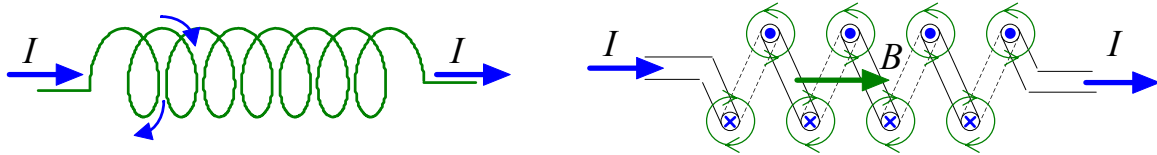


I. Transzformátorok

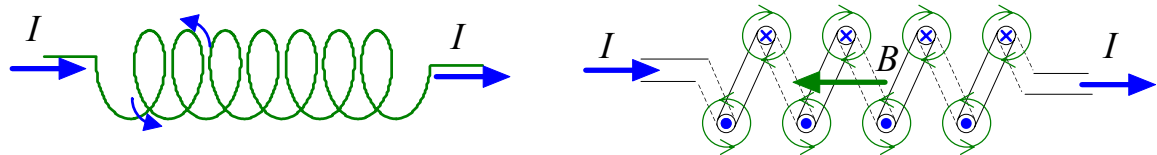
Bevezetés, alapfogalmak

Áramjárta tekercs mágneses terének iránya

Adott áramirány mellett egy tekercs által létrehozott mágneses tér iránya a tekerceslés (menet)irányától függ.



Jobbmenetű tekercs mágneses tere



Balmenetű tekercs mágneses tere

A továbbiakban jobbmenetű tekercseket feltételezünk.

A gerjesztési törvény (Ampère törvénye)

A mágneses körök számításának legfontosabb törvénye szerint a \vec{H} térerősség vektor vonalmenti integrálja tetszőleges zárt ℓ görbe mentén megegyezik a görbével határolt A felületen áthaladó áramok algebrai összegével, a felület Θ gerjesztésével. Általános alakja J áramsűrűségű térbeli áramlás feltételezésével:

$$\oint_{\ell} \vec{H} d\vec{\ell} = \int_A \vec{J} d\vec{A} = \Theta.$$

A gerjesztés skalár mennyiség, jele Θ , SI mértékegysége $[\Theta]=A$.

Amennyiben a vizsgált görbe homogén térerősségű szakaszokon halad keresztül, akkor a bal oldalon álló integrál, ha a töltéshordozók koncentráltan, elhanyagolható keresztmetszetű villamos vezetőkben áramlanak, akkor a jobb oldalon álló integrál összegezésé egyszerűsödhet:

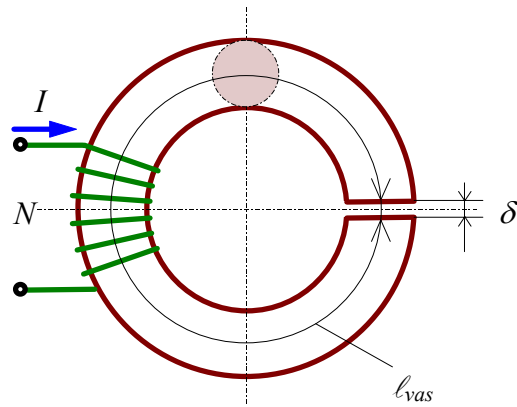
$$\sum_i H_i \ell_i = \sum_j I_j.$$

Állandó μ permeabilitás esetén a gerjesztési törvény más alakban is felírható:

$$\oint_{\ell} \vec{H} d\vec{\ell} = \oint_{\ell} \frac{\vec{B}}{\mu} d\vec{\ell} = \frac{1}{\mu_{\ell}} \oint_{\ell} \vec{B} d\vec{\ell} = I, \text{ vagy } \oint_{\ell} \vec{B} d\vec{\ell} = \mu I, \text{ itt } \mu = \mu_0 \mu_r.$$

A mágneses körök számítása

Mágneses kör a mágneses tér olyan zárt része (fluxuscatornája), amelyben a fluxus állandónak tekinthető, belőle indukcióvonalak nem lépnek ki. Lényegében minden indukcióvonal egy mágneses kör. A mágneses körökben általában ferromágneses anyagok terelik az indukcióvonalakat a tér kijelölt részébe. Egyszerűen azok a körök számíthatók, amelyek fluxuscatornája (geometriája) ismert.



