja. Rövidzárlatok esetén ezek amplitúdója általában elhanyagolhatóan kicsi. Szigetelt csillagpontú, ellenálláson keresztül földelt, közép-feszültségű hálózatokon a földzárlati áram felharmonikustartalma viszonylag nagy lehet, ezért a bemeneti egységtől kapott jelet a 7.16. ábrán látható egyszerű szűrőkapcsolás után vezetik az *IC 1* bemenetére. Nagyon nagy felharmonikustartalom esetén a hatásuk csak az egyenirányítás előtt – általában aktív szűrőkkel – elvégzett beavatkozással küszöbölhető ki.

### B) Minimumérzékelők

Maximumérzékelésre alkalmas áramkör minimumérzékelésre is felhasználható úgy, hogy a kapcsolás kimenő jelét invertálják.

A megszólalás kritériumát – a minimális érték alá csökkenést – továbbra is a logikai 1-ből 0-ba való ugrásként lehet definiálni. Tipikus példa a minimumérzékelésre a feszültségcsökkenési reliké eseté. Erre a feladatra alkalmas kapcsolás vázlata van feltüntetve a 7.17. ábrán. Látható, hogy a 7.15a ábrán szereplő áramkörhöz képest itt csak az ejtőviszonyt meghatározó  $D_2 - R_v$  elemekkel megvalósított pozitív visszacsatolás módja változik. Ezt az indokolja, hogy az  $E_1$  referenciafeszültséget a maximumérzékelővel ellentétben itt emelni kell.



7.17. ábra. Feszültségminimum-érzékelő

#### 7.1.4. Hányadosérzékelők mérlegelv és szögmérési elv alapján

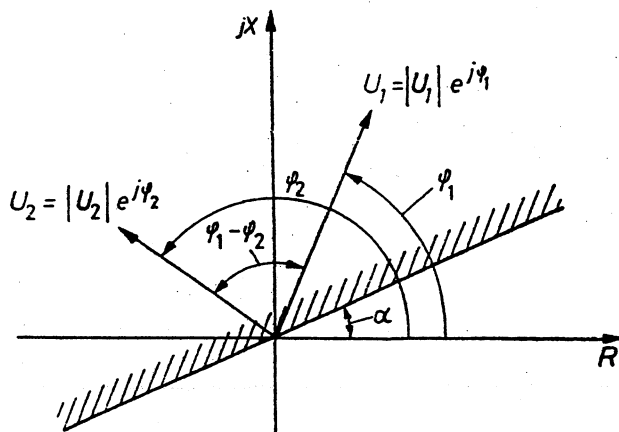
A relék egy nagy csoportja két villamos mennyiséget hasonlít össze, és ennek eredményétől teszi függővé a beavatkozást. E csoportba tartoznak a különféle impedanciarelék és teljesítményirány-relék. Az ilyen jellegű relék megvalósítására kétféle módszert alkalmaznak, az egyik az abszolút értékek, a másik a fázisszögek összehasonlítása. Így két relétípus alakult ki, a mérlegrelé és a fázisszögrelé [44], [52]. Mindkét relétípussal kialakíthatók a védelmi technikában alkalmazott és ismert karakterisztikák. Hogy mikor melyik megoldást részesítik előnyben, azt mindig a konkrét feladat ismeretében lehet eldönteni. Kezdetben az elektronikus relék közt a fázisszögrelék előnyt élveztek a mérlegrelékkel szemben. Ennek oka az volt, hogy az egyenirányító diódák nyitóirányú küszöbfeszültsége miatt kis jelek a mérlegreléket nem tudták helyesen működtetni. Az egyenirányítók küszöbfeszültségét kompenzáló elektronikus egyenirányító kapcsolásokkal ez a hátrány megszüntethető, és ezáltal a mérlegrelék érzékenysége elérheti a fázisszögrelékét.

##### A) Fázisszögrelék

Fázisszögrelének nevezzük azt a kapcsolást, amely két váltakozó áramú villamos mennyiség,  $U_1$  és  $U_2$  egymáshoz viszonyított szöghelyzetétől teszi függővé működését. A relé megszólalási egyenlete:

$$\alpha \cong \arccos \frac{U_1}{U_2} \cong (\alpha + 180^\circ),$$

ahol  $\alpha$  a relére jellemző belső szög.



7.18. ábra. Fázisszögrelé karakterisztikája

A 7.18. ábra szemlélteti a relé karakterisztikáját. A megszólalás akkor következik be, amikor  $U_2$   $\alpha$ -nál nagyobb szöggel megelőzi  $U_1$  vektort. Ha egy ilyen szögrelé két bemenetére a védendő objektum áramának és feszültségének megfelelő kombinációját kapcsolják, akkor tetszőleges kör vagy egyenes karakterisztika érhető el. Általánosan:

$$U_1 = K_1 U - Z_1 I, \quad U_2 = K_2 U - Z_2 I,$$

ahol  $U$  és  $I$  a védendő berendezés feszültsége és árama,  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $Z_1$  és  $Z_2$  pedig alkalmasan megválasztott konstans komplex számok.  $U_1$  és  $U_2$  lehet feszültség vagy áram dimenziójú mennyiség attól függően, hogy az állandókat miként választottuk meg.

A  $Z = \frac{U}{I}$  helyek az impedanciasíkon, amelyekre a szögrelé működik, a következő módon határozhatók meg. A működés határesetete, azaz a karakterisztika vonala, amikor az  $U_1/U_2$  vektor szöge éppen megegyezik a fázisszögrelé  $\alpha$  szögével:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{K_1 U - Z_1 I}{K_2 U - Z_2 I} = S e^{j\alpha}.$$

$S$  a hányados komplex vektor abszolút értéke, tetszőleges szám.

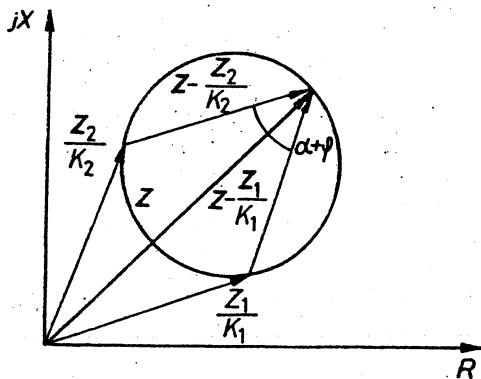
Rendezve, és figyelembe véve, hogy  $Z = U/I$ , akkor

$$\frac{Z - \frac{Z_1}{K_1}}{Z - \frac{Z_2}{K_2}} = \frac{K_2}{K_1} S e^{j\alpha} = \left| \frac{K_2}{K_1} \right| S e^{j(\alpha + \varphi)},$$

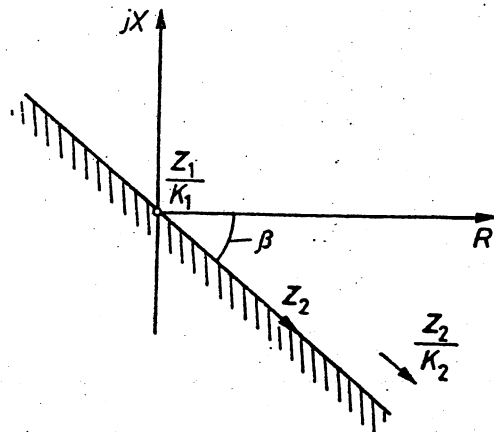
$$\varphi = \arccos \frac{K_2}{K_1}.$$

A 7.19. ábrán látható, hogy azoknak a  $Z$  vektoroknak a végpontjai, amelyek ezt az egyenletet kielégítik, egy körön helyezkednek el, amely átmegy a  $\frac{Z_1}{K_1}$  és a  $\frac{Z_2}{K_2}$  vektor (mérési pontok) csúcspontján, és a kerületi szöge  $(\alpha + \varphi)$ . A relé megszólal a körön belül levő impedanciák esetén és reteszel a körön kívüliekre.

Ha egy meghatározott karakterisztikát kívánnak előállítani, akkor kitűzik a két mérőpontot, meghatározzák a szükséges kerületi szöget  $(\alpha + \varphi)$ , az adott fázisszögrelére jellemző  $\alpha$  szög adott, ebből a szükséges  $\varphi$  számítható.



7.19. ábra. Kör előállítása fázisszögrelével



7.20. ábra. Teljesítményirány-relé

Példaként nézzük a 7.20. ábrán látható teljesítményirány-relé és a 7.21. ábrán levő mho-relé előállítását. A fázisszögrelére jellemző szög legyen  $\alpha = 0^\circ$ ,  $Z_1/K_1 = 0$ ,  $Z_1 = 0$ ,  $K_1$  valós,  $Z_2/K_2$  pont pedig legyen  $\beta$  szögű és a végtelenben helyezkedjen el. Pl.  $Z_2 = |Z_2| e^{-j\beta}$ ,  $K_2 = 0$ . A relé egyenlete

$$\frac{UK_1}{-Z_2 I} = S e^{j\alpha},$$

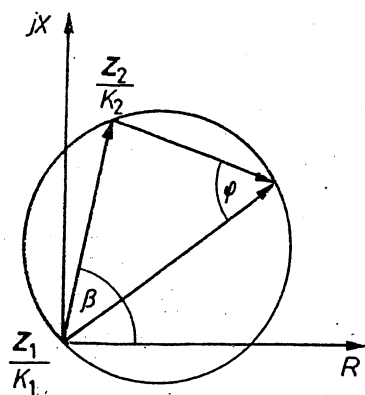
$$\frac{Z}{-Z_2} = \left| \frac{1}{K_1} \right| S e^{j(\alpha + \varphi)} = \frac{1}{|K_1|} S e^{j\varphi}.$$

Az a kör, amely átmegy ezen a két mérési ponton, és a kerületi szöge zérus a két ponton átmenő egyenes, azaz  $\varphi = -(90^\circ - \beta)$  belső szögű teljesítmény-irányrelé (l. a 4.21. és 6.1. fejezetet).

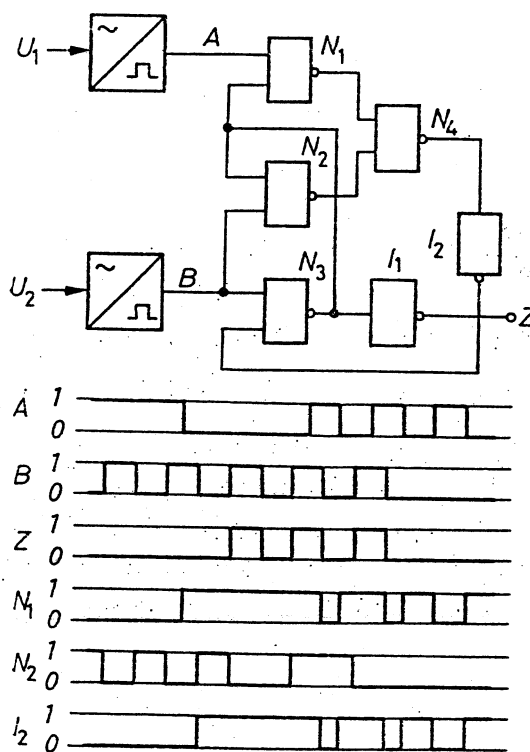
A mho-relénél a  $Z_1/K_1$  mérőpontot pl. zérusra választják:  $Z_1 = 0$ ,  $K_1 = |K_1| e^{j\varphi}$ , és a  $Z_2/K_2$ -t a védendő távvezeték impedanciájának megfelelő értékűre:  $Z_2 = |Z_2| e^{j\beta}$  és  $K_2$  valós. A relé egyenlete:

$$\frac{Z}{Z - \frac{Z_2}{K_2}} = \left| \frac{K_2}{K_1} \right| S e^{j(\alpha + \varphi)} = \left| \frac{K_2}{K_1} \right| S e^{j\varphi}.$$

$\varphi$  a kerületi szög (7.21. ábra).



7.21. ábra. Mho relé



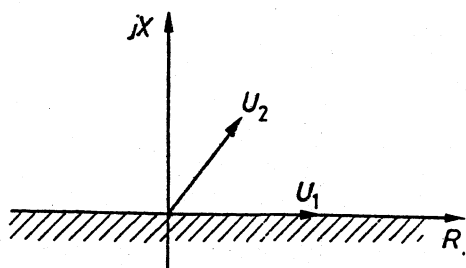
7.22. ábra. 0°-os fázisszögrelé

A 7.22. ábrán egy  $\alpha = 0^\circ$ -os fázisszögrelé gyakorlati kivitele látható. A  $U_1$  és  $U_2$  feszültségek szinusz/négyszög átalakítókön keresztül kerülnek a logikai elemekből felépített tulajdonképpen fázisszög-érzékelőre, amelynek bemenetei és a kimenet között a logikai kapcsolat [33]:

$$Z = \overline{AZ} \cdot \overline{BZ} \cdot B.$$

Az  $U_1$  és  $U_2$  feszültség fázishelyzetétől függően a kimeneten vagy logikai 0, vagy az  $U_2$  feszültség szinuszhullámával fázisban levő négyszög jelenik meg. Az első esetben  $U_2$  késik, a második esetben  $U_2$  siet fázisban  $U_1$ -hez viszonyítva. A relé megszólalási tartománya tehát (7.23. ábra):

$$0^\circ \cong \arccos \frac{U_1}{U_2} \cong 180^\circ.$$

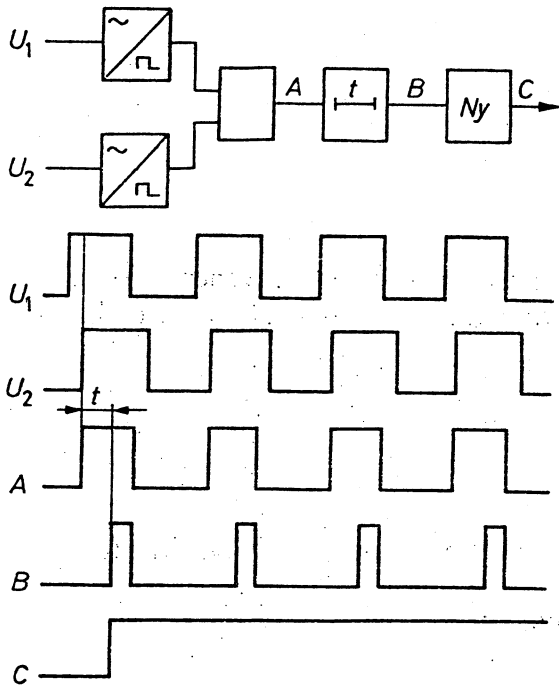


7.23. ábra. 0°-os fázisszögrelé karakterisztikája

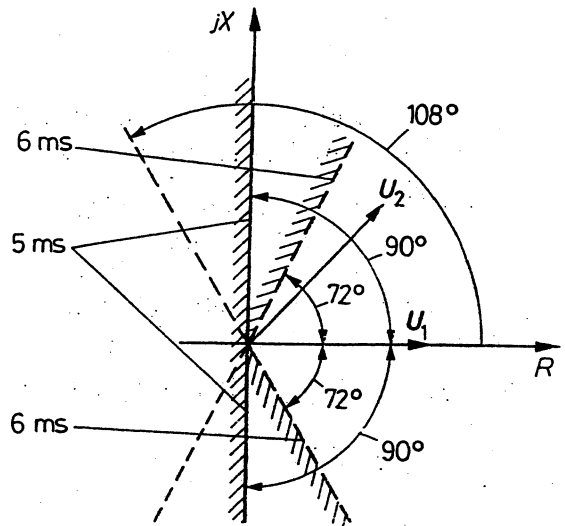


A fázisszögrelé ilyen kialakítása azt jelenti, hogy megszólaláskor a kimeneten egy négy-szögsorozat jelenik meg, amely a kimenetre kapcsolt impulzushosszmérő és -nyújtó fokozattal folyamatos jellé alakítható.

A mérési elvből adódóan csak az egyik félperiódusban tud mérni a relé, ezért a nagyobb működési sebesség elérése céljából a relé duplázásával a mérést kiterjesztik mindkét félperiódusra. Kimeneteik *vagy* kapcsolaton keresztül alkotják a közös kimenetet.



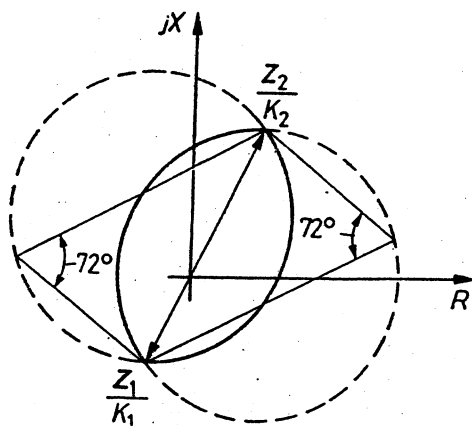
7.24. ábra. Fázisszögrelé



7.25. ábra. Fázisszögrelé lehetséges karakterisztikái

A fázisszögrelék egy másik igen gyakori megoldási lehetőségét a 7.24. ábra mutatja [5]. Az  $U_1$  és  $U_2$  feszültségeket szinusz/négyzög átalakítón keresztül kapcsolják a koincidenciaelemre (és kapura). Méri az azonos állapotú helyzet idejét, és ha az meghaladja az 5 ms-ot ( $90^\circ$ ), akkor a kimeneten tüimpulzusok jelennek meg. Ezeket a következő fokozattal nyújtják. A kapcsolást megismételve a másik félperiódusra is, a relé működési sebessége duplájára növekszik. A megszólalási tartománya

$$90^\circ \cong \arccos \frac{U_1}{U_2} \cong -90^\circ.$$



7.26. ábra. Lencse karakterisztika

Ha a koincidencia időmérését nagyobbra választják, mint 5 ms, pl. 6 ms-ra, akkor a megszólalási tartományt a 7.25. ábra szaggatott vonala mutatja. A  $(+72^\circ) \cong \arccos \frac{U_1}{U_2} \cong (-108^\circ)$  és  $(-72^\circ) = \arccos \frac{U_1}{U_2} = (+108^\circ)$  két feltételnek egyidejűleg teljesülni kell. Az ilyen típusú relével lehet előállítani a 7.26. ábrán látható, lencse alakú karakterisztikát, amely a két egyenlőtlenységnek megfelelő két kör karakterisztika közös része [5].

## B) Mérlegrelék

A mérlegrelék két villamos mennyiség abszolút értékét hasonlítják össze, és a működésük feltétele az, hogy  $|U_1| \cong k |U_2|$ , ahol  $k$  valós állandó [44]. A relé egyenlete:

$$\frac{|U_1|}{|U_2|} = \frac{|K_1 U - Z_1 I|}{|K_2 U - Z_2 I|} = k.$$

Rendezve és figyelembe véve, hogy  $U/I = Z$ :

$$\frac{\left| Z - \frac{Z_1}{K_1} \right|}{\left| Z - \frac{Z_2}{K_2} \right|} = k \left| \frac{K_2}{K_1} \right|.$$

A 7.27. ábra segítségével belátható, hogy a karakterisztika kör vagy egyenes, mert a kör azon pontok mértani helye, amelyek két adott ponttól való távolságának aránya állandó. A két pont a  $\frac{Z_1}{K_1}$  és a  $\frac{Z_2}{K_2}$  vektorok végpontjai, az arány pedig a

$$k \left| \frac{K_2}{K_1} \right|, \text{ amely egyenesnél egységnyi.}$$

A mérlegrelével, hasonlóan a fázisszögreléhez, előállíthatók az ismert relékarakterisztikák.

A 7.28. ábra egy teljesítmény-irányrelé jelleggörbéjét mutatja, amely előállításához az állandók megválasztása a következő:

$$\left| \frac{Z_1}{K_1} \right| = \left| \frac{Z_2}{K_2} \right| \quad \text{és} \quad k \left| \frac{K_2}{K_1} \right| = 1.$$

Egy impedanciarelé karakterisztikája a 7.29. ábrán látható. A megvalósítása  $Z_1 = 0$  és  $K_2 = 0$  választásával a legegyszerűbb.

$$\frac{|K_1 U|}{| -Z_2 I |} = k,$$

$$|Z| = \frac{|Z_2|}{|K_1|} k.$$

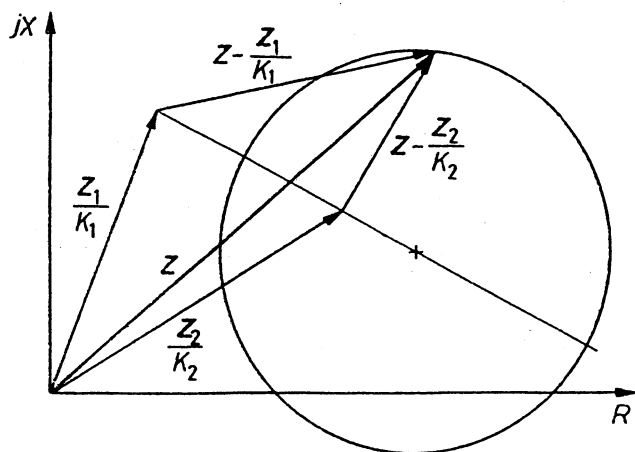
Az impedanciakör középpontjának eltolása a kezdőpontból a  $Z_1 \neq 0$  választásával oldható meg (l. a 7.30. ábrát). Egyenlete:

$$\frac{|K_1 U_1 - Z_1 I|}{| -Z_2 I |} = k,$$

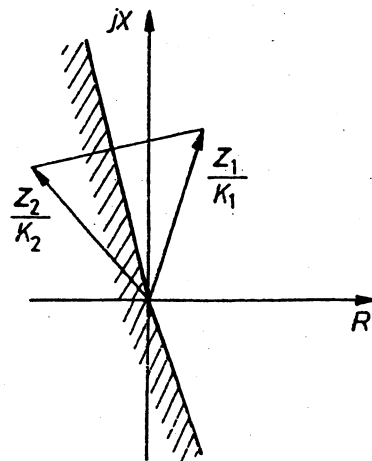
$$\left| Z - \frac{Z_1}{K_1} \right| = \left| \frac{Z_2}{K_1} \right| k.$$

A mérlegrelék gyakorlati kiviteli formájában általában két típus terjedt el, a 7.31a ábrán látható feszültség és a b-n az áram-differenciálkapcsolás. A  $d$ -vel jelölt relé egy elektronikus nullkomparátor, amely ugyanazt a funkciót tölti be, mint az egyenirányítós védelmek Deprez-reléje (6.2. alfejezet). Az ilyen felépítésű elektronikus mérlegrelék minőségben (érzékenység, gyorsaság, pontosság) nem is haladják meg az egyenirányítós védelmek paramétereit.

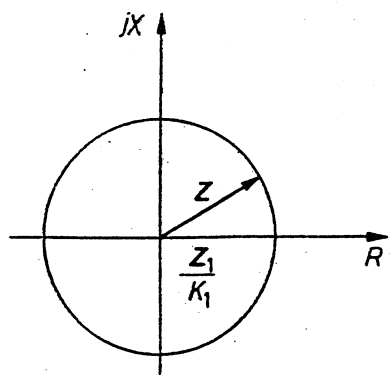
Az elektronikus egyenirányítás bevezetésével a mérlegrelék minőségi paramétereit jelentősen javíthatók. Egy ilyen mérlegrelé kapcsolását mutatja a 7.32a ábra [33]. A bemenetre  $U_1$  és  $U_2$  feszültségek kapcsolódnak, amely feszültségeket az  $M_1$  és  $M_2$  műveleti erősítővel felépített két kapcsolás egyenirányít (abszolútérték-képzés). A 7.32b ábra mutatja az elektronikus egyenirányító működését.



