

ELSŐ ZH-kérdések kidolgozása: **BY HENTES**

A1) Bevezetés

1. Történeti áttekintés. A villamosság, mint jel- és energiahordozó.

Történet Mo-n:

Jedlik Ányos (Villamdelejes forgony, dinamó elv)

1880: Ganz Gyár Elektrotechnika Osztály

Bláthy Ottó, Déry Miksa, Zipernowsky Károly ->1885: TRAFÓ + a párhuzamos kapcsolás elve

1892: Bláthy tervezte Tivoli-i vízturbinás erőmű

Kandó Kálmán -> 1932 Fázisváltós V60 mozdony

Verebély László

Áramnemek: egyen- (AC), váltakozó (DC) áram

Jellemzők: frekvencia(f), periódusidő(T), amplitudó (I,U),energiatartalom(E,P)

Feszültség rendszerek: egyenfesz (villamos), vált fesz (o. hálózat), 3f (o. elosztó hálózat), egyfázis (lakóépületek)

Feszültség szintek:

Törpe: $U < 50 \text{ V}$

Kis: $50 < U < 1 \text{ kV}$

Közép: $1 \text{ kV} < U < 100 \text{ kV}$

Nagy: $100 \text{ kV} < U$

Feszültség nagysága: $U_n \pm 10\%$ a mérések 95%-ában Frekvencia: $50 \text{ Hz} \pm 1\%$ az év 99.5%-ában

2. Áramnemek, többfázisú rendszerek. A többfázisú rendszerek előnyei, a háromfázisú rendszerek tárgyalása.

A villamos energia termelése, átvitele, elosztása és felhasználása szinte kizárólag váltakozó áramú, háromfázisú rendszerben történik. Ez alól csak a nagytávolságú, nagyfeszültségű, egyenáramú átvitel és a kis teljesítményű egyedi fogyasztók képeznek kivételt. Különleges, nem háromfázisú nagy fogyasztót jelentenek a váltakozó áramú villamos nagyvasutak is.

A háromfázisú rendszer mellett szól mindenekelőtt az, hogy a térben 120 fokos irányokban elhelyezkedő, három tekercsből álló viszonylag egyszerű rendszerben - forgó mágneses mező hatására létrehozható az időben 120 fokkal eltolt háromfázisú elektromotoros-erő rendszer (szinkron generátor) - az időben 120 fokkal eltolt fázisáramok forgó mágneses mezőt eredményeznek, ami az egyszerű (aszinkron) motor alapja.

A háromfázisú rendszer előnyei teljes mértékben akkor jelentkeznek, ha a rendszer szimmetrikus. Ilyen előny az átvitelnél pl. az, hogy nem kell visszavezetés (negyedik ú.n. nullavezető), illetve ha van visszavezető (földelt csillagpontú rendszereknél ennek tekinthető a föld is), abban nem folyik áram és ezért veszteség sem keletkezik.

További előgy, hogy három a legkisebb olyan fázisszám, ahol a fázisonkénti teljesítmények összege (pillanatértékben is) időben állandó. (Ezt az értéket röviden háromfázisú teljesítménynek hívjuk)

A háromfázisú teljesítmény állandóságának jelentősége: Állandó nyomaték hat a generátorokra, állandó nyomatékkal dolgozhatnak a villamos gépek stb.

B2) Szupravezetők és alkalmazásaik

1. A szupravezetés felfedezése és jelentős Nobel-díjasai.

Kamerlingh Onnes fedezte fel 1911-ben a folyékony He-on végzett első kísérletei során. Közel tiszta Hg-on végzett mérései: ellenállása 4.2K-en közel zérusra csökkent. 1,5K ig hűtve megállapította, hogy ezer milliomod részére csökkent az ellenállás az eredetinek. 1912-ben rájött, hogy a normál (rezisztív) állapot nagy áramsűrűségek és mágneses indukciók esetén visszaáll még ilyen alacsony hőmérsékleten is. 1913-ban kapott N díjat.

Szupravezetők BCS nevű elméletének kidolgozásáért: 1972 Bardeen és Cooper és Schrieffer

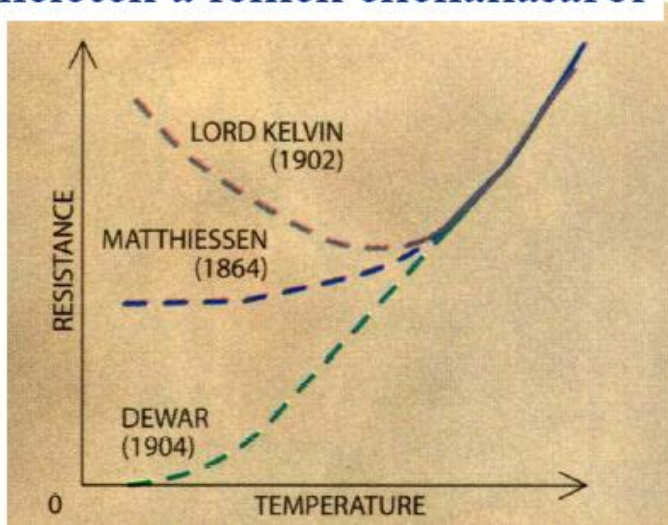
Josephson effekt: alagút effektus szupra és félvezetőkben: 1973 Josephson, Giaever, Esaki