Légrést tartalmazó mágneses kör

Azonos fluxust feltételezve $\Phi_{vas} = \Phi_{\delta} = \Phi$ az ábra szerint két szakaszból álló mágneses körben

$$\Theta = \Theta_{vas} + \Theta_{\delta} = H_{vas} \ell_{vas} + H_{\delta} \delta = \frac{B_{vas}}{\mu_0 \mu_{rvas}} \ell_{vas} + \frac{B_{\delta}}{\mu_0} \delta = \frac{\Phi}{A_{vas} \mu_0 \mu_{rvas}} \ell_{vas} + \frac{\Phi}{A_{\delta} \mu_0} \delta$$

Az egyes ℓ_i szakaszok mágnesezéséhez szükséges Θ_i gerjesztés nagy mértékben a permeabilitásuktól függ.

Ugyanakkora Φ fluxus, ugyanakkora A keresztmetszet és ugyanakkora ℓ szakasz esetén a ferromágneses vasmagra jutó gerjesztés $1/\mu_{rvas}$ -szerese a levegőre jutó gerjesztésnek. Más-képpen fogalmazva: egy adott Θ gerjesztés μ_{rvas} -szor hosszabb vasmag szakaszt mágnesez, mint levegőt. A gyakran használt anyagokra $10^3 < \mu_{rvas} < 10^6$.

Csatolt tekercsek fluxusának felbontása összetevőkre

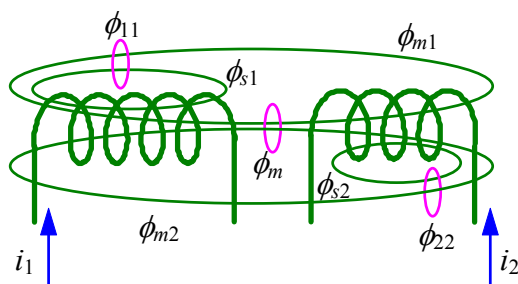
Csatolt tekercsekről akkor beszélünk, ha az egyes tekercsek egymás mágneses terében helyezkednek el, és ha egymás terének hatása nem elhanyagolható. Alkalmazástól függően lehet cél a minél jobb csatolás (pl. energia- vagy jelátvitelnél), illetve a csatolás elkerülése (pl. elektromágneses zavarcsökkentés érdekében).

A következőkben a kettős index első tagja jelöli azt a tekercset, amelyikre a második taggal jelölt tekercs árama által létrehozott mágneses tér hatást fejt ki. Pl. ϕ_{km} – az m -jelű tekercs árama által létrehozott fluxus azon része, amelyik kapcsolódik a k -jelű tekercssel.

Az egyetlen valóságos (eredő) mágneses tér a rendszer geometriai kialakításától függően különböző mértékben kapcsolódhat az egyes tekercsekkel. A szemléltetés és az egyszerűbb tárgyalás érdekében a teret reprezentáló fluxus – két tekercs esetén – 4 összetevőre bontható:

- az i_1 áram által az 1. tekercsben létrehozott ϕ_{11} fluxus egy része kapcsolódik a 2. tekercssel is (ϕ_{21}), másik része – az első tekercs szórt fluxusa – csak az 1-el (ϕ_{s1}),

$$\phi_{11} = \phi_{21} + \phi_{s1}.$$



A fluxus felbontása összetevőkre

- az i_2 áram által a 2. tekercsben létrehozott ϕ_{22} fluxus egy része kapcsolódik az 1. tekercssel is (ϕ_{12}), másik része – a második tekercs szórt fluxusa – csak a 2.-al (ϕ_{s2}),

$$\phi_{22} = \phi_{12} + \phi_{s2}.$$

A két áram (i_1 és i_2) által létrehozott fluxus komponensek eredője:

$$\phi = \phi_{11} + \phi_{22} = \phi_{21} + \phi_{s1} + \phi_{12} + \phi_{s2} = \phi_m + \phi_{s1} + \phi_{s2}.$$