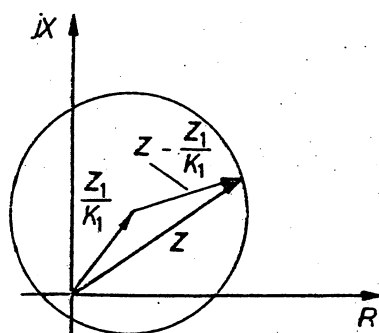
7.27. ábra. Kör előállítás mérlegreléssel



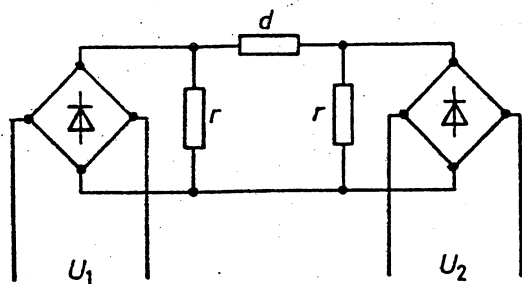
7.28. ábra. Teljesítmény-irányrelé



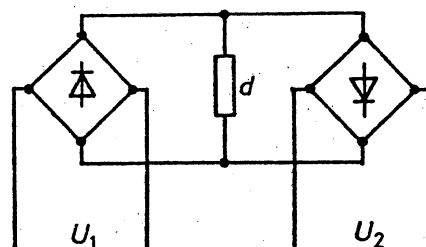
7.29. ábra. Központi kör



7.30. ábra. Eltolt kör



a)



b)

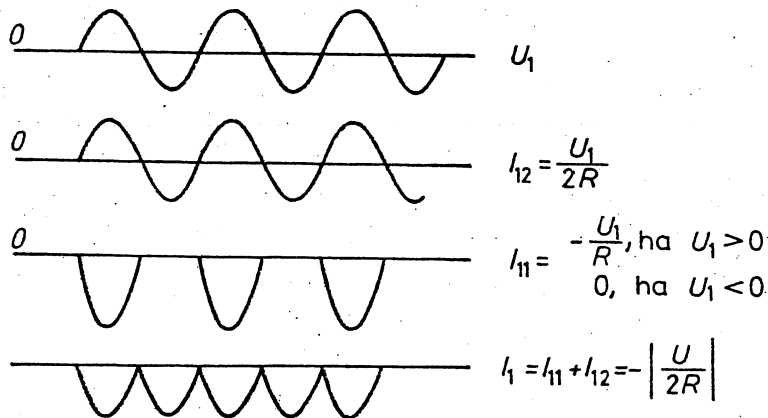
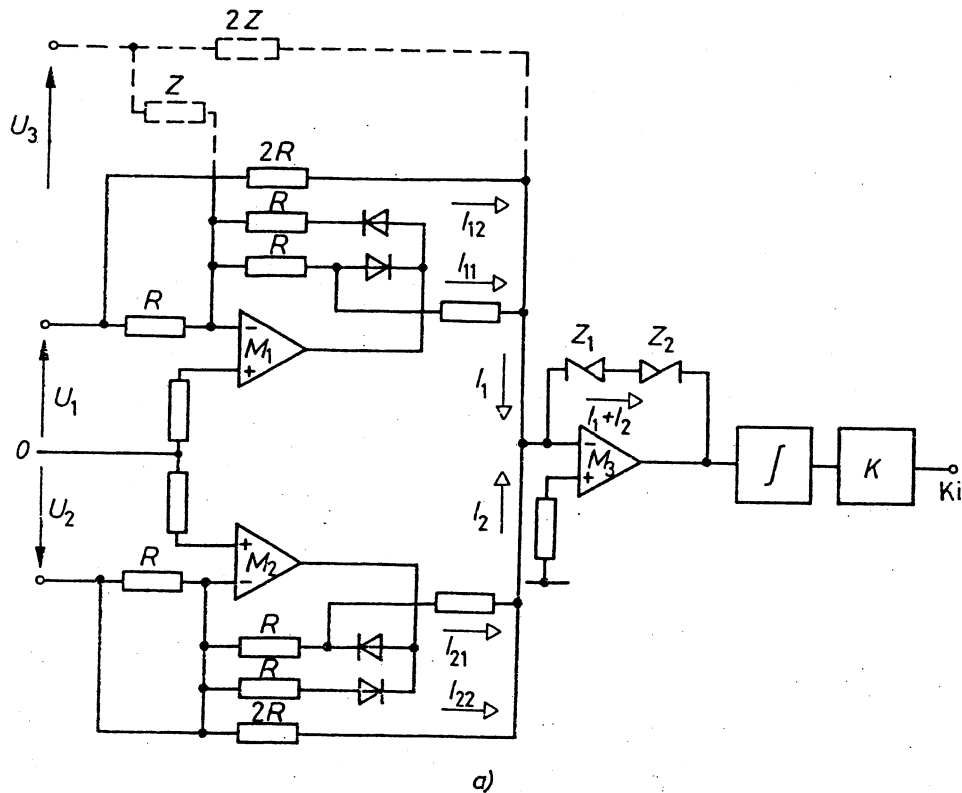
7.31. ábra. Differenciálérzékelők

Az egyenirányítók kimenetén az áram

$$I_1 = - \left| \frac{U_1}{2R} \right|, \quad I_2 = \left| \frac{U_2}{2R} \right|.$$

Az  $I_1$  és  $I_2$  áram különbségét figyeli az  $M_3$  műveletierősítőből épített nullkomparátor, amelynek kimenete e differencia előjelétől függően pozitív vagy negatív lesz. A nullkomparátor kimenetének feszültségét egy integrátorból és egy komparátorból álló nullindikátor érzékeli. Működési egyenlete:

$$\left| \frac{U_1}{2R} \right| - \left| \frac{U_2}{2R} \right| \cong 0, \quad \text{átrendezve} \quad \frac{|U_1|}{|U_2|} \cong 1.$$



b)

7.32. ábra. Elektronikus mérlegelés

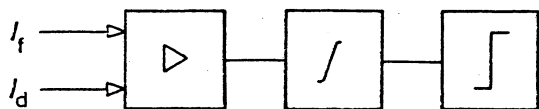
A kapcsolat előnye nemcsak abban rejlik, hogy az elektronikus egyenirányítás nagy érzékenységet, kis fogyasztást, a küszöbfeszültség eltűnését és pontos karakterisztikatartást biztosít a bemenő mennyiségek széles határok közti változása esetén, hanem abban is, hogy az elektronikus egyenirányító bemenete tetszőleges számúra bővíthető. A bővíthetőséget a 7.32a ábrán a szaggatottan rajzolt bemenet mutatja, ebben az esetben a felső kimeneten az  $U_1$  és  $U_3$  bemenet összegének vagy különbségének az abszolút értéke jelenik meg.

$$I_1 = - \left| \frac{U_1}{2R} + \frac{U_3}{2Z} \right|$$

A bemeneti impedanciák tetszőlegesek lehetnek.

### 7.1.5. Differenciálérzékelők

A generátor- és transzformátor-differenciálvédelmek, valamint a szakaszvédelmek mérő-elemei a differenciálérzékelők (l. elviekben a 4.7. alfejezetet). Ezen védelmeknél a védendő objektum bemenő és kimenő mennyiségei közötti eltérés hibára utal. Ha pl. a bemenő és a kimenő áramok differenciáját képezzük és erre kapcsolunk egy érzékeny túláramrelét, akkor nagy érzékenységű és szelektív védelem nyerhető. A gyakorlatban áramváltóik különböző-sége szintén különbségi áramot eredményez, emiatt a védelmet stabilizálni (fékezni) kell.



7.33. ábra. Differenciaérzékelő

Az elektronikus differenciálérzékelők formái a gyakorlatban majdnem azonos felépítésűek. A 7.33. ábra egy szinte általánosnak mondható kivitt mutató. A differenciáláram és a fékezés egy differenciálerősítő bemeneteire kerül, kimenetére integrátor csatlakozik, amelynek kimenetét egy komparátor figyeli.

### 7.1.6. Logikai áramkörök

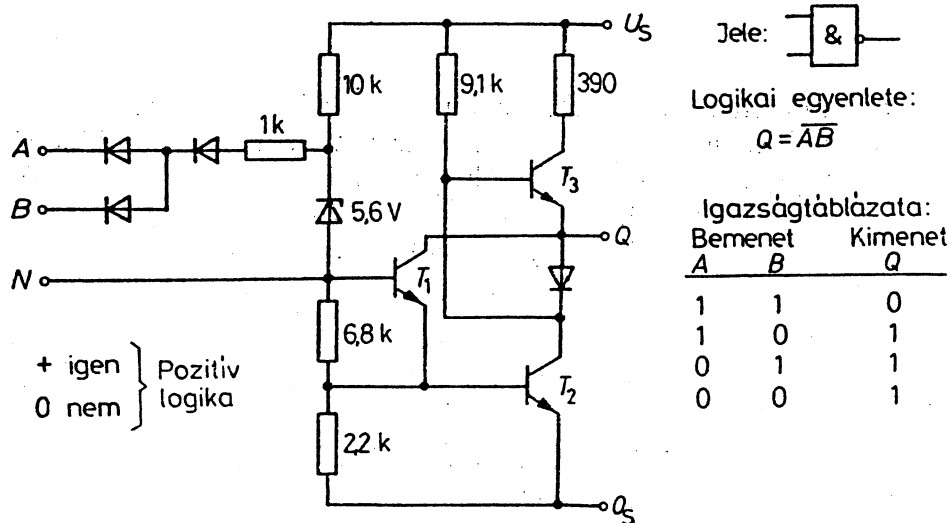
A legegyszerűbb védelmek kivételével az egyes érzékelők (mérőrelék), időművek (késleltető-elemek), valamint a kimeneti relék (parancsadó elemek) működése között gyakran bonyolult logikai kapcsolat van. Ugyanígy logikai döntések sorozata szükséges a bonyolultabb védelmi karakterisztikák megvalósításához is. Az ilyen *igen-nem* információk feldolgozására szolgálnak a logikai áramkörök. A velük szemben támasztott követelmények illeszkednek az általános védelmi alapkövetelményekhez, tehát megbízható működést és a külső zavarokkal szembeni érzéketlenséget várunk el tőlük.

A hagyományos elektronikus védelmek és automatikák ún. huzalozott logikát tartalmaznak, azaz az üzemmódváltáshoz használt kapcsolókon kívül a logikai kapcsolatok csak az egyes logikai kapuk közötti galvanikus összeköttetések módosításával változtathatók meg. Ez jól kiforrott feladatmegoldás és változatlan védelmi koncepciók esetén nem jelent problémát, azonban újabb igények kielégítése csak átépítéssel, a hardver módosításával lehetséges.

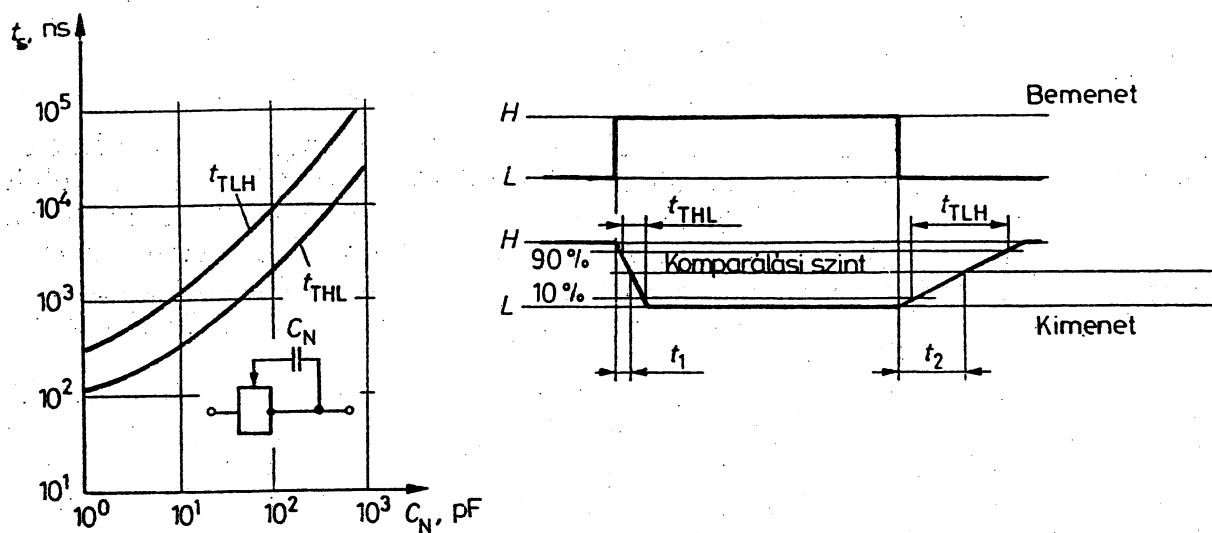
A logikai áramkörök zavarérzéketlenségére jellemző érték a zavartávolság. Ez a kapu-áramkörök logikai 0 állapotban létrejövő legnagyobb kimeneti feszültsége és az ezt követő kapu legkisebb, már logikai 1 szintnek érzékelt bemeneti feszültsége közötti különbség. Ugyanígy értelmezhető ez természetesen a logikai 1 szint esetén is. A széles körben használt TTL áramköröknél ez az érték 0,4 V, míg a védelmekben használt DTL logikák (pl. a SIEMENS FZ 100 sorozat) esetében 2,8, ill. 4,5 V.

Az utóbbi áramköröcsalád tipikus tagjának, a kétbemenetű NAND kapunak a belső kapcsolási rajza a 7.34. ábrán látható. Ha mindkét bemenet logikai 1 szinten van (a + tápfeszültség közelében), akkor a bemeneti diódák zárófeszültséget kapnak, a felső 10 k $\Omega$ -os ellenálláson keresztül kinyit a  $T_1$  és  $T_2$  tranzisztor,  $T_3$  lezár, a kimenet kb. egy diódányi feszültségen van, ami logikai 0-nak felel meg. Ez a kimenet viszonylag jól terhelhető a tápfeszültség irányában, mert csak nyitott félvezető-átmeneteket tartalmaz. Az egyik vagy mindkét bemenet feszültségét csökkentve, 5...6 V körül a  $T_1$  és  $T_2$  kezd lezárni,  $T_3$  pedig a 9,1 k $\Omega$ -on keresztül nyit, így a kimenet logikai 1-re vált. A bemeneten, ha az logikai 0-ban van, kb. 1,5 mA folyik, logikai 1-ben a bemenő áram gyakorlatilag nulla. Az 1 szintben levő kimenet belső ellenállása 400  $\Omega$  körüli, ezért kevésbé terhelhető, mint 0 állapotban. A szabadon hagyott bemenetet a kapu 1-nek érzékeli, hiszen nem tudja a bemenet elvezetni a felső 10 k $\Omega$  áramát. A szabad bemenet feszültsége — feltéve, hogy a másik bemenet 1-ben van — 5...6 V közötti.

A logikai kapcsolat a bemenet és a kimenetek között  $Q = \overline{AB}$  (l. a 7.34. ábra igazságtáblázatát).



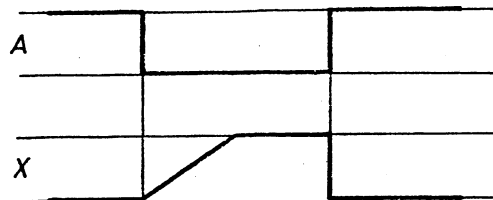
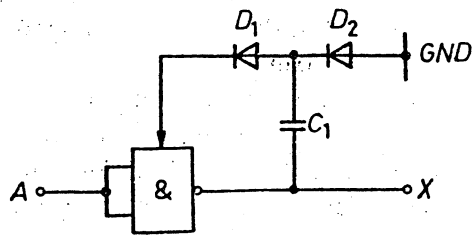
7.34. ábra. Az FZ 100 sorozatú logikai áramkörök belső felépítése



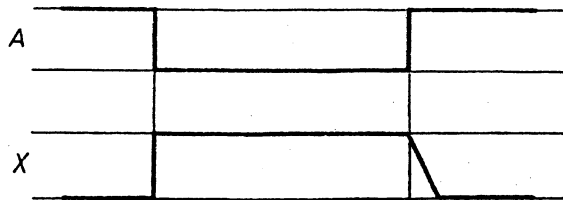
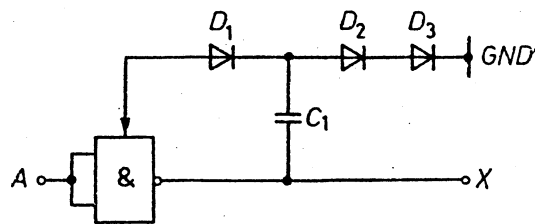
7.35. ábra. A késleltető kondenzátor bekötése és hatása a jelalakra

A NAND kapu kimenetére ( $Q-N$ ) kötött kondenzátor integráló jellegűvé teszi a kapcsolást, késleltető hatása a 7.35. ábrán látható. A késleltetés a zavarérzékenységet csökkenti, mivel a rövid zavarok nem idéznek elő billenést.

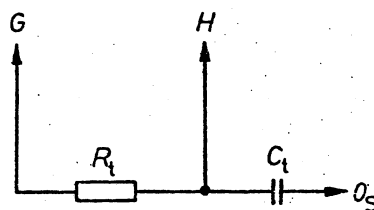
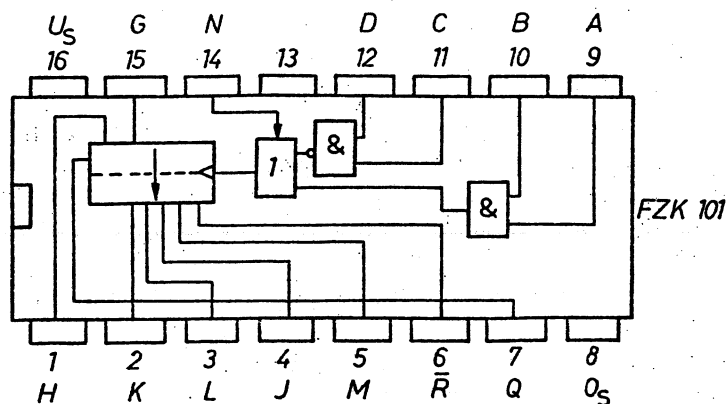
A fel- és lefutó meredekség különböző, értéke a 7.35. diagramból meghatározható. A  $t_{THL}$  és a  $t_{TLH}$  időértékek a 10%...90% közötti feszültségváltozást reprezentálják. Ha egy másik kapu csatlakozik a kimenetre, akkor a 6 V körüli komparálási szint miatt a fenti értékek kb. felének megfelelő késleltetés várható ( $t_1$  és  $t_2$ ). A késleltető kondenzátorok hatását diódák beépítésével korlátozni lehet csak a felfutó vagy csak a lefutó élre. A kapcsolások és a hozzájuk tartozó görbék 7.36. és 7.37. ábrán láthatók.



7.36. ábra. A felfutó él késleltetése (GND a tápfeszültség nullpontja)



7.37. ábra. A lefutó él késleltetése



7.38. ábra. Az FZK 101 időzítő áramkör bekötése

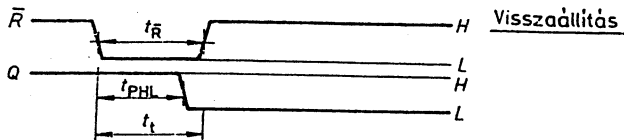
*A, B* ÉS kapcsolatban levő bemenetek; *C, D* VAGY kapcsolatban levő bemenetek; *R*: nullázó bemenet; *Q* kimenet; *J, K, L, M* üzemmód-beállító kivezetések; *O*, a tápfeszültség nullpontja, *C<sub>0</sub>* az áramkör belső kapacitása (kb. 10 pF); *C<sub>t</sub>* külső időzítő kondenzátor, *R<sub>t</sub>* külső időzítő ellenállás

Általánosan használt automatikaelemek az impulzuskésleltető és az impulzudifferenciáló áramkörök. Ha nincs különösebb pontossági igény, akkor késleltetésre az előzőekben ismertetett kondenzátorral visszacsatolt kapuáramkörök használatosak.

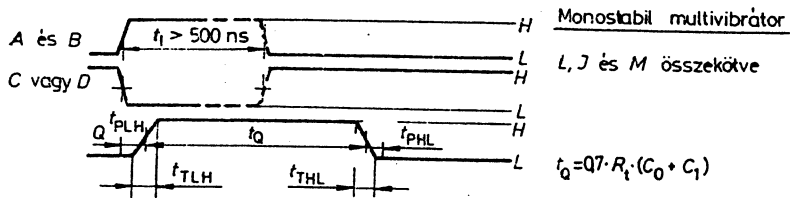
Pontos késleltető áramkör az FZK101 áramkör, amelynek jellegzetes üzemmódjai a hozzájuk tartozó működési diagramok a 7.38. és 7.39. ábrán láthatók. Pontos kondenzátorral és kis hőmérsékleti tényezőjű ellenállásokkal ezrelékes pontosság is elérhető.

Ejtéskésleltetést megvalósító egyszerű kapcsolás látható a 7.40. ábrán. Gyors feléléedés (újbbli „behúzás”) szükségessége esetén itt is alkalmazható a módosított visszacsatolás alkalmazása.

Bizonyos események kezdetekor, ill. befejezésekor szükséges működtetések indítására szolgálnak a differenciáló áramkörök.



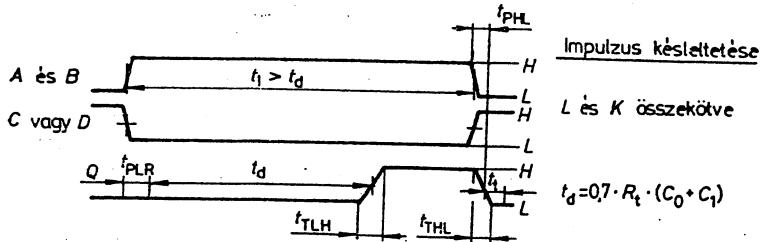
Visszaállítás



Monostabil multivibrátor

L, J és M összekötve

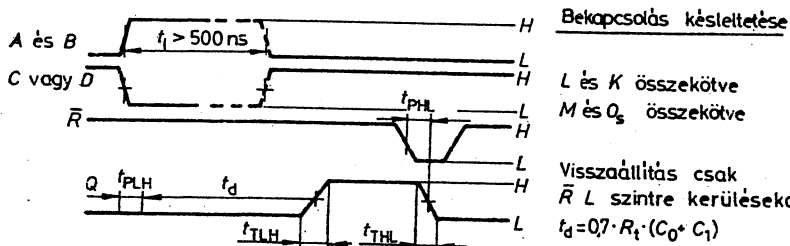
$$t_0 = 0.7 \cdot R_t \cdot (C_0 + C_1)$$



Impulzus késletetése

L és K összekötve

$$t_d = 0.7 \cdot R_t \cdot (C_0 + C_1)$$



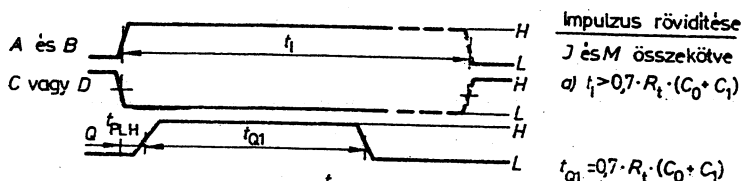
Bekapcsolás késletetése

L és K összekötve

M és Q<sub>s</sub> összekötve

Visszaállítás csak R-bar L szintre kerülésekor

$$t_d = 0.7 \cdot R_t \cdot (C_0 + C_1)$$

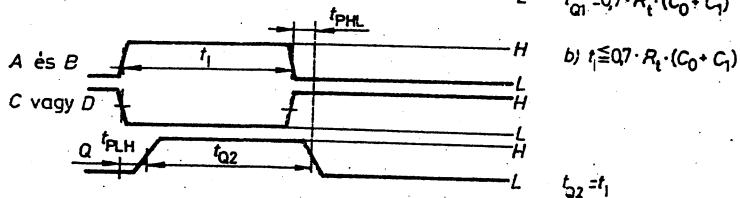


Impulzus rövidítése

J és M összekötve

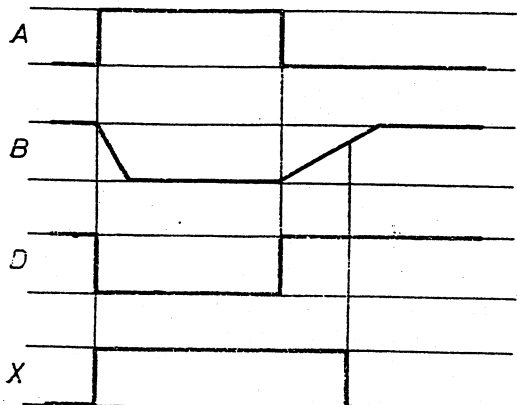
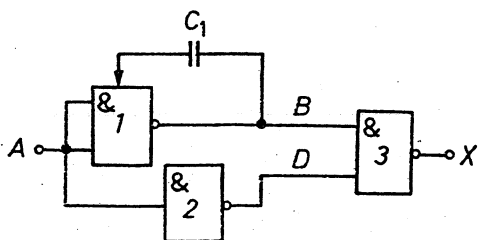
$$a) t_1 > 0.7 \cdot R_t \cdot (C_0 + C_1)$$

$$t_{Q1} = 0.7 \cdot R_t \cdot (C_0 + C_1)$$



$$b) t_1 \leq 0.7 \cdot R_t \cdot (C_0 + C_1)$$

$$t_{Q2} = t_1$$



740. ábra. Impulzusnyújtó áramkör

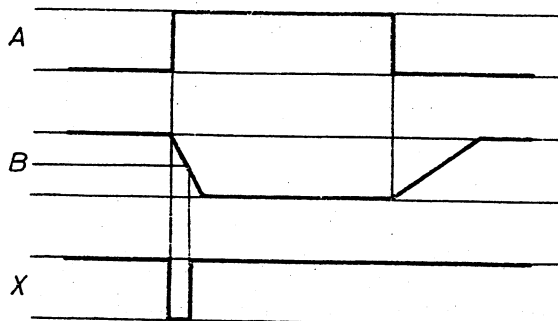
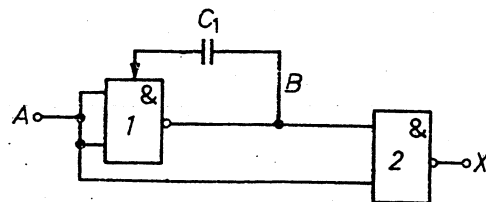
7.39. ábra. Az FZK 101 időzítő áramkör működési diagramjai a különböző üzemmódokban

$t_{PLH}$ ,  $t_{PHL}$  impulzuskésletetési idő a bemenetek és a kimenetek között;  $t_{TTL}$ ,  $t_{TLH}$  impulzus lefutási, ill. -felfutási idő;  $t_t$  feleledési idő (újraindítható ezen idő után)

Az egyoldalas alapkapcsolást szemlélteti a 7.41. ábra. A kétoldalas differenciáló kapcsoláshoz felhasználják a NAND kapukkal realizált antivalencia áramkört.