Kerámia alapú anyagok szupravezető tulajdonságainak felismeréséért: 1978 Bendorz és Müller

Szupravezetés Fenomenologikus elmélete (Abrikoszov örvények a 2. típusú sz. vezetők belsejében, a m. tér behatol: 2003 Abrikoszov

2. Elméletek a fémek ellenállásával kapcsolatban.

Elméletek a fémek ellenállásáról



3. Az ellenállás eltűnése és a kritikus paraméterek.

Az ellenállás eltűnését Kamerlingh Onnes fedezte fel 1911-ben a folyékony He-on végzett első kísérletei során. Közel tiszta Hg-on végzett mérései: ellenállása 4.2K-en közel zérusra csökkent. 1,5K ig hűtve megállapította, hogy ezer milliomod részére csökkent az ellenállás (az ellenállás eltűnt) az eredetinek. 1912-ben rájött, hogy a normál (rezisztív) állapot nagy áramsűrűségek és mágneses indukciók esetén visszaáll még ilyen alacsony hőmérsékleten is. 1913-ban kapott N díjat.

A szupravezető állapotot meghatározó tényezőket nevezzük kritikus paramétereknek: kritikus áramsűrűség, mágneses térerősség és hőmérséklet. Ha ezeket ábrázoljuk 3 dim. koordináta-rendszerben (kapunk egy felületet), akkor az anyag sz. v. állapotban van, ha kritikus paraméterei által meghatározott pont, a felület alatt helyezkedik el.

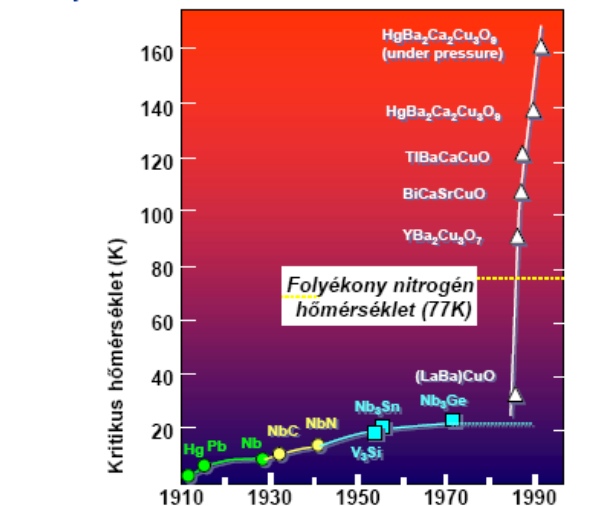
Péda: HTS szupravezetők (93-94K, 100-110K) kritikus áramsűrűsége alacsony (0K-en 10^5 és 10^6 on A/cm^2 között van), de 0K-en a kritikus mágneses térerősség 100T-nál nagyobb. Ezt ábrázolhatjuk is, és megkapjuk az előbbi felületet.

Plusz: 0 ellenállás mérése: áramot hozunk létre a sz. vezető gyűrűben, és az így indukálódott mágneses indukciót mérjük. Tudjuk, hogy B arányos I -vel, valamint, hogy $i(t) = i_0 \cdot e^{-t/\tau}$, ahol $\tau = L/R$. 2 évig tartó mérés szerint a fajlagos ellenállás 10^{-25} ohmméternél is kisebb.

4. Szupravezető anyagok: elemek, vegyületek és ötvözetek.

Szupravezető elemek: Kritikus hőmérséklet és indukció általában kis érték (0-8K es tartomány). A legjobb vezető fémek általában NEM szupravezetők(Cu,Ag,Au: réz, ezüst, arany) és a mágneses anyagok is lehetnek szupravezetők. Pl: Fe 20GPa-on 1K es átmeneti hőmérséklettel rendelkezik. Az egyik legjobb sz. vezető elem a NióBium, de 9K-es atm. Hőmérséklete és 0.2T-ás kritikus térerőssége közel sem mondható jónak. A nióbbium és a vanádium szupravezető 2-es típusúak.

Szupravezető ötvözetek és oxidok



1911-1930: Hg,Pb(ólom),Nb(nióbbium) : elemi sz. vezetők

1930-1970 es évek eleje: Nióbbium vegyületek (Nb₃ Sn és Ge): 2-es típusúak.