A térelmélet „funkció” szerint választja szét az összetevőket, az egyes tekercsekkel kapcsolódó eredő mágneses tér a közös $\phi_m = \phi_{21} + \phi_{12}$ (hasznos, fő) fluxus és a saját szórt fluxus összege: az 1. tekercssel kapcsolódó összes fluxus

$$\phi_1 = \phi_m + \phi_{s1} = \phi_{21} + \phi_{12} + \phi_{s1},$$

a 2. tekercssel kapcsolódó összes fluxus

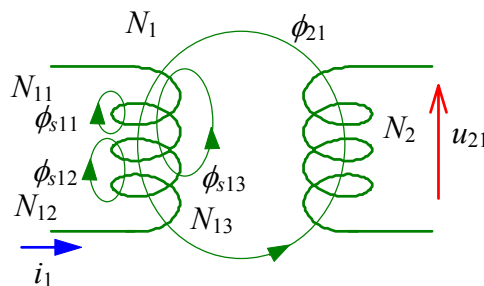
$$\phi_2 = \phi_m + \phi_{s2} = \phi_{12} + \phi_{21} + \phi_{s2}.$$

A mágneses kölcsönhatás mértékét a csatolási tényező fejezi ki, ami úgy értelmezhető, hogy az i_1 áram által az 1. tekercsben létrehozott teljes fluxus mekkora része kapcsolódik a 2. tekercssel $k_1 = \frac{\phi_{21}}{\phi_{11}}$, illetve fordítva, az i_2 áram által a 2. tekercsben létrehozott teljes fluxus

mekkora része kapcsolódik az 1. tekercssel $k_2 = \frac{\phi_{12}}{\phi_{22}}$.

A szórás tényező a csatolásban nem részes fluxuskomponens arányát fejezi ki, a csatolási tényező komplementuma. A szórás és a csatolási tényezők kapcsolata:

$$\sigma_1 = \frac{\phi_{s1}}{\phi_{11}} = \frac{\phi_{11} - \phi_{21}}{\phi_{11}} = 1 - \frac{\phi_{21}}{\phi_{11}} = 1 - k_1 \text{ és } \sigma_2 = \frac{\phi_{s2}}{\phi_{22}} = \frac{\phi_{22} - \phi_{12}}{\phi_{22}} = 1 - \frac{\phi_{12}}{\phi_{22}} = 1 - k_2.$$



Az eltérő szórt fluxus-pályák illusztrációja

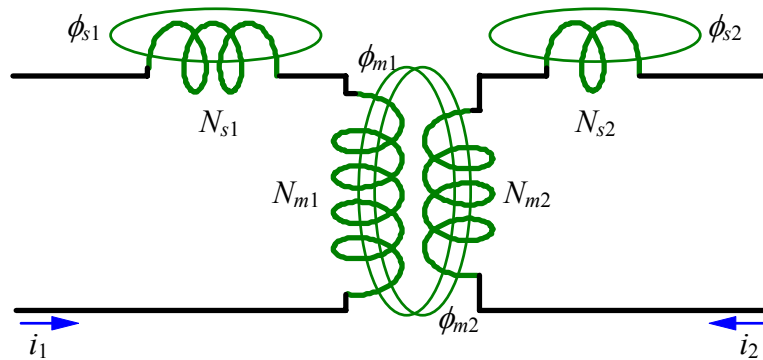
Ténylegesen a szórt fluxusnak is több összetevője van. Például az 1-es tekercs ϕ_{s1} szórt fluxusából ϕ_{s11} -rész N_{11} menettel kapcsolódik, ϕ_{s12} -rész N_{12} menettel stb. Így az 1-es tekercs Ψ_{s1} szórás fluxuskapcsolódása

$$\Psi_{s1} = \sum_x \phi_{s1x} N_{1x}.$$

Az egyenértékű ϕ_{s1} szórt fluxus, amit az 1-es tekercs mind az N_1 menetével kapcsolódónak tekintünk:

$$\phi_{s1} = \frac{\sum_x \phi_{s1x} N_{1x}}{\sum_x N_{1x}}.$$

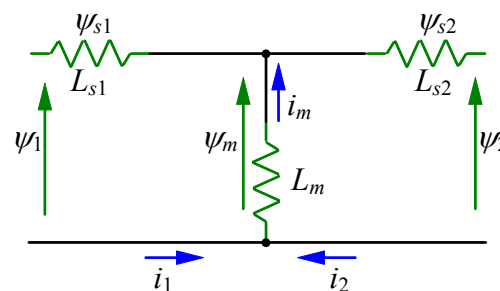
A csatolt tekercsek mágneses terét rendszerint úgy modellezzük, mintha az egyes fluxus összetevőket külön-külön tekercsek hoznák létre. Például az i_1 áram N_{m1} meneten ϕ_{m1} -et, N_{s1} -en ϕ_{s1} fluxust létesít.