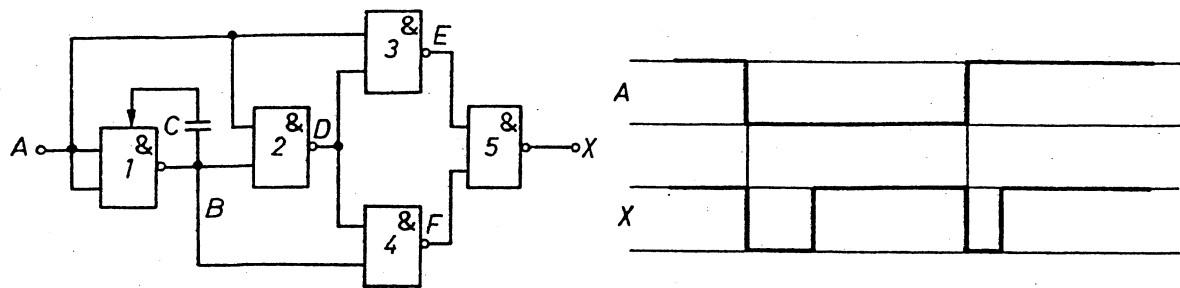
Igazságtáblázata a következő:

Bemenetek		Kimenet
A	B	X
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0



7.41. ábra. Egyoldalas differenciáló áramkör



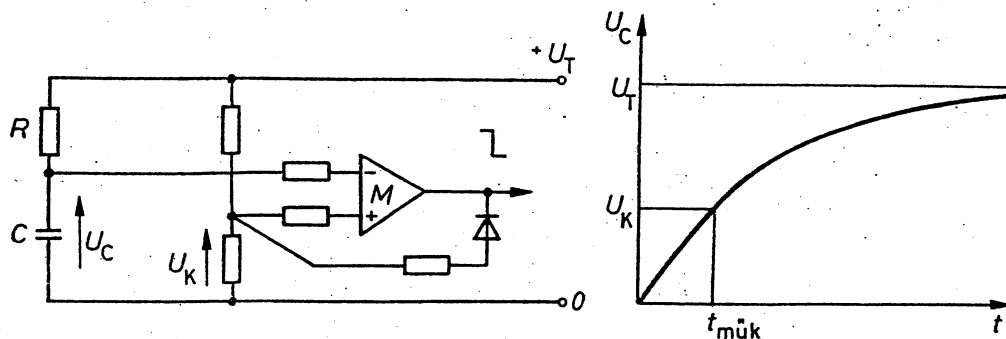


7.42. ábra. Kétoldalas differenciáló áramkör

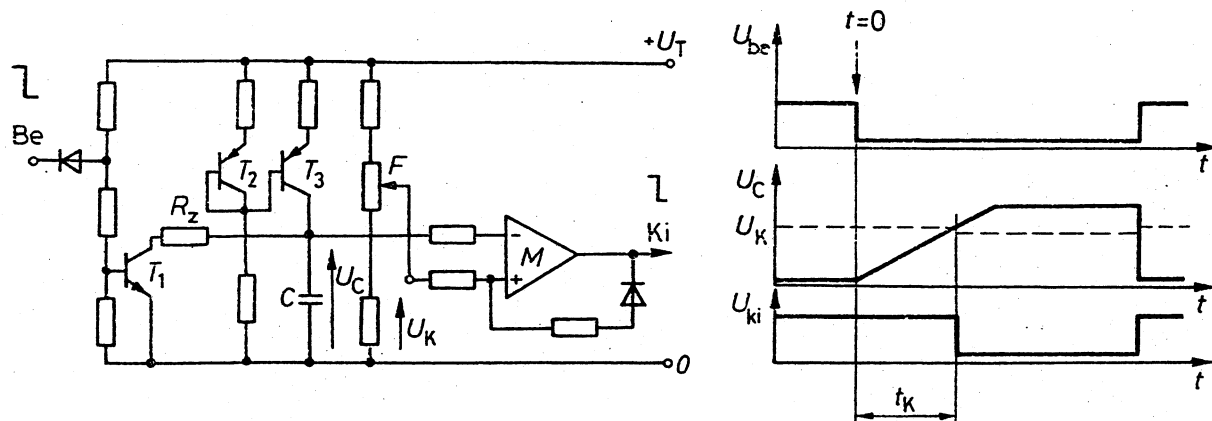
Logikai egyenlete:  $X = \overline{AB} + \overline{AB}$ , azaz a kapcsolás inverze az  $X = AB + \overline{AB}$  egyenlettel jellemzett ekvivalenciakapcsolásnak. Ha a 7.42. ábra szerint az antivalenciakapcsolásra (2) egy késleltetett NAND kapu (1) bemenetét és kimenetét kapcsoljuk, mind a lefutó, mind a felfutó élnél kapunk impulzust a kimeneten (a különböző meredekség miatt nem azonos hosszúságút).

### 7.1.7. Késleltető áramkörök

A védelmek nagy részénél a szelektív működés érdekében szükség van *késleltetésre*. Erre a célra a legegyszerűbb áramkör egy RC tag, amelynél egy komparátor érzékeli a kondenzátor feszültségét, és annak meghatározott értékénél ( $U_K$ ) működtetőparancsot ad (7.43. ábra). Hátrányos tulajdonsága ennek az áramkörnek, hogy a késleltetési idő beállítására az exponenciális feszültség–idő görbének csak a viszonylag meredek, lineáris szakaszát lehet felhasználni, mert a görbe laposabb részein a szórás nagy. Így hosszabb időket csak nagy kondenzátorokkal lehet elérni, és a beállítási értékek így sem adnak egyenletes sort. Ezért ilyen kapcsolásokat általában csak nem változtatható késleltetések esetén használnak.

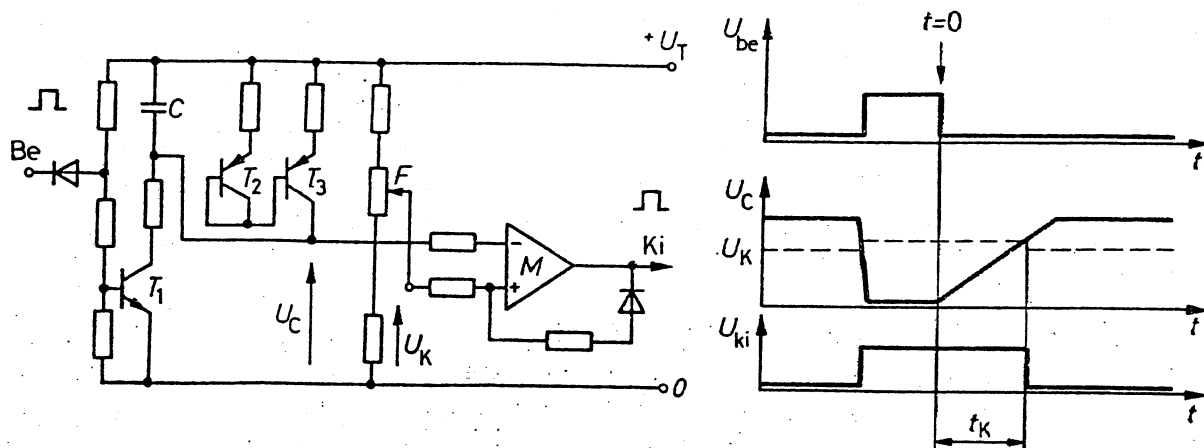


7.43. ábra. Egyszerű RC tagos késleltető áramkör



7.44. ábra. Lineáris késleltető áramkör

Általános célú, széles határok között beállítható késleltető áramkör tipikus példája látható a 7.44. ábrán. A késleltetést most is egy  $C$  kondenzátor biztosítja, amelyet nyugalmi állapotban a  $T_1$  tranzisztor és a kis értékű  $R_Z$  ellenállás tart rövidzárva. A bemenetre adott logikai 0 jel hatására indul a töltési folyamat, amelyet a  $T_3$  tranzisztor *áramgenerátorosan, időben lineárisan* végez a  $T_2$ -vel *hőkompenzálva*. Így  $U_C$  is az idő függvényében lineárisan növekszik, az  $M$  műveleti erősítóből álló komparátor billenési feszültségét és ezzel a kívánt késleltetési idő beállítását az  $F$  feszültségosztóval lineáris skála szerint lehet elvégezni. A beállított késleltetési idő leteltékor a kapcsolás kimenete logikai 1-ből 0-ba ugrik.



7.45. ábra. Ejtéskésleltető áramkör

Az ismertetett áramkör segítségével viszonylag nagy időintervallum (kb. 1 : 30-as átfogás) érhető el anélkül, hogy nagy kapacitású kondenzátorokra lenne szükség. Ugyanakkor a kapcsolás feszültség- és hőmérsékletfüggése kicsi, nagy késleltetési pontosság és kis szórás érhető el, a visszaállási idő is csak néhány ms.

A fenti kapcsolással meghúzáskésleltetésű elem állítható elő. Automatikák logikai áramköreiben szükség van ejtéskésleltetésű időrelére is. Ez látható a 7.45. ábrán. Az indítás a bemenetre adott logikai 1 jellel történik. A  $T_1$  tranzisztor szerepe a  $C$  kondenzátor *igen rövid idő alatti* feltöltése, aminek hatására a kimenet is logikai 0-ból azonnal 1-be ugrik. Az ejtéskésleltetésnek megfelelően a késleltetési idő akkor indul, amikor a bemenet ismét logikai 0-ba kerül. Ekkor a  $T_3$  tranzisztor *áramgenerátor* jelleggel *időben lineárisan* sűti ki a  $C$  kondenzátort, és az  $M$  komparátoron beállított feszültség elérésekor a kimenet logikai 0-ba ugrik.

## 7.2. Elektronikus védelmek konkrét megvalósításai

A védelmekben és automatikákban a konkrét védelmi feladatok megoldására alkalmas elektronikus készülékek száma olyan nagy, hogy mindegyikük részletes ismertetése meghaladja e könyv kereteit. Ezért csak az alapvető és legelterjedtebben felhasznált hazai és külföldi készüléktípusok bemutatására kerül sor.

Előjáróban célszerű megemlíteni néhány – a korszerű elektronikus védelmekre általánosan jellemző – szerkezeti megoldást. Ezek közül külön kiemeljük azokat, amelyek az összes hazai fejlesztésű és gyártású készülékre érvényesek.

A védelmek beállítószervei általában kétállapotú, aranyozott nyomókapcsolók, így lehetséges időtálló és utánhitelesítés nélkül is bármikor reprodukálható beállítást biztosítani. Potenciométerek felhasználását mind hazai, mind külföldi védelmeknél kerülnek és csak ott alkalmazzák, ahol valamilyen okból folyamatos szabályozásra vagy nullázásra van szükség. A bekövetkezett működések kiértékelését biztosító látjelzéseket többnyire világítódiodák, LED-ek adják, de néha alkalmaznak kisméretű, elfordulótárcsás mechanikus látjelzést is (pl. ASEA).

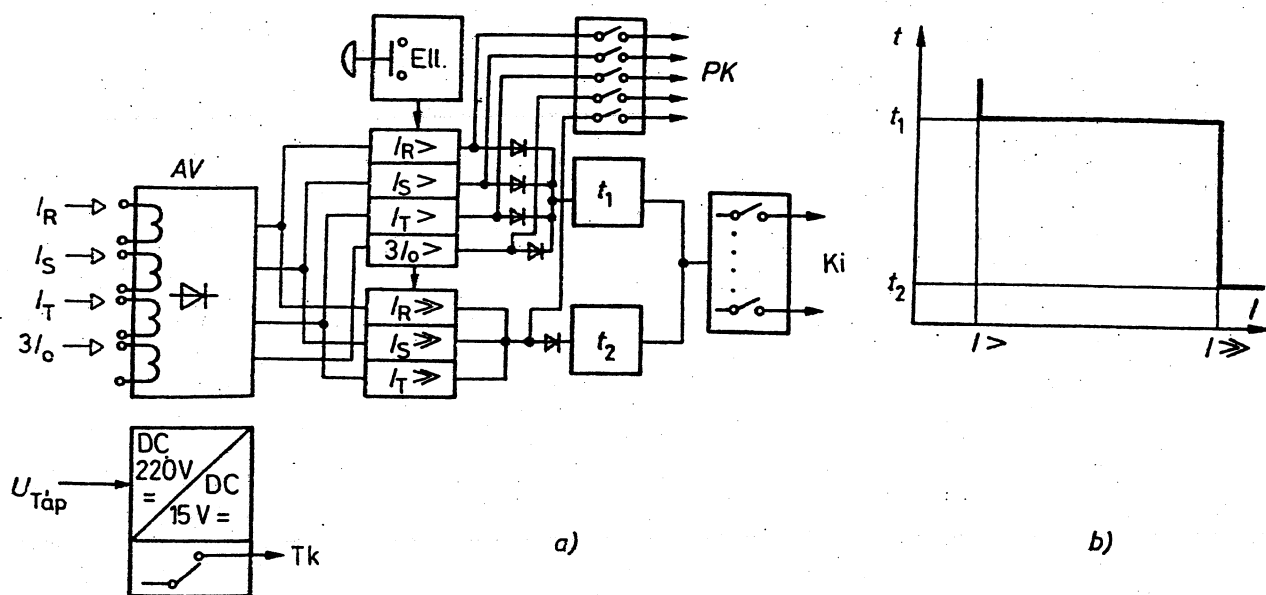
A látjelzés színe olyan, hogy a működéskészség meglétét zöld (pl. tápfeszültségek, működtető-feszültségek stb.), az üzemzavari működéseket (kioldásokat) piros, az egyéb jelzéseket (pl. energiairány, késleltetési lépcső) pedig sárga LED-ek, ill. tárcsák mutatják. Maguk az elektronikus kapcsolások hazai fejlesztésű védelmeknél általában kétoldalas és szabványos ESZR méretű nyomtatott áramköri lapokra, míg külföldi védelmeknél az ugyancsak szabványos EURO-CARD-okra vagy különféle egyedi méretű NYÁK-lapokra vannak felépítve. Az áramköri lapok előlapján vannak elhelyezve a kezelő és látjelző szervek, és így képeznek egy-egy bedugaszolható fiókot. A dugaszolást hazai készülékeknél indirekt csatlakozók teszik lehetővé.

### 7.2.1. Elektronikus túláramvédelmek

A késleltetett túláramvédelmek a legegyszerűbb, ugyanakkor a legnagyobb mennyiségben felhasználásra kerülő védelmek. Működési jelleggörbéjüknek megfelelően két alcsoportra oszthatók, az áramtól független és az áramtól függő késleltetésűekre.

#### A) Független késleltetésű túláramvédelmek

Ezek elektronikus változatait hazai gyártásban az ETI típusjelű készülékcsalád tagjai alkotják. A legáltalánosabb kiépítésre vonatkozó tömbvázlatuk a 7.46a ábrán látható, amely háromfázisú, földzárlat-érzékelővel kiegészített, kétfokozatú, késleltetett túláramvédelmet mutat be.



7.46 ábra. Áramtól független késleltetésű elektronikus túláramvédelem  
a) tömbvázlat; b) jelleggörbe

Az  $AV$  bemeneti egység fogadja a védett objektum árváltóitól érkező szekunder áramokat, és előállítja az ezekkel arányos egyenirányított feszültségeket a 7.1.1. szakaszban ismertetett módon. Ezek nagyságát figyelik fázisonként a maximumérzékelők (7.1.3. szakasz) kisebb árambeállítású egységei ( $I>$ ) és a közeli zárlatokra működő nagyobb árambeállítású egységei ( $I>>$ ). A hazai ETI védelmekben az  $I>$  érzékelők mindegyike külön-külön, az  $I>>$  érzékelők pedig közösen egy pillanatműködésű  $PK$  kontaktust vezérelnek. A védelem két fokozatának megfelelő  $t_1$  és  $t_2$  késleltetőelemek (7.1.7. szakasz) működtetik a kioldó  $Ki$  kontaktusokat.

A belső elektronikus áramkörök táplálását szokásosan DC/DC tápegység (7.1.1. szakasz) biztosítja, galvanikus elválasztást, túlfeszültség-védelmet és zavarmentességet adva a szennye-

zett külső segédüzemi egyenfeszültségtől. A tápfeszültség eltűnésekor külső  $Tk$  hibajelzés jelentkezik.

A védelem működőkészségének egyszerű vizsgálatát teszi lehetővé az alkalmazott  $Ell$  ellenőrző egység.

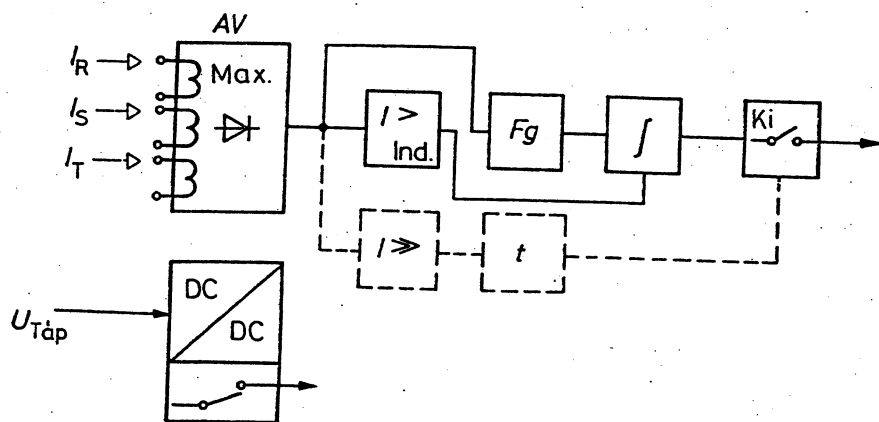
A nyomógomb benyomásakor a kimeneti relék bénulnak, a maximumérzékelők bemenetére megszólalást előidéző jel kerül, és a helyes működés a látjelzések alapján kiértékelhető.

A 7.46b ábrán látható a független késleltetésű, kétlépcsős túláramvédelem kioldási jelleg-görbéje.

Az ismertetett hazai gyártású, teljes kiépítésű, háromfázisú, kétlépcsős, késleltetett túláramvédelem mellett a család egyszerűbb tagjait is kifejlesztették, ezek az egy- és kétfázisú változatok, az egyfokozatú változat, a két-fokozatú, de  $t_2$  késleltetést nem tartalmazó változat stb. Ugyancsak elterjedten használják, elsősorban közép-feszültségű hálózatokon, a két vagy három fázisban egy közös  $I >$  és egy közös  $I \gg$  érzékelőt tartalmazó, ún. maximumkiválasztós változatokat is.

## B) Független késleltetésű túláramvédelmek

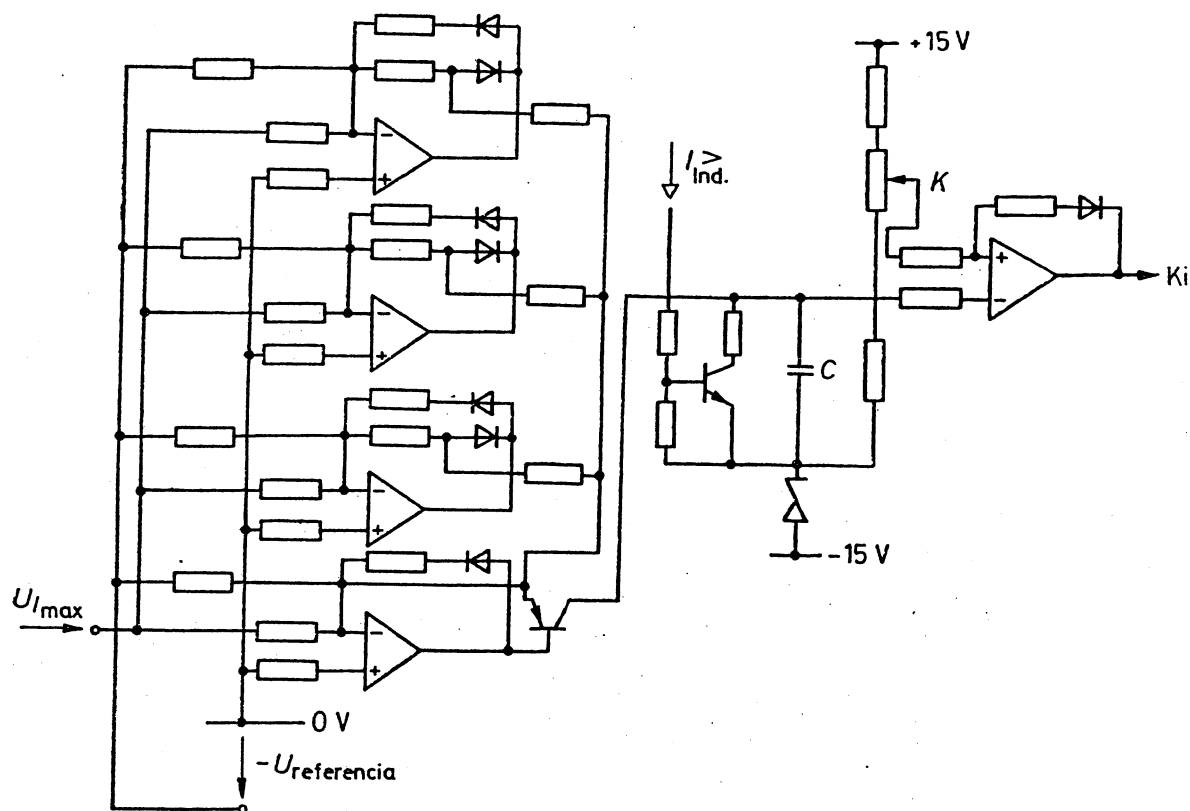
A magyar védelmes gyakorlat elsősorban a független késleltetésű túláramvédelmeket alkalmazza a könnyebben áttekinthető és számítható időlépcsőzés miatt. Külföldön elterjedtebben – de bizonyos hazai területeken is – használják az áramtól függő késleltetésű túláramvédelmeket. Erre a feladatra készültek hazai gyártásban az EFT típuscsalád tagjai.



7.47. ábra. Áramtól függő késleltetésű túláramvédelem tömbvázlata

Általános tömbvázlatuk a 7.47. ábrán látható. A három fázisáram az AV bemeneti egységben levő köz-benső áramváltók után a mindenkori maximális árammal arányos egyenirányított feszültséggé alakul. (A 7.2. ábra mutat egy erre alkalmas kapcsolást.) Ezt a feszültséget kapja egyrészt az  $Fg$  függvénygenerátor, amely a megfelelő áramfüggvényt állítja elő, másrészt az indítóegység ( $I >$ ), amely csak egy meghatározott indulási áram-érték felett engedélyezi az integrálást és a működést. Ébresztéskor a függvénygenerátor kimenő áramát az integrálóegység a rajta beállított aktuális karakterisztikának megfelelően vezérli a kioldószerveket.

E védelem típus is kiépíthető kétlépcsős formában, ilyenkor egy nagy árambeállítású  $I \gg$  fokozat vagy pillanatműködéssel, vagy egészen rövid áramtól független  $t$  késleltetéssel működteti a kioldószerveket. Az áramtól függő működési karakterisztikát tekintve több altípus létezik, pl. normál függésű (7.48a ábra), fokozott függésű (7.48b ábra) és szélsőségesen fokozott függésű (7.48c ábra) altípusok. Létezik korlátoltan függően késleltetett karakterisztika is, amelynél egy adott áramérték felett a karakterisztika már függetlenül késleltetett lesz (IDMT).



7.49. ábra. Függvénygenerátor-kapcsolás az áramtól függő jelleggörbe megvalósítására

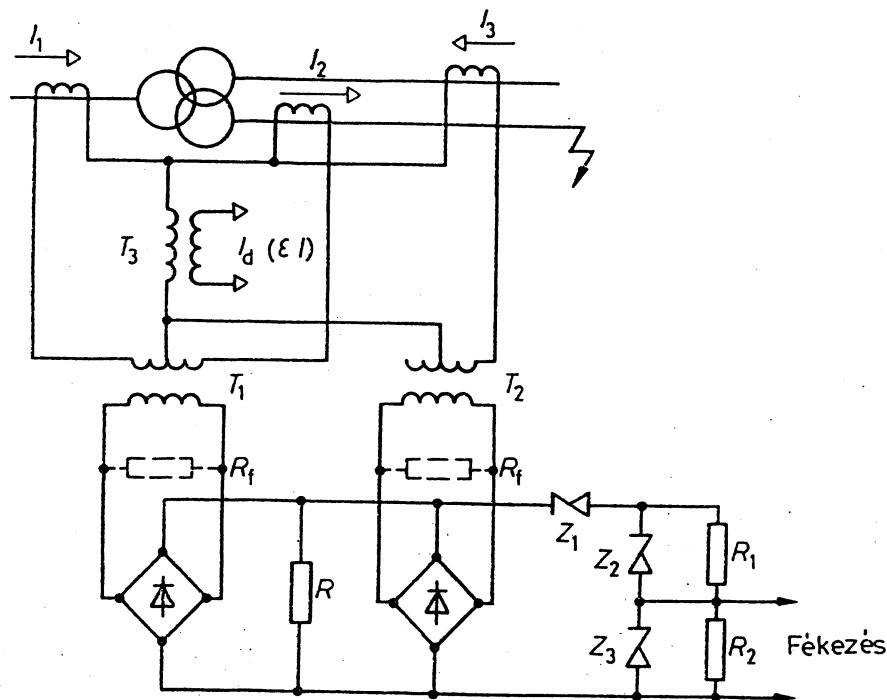
### 7.2.2. Elektronikus differenciálvédelmek

A differenciálvédelmi elv a védelmi technikában már régóta alkalmazott és jól bevált (4.7. alfejezet). Az elektronikus védelmek megjelenése éppen ezért működési elvben újat nem igen hozott, inkább a félvezetős technika adta jobb megoldási lehetőségek és alkalmazási előnyök irányába fejlődtek. Ilyen alkalmazási előnynek számít pl. a gyorsabb működés, a különleges fékezési karakterisztika előállításának lehetősége, a bekapcsolási áramlökéssel szembeni érzéketlenség nagymértékű növelhetősége, és nem utolsósorban az áramváltókör fogyasztásának csökkenése.

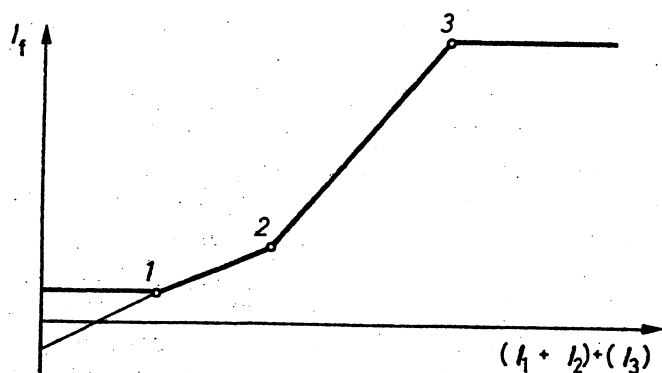
#### A) Fékezés

A transzformátorok és generátorok differenciálvédelmeinél az egyik nagy problémát a védendő berendezés két oldalán levő áramváltók különbözősége okozza. Ezt a különbséget okozhatja a kétoldali áramváltók terhelése közötti eltérés vagy transzformátoroknál esetleg típusában is más áramváltó, az áttételkülönbség miatt szükséges közbenső áramváltó alkalmazása. A hiba kétféle lehet: stacioner és tranziens (4.9. alfejezet). Külső zárlatkor ennek hatására a differenciakörben hibaáram jelenik meg, amely téves megszólalást hozna létre. Hogy ez ne történhessék meg, a differenciálérzékelők érzékenységét a külső zárlati áram függvényében változtatják, azaz fékezik, stabilizálják (4.7.2. szakasz).