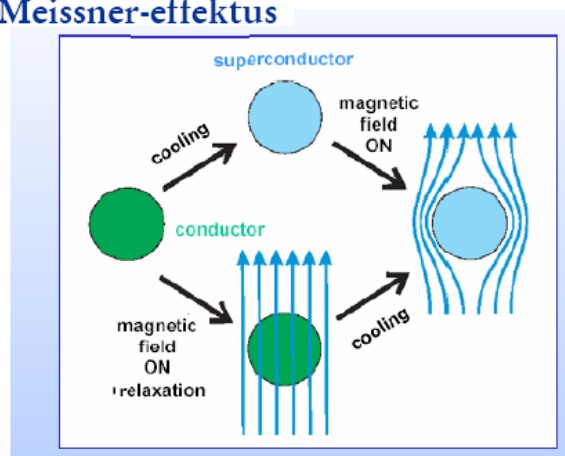
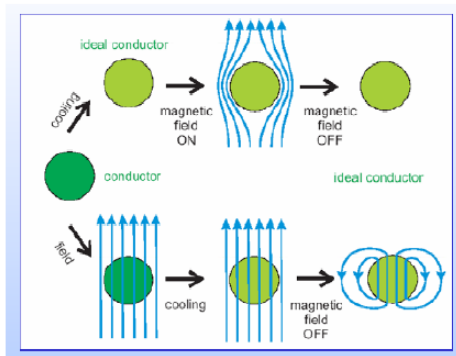
Nagy áttörés: magas hőmérsékletű sz. vezetők: CuO alapú kerámiák: később Hg,Ba,Ca kerül még a vegyületbe. Fontos: ezek már hűthetők a 77K forráspontú folyékony nitrogénnel, mely nagy mennyiségben (kb kóla ár) könnyen hozzáférhető, valamint ezen a hőmérséklettartományon a hűtés hatásfoka optimális, szemben az eddigiekkel, melyek jóformán csak folyékony He-al voltak hűthetők.

5. A Meissner-effektus.

1933-ban Meissner és Oschenfeld felfedezte (állandó mágnes és szupravezető közötti kölcsönhatást vizsgáltak) az ideális vezetők és a szupravezetők közötti különbséget:

A Meissner-effektus

Az ideális vezető viselkedése



Tehát: A szupravezető a minta belsejéből a TELJES fluxust kiszorítja! (Néhány atom vastagságú az a felületi réteg, melyen az indukció lecsökken 0-ra. ↔ Az ideális vezetőben fenntartják az ellentert a keletkezett áramok, befagyott mágneses tér jön létre.

6. II. típusú szupravezetők kritikus felülete.

Az ellenállás eltűnését Kamerlingh Onnes fedezte fel 1911-ben a folyékony He-on végzett első kísérletei során. Közel tiszta Hg-on végzett mérései: ellenállása 4.2K-en közel zérusra csökkent. 1,5K ig hűtve megállapította, hogy ezer milliomod részére csökkent az ellenállás (az ellenállás eltűnt) az eredetinek. 1912-ben rájött, hogy a normál (rezisztív) állapot nagy áramsűrűségek és mágneses indukciók esetén visszaáll még ilyen alacsony hőmérsékleten is. 1913-ban kapott N díjat.

A szupravezető állapotot meghatározó tényezőket nevezzük kritikus paramétereknek: kritikus áramsűrűség, mágneses térerősség és hőmérséklet. Ha ezeket ábrázoljuk 3 dim. koordináta-rendszerben (kapunk egy felületet, ez a kritikus felület), akkor az anyag sz. v. állapotban van, ha kritikus paraméterei által meghatározott pont, a kritikus felület alatt helyezkedik el.

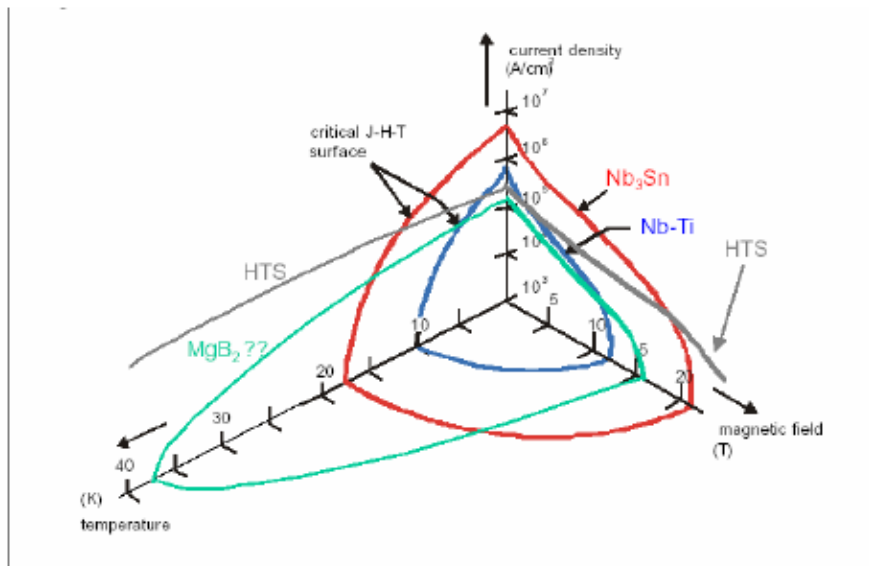
2. típusúak:

Alacsony hőmérsékletű sz. vezetők (10-18K). Pl: Nb-Ti (Nióbbium Titán) Héliummal hűthető.

Középhőmérsékletű sz. vezetők (35-38K). Pl: MgB₂ (Magnézium Diborid) Neonnal és hidrogénnel hűthető.

HTS szupravezetők (93-94K, 100-110K) kritikus áramsűrűsége alacsony (0K-en 10^5 és 10^6 on A/cm² között van), de 0K-en a kritikus mágneses térerősség 100T-nál nagyobb. Ezt ábrázolhatjuk is, és megkapjuk az előbbi felületet. Nitrogénnel hűthető.

II. Típusú szupravezetők kritikus felülete



7. A szupravezetők osztályozása.

A szupravezetőket osztályozhatjuk típus és faj szerint, utóbbi a fizikában fordul elő. Most típus szerint osztályozunk:

Az I. típusúnál a mágneses indukcióvonalak nem hatolnak bele az anyagba, a II. típusúnál a széleibe bele tud hatolni.

Az I. és II. típusú szupravezetők közötti különbség a mágneses tulajdonságokban mutatkozik meg. Valamely B_{kr1} (alsó kritikus indukció) értékéig a II. típusúak is diamágnesesek és érvényes rájuk a Meissner-effektus. A külső mágneses teret tovább növelve azonban az anyag nem veszi el szupravezető tulajdonságát: a mágneses tér behatol a szupravezetőbe, amely ún. kevert állapotba kerül. Ez az állapot mindaddig fennmarad, amíg a mágneses indukció el nem éri a B_{kr2} -vel jelölt (felső kritikus indukció) értékét, ahol a szupravezető - normális vezetési állapotba megy át.

Szupravezetők osztályozása #1

AHS	KHS	MHS	SzHS
Fémes Példák: NbTi, Nb ₃ Sn	Fémes Példa: MgB ₂	Kerámia Példák: YBCO, BSCCO	???
T _{c, max} = 23,2 K	T _{c, max} = 39 K	T _{c, max} = 138 K	Nincs elméleti korlát (USO)
Elméleti: < 30 K Gyakorlati T _{c, határ} < 77 K	T _c ≈ 40 K	Elméleti: > 30 K Gyakorlati T _{c, határ} > 77 K	Hűtés nélkül (?)

Szupravezetők osztályozása #2

Típus	Állapot	Feltétel	Megjegyzés
I. típus	Meissner állapot	$B < B_c$	London-féle behatolási mélység
	Normál állapot	$B_c < B$	
II. Típus	Meissner állapot	$B < B_{c1}$	Ideális: pinning-mentes Nemideális: pinningelt
	Kevert állapot	$B_{c1} < B < B_{c2}$	
	Normál állapot	$B_{c2} < B$	

A kritikus áramsűrűségnek az indukciótól való függését a pinningelés nagyban befolyásolja. Rögzítőcentrumok (pinning-center) lehetnek a rácsszimmetriák, pl. a diszlokációk, a szemcsehatárok.

8. A lebegtetési kísérletek tapasztalatai.

YBCO lebegtető NdBF_e állandó mágnes.

1. Mágneses tér mentes hűtés: Tapasztalat: Passzív stabilis lebegtetés valósítható meg a sz. vezetőkkel: az állandó mágnes az érezhető taszítás fellépésekor hozzányomom a szupravezetőhöz „közel”: ezzel az indukcióvonalakat belekényszerítem a sz. vezetőbe, melyek ez után benne maradnak (pinning centrumok keletkeznek: odatűzési pontjai az indukciónak).

2. Mágneses térben hűtöm le (fluxusbefagyasztás): az erővonalak belefagynak a sz. vezetőbe, az áll. mágnes felemelve a sz. vezető ahhoz fog függeszkedni.

3. Felmelegedés vizsgálata: Tapasztalat: Az anyag folyamatosan veszíti el sz. vezető tulajdonságát, a mágnes lassan leereszkedik, míg végül hozzáér a normál állapotú sz. vezetőhöz.

Minden alkalommal tapasztalat: a lebegtetett, magárahagyott mágnes ide-oda forog, erre a mai napig nincs pontos magyarázat.