A fluxusösszetevőknek megfelelő tekercsek

A ϕ_{21} ($=\phi_{m1}$) és a ϕ_{12} ($=\phi_{m2}$) közös összetevőket előállító tekercsek között szoros csatolás van ($k=1$), míg a szórt tér ϕ_{s1} és ϕ_{s2} összetevőit előállító tekercsek egymással mágnesesen nem kapcsolódnak.

Az eredő közös (mágnesező vagy főmező) fluxust a két tekercs árama (i_1 és i_2) együttesen állítja elő, az eredő fluxuskapcsolódás $\psi_m = \psi_{m1} + \psi_{m2} = N_{m1}\phi_{m1} + N_{m2}\phi_{m2}$. A két szoros csatolású tekercs helyettesíthető egyetlen tekercssel, amelyiken az $i_m = i_2 i_1 + i_2$ mágnesező áram ψ_m tekercsfluxust hoz létre. A helyettesítő áramkörben a tekercsfluxusokat az áramok a megfelelő induktivitásokon létesítik.



A mágneses tér térelméleti felbontását tükröző helyettesítő áramkör

A transzformátor primer és szekunder körü feszültég egyenlete

$$\bar{u}_1 = R_1 \bar{i}_1 + \frac{d\bar{\psi}_1}{dt},$$

$$\bar{u}_2 = R_2 \bar{i}_2 + \frac{d\bar{\psi}_2}{dt},$$

itt $\psi_1 = N_1 \phi_1$ és $\psi_2 = N_2 \phi_2$ a primer és szekunder tekercs fluxuskapcsolódása.

Szinusz függvény szerint változó fluxust feltételezve $\frac{d\bar{\psi}}{dt} = j\omega \bar{\psi}$.

Állandósult állapotra érvényes egyenletrendszer és helyettesítő áramkör

A fluxusok felbontása főmező- és szórt fluxus összetevőre

$$\bar{\Psi}_1 = \bar{\Psi}_{s1} + \bar{\Psi}_m \quad \text{illetve} \quad \bar{\Psi}_2 = \bar{\Psi}_{s2} + \bar{\Psi}_m,$$

ahol $\Psi_{s1} = I_1 L_{s1}$, $\Psi_{s2} = I_2 L_{s2}$, a primer tekercs szórt fluxusát a primer áram, a szekunderét a szekunder áram hozza létre a megfelelő szórású induktivitáson.

A Ψ_{m1} és Ψ_{m2} tekercsfluxusok a primer- és a szekunder tekercssel egyformán kapcsolódó Φ_m (mágnesező vagy főmező) fluxusból számíthatók:

$\Psi_{m1} = N_1 \Phi_m$, $\Psi_{m2} = N_2 \Phi_m$, itt N_1 és N_2 – a primer- és a szekunder tekercs menetszáma.

Állandósult állapotban a két oldal feszültség egyenlete

$$\bar{U}_1 = R_1 \bar{I}_1 + j\omega_1 \bar{\Psi}_1 = R_1 \bar{I}_1 + j\omega_1 L_{s1} \bar{I}_1 + j\omega_1 \bar{\Psi}_{m1} = R_1 \bar{I}_1 + j\omega_1 L_{s1} \bar{I}_1 + \bar{U}_{m1},$$

$$\bar{U}_2 = R_2 \bar{I}_2 + j\omega_1 \bar{\Psi}_2 = R_2 \bar{I}_2 + j\omega_1 L_{s2} \bar{I}_2 + j\omega_1 \bar{\Psi}_{m2} = R_2 \bar{I}_2 + j\omega_1 L_{s2} \bar{I}_2 + \bar{U}_{m2},$$

\bar{U}_{m1} és \bar{U}_{m2} a $\bar{\Psi}_{m1}$ és $\bar{\Psi}_{m2}$ (főmező) fluxus által indukált feszültség a primer- és a szekunder tekercsben, $\omega_1 = 2\pi f_1$ – az alapharmonikus körfrekvencia, f_1 – az alapharmonikus frekvencia.