A fékezési áram vagy feszültség előállítására a 7.50. ábrán látható kapcsolás terjedt el, ahol a fékezés kétgombolyítású transzformátornál az  $I_1 + I_2$  áramok vektoriális összegének abszolút értékével, a háromgombolyítású transzformátornál az  $|I_1 + I_2| + |I_3|$  összeggel arányos. Néhány védelemnél a szaggatott vonallal jelölt  $R_f$  ellenállásokkal az egyenirányítás előtt feszültségesítenek, ebben az esetben a fékezési jel nem az áramösszeg abszolút értéke, hanem



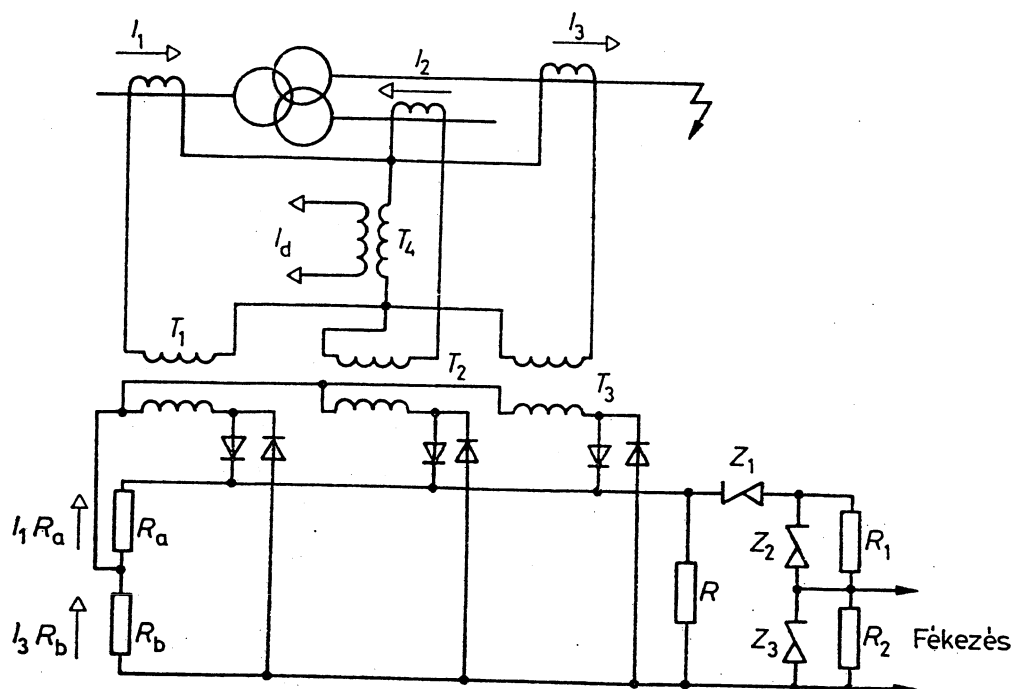
7.50. ábra. Fékezési jel előállítása



7.51. ábra. Fékezési karakterisztika

$|I_1 + I_2|$  és  $|I_3|$  közül csak a nagyobb. A  $Z_1, Z_2, Z_3$  Zener-dióda és az  $R_1$  és  $R_2$  ellenállás a fékezési karakterisztika 7.51. ábrán látható nemlineáris megoldását állítja elő (4.7.2 szakasz, ill. 4.50. ábra). Az 1 pontig a fékezés független az áramoktól (max.  $I_n$ -ig). Az 1 és a 2 pont között a fékezés enyhe emelkedése (20...50%) az áramváltók áttételkülönbségét, ill. transzformátor eltérő szabályozóállását kompenzálja. A 2 pont az áramváltók várható statikus vagy tranziens telítődése ( $3...10I_n$ ), ettől kezdve meredek a fékezési karakterisztika egészen a 3 pontig, amely a várható legnagyobb külső zárlati áram helye ( $\approx 20I_n$ ), ez a korlátozás a félvezetők védelmét szolgálja.

A 7.52. ábrán látható kapcsolási elrendezés igen figyelemreméltó [1], [2]. A fékezési jel nagysága a mindenkor zártos oldal áramának és az azt tápláló két oldal közül a nagyobb áramának összegével arányos. Az ábrán szereplő  $T_1, T_2$  és  $T_3$  légréses áramváltó az áramokat feszültségesíti (differenciálja), és így a párhuzamosan kapcsolt kétutas egyenirányítónál az egymással fázisban levők közül a nagyobb érvényesül és hozzáadódik a harmadikhoz (a zárlatoshoz).



7.52. ábra. Fékezési jel előállítás

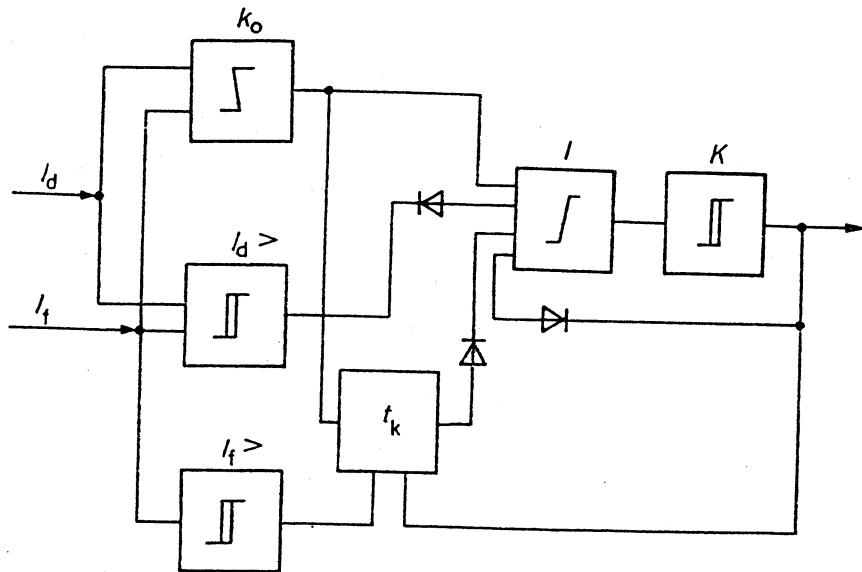
## B) Bekapcsolásbiztonság

Transzformátorok bekapcsolásakor a bekapcsolási áramlökés hibás különbségi áramot hoz létre a differenciálvédelmekben. Ez alól kivétel a tekercsenként alkalmazott védelem (l. a 4.53. ábrát, ill. a 4.7.2. szakasz c) pontját). A hibaáram nagysága függ a bekapcsolás pillanatától, az előmágnesezettségtől és a transzformátor rövidzárási reaktanciájától. Formájában legjobban a félhullámúan egyenirányított áramhoz hasonlítható (4.55. és 7.54. ábra). Lecsengési időállandója nagy (perces nagyságrendű), a transzformátorok teljesítményével növekszik. A hibás megszólalás elkerülésére régebben két megoldást alkalmaztak: az egyik a differenciáltag oly mértékű durvítása, hogy megszólalás ne forduljon elő, a másik a bekapcsolás idejére bénítani a védelmet. Ma már ezek a megoldások járhatatlanok, a korszerű differenciálvédelmek mindegyike rendelkezik a bekapcsolási áramlökés elleni védelemmel. A közelmúltban kifejlesztett differenciálvédelmek többségénél a bekapcsolási áramlökés elleni védekezést a második felharmonikussal való fékezéssel oldották meg (l. a 4.7.2. szakasz c) pontját). A bekapcsolási áramlökés ugyanis nagymértékben tartalmaz második felharmonikus, és ez csak rá jellemző, mert normál üzemben vagy zárlatkor nem fordul elő. A differenciálkörbe ezért második harmonikus szűrőt helyeznek el, és ennek kimenő jelét hozzáadják a stabilizáló- vagy fékezőjelhez, vagy pedig vagylagos kapcsolatban fékezik a differenciálérzékelőt. Ez a megoldás elvben helyes, azonban nagyon nehéz megfelelő szűrőt kivitelezni, ugyanis a szűrő időállandója és lengése tranziens viszonyok között problémát okozhat. Ezt a szűrő és a védelem összehangolásával lehet megoldani.

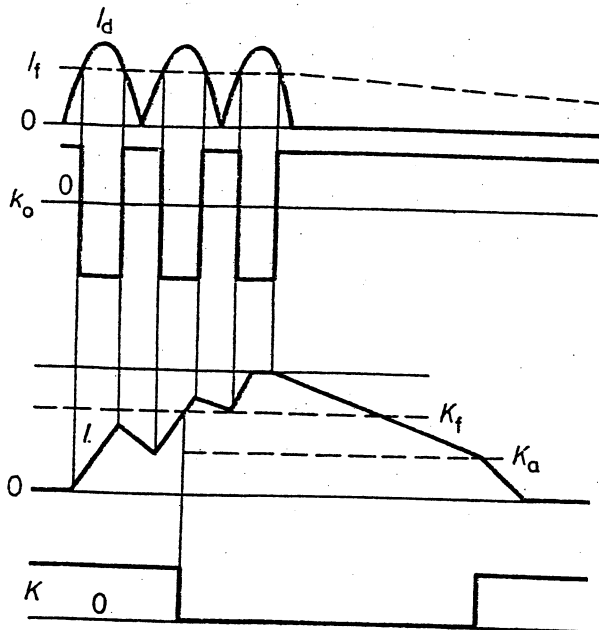
A VEIKI TD típusú differenciálvédelmében újszerű eljárást alkalmaznak: nem az áram második harmonikus összetevőjével, hanem a differenciálágban folyó áram maximumának 70 %-ával való fékezéssel oldja meg a bekapcsolásbiztonságot, így a tranziens problémák elmaradnak [33].

A differenciálérzékelő tömbvázlata a 7.53. ábrán látható. Működése a következő:

Folyjon a differenciálágban a  $5I_n$ -nél kisebb, szinuszos, tehát belső zárlati áram. Ez esetben az ábrán látható négybemenetű  $I$  integrátor csak a  $k_0$  kimenetét integrálja, mert a többi bemenetre olyan irányú diódákon keresztül csatlakoznak az  $I_d$ ,  $i_k$  és a  $K$  kimenetei, amely ezekre záróirányt jelent. A  $k_0$  komparátor *aszimmetrikus* ki-



7.53. ábra. TD differenciálérzékelő



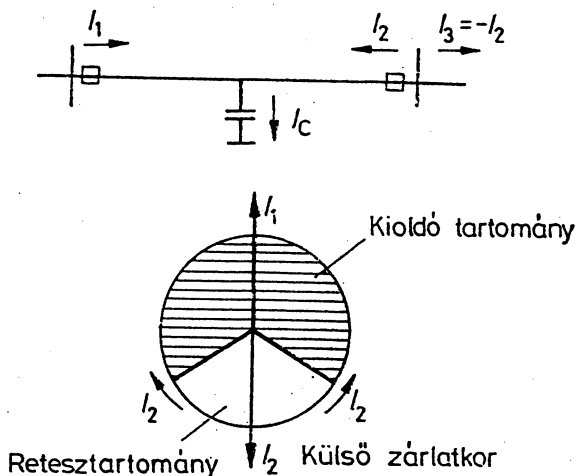
7.54. ábra. Működési diagram (kis belső zárlat)

menetű komparátor. A kimeneti feszültség olyan, hogy a pozitív és negatív irányú feszültség nagyságának hányadosa  $4/6$ . A 7.54. ábra szemlélteti, hogy az  $I_d$  és az  $I_f$  bemeneti jelek miként hatnak  $k_0$  kimenetére. Ha  $I_f$  fékezőáram nagyobb, mint  $I_d$  differenciáláram (nyugalmi állapot), akkor  $k_0$  kimenete pozitív, az integrátor kimenete negatív, és alatta van az utána következő  $K$  komparátor  $K_f$  felső megszólalási szintjének, ez esetben a  $K$  komparátor  $K_f$  felső megszólalási szintjének. Ez esetben a  $K$  komparátor kimenete pozitív feszültségű, az integrátor bemenetére való visszacsatolás a dióda záróiránya miatt hatástalan. Ellenkező esetben, amikor az  $I_d > I_f$ , akkor az integrátor kimenete pozitív és nagyobb, mint a komparátor felső érzékelési szintje, a komparátor kimenete az ábra szerintire változik. A visszacsatoló diódán keresztül az integrátor bemenetét mínusz irányba húzza, amely pozitív visszacsatolást jelent. A komparátor ekkor az érzékelési szintjét állítja az alsó érzékelési szintre, amely mindaddig ezen a szinten marad, míg  $I_d > I_f$ . A  $k_0$  komparátor kimeneti feszültsége pozitív/negatív értékének hányadosa  $4/6$ , ezért az integrátornak és az őt követő  $K$  komparátornak az átbillenéséhez az szükséges, hogy az  $I_d > I_f$  és az  $I_f > I_d$  időtartam viszonya nagyobb legyen, mint  $4/6$ . Az integrátor időállandóját úgy választottuk meg, hogy szinuszos  $I_d$  áram esetén a túláramrelé a 7.54. ábrán láthatóan csak a második félhullám bekövetkezése esetén szólaljon meg.

Nagyobb különözeti áram fellépésekor, amikor az  $I_d - I_f > 8I_n$ , megszólal az  $I_d >$  túláramrelé is. Az  $I_d >$  kimenete az integrátorra kioldóirányú feszültséget kapcsol. Az integrátor időállandója erre a bemenetre nézve kb.  $1/20$ -szorosa az előzőekben leírt értéknek, ezért az integrátor kimenete gyakorlatilag azonnal eléri a felső komparálási szintet, ami a  $K$  komparátor megszólalását jelenti (7.55. ábra).

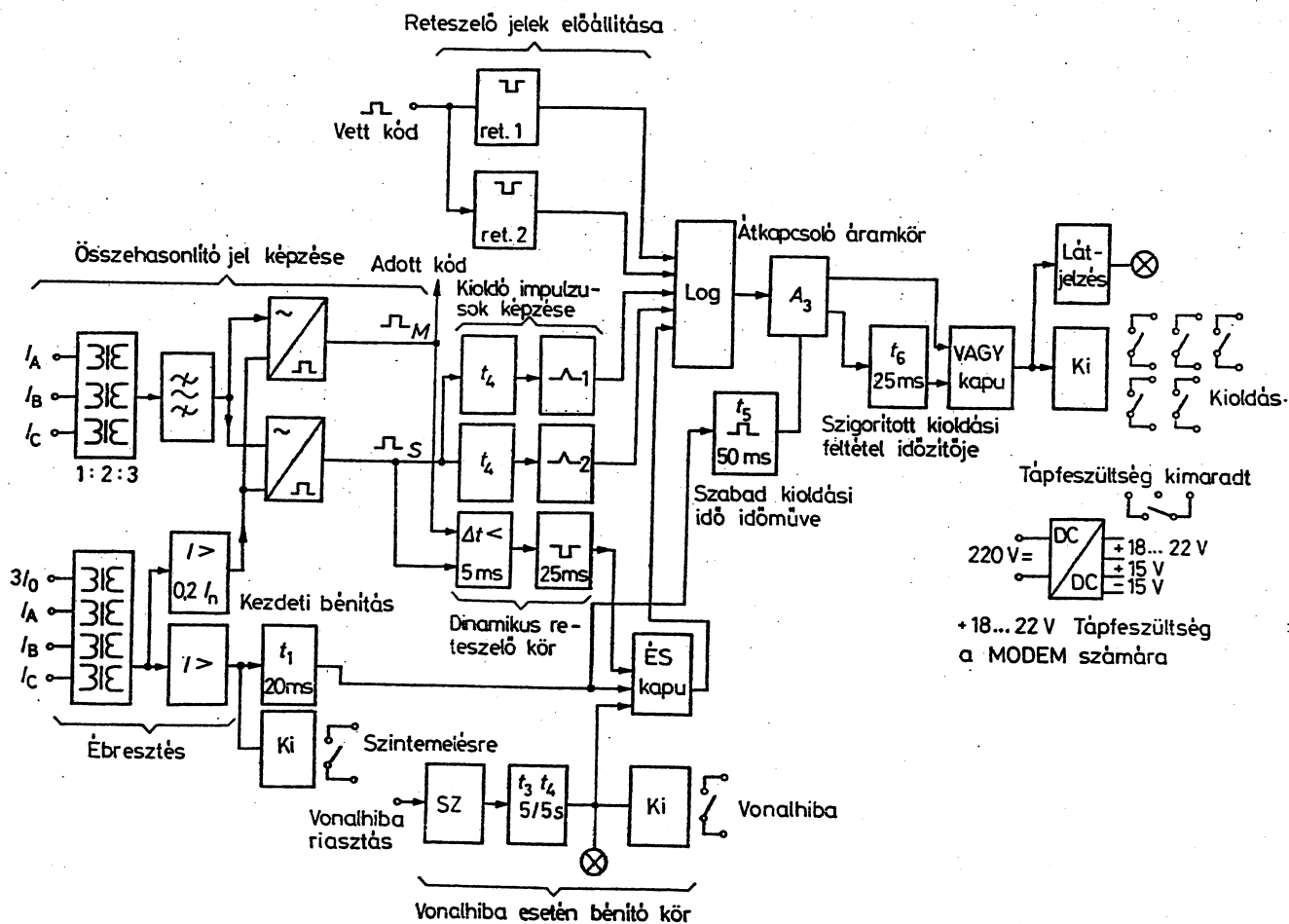


fázisszögtől függően kell meghatározni a kioldási és a reteszelési tartományt, a jelátvitel idejéből eredő fáziseltérést pedig kompenzálni kell. A gyakorlatban a kb.  $\pm 60^\circ$  reteszelési és a kb.  $\pm 120^\circ$ -os kioldási tartomány megfelelő (l. a 7.57. és a 4.61. ábrát).



7.57. ábra.

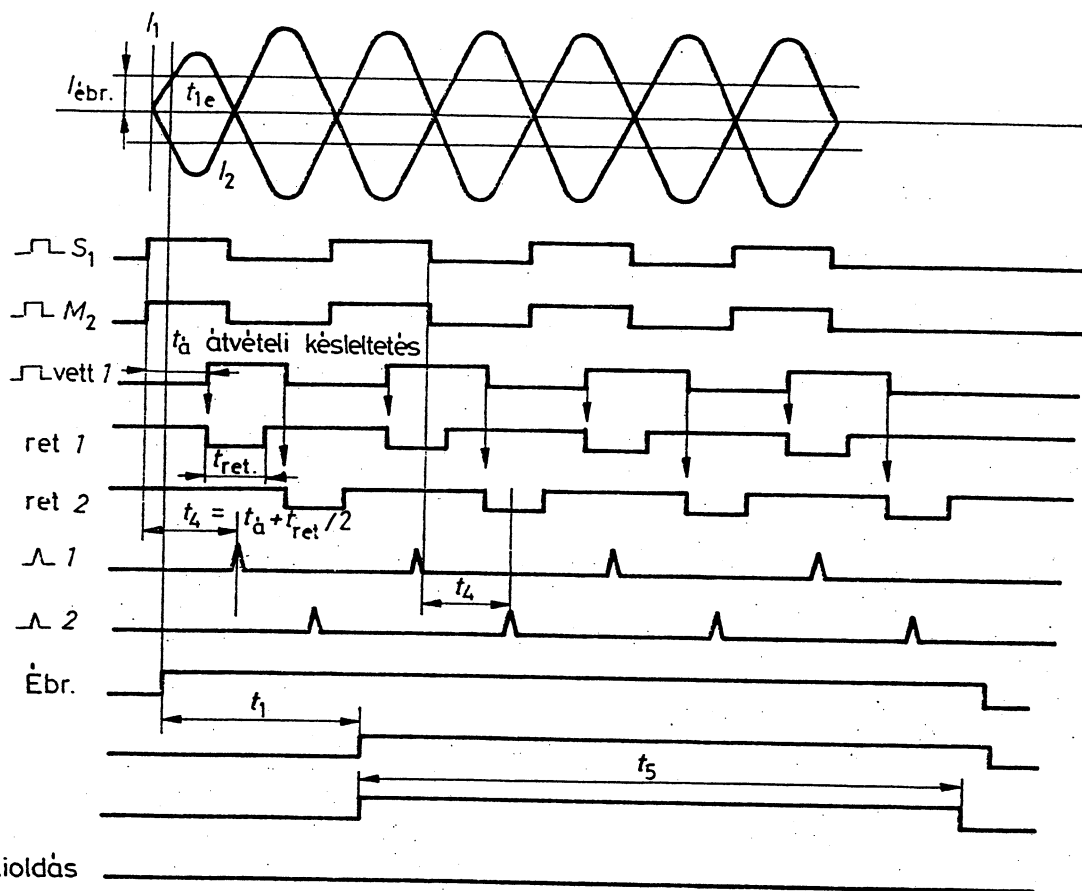
A fázisösszehasonlító szakaszvédelem működési elve



7.58. ábra. A HSZV21 szakaszvédelem tömbvázlata

Példaként a HSZV 21 fázis-összehasonlító szakaszvédelem tömbvázlata a 7.58. ábrán látható. A védelemben fázisáram-keverés került alkalmazásra. A túláramébrésztés a fázisáramok maximális pillanatértékének és a  $K \cdot 3I_0$  áramnak az összegét érzékeli.  $K$  értéke 0 és 3,5 között állítható, és a nullától különböző érték beállítására csak akkor van szükség, ha lehetséges olyan üzemi állapot, hogy a vezeték egyik végén csak fogyasztói transzformátor van. Ilyenkor ugyanis belső (vezetéki) zárlatnál a transzformátor felől csak zérus sorrendű áram folyik, és ez kisebb lehet az üzemi áramnál is, így a fázisok ébresztő túláramreléit nem lehetne beállítani.

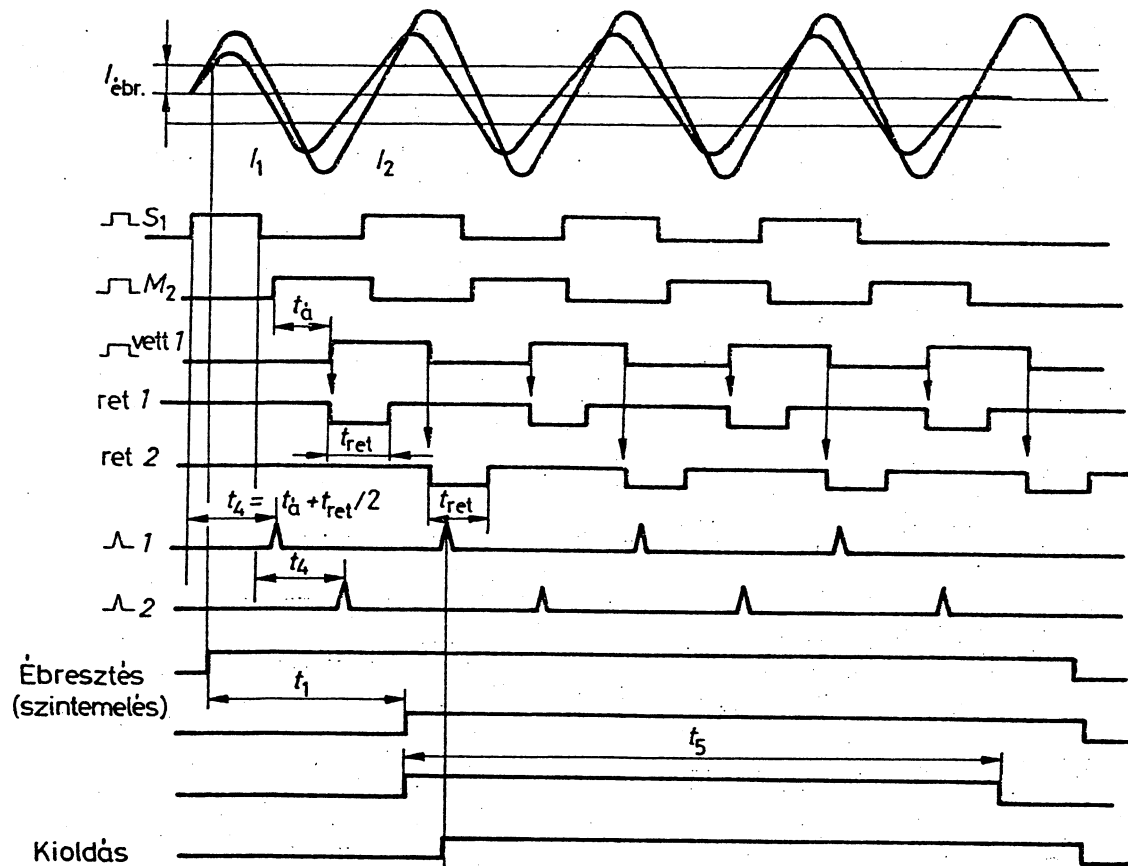
A védelem az összehasonlító jelet 1:2:3 arányú fázisáram-keveréssel állítja elő. A keverés utáni egyfázisú áram 50 Hz-es sávszűrőn át kerül a négyzetösítőkre. A szűrőre az egyenáramú tranzienst és az esetleges áramváltó-telítésből adódó felharmonikusok kiszűrése érdekében van szükség. Az egyenáramú tranzienst lecsengési görbéje az áramváltók szekunder időállandójától függ, és a két végponton különböző lehet, és ez jelentős látzólagos fázisszögeltérést tud okozni külső zárlatnál, amely téves kioldásra vezethet. Az ébresztés a négyzetösítőket csak  $0,2I_n$  áram felett engedi működni a zavarérzékenység csökkentése céljából. A két négyzetösítő  $M$  és  $S$  ellenfázisú jelet állít elő,  $M$  átvitelre kerül, az  $S$  jelet a saját oldalon használják.