9. A szupravezetők elektrotechnikai (large scale) alkalmazásainak áttekintése.

1. Egyenáramú: Vezető veszteségének kiküszöbölése, gépek és berendezések súlyának csökkentése.

Vezetés: HTS kerámia alapúak ugyan, de 20-30mm-es görbületi sugarokkal jól alakíthatók.

-szupravezetős elektromágnesekben való alkalmazások

-szinkron generátoroknál és motoroknál (generátoroknál több 100MW tól jelentkezik az előny)

2. Váltakozó áramú:

- súly-és méretcsökkentés, ill. az egységteljesítmény növelése a hatásfok növelésével

- energiaátviteli transzformátorok tekercselésében (sima anyaggal: 99%- os hatásfok. 100MW esetén ez sok, a sz. vezetők ezt a veszteséget is csökkentik.

- részecskegyorsítók, fúziós reaktorok tekercseiben, elektromágneses lengéscsillapítókban

- váltakozóáramú kábeleken

- zárlati áramkorlátozó

Még: Szupravezető és állandó mágnes kölcsönhatásával érhető el stabilis passzív(nem kell külső energiát befektetni) lebegtetés (emberlebegtető). Szupravezető csapágy.

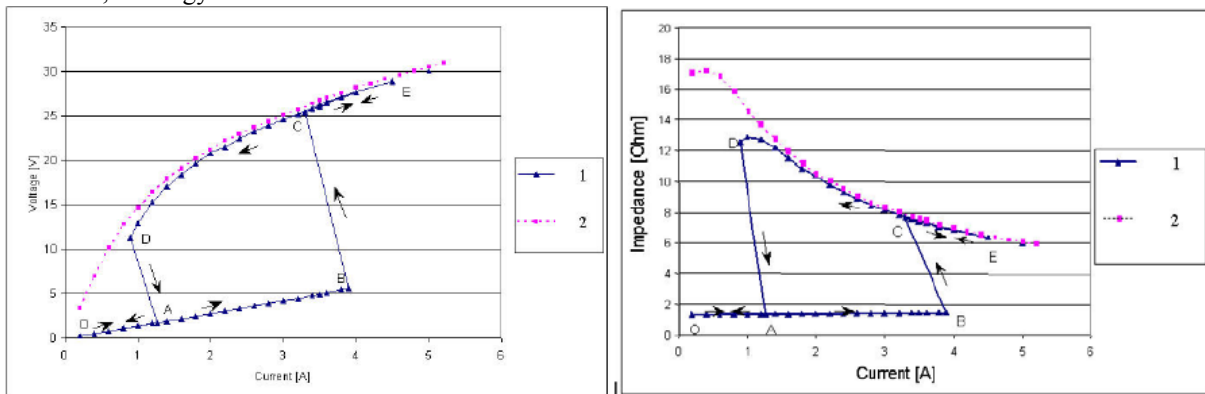
Lebegtetett járművek: mágneses szupravezető vonatok.

Vákuumban lendkerék: villamos kinetikus energiaátalakító.

10. A szupravezető inductív zárlati áramkorlátozók működési elve.

Ez gyakorlatilag egy transzformátor, melynek szekunder tekercse szupravezetőből készült.

Zárlat (vagy csak túl nagy teljesítmény) esetén ha az áramsűrűség meghaladja az adott hőmérséklethez és mágneses térerősséghez tartozó kritikus értéket a szekunder tekercsben, a szupravezető normál állapotú, nagy ellenállású lesz, melegedés indul meg, aminek következtében a szekunder tekercsben NEM fog tovább nőni az áram, a szekunder tekercs zárlati állapotba megy át. Ha csökken a terhelés, vagy megszűnik a zárlat, akkor az így létrejött, már kritikus értékek alatti paraméterek miatt újra működni fog a transzformátor. Ha a melegedés kicsi volt, akkor gyorsan vissza tud állni.

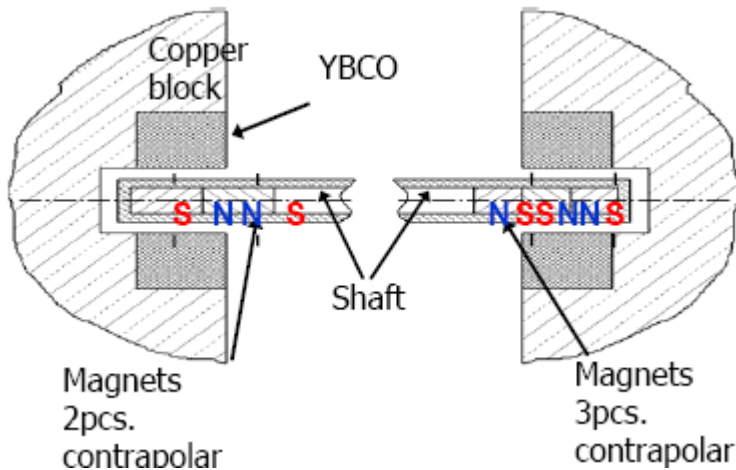


1 – with HTS ring
2 – w/o HTS ring

Előnyök: rezisztív, magától visszaáll a teljesítmény csökkenése és lehűlés után eredeti, szupravezető állapotba.