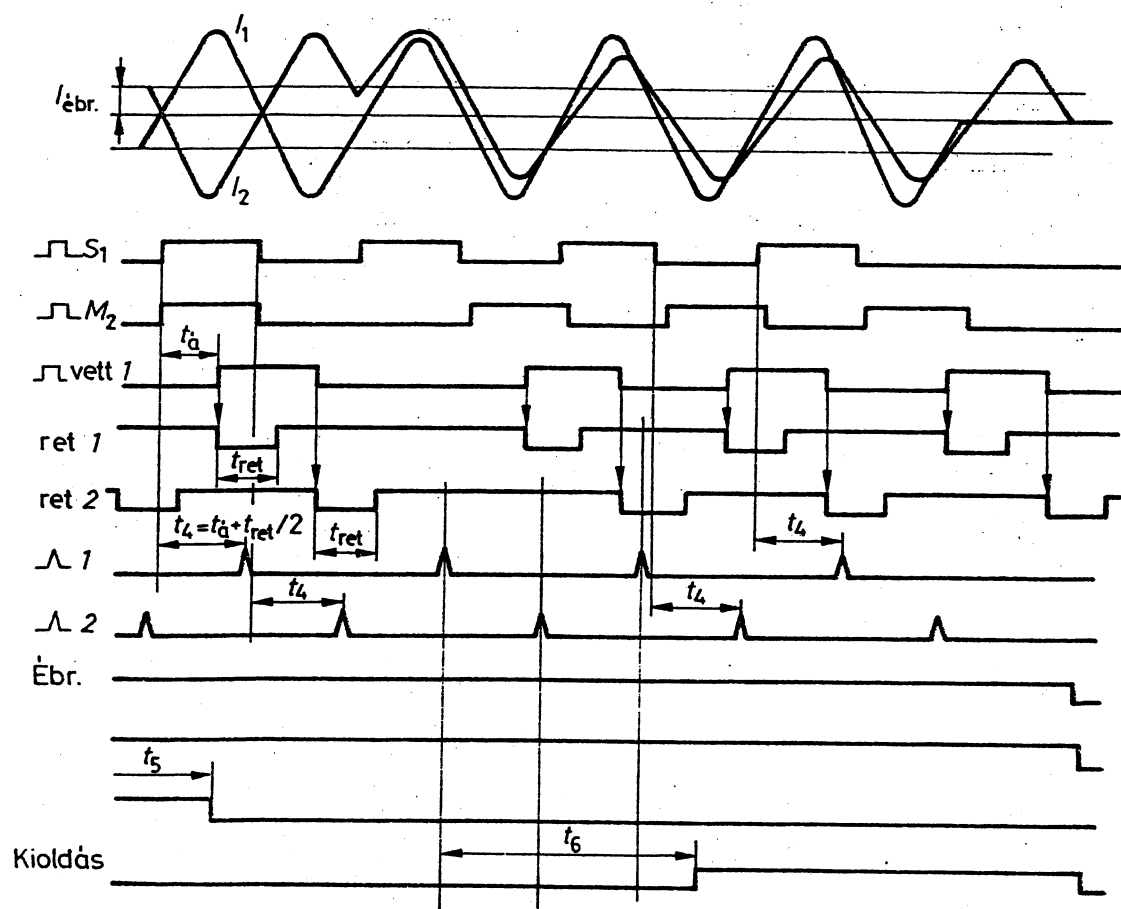
7.59. ábra. A HSZV21 működése külső zárlatra

Külső zárlat esetére a jelalakok a 7.59. ábrán láthatók. A védelmek bekötési irányítását figyelembe véve  $I_1 = -I_2$ , de  $M$  és  $S$  között  $180^\circ$  eltérés van. Összehasonlításra kerül  $S_1$  és  $M_2$ , a másik oldalon  $S_2$  és  $M_1$ , így fázisban azonos négyzetjeleket hasonlítanak össze. A vett jel a  $t_4$  átviteli idő miatt 5...10 ms-ot késik\*, ennek nullátmeneteinél kezdődnek a reteszimpulzusok. Szélességük határozza meg a reteszelési szög értékét ( $+60^\circ$ -nál  $t_{ret} = 6,7$  ms). A tömbvázlaton látható túláram-érzékelőt egy  $t_1 = 20$  ms-os időmű követi, ezen idő alatt kioldás nem lehetséges a kezdeti tranzienst nullátmenet-torzítása miatti téves kioldás megelőzésére. A  $t_4$  időművek késleltetése után kioldóimpulzusokat képezve ( $A_1$  és  $A_2$ ), majd ezeket a reteszimpulzusokkal összehasonlítva lehet megállapítani, vajon belső vagy külső zárlat lépett-e fel. Helyes beállítás esetén külső zárlatkor a kioldóimpulzusok a reteszimpulzusok közepére esnek ( $t_4 = t_a + \frac{t_{ret}}{2}$ ). A  $t_4$  időművek késleltetését üzembhelyezéskor kell beállítani, hogy az átviteli késleltetés is figyelembe legyen véve. Ha a kioldóimpulzusok reteszimpulzussal esnek egybe, kioldás nem történik.

\* Az átviteli késleltetés egyrészt a jel átviteli idejéből adódik ( $t_{ms} = \frac{l_{km}}{300}$ ), másrészt a csatolószerelvénnyel és -szűrők késleltetéséből. Ehhez az időhöz egyes MODEM-eknél még hozzáadódhat egy további késleltetés, ami az átviteli zavarokat csökkenti. A késleltetés legnagyobb részét a két utóbbi idő adja, ez összesen elérheti 10 ms-ot is.



7.60. ábra. A HSZV21 működése belső zárlatra



7.61. ábra. A HSZV21 működése átlépő zárlatra

Belső zárlatra a viszonyokat a 7.60. ábra szemlélteti. Az ébresztés után említett 20 ms reteszelési idő után a  $t_s \approx 50$  ms szabad kioldási időben már egyetlen olyan *kioldóimpulzus* is kioldást tud előidézni, amellyel nem esik egybe reteszimpulzus.

A tapasztalatok szerint a vívőfrekvenciás összeköttetés a zárlat keletkezésekor és megszűnésekor annak zaja miatt gyakran bizonytalanná válik. Ez külső zárlat esetén téves kioldást is okozhat, mert nem érkezik meg vagy rossz időben érkezik a vett reteszjel. Külső zárlat esetén az illetékes idegen védelem kikapcsolja a zárlatot, és az ív megszűnése 70...100 ms körül várható. Ekkorra lejár a  $t_s$  szabad kioldási idő, és egy szigorúbb kioldási feltétel kapcsolódik be: három egymást követő, olyan kioldóimpulzus szükséges, amely nem esik egybe reteszimpulzussal. Ez a megoldás külső zárlatkor megfelelő zavarvédeltséget biztosít, külsőről belsőre átlépő zárlat esetén pedig mindössze 25 ms késleltetést okoz (7.61. ábra). A  $t < 5$  ms-os időmű feladata lassú MODEM alkalmazása esetén a félperiódusnál rövidebb impulzusok átvitelének elmaradásából adódó téves kioldás elkerülése. Ha két nullátmenet 5 ms-nál közelebb van egymáshoz,  $t_s$  25 ms-ra reteszeli a védelmet.

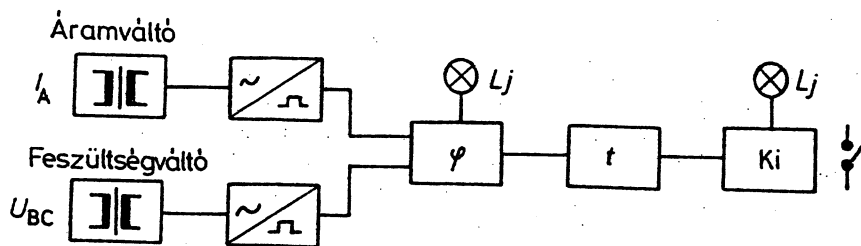
A vívőfrekvenciás berendezés adási energiájának szintemelésére szolgál az ébresztőelemre kötött késleltetés nélküli kontaktus. A szintemelés a zárlat ideje alatt javítja az átvitel jel/zaj viszonyát, és a kezdeti késleltetést figyelembe véve az emelt szintű jel külső zárlatkor még időben átér a túoldalra.

Az alkalmazott MODEM (vonalillesztő) a hangfrekvenciás jel vonalhiba okozta kiesésekor riasztást ad. Ez 5 s múlva bénítja a védelmet, és hibajelzőt működtet. Az összeköttetés helyreállítása után 5 s-mal a védelem újra üzemkész.

Hasonló elven működik a SIEMENS 7SD 31 típusú védelme is. Túláram és impedancia jellegű ébresztése van. Az alkalmazott keverés  $I_1 + 3I_2 + (4...10)I_0$ . Fázis-összehasonlítás csak periódusonként egyszer történik, és a szabad kioldási idő 25 ms, ezután viszont már egyetlen, ellenőrzött időben érkező kioldóimpulzus is kioldást okoz. A védelem a működéséhez szükséges hangfrekvenciás MODEM-et is tartalmazza.

#### 7.2.4. Elektronikus szögrelék védelmi célokra

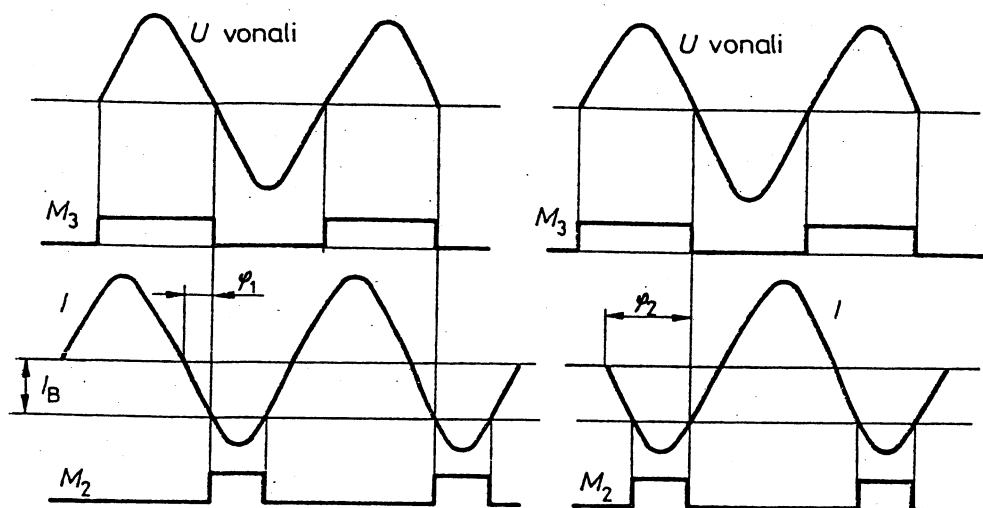
A 7.1.4. pont részletesen tárgyalja a fázisszög-érzékelők működését és a felhasználásukkal megvalósítható védelmi karakterisztikákat. Bizonyos egyszerűbb feladatokra ezeknek az elveknek a felhasználásával önálló védelmek is kialakíthatók. Ha az egyik érzékelt mennyiség feszültség, a másik pedig áram, teljesítmény-irányreléről van szó. Legegyszerűbb változata ennek a *visszteljesítmény-védelem*, amely a generátorok hatásos teljesítménye irányának megváltozását érzékeli, és kioldást ad, ha a főgőzszelep elzárása után a hálózat hajtja a generátort.



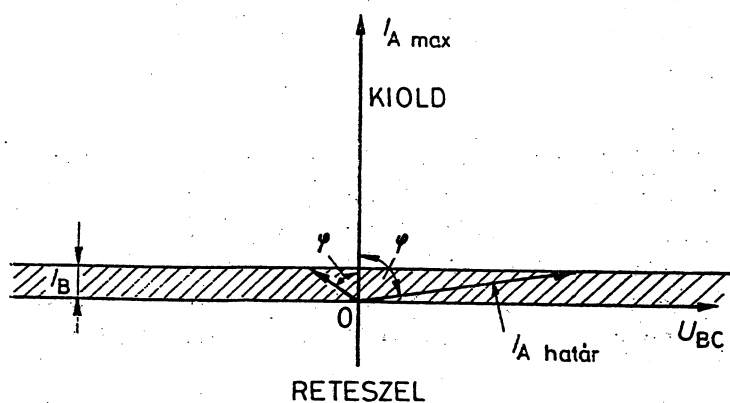
7.62. ábra. A visszteljesítmény-védelem tömbvázlata

A visszteljesítmény-védelem a 7.62. ábrán látható tömbvázlata alapján az ilyen védelmek felépítése jól követhető. Az áram és a feszültség a közbenső áramváltók és feszültségváltók után négyzetesítőre kerül, majd a szögérzékelő és az időmű következik. A 7.1.4. szakaszban ismertetett szögérzékelő belső szöge  $0^\circ$ , így, ha hatásos teljesítmény irányát kell érzékelni, akkor fázisáramot és vele szemben levő vonali feszültséget kell a védelemre kapcsolni.

Mint minden szögérzékelőnél, itt is problémát okozhat a feszültség- és árammentes állapotban jelentkező bizonytalanság, mert zérus mennyiségek szögét kellene érzékelni. A probléma a négyzetesítő null szintjének eltolásával oldható meg, tehát négyzetű csak akkor keletkezik, ha az áram és a feszültség egy küszöbértéket meghalad. A visszteljesítmény-védelem működésekor a feszültség teljes értékű, így csak az áram négyzetesítésénél kell szinteltolás, amivel a megszólalási érzékenység is beállítható. A 7.63. ábrán látható működési diagram a megszólalás két határhelyzetében ábrázolja a jelalakokat. Látható, hogy a megszólalási szögtartomány az  $I_B$  szinteltolás miatt az áramtól függő értékű, de mindig kisebb, mint  $180^\circ$ . Az EIW lt típusú védelemnél 5 A-es áramváltó esetében az eltolás mértéke 8,6 mA.



7.63. ábra. A visszteljesítmény-védelem működési diagramja a megszólas két határhelyzetében



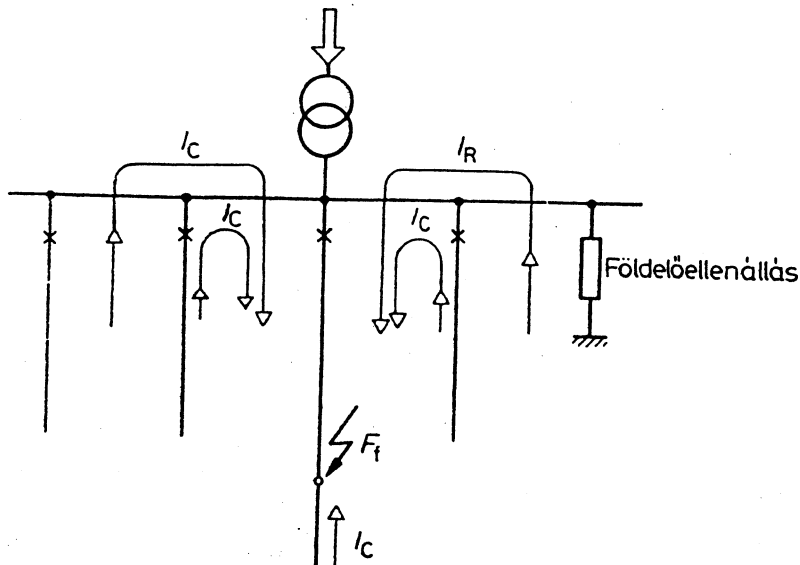
7.64. ábra.  
A visszteljesítmény-védelem  
kioldási jelleggörbéje

tehát a gyakorlatban előforduló áramok tartományában alig különbözik a kioldási tartomány  $180^\circ$ -tól. Erre a nagy érzékenységre azért van szükség, mert az *egységteljesítmény növekedésével* egyre *csökken* a generátorok hajtásához villamos oldalról szükséges hatásos teljesítmény *relatív értéke*.

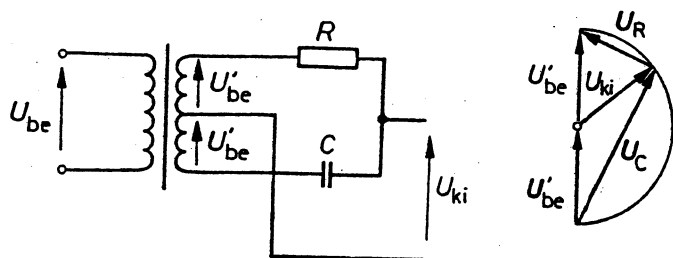
A 7.64. ábra mutatja a védelem kioldási karakterisztikáját, azaz a kioldás határán levő áramvektorok végpontjainak mértani helyét. Látható, hogy a kioldás feltétele:  $|I| \cos \varphi = \text{állandó}$ , s ez a névleges feszültség közelében járó gépnél a felvett hatásos teljesítmény állandóságát jelenti.

Hasonló elven működik a kábelhálózatok földzárlatvédelmére szolgáló *földzárlati irányrelé*, amelynek VEIKI fejlesztésű változata EFV-1t típusjelű. A védelem zérus sorrendű feszültséget és a védett leágazás zérus sorrendű áramát érzékeli. Ez utóbbit célszerű gyűrűs áramváltóról venni, mert ennek hibaárama sokkal kisebb, mint a három fázisban elhelyezett áramváltó Holmgreen-kapcsolásával kialakított, zérus sorrendű kapcsolásé.

A 7.65. ábrán látható egy középfeszültségű sugaras hálózat egyvonalas sémája. Megfigyelhető, hogy földzárlat esetén a hibás és az ép leágazásokban folyó áram ellenkező irányú, tehát ez alkalmas a hibás ág kiválasztására (8.5.6. és 8.6.4. pont). A hibás leágazás árama a teljes hálózat kapacitív töltőáramának a hibás ág áramával csökkentett értéke és az esetleges csillagponti földelő ellenállás (hosszúföld) áramának vektoriális összege. Szigetelt csillagpontú hálózat esetén a földzárlati áram kapacitív, hosszúföldelés esetén  $45^\circ$  körüli fázisszögű. A maximális érzékenység eléréséhez szigetelt csillagpontú hálózaton  $\sin \varphi$ , a másik esetben  $45^\circ$ -os karakterisztika felel meg.

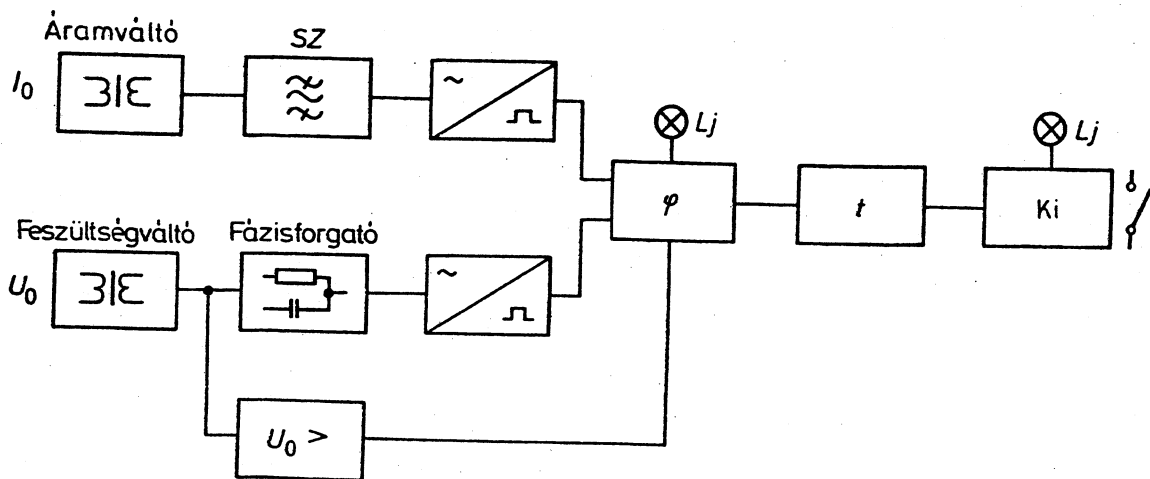


7.65. ábra. A földzárlati áramok eloszlása sugaras kábelhálózaton



7.66. ábra. A  $0 \dots 180^\circ$  tartományban használható fázisforgató kapcsolás

A VEIKI EFV – It védelmében alkalmazott fázisszög-érzékelő belső szöge nulla, így a  $\sin \varphi$  jelleggörbe megvalósítására közvetlenül alkalmas. A  $45^\circ$ -os karakterisztika eléréséhez a feszültséget négyszögesítés előtt  $45^\circ$ -kal el kell forgatni. A forgatásra a 7.66. ábra kapcsolása alkalmas. Ha az  $U_{ki}$  terhelőárama elhanyagolható, az ellenállás és a kondenzátor árama azonos, a feszültségük merőleges egymásra. A vektorok végpontja Thales-körön helyezkedik el, a kimeneti feszültség nagysága állandó, fázisszöge az RC elemek megválasztásával  $0 \dots 180^\circ$  között beállítható.



7.67. ábra. A földzárlati irányrelé (EFV It) tömbvázlata

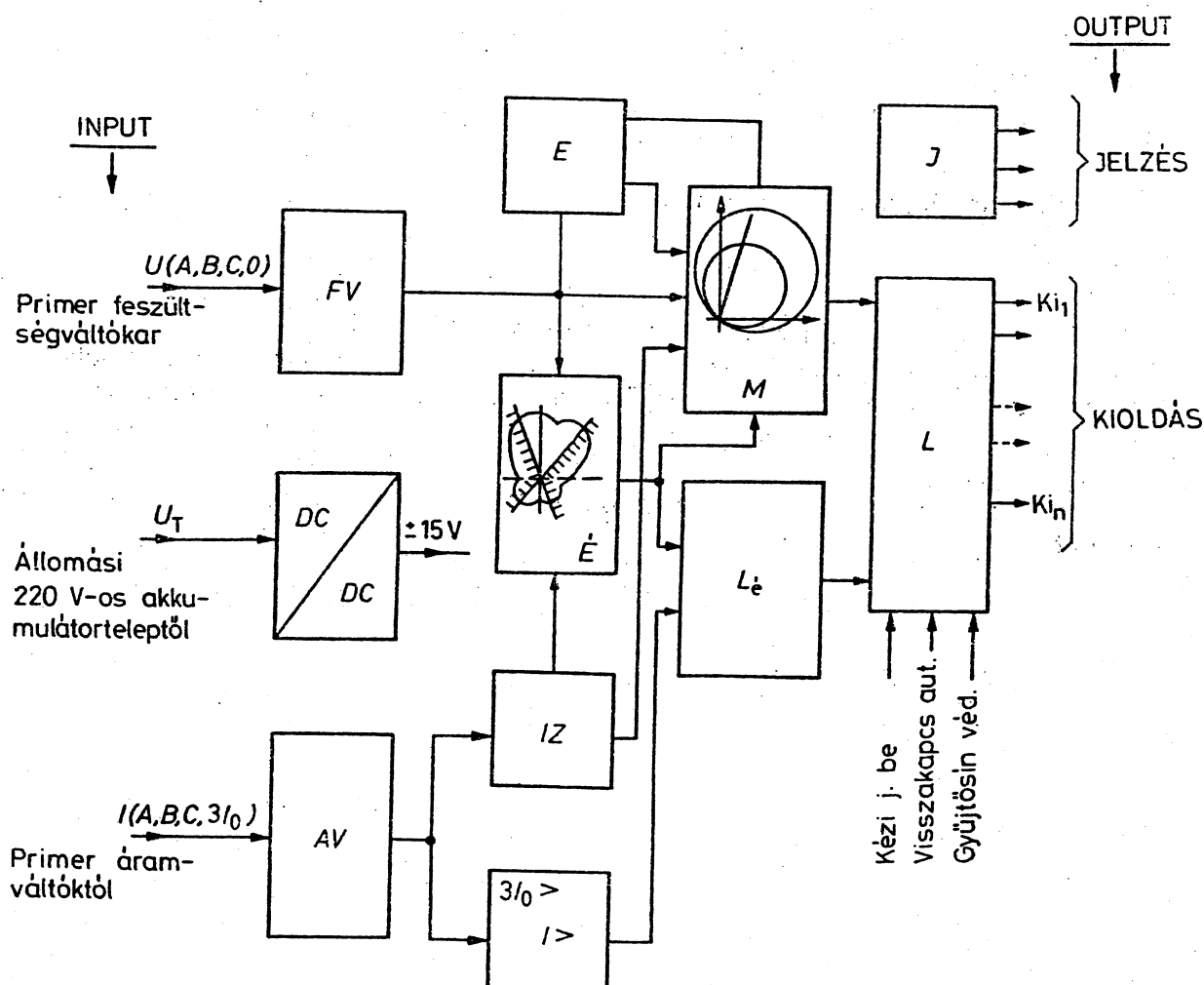
A kábelhálózatok földzárlati áramában a kábellel együtt kapcsolódó transzformátorok mágnesezőárama és a kábelek kapacitásai miatt jelentős mértékű felharmonikus van. Értéke meghaladja néha még az alapharmonikus összetevő értékét is. Kiszűrésére az említett védelembe beépített 50 Hz-es aktív szűrő (SZ<sub>1</sub>) hivatott. Ennek átviteli tényezője 50 Hz-en egységnyi, fázisforgatása 0°.

Az EFV – It típusú védelem tömbvázlata a 7.67. ábrán látható. A megszólalási érzékenység 10 mA, ami 150 menetes gyűrűs áramváltót alkalmazva minden olyan hálózaton lehetővé teszi alkalmazását, amely minimális állapotban a leghosszabb leágazás nélkül is 1,5 A fölötti földzárlati áramot ad.

## 7.2.5. Elektronikus távolsági védelem

### Alkalmazási terület

Az ETV típusú elektronikus távolsági védelem hatásosan földelt csillagpontú hálózatok gyors és szelektív zárlatvédelme. Kombinált háromfázisú ébresztőeleme lehetővé teszi, hogy a legszélsőségesebb hálózati adottságok mellett minden zárlatfajtát *biztosan és fázisszelektíven* érzékeljen. Az épfázisú hibaáramokkal és a terhelőárammal szemben igen nagy az érzéketlensége, mert ebben az áramirány-tartományban szűkített és speciális a karakterisztikája.



7.68. ábra. ETV tömbvázlata

## A védelem felépítése [59]

A 7.68. ábrán látható a készülék tömbvázlata, amelyen fő egységei és azok egymással való kapcsolatai szerepelnek. A távvezeték primer feszültségváltóira az *FV közbenső feszültségváltók* kapcsolódnak, amelyek egyrészt galvanikusan leválasztják a félvezető áramköröket, másrészt megfelelő feszültség szinten adnak táplálást az *E emlékezőelem*, az *M mérőelem* és az *É ébresztőelem* feszültség bemeneteinek. A távvezeték áramváltóira az *AV áramváltók* csatlakoznak, feladatuk a galvanikus leválasztás, a túláramrelék és a távvezetéki impedanciát leképező műimpedanciák táplálása.

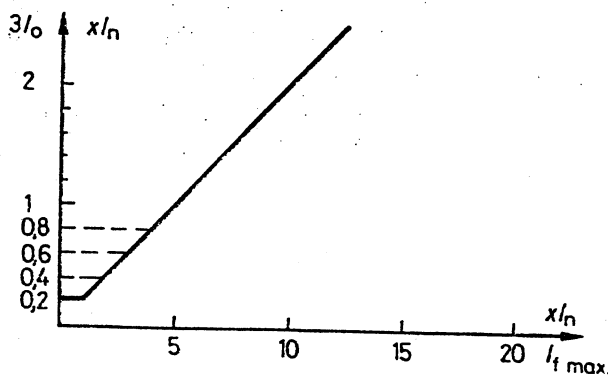
Az *L<sub>é</sub> ébresztési logikai egység* az ébresztőelemektől kapott információk alapján eldönti, hogy a zárlat a beállított *ébredési reaktancián* (hatótávolságon) belül van-e, milyen fázisú és típusú, ezután indítja az (*L*) kimeneti logika időreléjét, előkészíti a zárlatos fázis vagy fázisok kioldási útját. A *mérőelemek ez idő alatt megállapítják*, hogy a zárlat melyik fokozatban van, és ezt az információt az *L* kimeneti logikának átadják. A *kimeneti logika* az összes adat alapján eldönti, hogy melyik fázisban vagy fázisokban, milyen késleltetéssel kell kioldást adni.

A *J jelzőegység* a kimeneti logikán keresztül kapja az ébresztési és mérési információkat, külső jelzést és belső LED látjelzést ad, és a nyugtázásig tárolja azokat.

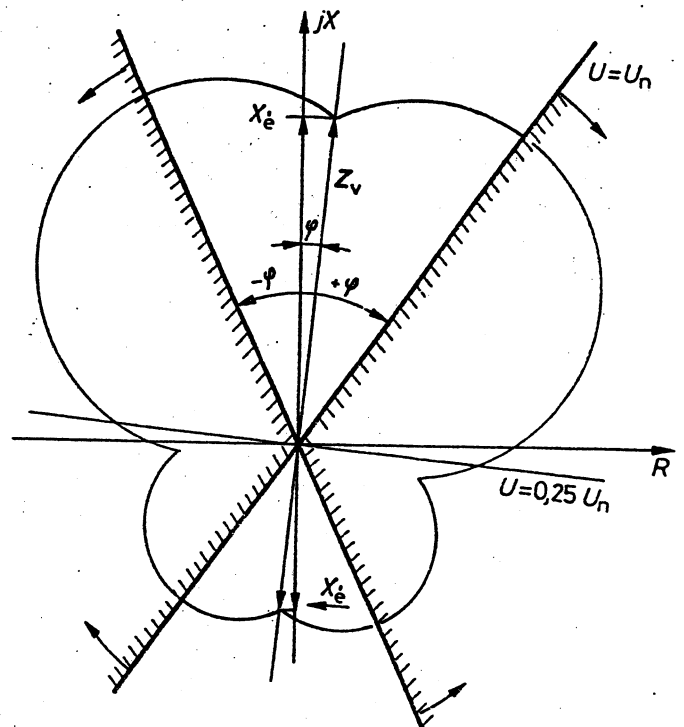
## Ébredtés

A készülék ébredési rendszere egy háromfázisú impedanciarelé, 9 db fázisszögrelé, fázisáramokra és zérus sorrendű áramra kötött túláramreléket tartalmaz. Először a relék működése és a rákapcsolt mennyiségek kerülnek tárgyalásra.

A túláramrelék fázisáramot érzékelnek, és feladatuk a védelem *minimális áramérzékenységének* meghatározása. A zérus sorrendű túláramrelé feladata a *földérintéses zárlatok* érzékelése. Ezt a célt *különleges, fázisáramokkal fékezett* karakterisztikával (7.69. ábra) éri el. Az ábra vízszintes tengelyén a fázisáramok közül a *maximális értékű* szerepel, a függőleges tengelyen pedig a zérus sorrendű áram alapharmonikusa, ugyanis az érzékelés gyors 50 Hz-es szűrőn keresztül történik. Ezzel a fékezett karakterisztikával el lehet érní, hogy a közeli, nagy áramú 2F vagy 3F zárlatokra a zérus sorrendű hibaáram téves megszólalást ne okozzon, ugyanakkor a távoli kis áramú földrövidzárlatokra biztos működésű legyen, mert érzékenysége ilyen esetekben megnő.



7.69. ábra. ETV zérus sorrendű túláramrelé



7.70. ábra.  
ETV ébredési karakterisztika



A háromfázisú impedanciarelé karakterisztikája egy fázisra a 7.70. ábrán látható. Az érzékelt impedancia:

$$Z = \frac{U_f}{I_f + 3I_0},$$

azaz a 4.4. alfejezet, ill. a 4.1. táblázat F2 kapcsolási jelű egyenlete szerinti. Ezzel a mérési móddal az ébresztőelem a földérintéses zárlatok és a tiszta háromfázisú zárlatok esetén helyes mérést ad. Kétfázisú zárlatok esetén ez az érzékelési mód természetesen helytelen eredményt szolgáltat, ezért az ábrán látható négy impedanciakör középpontja a  $Z_V$  távvezeték-impedanciától  $\pm 30^\circ$ -ra van. Az impedanciakör ilyen megválasztása azt eredményezi, hogy végtelen mögöttes zárlati teljesítmény esetén a 2F zárlati mérés, amely  $+30^\circ$ -ra fekszik, megszólalást ad (l. az [52] 3.22. pontját, ill. [3.37] egyenletét). Ha a zárlati teljesítmény véges, akkor a 2F zárlat esetén mért impedancia mindig kisebb, mint a pozitív sorrendű impedanciaérték. A relé beállítása a távvezeték pozitív sorrendű reaktanciájára és szögére történik, így ezzel a megoldással a zárlatok zömére (FN, 2FN, 3F) az ébresztés megfelelő lesz, míg a zárlatok egy kis hányadára (2F) túlmérést ad.

A kombinált háromfázisú impedanciarelének mérési elvéből adódóan van még egy különleges tulajdonsága: közeli FN zárlat esetén, amikor a zárlati áramkör a hibahelyi átmeneti ellenállás miatt gyakorlatilag ohmos jellegű, a két ép fázis polarizáló hatása miatt a relé által érzékelt szög nem  $0^\circ$ , hanem a mögöttes impedancia és a zárlati köri impedancia eredőjének szöge, így igen nagy hibahelyi átmeneti ellenállás és ívellenállás esetén is biztos a megszólalás. Az impedanciasík  $R$  tengelyének irányába speciálisan kibővített karakterisztika tehát ez okból nem szükséges. A három- és kétfázisú zárlatoknál az előbbieken leírt hatás azonban nem érvényesül. A relé impedanciadiagramja viszont ezekben az esetekben úgy módosul, hogy az  $R$  tengely irányába kibővül, ezáltal az ilyen típusú zárlatokra is megőrzi a nagy hibahelyi átmeneti és az ívellenállásokkal szembeni érzéketlenségét.

A fázisszögrelék működési diagramja is a 7.70. ábrán látható. Normál üzemben, amikor a feszültség névleges vagy szimmetrikus, akkor a fázisszögrelék vágási egyenesei a távvezeték impedanciavonalától  $\varphi = \pm 30^\circ$ -ra helyezkednek el. A két egyenes közrefogja a védett távvezeték impedanciáját, és ez a relé kioldási területe (l. [56.] és 4.26. ábra).

Ha a védelem felszerelési helyétől nagy távolságra lép fel zárlat, akkor az érzékelt zárlati impedancia szögét a hibahelyi átmeneti ellenállások nem befolyásolják, a hálózati feszültség gyakorlatilag nem törik le. Az ábrán látható, hogy ilyen esetekben a működési diagram megfelelő. Ha a zárlati hely közelít a felszerelési helyhez, akkor a zárlati kör impedanciájának szögét az ívellenállás és a hibahelyi átmeneti ellenállás egyre inkább befolyásolja, mégpedig csökkenti. A  $\varphi = \pm 30^\circ$  működési terület ebben az esetben nem biztos, hogy elegendő. Ezért a relé automatikus szögváltású: a feszültség csökkenésével a  $\pm 30^\circ$ -os szög növekszik. A készülékbe összesen kilenc fázisszögrelét építenek be a következő táplálással:

- 3 db fázisfeszültség – zérus sorrendű áram, ( $3I_0$ )
- 3 db fázisfeszültség – fázisáram, ( $I_R, I_R, I_T$ )
- 3 db vonali feszültség – vonali áram, ( $I_R - I_S$ ), ( $I_S - I_T$ ), ( $I_T - I_R$ ).

### Emlékezőegység

A mérőelemek holtávmentes irányérzékeléséhez a polarizáló feszültséget (4.2. alfejezet) emlékezőkapcsolás szolgáltatja. A fázisfeszültségekre olyan 50 Hz-re méretezett aktív szűrő csatlakozik, amely kimenetén fázisban megegyező feszültséget szolgáltat. Ha a szűrő bemeneti feszültsége megszűnik, akkor a kimenete 100 ms ideig fázisban és amplitúdóban az ép rendszernek megfelelő polarizálófeszültséget képes adni a mérőelemeknek. Ezen időn túl már a polarizáló feszültség fázishelyzete annyira megváltozhat a hálózati frekvencia és az aktív szűrő frekvenciájának különbözősége miatt, hogy a mérőelemek helytelen működését von-

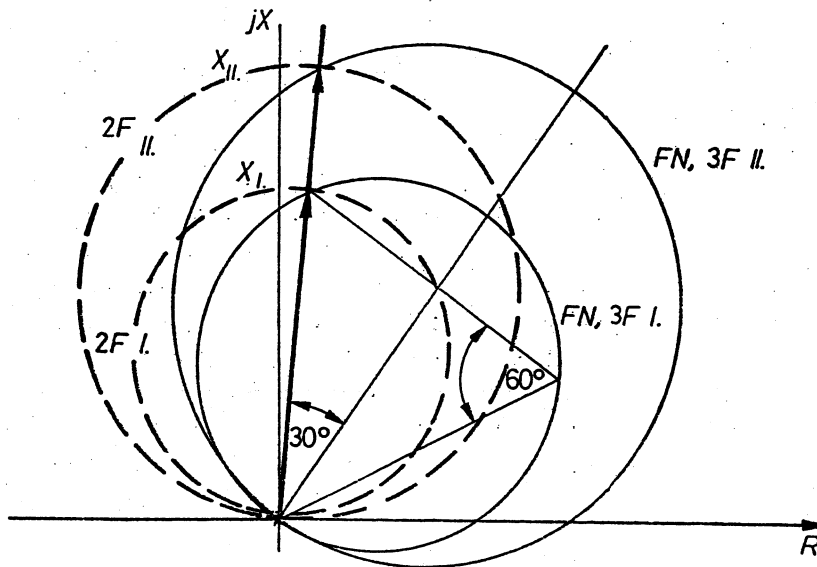
hatná maga után. A helytelen működés elkerülése érdekében egy olyan áramkör van beépítve, amely mindhárom fázisfeszültséget figyeli, és ha 5 % alá csökken a feszültség három fázisban, akkor egy időrelé 70 ms elteltével tiltóparancsot ad a mérőelemeknek. Ha a 70 ms engedélyezési idő alatt a mérőelemek megszólaltak, akkor az ébresztés megszűntéig öntartva megszólalva maradnak, ha nem, akkor a tiltóparancs ez idő után működésüket megakadályozza. Az aktív szűrők kialakítása olyan, hogy a távvezeték feszültség alá helyezésekor a háromfázisú feszültség megjelenése után 30 ms múlva képesek a helyes polarizálófeszültséget szolgáltatni. Rákapcsolásos zárlat esetén ébresztési gyorsítást (bekapcsoló parancs hatására csak ébresztésre pillanatműködésű 3F definitív kioldást) alkalmaznak.

## Mérőelem

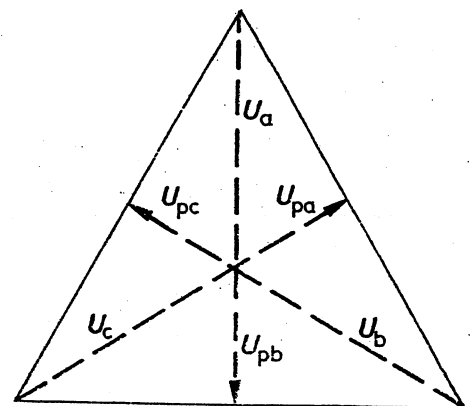
A védelem 8 db mérőelemmel rendelkezik. Ezek közül hat a földérintéses zárlatok és a háromfázisú zárlatok, kettő pedig a kétfázisú zárlatok érzékelésére szolgál. A mérőelemek bemenetei állandóan a hálózatra vannak kötve. Az ébresztés és mérés egyidejű paralel működése miatt érhető el, hogy a védelem alapfokozatban igen gyors működésű. A földérintéses és a háromfázisú zárlatokra működő mérőelemek által érzékelt impedancia a 4.1. táblázat F2 egyenlete szerinti (4.4. alfejezet), azaz:

$$Z_{\epsilon} = \frac{U_f}{I_f + \alpha \cdot 3I_0}$$

szerint 3F és FN zárlatfajtákra pozitív sorrendű impedanciát mér. A 2F zárlatokat értékelő mérőelemek szintén a pozitív sorrendű impedanciát mérik a Breszler-elv [16] alapján. A relék karakterisztikája a 7.71. ábrán látható mho karakterisztika.



7.71. ábra. ETV mérőelem-karakterisztikák



7.72. ábra.

Az ETV polarizálófeszültségei

Az FN és 3F zárlatok mérőelemeinek karakterisztikája a 7.71. szerint egy olyan kör, amelynek egyik pontja az origó, a másik pedig a távvezeték impedanciavektora, a kör kerületi szöge 60°. A relék a 7.72. ábra szerinti polarizálófeszültségeket kapják az emlékezőegységtől állandóan, átkapcsolás mentesen. Ez FN zárlatkor is így van, amikor közeli zárlatra teljes feszültségletörés esetén a polarizálófeszültség emlékezés nélkül is rendelkezésre állna.

Ha nem az emlékezés adná mindig a polarizálófeszültséget, akkor közeli zárlat fellépésekor a vektorháromszög eltorzulása miatt az azonnal elfordulna, tehát az impedanciakör billenne. Ez a billenés állandó emlékezéssel csak később következik be, amikor a relé már működött. Távoli zárlatoknál, amikor nincs jelentős feszültségletörés, akkor a relé tartja a karakterisztikáját, nem billen.

Az  $A$  fázisú relé polarizálófeszültsége

$$U_{PA} = -U_C + \frac{U_A + U_B}{2}.$$

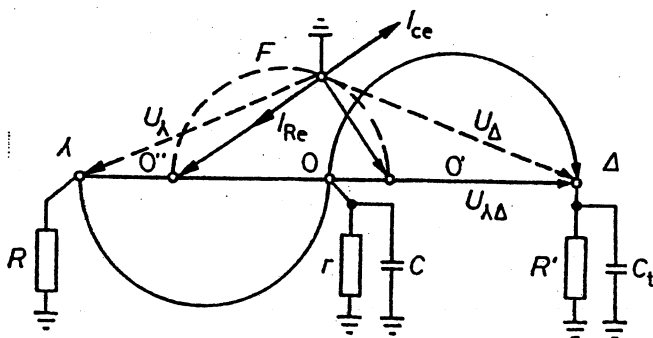
A relé karakterisztikájának egyenlete:

$$\arccos \frac{U_{PA}}{U_A - I_A Z_V} = 0^\circ.$$

### 7.2.6. Elektronikus generátorvédelmek (1. a 8.1. és a 8.2. alfejezetet is!)

A) Állórész-testzárlatvédelem harmadik harmonikus összehasonlító kapcsolással (Pázmándi-féle megoldás)

A generátorok állórésztekercseiben a mezőtorzulások miatt mindig indukálódik harmadik harmonikus feszültség-összetevő. Ennek nagysága a gerjesztéstől és a terheléstől függően kb. 1 : 3 arányban változik. A 150 Hz-es feszültség-összetevő tekercselés menti eloszlása a 7.73. ábrán látható. A harmadik harmonikus feszültség a háromszoros fázisforgatás ( $3 \times 120^\circ$ ) miatt mindhárom fázisban azonos, tehát zérus sorrendű. A menetekben indukált feszültségvektorok egymáshoz képesti szöge is háromszoros, ezeknek a törtvonalas rajzát közelítik az ábrán látható félkörívek. Megjegyzendő, hogy az ábrán az alapharmonikus egy fázisához tartozó  $60^\circ$ -os szektornak itt a  $180^\circ$ -os félkörív felel meg.



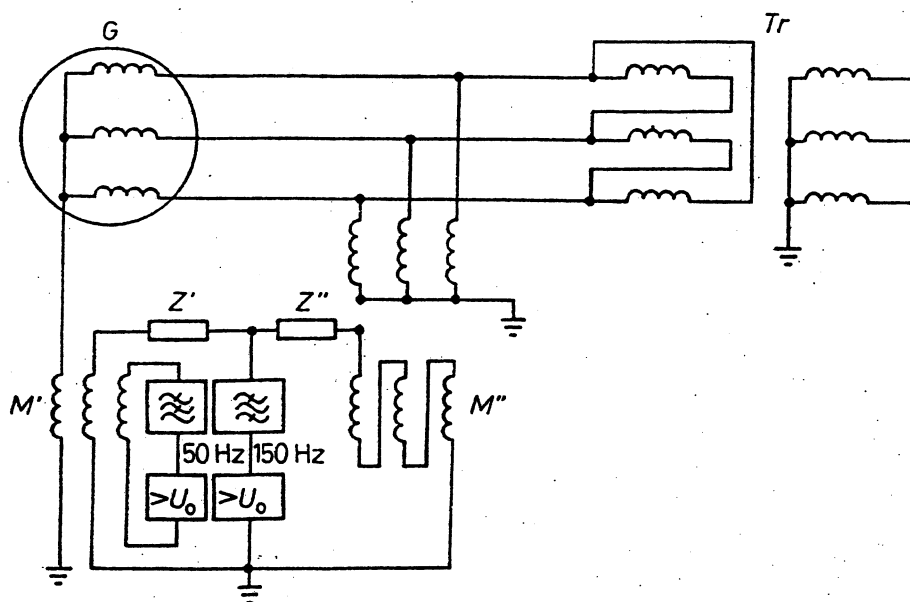
7.73. ábra. A harmadik harmonikusú feszültségösszetevő eloszlása a tekercselés mentén, földzárlatmentes üzemben

$C$  a generátortekercselés földkapacitása;  $C_t$  a transzformátor deltatekercsének és az összekötő sínezésnek a földkapacitása;  $R$  a csillagponti földelő ellenállás;  $r$  a generátortekercselés levezetési ellenállása;  $R'$  a sínezés és a blokktranszformátor deltatekercsének levezetési ellenállása;  $O'$  a kapacitások súlypontja;  $O''$  a levezetések súlypontja;  $F$  a földzárlatmentes állapot földpontja;  $I_{ce}$  a kapacitások árama;  $I_{Re}$  az ohmos levezetések árama;  $U_{\Lambda\Delta}$  a tekercsben indukált harmadik harmonikusú feszültség,  $U_\Lambda$  a csillagponti harmadik harmonikusú feszültség,  $U_\Delta$  a kapcsololdali nyitott delta harmadik harmonikusú összetevője

Földzárlatmentes esetben a feszültségeloszlást a tekercselések földkapacitásai és az esetleges csillagponti földelő-ellenállás együttesen határozzák meg. Mivel ezek közül a generátor földkapacitása a nagyobb, a súlypont – földzárlatmentes esetben a földpotenciál – kis mértékben a blokktranszformátor irányába tolódik el, ha csak a kapacitás hatását vesszük figyelembe. Földelő-ellenállás esetén az  $F$  földpont a kapacitások és a levezetések súlypontja közötti Thales-körön van ( $F$ ). A szimmetria miatt ugyanis az eredő áram nulla, s ez csak akkor lehetséges, ha a kapacitív és a rezisztív (hatásos) áram kiegyenlíti egymást. Látható az ábrából az is, hogy a súlypont nem esik a tekercs feszültségeloszlási görbéjére, tehát a tekercsben

bárhol fellépő földzárlat esetén van harmadik harmonikus hibafeszültség. Ezen az elven működik a Pázmándi-féle 100%-os generátorállórész-testzárlatvédelem, amely a blokk-kapcsolású generátorok védelmére szolgál.

A 7.74. ábra egy harmadik harmonikus feszültség-összehasonlító testzárlatvédelmet mutat be. Az ábrán látható feszültségváltók áttétele olyan (pl.:  $10\ 500/\sqrt{3}:100$ , ill.  $10\ 500/\sqrt{3}:100/3$ ), hogy a csillagponti feszültségváltó és a kapocsoldali nyitott delta azonos 50 Hz-es feszültséget adjon testzárlat esetén. Az ábra szerint testzárlatmentes üzemben a harmadik harmonikus feszültség csillagponti és kapocsoldali összetevője körülbelül ellenfázisú, így a hídkapcsolás impedanciáit helyesen megválasztva a híd kiegyenlíthető, és a 150 Hz-es szűrő után kapcsolt feszültségérzékelőre csak a hibafeszültség jut. Mivel a 150 Hz-es összetevő nagyságának változásával a feszültség eloszlása nem változik meg, testzárlatmentes állapotban a híd mindig kiegyenlített marad. Testzárlat esetén a testzárlatmentes üzem  $F$  földpontja és a zárlatos tekercspont közötti feszültséggel arányos hibafeszültség jelentkezik, ami a feszültségérzékelőt működteti. Szigetelésromlás, azaz nagy hibahelyi ellenállású testzárlat esetén a híd kimeneti feszültsége kisebb lesz, de még így is tud kioldást létrehozni.



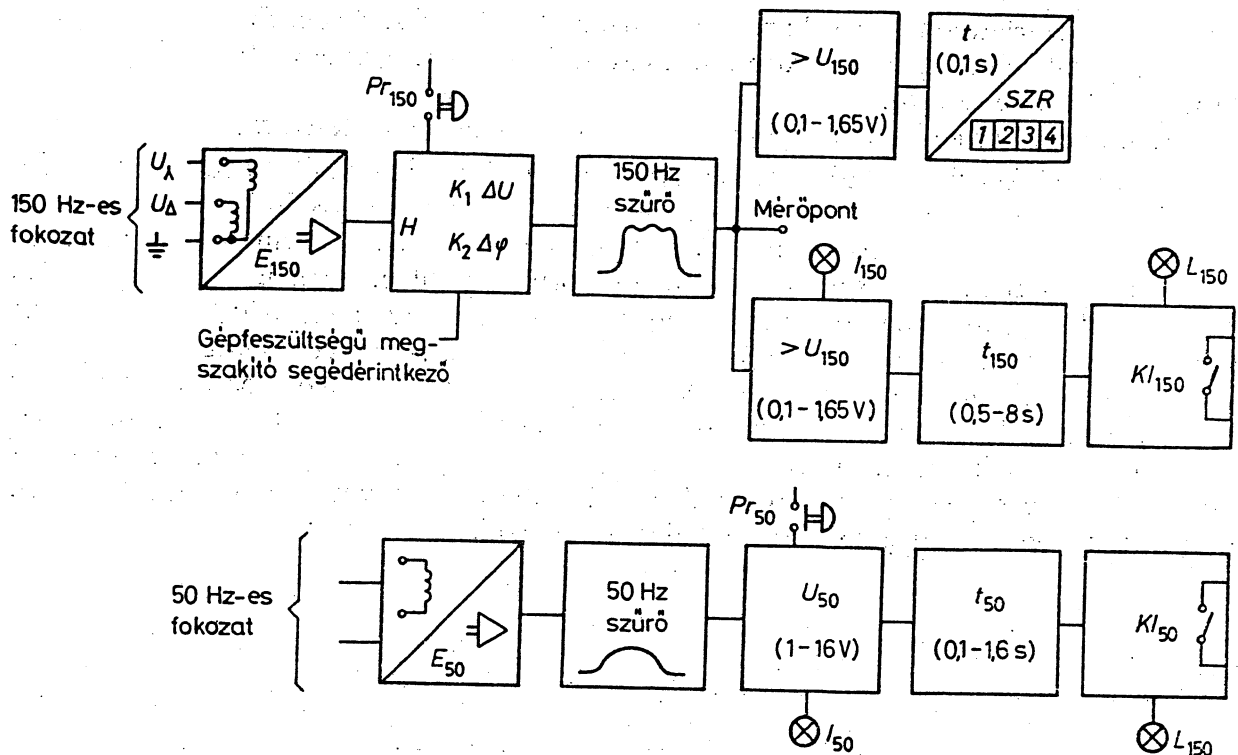
7.74. ábra.

A GTV-100 I testzárlat védelem működési elve

Gépfeszültségű megszakító alkalmazása esetén a blokktranszformátor lekapcsolódása megváltoztatja a kapacitáseloszlást, tehát a híd kiegyenlítését módosítani kell. Ez segéd-érintkezőről vett információval automatikusan megvalósítható.

A fenti elvű, VEIKI gyártású, GTV 100I típusú védelem tömbvázlata a 7.75. ábrán látható. Tartalmaz egy szokásos  $U_0 >$  relét, ami a tekercselés 80...90%-át védi. Az 50 Hz-es sávszűrő a csillagponti 150 Hz-es összetevő zavaró hatását küszöböli ki, így az érzékelő alacsonyabb értékre állítható be. A 150 Hz-es fokozat két érzékelőt tartalmaz. A kisebb beállítási számú számláló jelfogót működtet, megszólalása kezdődő szigetelésromlásra figyelmeztet. A második fokozat késleltetés után kioldást ad.