11. Szupravezető mágneses csapágyak működési elve.

Horizontális mágneses csapágy:

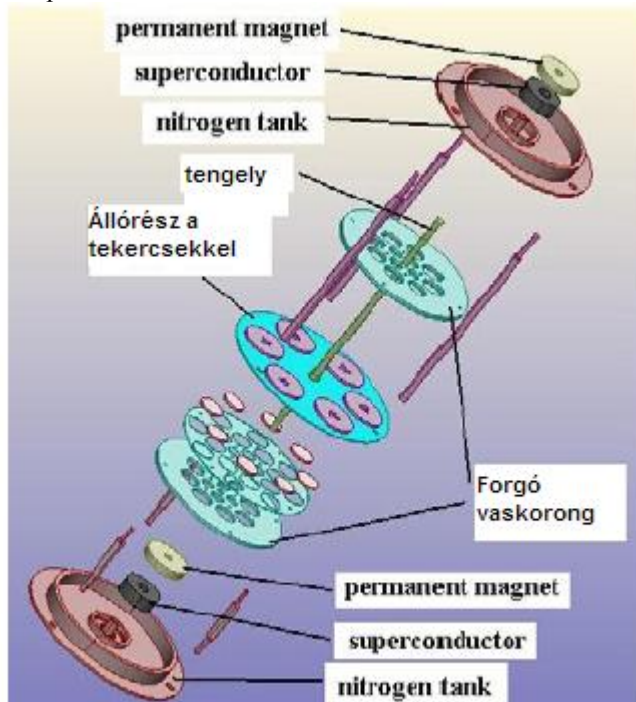


Előny: forgás közben NINCS mechanikai súrlódás (mechanikai veszteségmentes megoldás), aminek következtében minimális a forgás során az energiavesztés. Tengely: Alumíniumból, Benne pl: NdFeB (Neódimium Vas Bór) állandó mágnes.

Másik: Talpcsapágy (pl lendkerékben. Alól sz. vezető felől mágnes.)

12. Szupravezetős lendkerekes rendszerek felépítésének elve.

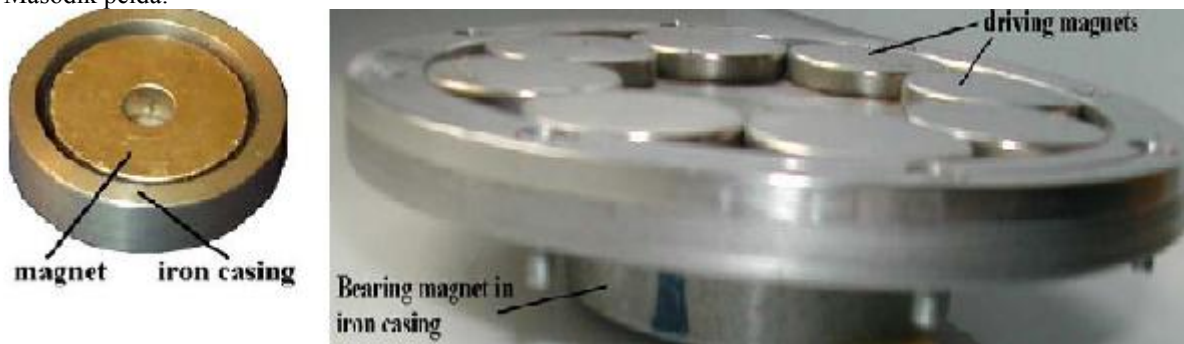
Cél: Rövid idejű (~10s) villamos energiátárolás. Megvalósítás: Lendkerék talpcsapággal.
Első példa:



Max 11,000 rpm

Előadáson példa: alól és felől 1-1 szupravezető „talpcsapágy”, alul felül nitrogéntartállyal, Forgórész vaskorong.

Második példa:



Mérési eredmény: 15 óra alatt csökken kb. 9000-ről 6000-re.

Előny: egy mágneses csapágy, nincs tengely, nincs rés a közepén, egy forgó rész 2 helyett, egyszerűbb megvalósítás. Szerintem: driving magnet: Hajtómágnes.
Mindkét koncepció igény szerint vákuumba helyezhető a hatásfok növelése miatt.