A tömbvázlaton látható hídkapcsolásban a  $K_1$  kapcsolósorral a földkapacitások által okozott ( $\Delta U$ ) eltérés, a  $K_2$  kapcsolósorral pedig a földelő-ellenállások miatti ( $\Delta \varphi$ ) eltérés egyenlíthető ki. A kiegyenlítetlenség a 150 Hz-es szűrő utáni mérőponton külső műszerrel ellenőrizhető. A védelem nyomógombokkal próbálható. Az 50 Hz-es fokozat megszólalási értéke a gomb megnyomásával néhány tized voltra csökken, és a természetes aszimmetriára megszólal az érzékelő. A 150 Hz-es fokozat próbajakor a védelmen belül a csillagponti feszültség rövidzárásával a csillagponti földzárlatnak megfelelő helyzet áll elő, s az érzékelők működnek. A próbagombok benyomásakor a kioldókörök bénulnak.



7.75. ábra. A GTV-100 I testzárlat védelem tömbvázlata

### B) Gerjesztéskimaradási védelem

A gerjesztés kimaradásakor a generátor viszonylag nagy meddő teljesítményt vesz fel, stabilitása lecsökken, kedvezőtlen esetben aszinkron járás is előfordulhat. Paralel járó generátorok túl-áramra kikapcsolódhatnak.

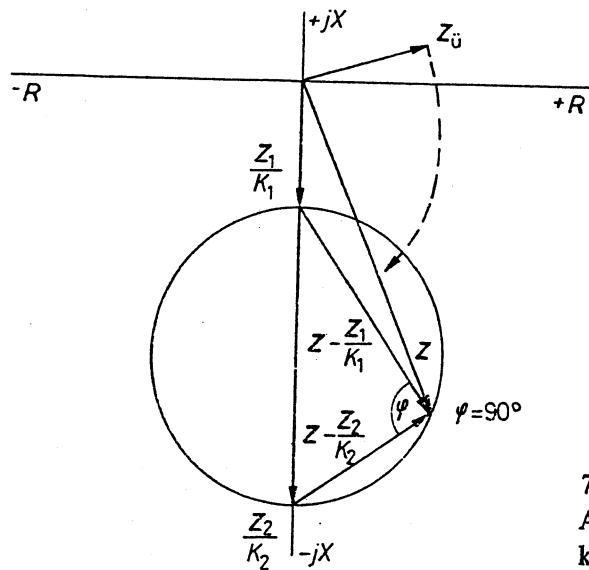
A fenti állapotot érzékelni lehet a 7.76. ábra szerinti karakterisztikájú védelemmel. A védelem a generátor kapcsainál levő feszültség és áram hányadosát érzékeli, irányítása az ábra szerint a hálózat felé mutat. Így normál terhelésnél, amikor a generátor hatásos és meddő teljesítményt szolgáltat, az üzemi impedancia vektora az első ténegyedbe mutat ( $+R$  és  $+jX$ ). Gerjesztéskimaradásakor a gép meddő teljesítményt vesz föl a hálózatból, tehát a  $+jX$  negatívává válik. A legerjedés folyamata a szaggatott görbe mentén játszódik le (1. részletesen a 8.1. alfejezetet). Mint ismert, gerjesztéskimaradás ellen az ábrán látható, kör karakterisztikájú impedanciavédelmet szokták alkalmazni. Ha a kör felső pontját a tranziens reaktancia felére, alsó pontját pedig a szinkron reaktancia kétszeresére állítják, a gerjesztés eltűnésekor az érzékelt impedancia biztosan a körbe hatol bele. Ez a jelleggörbe a 7.1.4. pont általános reléegyenleteivel a következő konstansválasztással állítható elő:

$$\begin{aligned} K_1 &= j|K_1| \text{ képzetes,} & K_2 &= \text{valós,} \\ Z_1 &= \text{valós,} & Z_2 &= -j|Z_2| \text{ képzetes,} \\ \text{arc } K_2/K_1 &= \varphi = 90^\circ. \end{aligned}$$

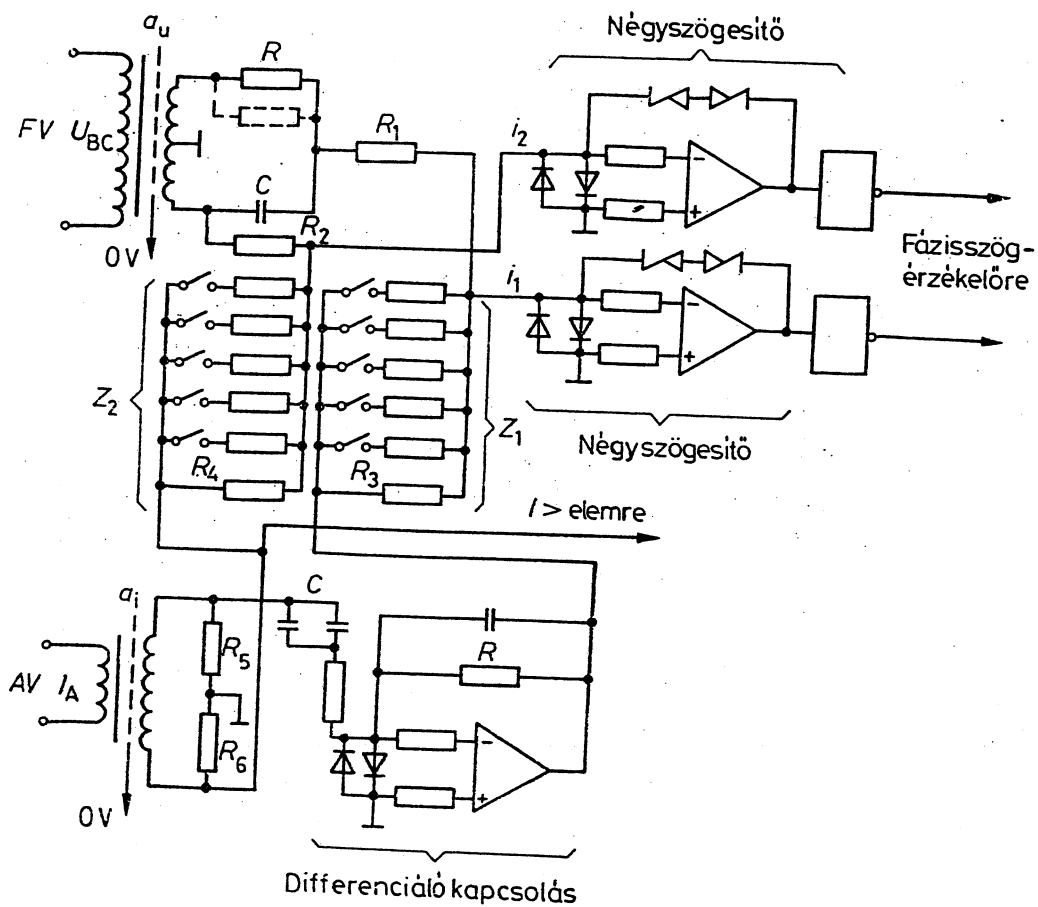
Ez arra az esetre vonatkozik, amikor a védelemre fázisáramot és fázisfeszültséget kapcsolnak. Hogy a földzárlatok esetén eltolódó fázisfeszültségek ne okozhassanak téves megszólalást, célszerű vonali feszültséget használni, mert ez földzárlat esetén sem változik. Ekkor azonban a konstansokat  $90^\circ$ -kal el kell forgatni:

$$Z_1 = -j|Z_1| \text{ képzetes,} \quad Z_2 = -|Z_2| \text{ valós.}$$

A többi konstans változatlanul hagyásával ugyanaz a karakterisztika érhető el.



7.76. ábra.  
A gerjesztéskimaradási védelem  
karakterisztikája



7.77. ábra. A gerjesztéskimaradási védelem működési jelleggörbéjét előállító kapcsolás

A fenti karakterisztikát megvalósító kapcsolásban (7.77. ábra) a  $K_1$   $90^\circ$ -os forgatását a földzárlati irányrelénel már ismertetett középleágazású feszültségváltó és a  $90^\circ$ -ra beállított, RC-kör biztosítja. A  $K_1$  abszolút értékét adó  $R_1$  két nagyságrenddel nagyobb, mint az RC elemek impedanciája, így nem terheli a forgatót. A  $K_2$ -nek az  $R_2$  felel meg. A  $Z_1 - 90^\circ$ -os forgatását az egységnyi erősítésű differenciáló kapcsolás biztosítja.  $Z_1$  abszolút értéke az  $R_3$ -mal és a vele paralel kapcsolható ellenállásokkal állítható be, így változtatható a kör felső pontja.

A  $Z_2$  fordított előjelét a lezáró ellenállások közepének földelésével lehet biztosítani, nagyságát az  $R_4$  és a vele paralel kapcsolható ellenállások adják. Ezzel állítható a kör alsó pontja. A  $K_1U - Z_1I$  és a  $K_2U - Z_2I$  kivonás a mérőváltók egyikének fordított bekötésével oldható meg. Mivel a négyszögesítő műveleti erősítők a Zener-diódás visszacsatolás miatt mindig lineáris üzemben dolgoznak, a bemenetük virtuális nullán van. Ezzel biztosítható, hogy az áramváltó és a feszültségváltókörök ne hassanak egymásra.

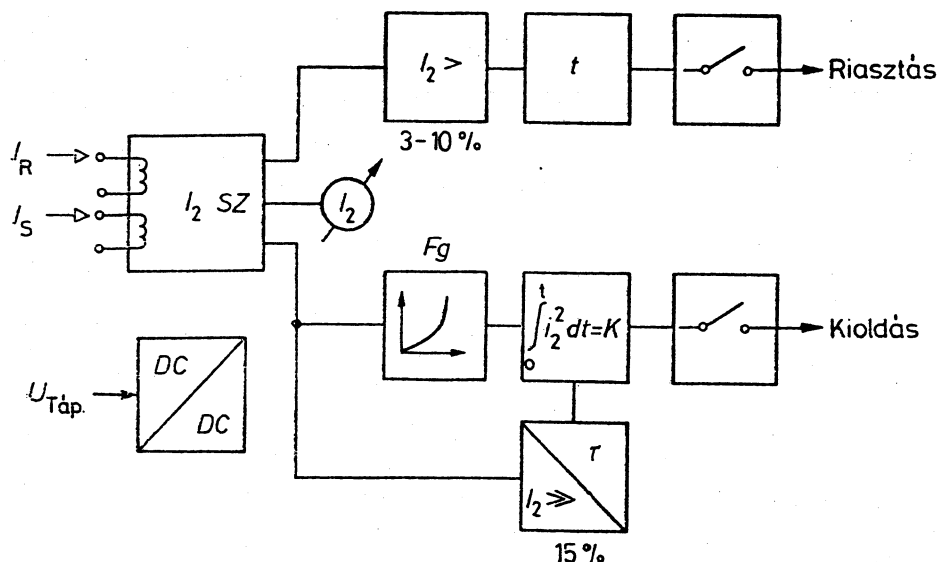
A védelem a fázisszög-érzékelőn kívül, a névleges áram 5%-ára beállított túláramérzékelőt is tartalmaz, ami a szögreléknél szokásos módon árammentes állapotban tiltja a kioldást.

Ha az időművet úgy módosítják, hogy az érzékelő rövid idejű visszaesései ne ejtsék vissza, hanem összegződjön az összes indulási idő, a védelem alkalmas aszinkron állapotba került generátor kikapcsolására is. Ilyen esetben ugyanis az átfordulások alatt az impedancia vektora váltakozva, bizonyos ideig a körön belül, majd a körön kívül tartózkodik, és így néhány átfordulás után el tudja futtatni az időművet.

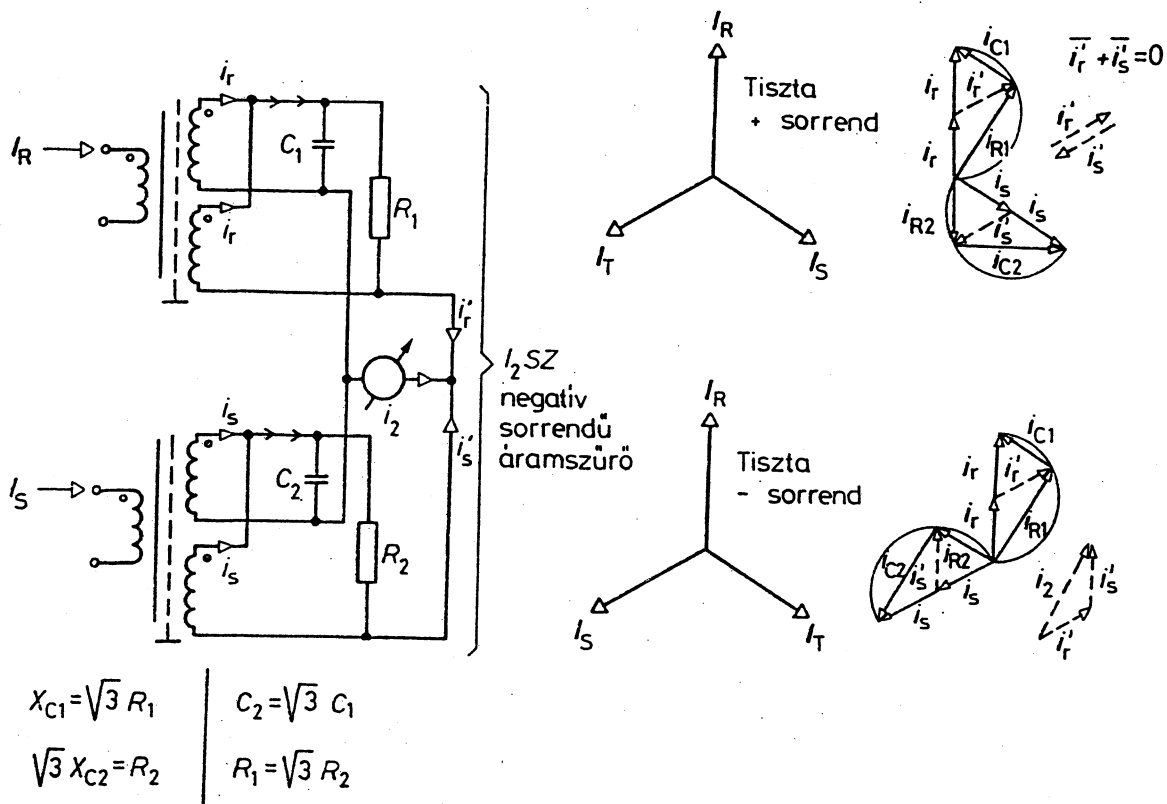
### C) Aszimmetriavédelem

Veszélyes üzemállapotot jelent a háromfázisú váltakozó áramú generátorok számára az, ha nem teljesen szimmetrikus hálózattal vannak kapcsolatban. Az aszimmetrikus üzemszervek miatt a generátor állórész-tekercselésében folyó, negatív sorrendű áram hatására ellentétes irányú, forgó mágneses mező alakul ki, és az a forgórészben 100 Hz-es frekvenciájú áramokat indukál, amely a forgórész felületét túlmelegíti, és súlyos sérüléseket okozhat. Elsősorban a tömör forgórészű turbógenerátorok vannak veszélyben. A veszély a generátorteljesítmény növekedésével fokozottan növekszik az egyre nagyobb fokú anyagkihasználás miatt. Egy 200 MVA-es teljesítményű turbógenerátornál pl. már 5%-os aszimmetriát sem szabad tartósan megengedni. A generátorokra telepített zárlat- és túlterhelésvédelmek egyike sem képes ilyen kismértékű aszimmetriák érzékelésére. Ezt a feladatot csak speciálisan erre a célra készült védelem tudja ellátni, és ezen belül is az igazán jó megoldást az elektronikus változatok képviselik.

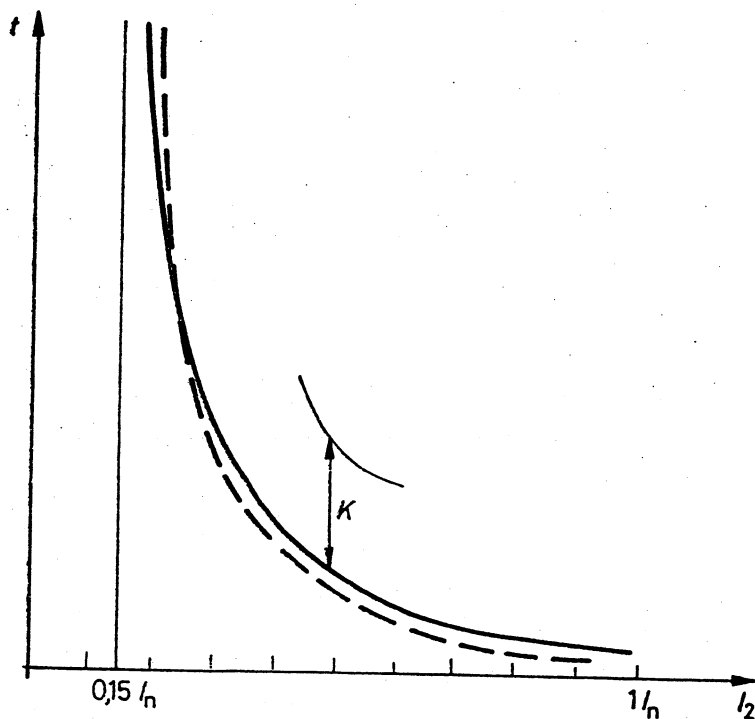
A hazai gyakorlatban elterjedt NTI-2i típusú védelem tömbvázlata a 7.78. ábrán látható. Ez kétlépcsős, negatív sorrendű, függő késleltetésű védelem, amelynek első fokozata csak riasztási célt szolgál, a második fokozata pedig a generátor negatív sorrendű áramának négyzetével fordítottan arányos késleltetéssel ad kioldást. Mivel a generátorok csillagpontja közvetlenül soha nem földelt, ezért a negatív sorrendű áram két fázisáramból ( $I_A$  és  $I_B$ ) egyértelműen



7.78. ábra. Kétlépcsős aszimmetriavédelem tömbvázlata



7.79. ábra. Frekvenciafüggetlen negatív sorrendű áramszűrő kapcsolása és vektorábrái tiszta pozitív sorrendű, valamint tiszta negatív sorrendű táplálás esetére

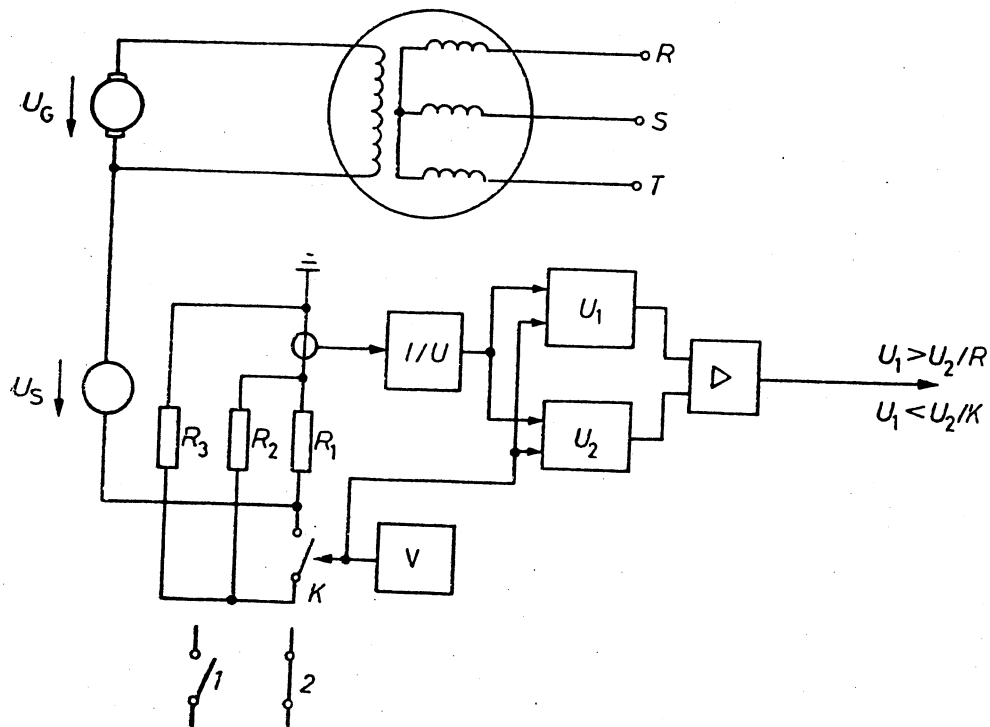


7.80. ábra.  
Az aszimmetriavédelem kioldási jelleggörbéje

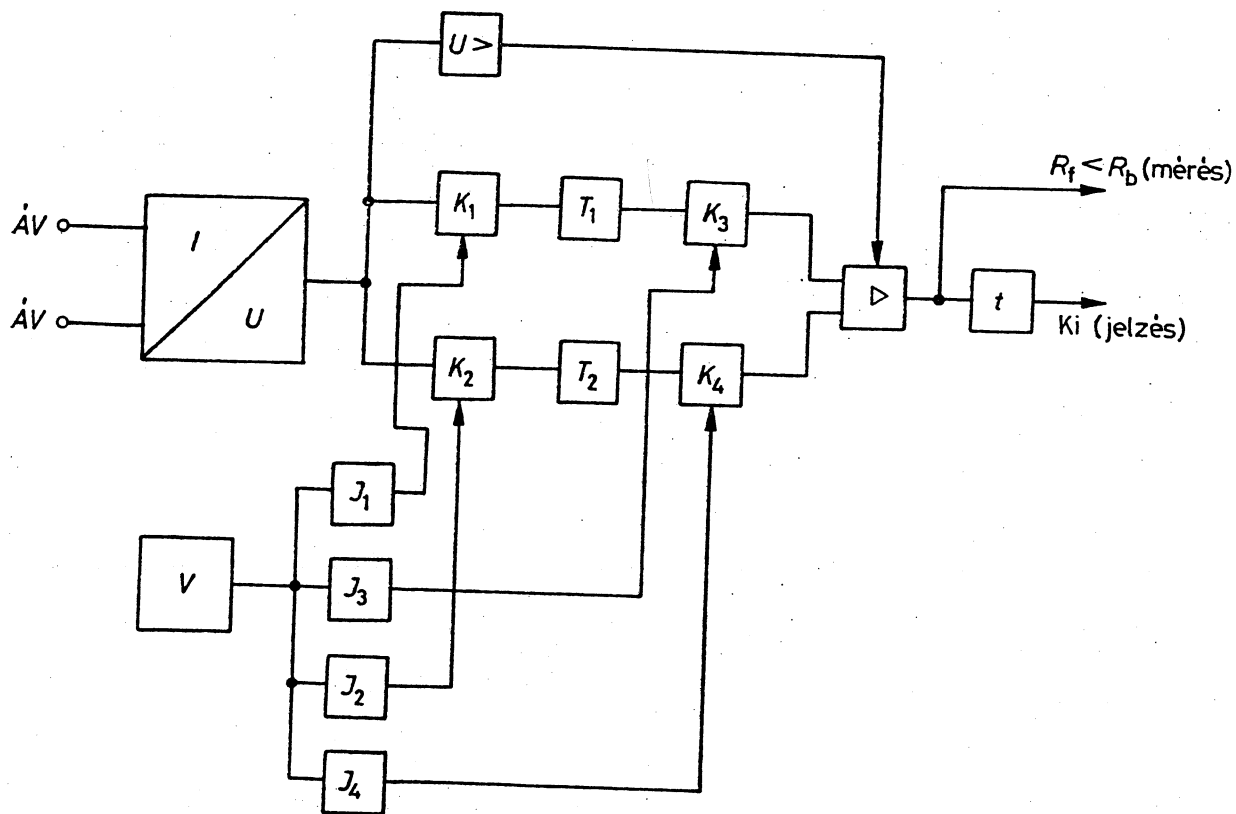
meghatározható negatív sorrendű áramszűrő segítségével. A 7.79. ábrán látható speciális szűrő fontos tulajdonsága, hogy bár RC tagokból van felépítve, az 50 Hz-es hálózati frekvencia környezetében érzéketlen a frekvenciaváltozásokra.

A védelembe beépített – a 7.78. ábrán is látható – mérőműszer folyamatosan mutatja a generátor áramának mindenkor negatív sorrendű összetevőjét. A védelem kapcsaihoz külső





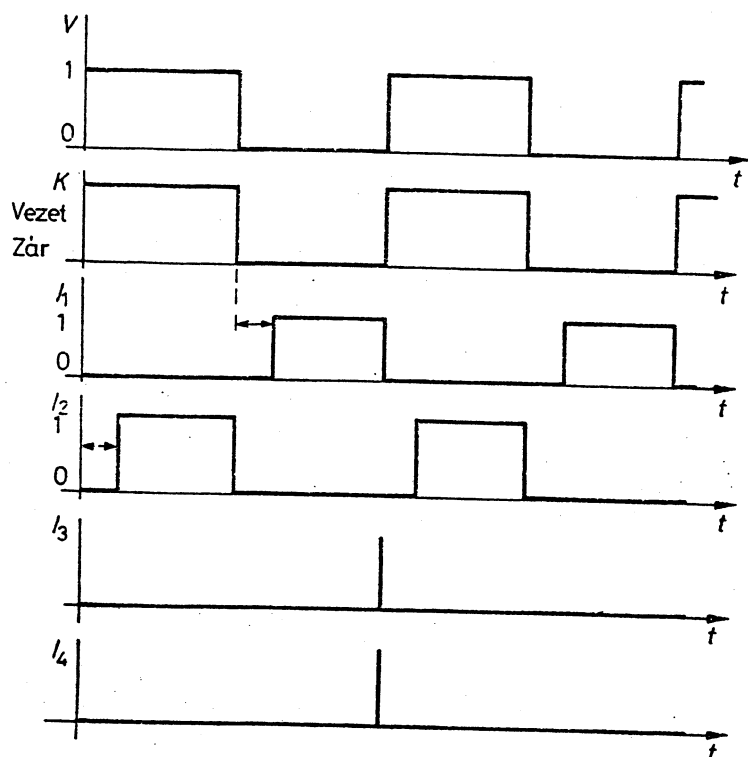
7.81. ábra. Forgórész egyponos földzárlatvédelmi tömbvázlata



7.82. ábra. A földzárlatvédelem kiértékelő rendszere

átfolyó áram kisebb, mint a nyitott állapotban mérhető. Ha viszont az ellenállás kisebb, akkor az áramok az előzővel ellentétesen változnak. A  $V$  vezérlőegység egyrészt a kapcsolót, másrészt az  $I/U$  illesztőegységen keresztül az áramváltóra csatlakoztatott  $U_1$  és  $U_2$  áramkörökben levő tárolóegységek (kondenzátorok) feszültségének megfelelő időpontban való összehasonlítását

és a tárolóelemek alaphelyzetbe állítását (kisütését) vezérli. A tömbvázlat végén levő erősítő a beavatkozó szervekhez vagy jelzőszervekhez való illesztést is ellátja. A kétfokozatú védelemben még egy átkapcsoló szerv található, amelynek segítségével az ellenállások rezisztenciája változtatható meg. A 7.82. ábra a kiértékelő rendszer tömbvázlatát mutatja be kissé részletesebben. A  $V$  vezérlőegység egy ütemadó astabil áramkör, amely a  $J_1, J_2, J_3$  és  $J_4$  jelformáló áramkörre csatlakozik. A jelformáló áramkörök (7.83. ábra) feladata a következő:



7.83. ábra.