13. A teljesen szupravezetős kísérőmű koncepciója.

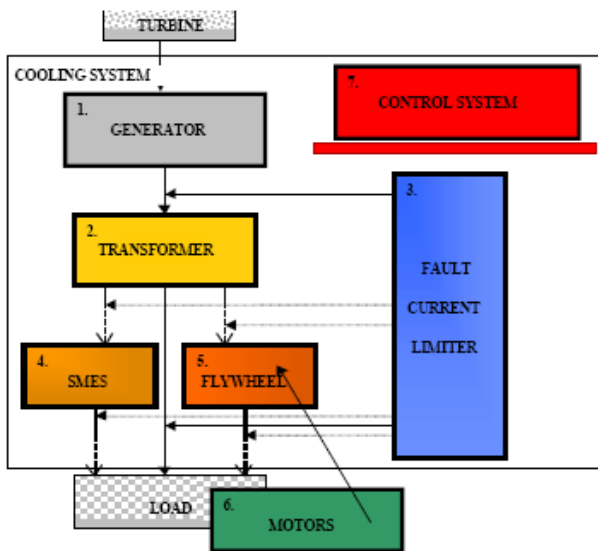
Megújuló energiaforrásokat használ fel általában: az energiátárolás és kis helyigény igényében.

Fontos a környezetvédelem: kis hely, kevés felhasznált anyag, kis szennyezés.

A koncepció: a cél az hogy tervezzünk, és megépítsünk, és teszteljünk egy "teljesen szupravezetős erőműkomplexumot" amit egy szupravezető mini erőmű modellel valósítunk meg a 10 kWos teljesítménytartományban.

A rendszer tartalmaz: szupravezetős generátort, transzformátort, szupravezetős induktív áramkorlátozót, motort és energiátároló eszközöket.

Az egész szupravezetős erőmű(rendszer) jobban illeszthető a villamos hálózatba mint az egyéni szupravezetős eszközök.



H1) Elektromágneses kompatibilitás (EMC)

1. Az EMC legfontosabb területei. Jellegzetes példák a legfontosabb területekre. Jellegzetes mágneses zavaró hatások 50 Hz frekvencián. Határértékek 50 Hz-es mágneses érőtér esetén az emberre, illetve az érzékeny elektronikus eszközökre.

Elektromágneses környezetvédelem egyik legfontosabb területe: EMC: elektromágneses kompatibilitás
Kisfrekvenciás hatások (LFI) <2000Hz Nem befolyásolják a szerkezetet., Faraday kalitkával kívülről és belülről árnyékolható (minél nagyobb a frekvencia, annál nehezebb az árnyékolás)

50Hz körül: távvezeték alatt fejmagasságban: 3,5 mikroTesla, vasúti vontatásnál peronon: 35 mikroTesla, háztartási gépektől 1cm re 10-2500 mikroTesla, trafó felett 1 méterrel: 1-90 mikroTesla

-> sok ezer kilométeres hullámhossz miatt rossz antennák!

Elektromágneses impulzusok (EMP) PI: Villámcsapás

Elektrosztatikus kisülések (ESD) PI: Félvezető eszközök tipikus roncsolódása

Rádiófrekvenciás hatások (RFI) PI: Bázisállomás antenna, mikrotányér, mikrohullám sütő, mobil (repülőn a hírközlési, radar eszközökkel való kölcsönhatás miatt nem szabad használni).

Határértékek: Lakosság számára, teljes testre, 24 órán keresztül: 100 mikroTesla Gépre: 1,26 mikroTesla Szakszemélyzet napi 8 órán át 400 mikroTeslát kaphat.

2. Az elektrosztatikus feltöltődések és kisülések okozta legfontosabb veszélyek.

Egy ember kapacitása kb 150pF ->20 000V feszültségre feltöltődik fel (szigetelő cipőben) -> mJ nagyságrendű energia tárolódik. Baj: kisülés csúcsa 30-40 Amperes is lehet, ez elegendő H-levegő keverék és benzingőz berobbantásához (akár tankolásakor), ezenkívül félvezető eszközök, chipek azonnali roncsolásához, „szétégetéséhez”.

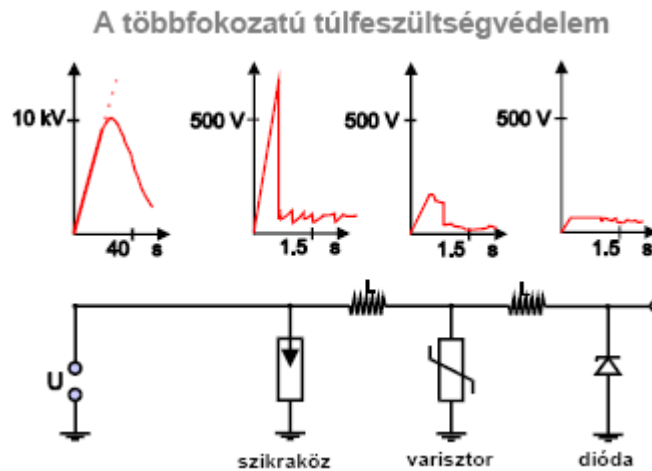
Másik nagy probléma: silórobbanások (Silóban utántöltés-> kavarog a por-> Elektrosztatikusan feltöltött, NAGY mennyiségű, egyébként teljesen veszélytelen anyagok robbanása)

A primer és a szekunder villámvédelemben használt eszközök.