A kiértékelő rendszer ütemdiagramja

– a forgórész-tekerceselés földkapacitásai által okozott tranziensek mérést meghamisító hatása úgy küszöbölhető ki, hogy a mérőárammal arányos feszültség tárolását csak a  $K$  kapcsoló állapotváltoztatása után meghatározott idővel kezdik. A  $K$  kapcsoló átkapcsolása utáni késleltetést a kapcsoló két állapotában a  $J_1$ , ill.  $J_2$  tömböt realizáló áramkör végzi.

– A kiértékelés folyamatosan végezhető, azonban gondoskodni kell arról, hogy minden kiértékelési ciklus végén a  $T_1$  és  $T_2$  tárolóban levő kondenzátorok kisütött állapotban legyenek. A kisütést és kapuzást a  $K_3$  és  $K_4$  tömb biztosítja, ezeket a  $J_3$  és  $J_4$  jelformáló áramkör vezérli. Mivel a kisütés alatt a tárolóelemek ellenőrizhetetlen állapotban vannak,  $K_3$  és  $K_4$  azt is biztosítja, hogy az adott idő alatt ne legyen kiértékelés.

A 7.82. ábrán az  $U >$  jelű egység feladata, hogy a mérőáram egy küszöbértéke alatt a kiértékelést végző differenciálerősítő ne legyen működőképes. A 7.82. ábra  $t$  egysége a készülék időművét jelenti. Ez működteti a kimeneti relét.

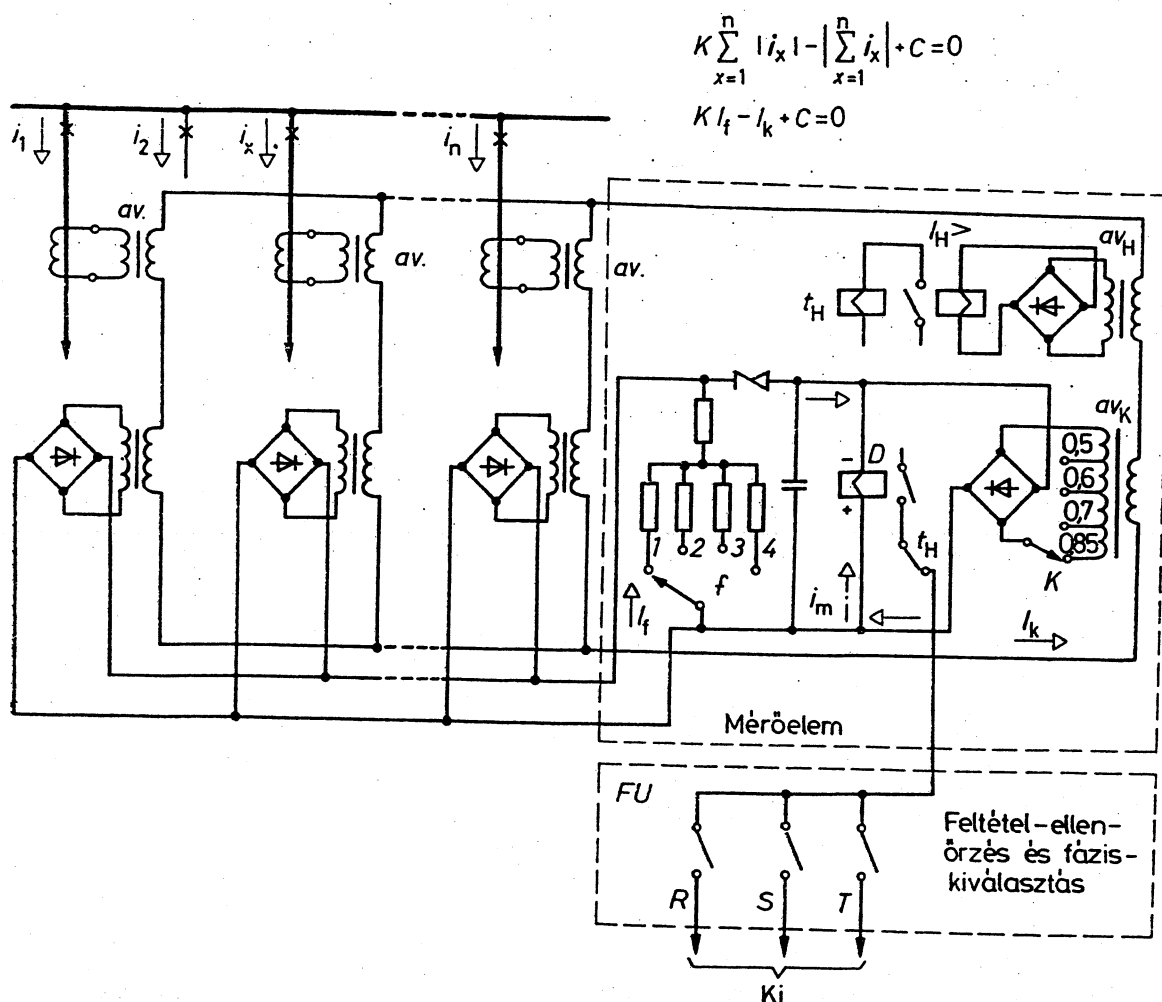
### 7.2.7. Elektronikus motorvédelem

A késleltetett túláramvédelem után a második, legnagyobb számban használatos védelemfajta a motorvédelmek csoportja. E védelmek az ipari létesítményekben sokféle hajtási feladatot ellátó, háromfázisú motorokhoz bizonyos teljesítményhatár felett éppúgy szükségesek, mint az erőművi segédüzemi motorok védelméhez. Feladatuk kettős. Egyrészt el kell látniuk a motorkapcsok közelében fellépő zárlatok gyors elhárításának feladatát, másrészt meg kell védeniük a motort a túlterhelésekből eredő károsodásoktól. Főleg ez utóbbi feladat megoldására született sokféle, egymástól eltérő fizikai elveken működő megoldás. Mindegyiknek közös

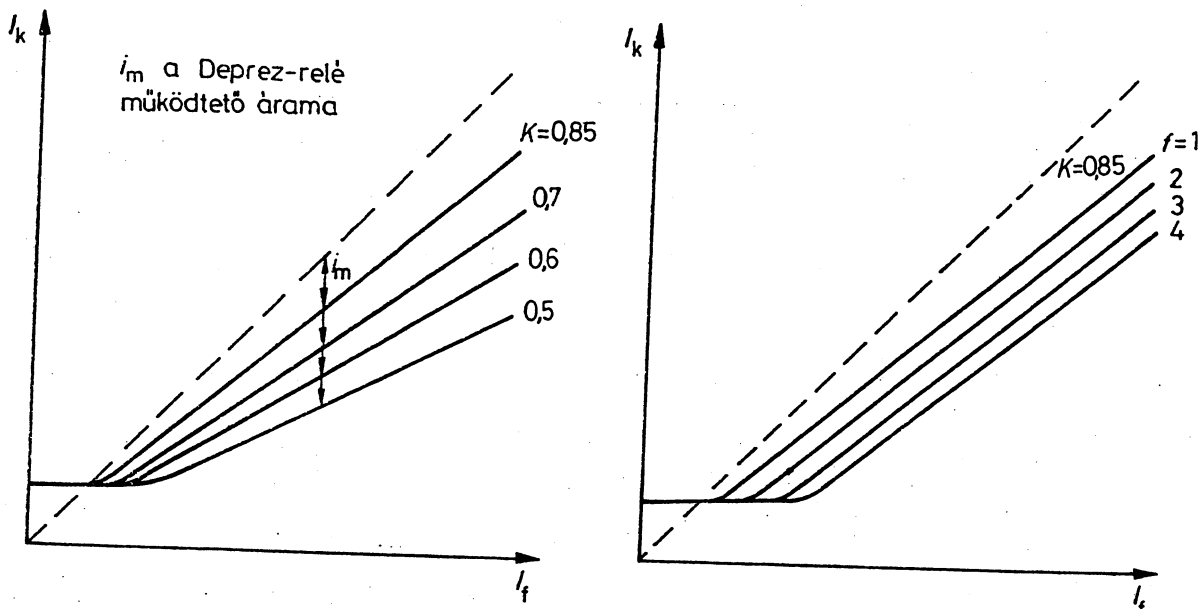
## 7.2.8. Elektronikus gyűjtősínvédelmek

Az energiarendszerek állandó növekedése miatt egyre nagyobb szükség van arra, hogy a gyűjtősíneken létrejövő zárlatokat a védelmek szelektíven és minél rövidebb idő alatt hárítsák, de külső zárlatok esetén ne működjenek. A korszerű gyűjtősínvédelem kialakításának a lehetőségét a félvezető eszközök megjelenése és az elektronikus megoldások teremtették meg.

A hazai gyakorlatban az első ilyen berendezés, amely a nagyfeszültségű hálózaton szélesebb körben elterjedt a DGyd típusjelű, magyar differenciálvédelem. Ez még csak részben elektronikus felépítésű. Mérőeleme félvezetővel kombinált Deprez-relés megoldású, fáziskiválasztó és feltétel-ellenőrző rendszere viszont már teljesen elektronikus kialakítású. Mérési elvét tekintve, a leágazási áramok abszolút értékeivel nemlineárisan fékezett, stabilizált gyűjtősínvédelem (4.8.3. szakasz). Egysínes primer elrendezésű állomásra egyfázisúan felrajzolt egyszerűsített kapcsolási vázlata és a mérésre vonatkozó általános egyenlete a 7.85. ábrán látható. A leágazási áramok vektoriális összege az  $av$  illesztő-keverő áramváltók után történik meg. Ezek az áramváltók az egyes primer áramváltók közötti áttételi különbségeket egyenlítik ki, és 3/1 fázisú keverést hoznak létre, hogy a védelem mérőkörét csak egyfázisúan kelljen kialakítani. Kétféle keverési módszer terjedt el, a  $(2I_R + I_S + 3I_T)$  és a  $(2I_R + I_T + 3I_0)$  keverés. A vektoriális összegzésből adódó  $I_K$  eredő differenciáláram az  $av_K$  megsaprolásos illesztő áramváltó utáni egyenirányítóról kerül a mérőelemben levő forgótekerces Deprez-relére, amelyet kioldóirányban gerjeszt. A leágazási áramok abszolút értékének összegéből képezett  $I_f$  eredő fékezőáram pedig nemlineáris áramkörön keresztül ellenkező polaritással kerül a relére. Ezzel olyan stabilizáló hatás érhető el, amellyel megakadályozható a közeli külső zár-



7.85. ábra. Deprez-relés mérőelemű, nemlineárisan fékezett gyűjtősínvédelem kapcsolása



7.86. ábra. A nemlineárisan fékezett gyűjtőszínvédelem kioldási jelleggörbéi

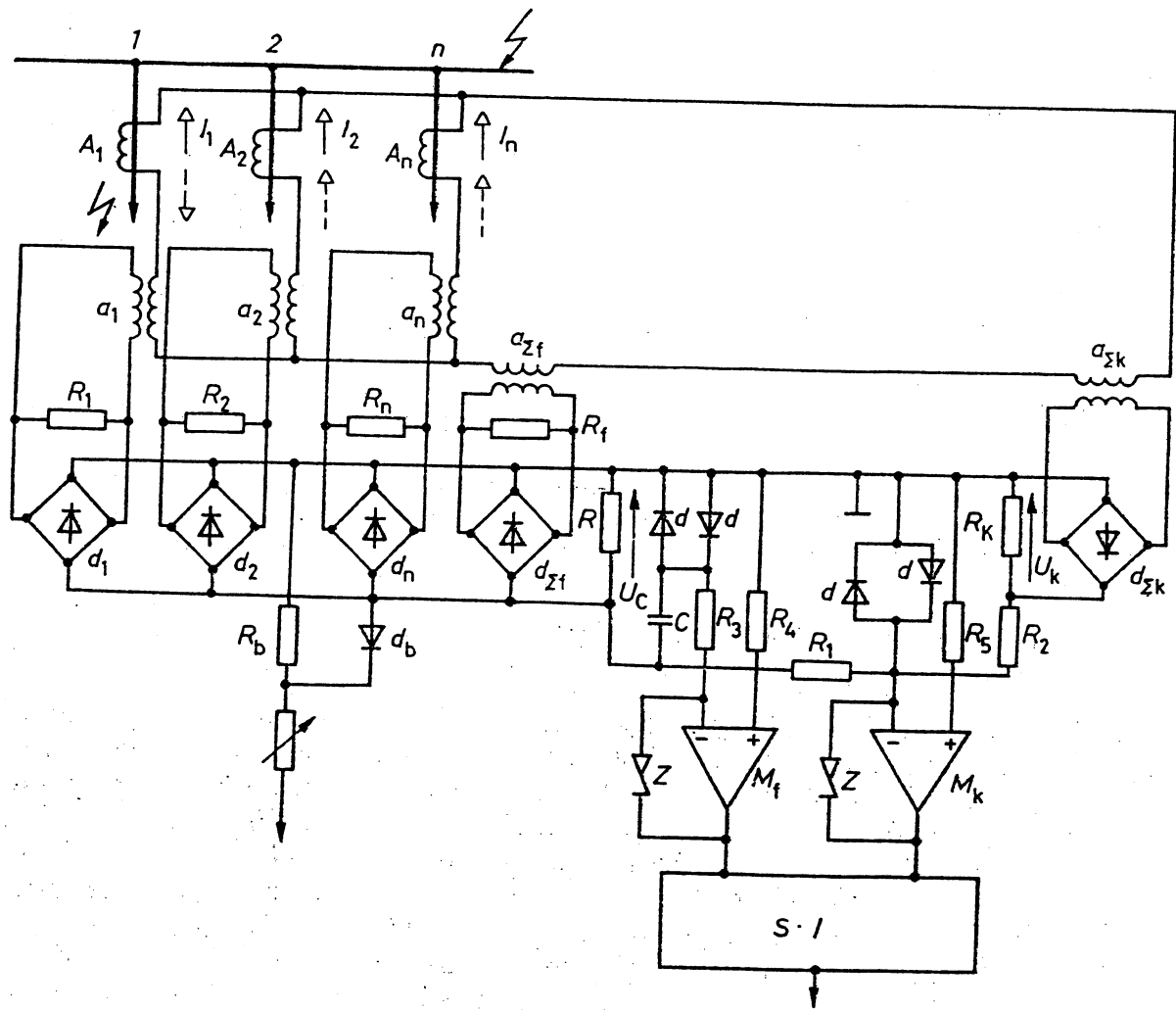
latokra történő téves kioldás. Egy nagy zárlati teljesítményű csomópontból kifolyó zárlati áram az érintett leágazásban a primer áramváltót erősen telítené, és emiatt hibásan megjelenne az  $I_K$  differenciáláram, amely kioldást okozna. A védelem kioldási jelleggörbéi a 7.86. ábrán vannak feltüntetve. Látható, hogy a védelemnek kétféle beállítási lehetősége van. Egyrészt a  $K$  értékkel a jelleggörbe dőlésszögét lehet beállítani, másrészt az  $f$  értékkel egy már beállított dőlésszögű görbét lehet önmagával párhuzamosan eltolni. Így a primer áramváltók telítődésének hatását egészen szélsőséges zárlati viszonyok esetére is ki lehet küszöbölni.

Az  $I_K$  differenciáláram az  $av_H$  áramváltóról táplált, nagyon érzékeny, kis árambeállítású egyszerű  $I_H >$  áramrelét is gerjeszti, amely a védelem névleges áramának kb. 10 %-ánál megszólal,  $t_H = 5 \dots 10$  s késleltetés után külső hibajelzést ad, és bontja a kioldóparancs útját. Ezzel azonnal felhívja a figyelmet az áramváltóköri hibákra, és megakadályozza, hogy tartós fennállásuk esetén külső zárlatokra vagy terhelési lökésekre a gyűjtőszínvédelem hibásan működjék.

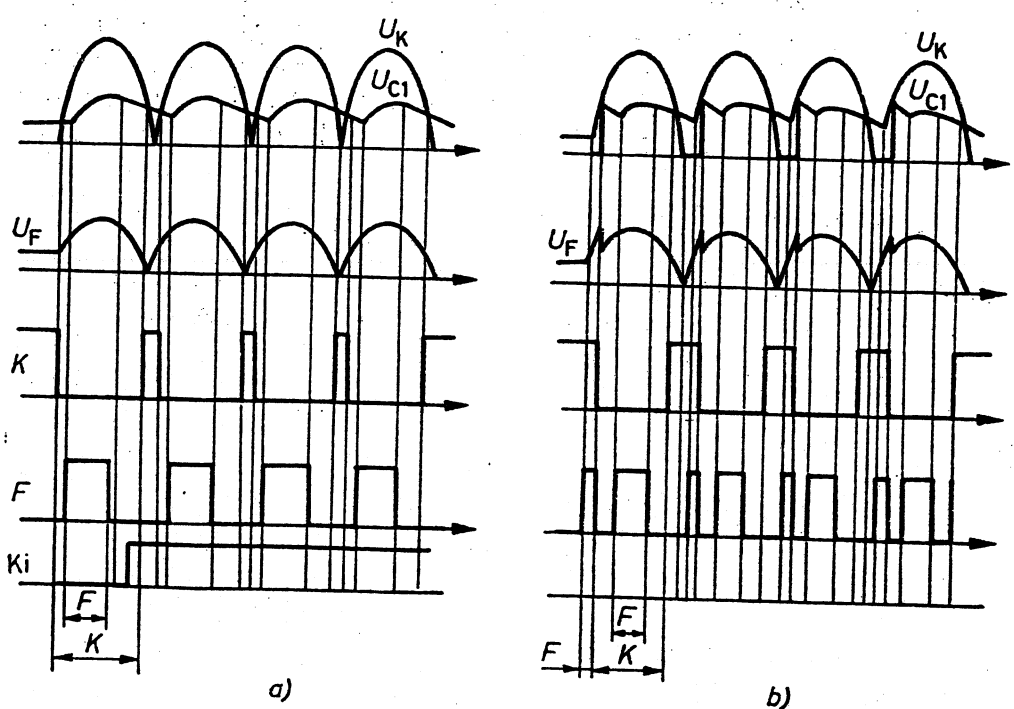
A téves működések fokozottabb biztonságú megakadályozását szolgálja a gyűjtőszínvédelmekben alkalmazott feltétel-ellenőrző rendszer, amely további járulékos feltételhez köti a kioldást. A DGyd típusú védelmekben erre a célra fázisonként kiépített FU feszültségcsökkenési érzékelőket alkalmaznak. Ezzel egyúttal a zárlatos fázis is kiválasztható, és a kioldás fázisszelektív lehet.

Többszínű rendszerekben természetesen a sínszelektivitást is biztosítani kell a leágazások tetszőleges diszpozíciójú kapcsolási állapotában. Ilyenkor annyi mérőelemre van szükség, ahány független gyűjtőszínszakasz létezik, és a leágazási szakaszoló állásának megfelelően kell rákapcsolni a kioldó- és fékezőáramokat az adott sínekhez tartozó mérőelemekre. Ugyanakkor a kioldóparancsokat is ennek megfelelően szét kell választani. A DGyd típusú védelmekben ez a primer kapcsolási képet másoló, belső átkapcsolórendszer memória tulajdonságú – állandómágneses bistabil – reed relével valósul meg. Ezáltal a védelem a szakaszolóállások másolására szolgáló kiterjedt egyenáramú hálózat esetleges hibái ellenére is a hiba előtti diszpozíciónak megfelelően működőképes marad.

A gyűjtőszínvédelmeknek korszerűbb, gyorsabb működésű, már teljesen elektronikus felépítésű újabb változata az EGYd típusú elektronikus gyűjtőszínvédelem, amelynek elvi kapcsolási rajza a 7.87. ábrán látható. Belső zárlat esetén mindegyik leágazási áram a gyűjtőszín felé folyik (folyamatos vonal), összegük átfolyik az  $a_{\Sigma K}$  és az  $a_{\Sigma F}$  áramváltókon. Az  $a_{\Sigma K}$  áramváltó létre, amely feszültség az  $R_2$  ellenálláson keresztül az  $M_k$  nullkomparátor bemenetére jut. Ugyanerre a bemenetre kapcsolódik az  $R_1$  ellenálláson keresztül a fékezési oldal ellenkező



7.87. ábra. Az elektronikus gyűjtősínvédelem kapcsolása



7.88. ábra. Az elektronikus gyűjtősínvédelem működési idő diagramjai

irányú  $U_C$  feszültsége. A fékezési oldal feszültségét a  $C$  kondenzátor szűri, értéke vagy a leágazási áramok abszolút értékeinek összegével, vagy a leágazási áramok közül a legnagyobb arányos. Az  $a_{\Sigma}^f$  áramváltón keresztül a fékezési oldalra hat még az összegág áramának a fele. A  $C$  kondenzátor áramát az  $M_f$  nullkomparátor figyeli, amelynek  $F$  kimenete töltődéskor logikai 1-be, kisütéskor 0-ba kerül. Az  $M_k$  komparátor  $K$  kimenete logikai 1, ha  $U_C > U_k$ , és 0, ha  $U_k > U_C$  (7.88. ábra). A kioldási oldal komparátora és a fékezési oldal komparátora egy fázisszög-megállapító áramkörre és egy túláramrelére kerül, amelyek  $\bar{E}$ s kapcsolatban adják a kimenetet. A 7.88a ábra gyűjtőszíntárolót, a  $b$  külső, leágazási zárlatot mutat. A sorrend-megállapító kapcsolás különbséget tesz a  $K \bar{F} K$  belső zárlatra és az  $F K \bar{F} K$  külső zárlatra jellemző eseménysorrend között ( $\bar{F}K$  a koincidenciát jelöli).

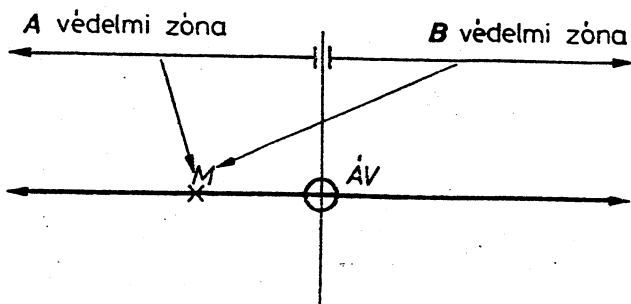
Az összegárammal arányos fékezésre azért van szükség, hogy ez (belső zárlatkor) mint a legnagyobb fékezés a leágazások hatását elnyomja, ugyanakkor a kioldást engedélyezi. Külső zárlatkor a leágazási áramváltó telítődéséig mindenkor igaz az, hogy a leágazási áram lesz a legnagyobb, tehát az  $F$  fékezőjel megelőzi a  $K$  kioldójelet, ezzel biztosítja a védelem reteszelését. A védelem 1,5 ms szélességű fékezőjelet még felismer, ezzel elérhető az, hogy a leágazási áramváltók közül a legkisebb áttételű áramváltó telítési áramának a kb. 40-szerese lehet a gyűjtőszín maximális zárlati árama, ugyanakkor a fékezést elegendő 50%-on vagy az alatt tartani. Ilyen kicsire állított fékezés mellett jelentősen csökken a túlfékezés veszélye. Még kedvezőbb a helyzet, ha a leágazási áramok abszolút értékeinek összege helyett a maximummal fékeznek.

### 7.2.9. Elektronikus megszakítóberagadási védelmek

A megszakítóberagadási védelmek (l. a 3.1.3a szakaszt) tartalékvédelmi berendezések. Mind a külföldi, mind a hazai elektronikus védelmek hasonló elven működnek. Közös jellemzőjük az is, hogy azonos védelemként kezelik a holtávzárlati és a megszakítóberagadási védelmi funkciót. A hazai és a külföldi gyakorlat elsősorban abban tér el egymástól, hogy külföldi (pl. BBC gyártmányú) védelmek vagy teljesen önálló védelemként, vagy komplex (gyűjtőszíntárolat + megszakítóberagadási) védelem részeként kerülnek kivitelezésre, addig a hazai gyakorlat más, megszakítóhoz rendelt védelmi és mezőlogika feladatokat is ellátó készülék részeként alkalmazza a megszakítóberagadási védelmet. A magyar energiarendszerben a megszakítóberagadási, a holtávzárlati és a rendellenes üzemállapot elleni védelem jelent egy készüléket alaphálózati szinten. A főelosztóhálózaton alkalmazott körkapcsolásos megszakítóberagadási védelemnek jelenleg az elektromechanikus változata terjedt el, az elektronikus védelem ennek elvében nem továbbfejlesztett változata.

#### a) Az alaphálózati megszakítóberagadási védelem működési elve

A holtávzárlati és megszakítóberagadási védelmi funkciók összevonása a 7.89. ábrán követhető. Ha  $B$  védelem megszólal, de a megszakító önideje (az ívoldási idő és a védelem visszaesési ideje) után az  $AV$  áramváltón folyik áram, akkor a megszakító beragadt, így  $A$  irányban járulékos mögöttes kioldás szükséges. Ha viszont az  $A$  védelem szólal meg, de a megszakító önideje



7.89. ábra.  
Megszakítóberagadási és holtávzárlati  
érzékelés elve