Probléma: villámcsapáskor, pl az 1 Ohm ellenállással leföldelt dugaszolóaljzat földje 100kA es villámáram esetén 100kV feszültségen lesz rövid időre 0 helyett, ami a készülékek azonnali roncsolódásához vezet.

Megoldás: többfokozatú túlfeszültségvédelem: föld, feszforrás, szikraköz, tekerecs, varisztor, tekercs, dióda.

Villámvédelem a természetben: fa gyökerétől számítva 10 méteres körgyűrűn guggolva van a legtöbb esély.



3. A nem-ionizáló sugárzások elleni védelem.

Elektromágneses környezetvédelem egyik legfontosabb területe: biológiai hatások.

Ha a test, amit ér a hatás, akkor változik, ha a fél hullámhosszal összemérhető.

10 a 15 en Hz felett (UV-től) ionizálók a sugárzások (kölsönhatnak elektronfelhővel). Nem ionizálók: rádió, mikro (telefon), infravörös, látható fény. Hatás: lineáris függvénye az intenzitásnak, szemben a nem ionizálókkal. -> bármilyen kis mennyiség már kárt okoz. Nem ionizálónál el van tolvá az egyenes, ezek hőhatással jellemezhetők.

Faraday kalitkával kívülről és belülről árnyékolható (minél nagyobb a frekvencia, annál nehezebb az árnyékolás)

H2) Élettani hatások

1. A villámcsapások és az ipari áramütések okozta veszélyek hatása az emberi szervezetre.

Elektromágneses környezetvédelem egyik legfontosabb területe: biológiai hatások.

Villámcsapáskor: sok 100 kV és több 100 kA -> 3-4 fő/ millió (Magyarországon néhány 10 eset évente)

Villámcsapáskor 10-15 cm átmérőjű plazma csatorna keletkezik a test felszínén, melyen keresztül, az emberi test felszínén folyik az áram -> fémek beégnek a bőrbé. Bénulásos halál: kisagyi azonnal halál, míg a szív és légzésbénulásos esetekben azonnali szívmasszás, lélegeztetés és orvoshívás esetén a túlélési arány 50%-osra növelhető (egyébként 10%)

2. Az elektrosztatikus eredetű kisülések veszélyei az emberi szervezetre.

Egy ember kapacitása kb 150pF ->20 000V feszültségre feltöltődik fel (szigetelő cipőben) -> mJ nagyságrendű energia tárolódik. Baj: kisülés csúcsa 30-40 Amperes is lehet, ez elegendő H-levegő keverék és benzingöz berobbantásához (akár tankoláskor).

Másik nagy probléma: silórobbanások (Silóban utántöltés-> kavarog a por-> Elektrosztatikusan feltöltött, NAGY mennyiségű, egyébként teljesen veszélytelen anyagok robbanása)

Általánosan:

50J < W Halál

10J < W < 50 Izomgörcs

1 J < W < 10J Égető érzés

0,05J < W < 1J Útó érzés

10⁻³J < W < 0,05J Szúró érzés

W < 10⁻³J Nem érzékelhető

H3) Villamos biztonságtechnika és érintésvédelem

1. Magyarországon használatos feszültségzintek.

Szabványos feszültségzintek :

(750 kV: az Ukrán határtól Albertirsáig

400 kV: az országos alap hálózat

200 kV: az országos alap hálózat

100 (120) kV: az országos alap hálózat

25 kV: vasúti vontatás

20 kV: főelosztó hálózat

10 kV: főelosztó hálózat

2 kV: elosztó hálózat

1 kV: elosztó hálózat

0.4 kV: elosztói hálózat)

Feszültség nagysága: $U_n \pm 10\%$ a mérések 95%-ában Frekvencia: 50Hz+1% az év 99.5%-ában

Feszültségzintek:

Törpe: $U < 50 \text{ V}$

Kis: $50 < U < 1 \text{ kV}$

Közép: $1 \text{ kV} < U < 100 \text{ kV}$

Nagy: $100 \text{ kV} < U$

2. A lépésfeszültség fogalma.

PI leszakadt távvezeték környezetében, a keletkezett rövidzár miatt a földbe folyó áramtól a vezeték környezete nem lesz ekvipotenciális felület: SÓT: közel a vezetékhez egy lépésnek megfelelő távolságon akkora lesz a pot-különbség (a lépésfeszültség), hogy komoly, akár halálos áramütést okozhat.