Az $X_{s1} = \omega_1 L_{s1}$ és $X_{s2} = \omega_1 L_{s2}$ reaktanciák bevezetésével a fenti feszültség egyenletek

$$\bar{U}_1 = R_1 \bar{I}_1 + jX_{s1} \bar{I}_1 + \bar{U}_{m1} \text{ és}$$

$$\bar{U}_2 = R_2 \bar{I}_2 + jX_{s2} \bar{I}_2 + \bar{U}_{m2}.$$

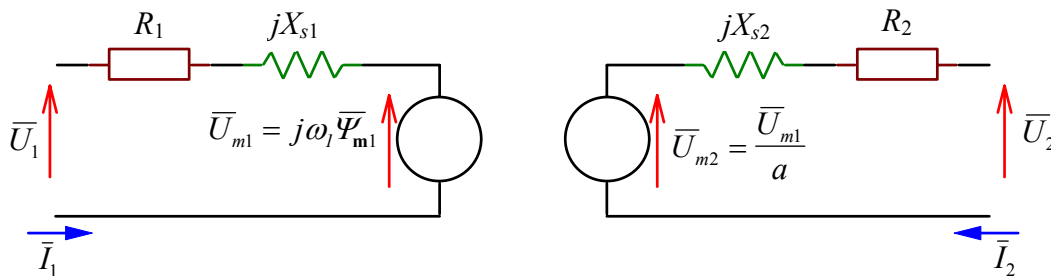
Mivel $\Psi_{m2} = \frac{N_2}{N_1} \Psi_{m1} = \frac{\Psi_{m1}}{a}$, ezért $\bar{U}_{m2} = j\omega_1 \frac{\bar{\Psi}_{m1}}{a} = \frac{\bar{U}_{m1}}{a}$,

ahol $a = \frac{N_1}{N_2}$ – a primer- és a szekunder tekercs közötti menetszám áttétel.

A szekunder egyenlet ezekkel az átalakításokkal

$$\bar{U}_2 = R_2 \bar{I}_2 + jX_{s2} \bar{I}_2 + \frac{\bar{U}_{m1}}{a}.$$

Az egyenletek alapján felrajzolható a primer- és a szekunder oldali feszültségre vonatkozó állandósult állapotú áramköri vázlata



A transzformátor primer- és szekunder áramkörének vázlata állandósult állapotra

A primer és a szekunder kör helyettesítő vázlata akkor kapcsolható össze, ha az indukált U_{m1} és U_{m2} feszültségek megegyeznek, amit a szekunder oldal U_{m2} feszültségének az a menetszám áttétellel való korrekciója (primerre redukálása) útján érünk el:

$$a\bar{U}_2 = aR_2 \bar{I}_2 + jaX_{s2} \bar{I}_2 + \bar{U}_{m1}.$$

A teljesítmény, a veszteség és a viszonylagos feszültségesések változatlanságának (invarianciájának) biztosítása érdekében a feszültség egyenlet a -val való szorzása miatt az I_2 áramot a -val osztani kell, az áram szorzótényezőjét pedig a -val szorozni:

$$a\bar{U}_2 = a^2 R_2 \frac{\bar{I}_2}{a} + ja^2 X_{s2} \frac{\bar{I}_2}{a} + \bar{U}_{m1}.$$

A menetszám áttétellel módosított mennyiségeket redukált mennyiségeknek nevezzük és vesszőzéssel jelöljük:

$$U_2' = aU_2$$

$$R_2' = a^2 R_2$$

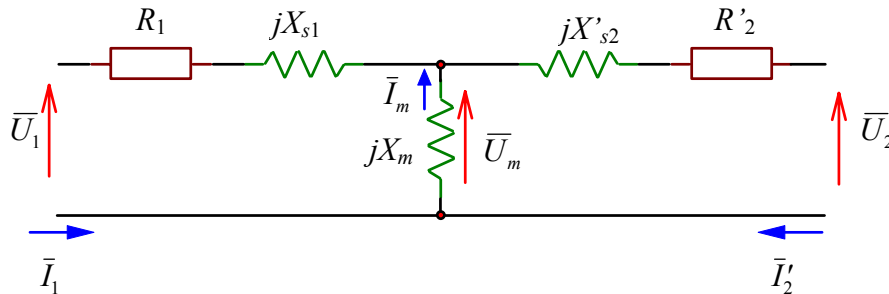
$$X_{s2}' = a^2 X_{s2}$$

$$I_2' = \frac{I_2}{a}$$

A primerre redukált szekunder oldal feszültség egyenlete:

$$\bar{U}'_2 = R'_2 \bar{I}'_2 + jX'_{s2} \bar{I}'_2 + \bar{U}_{m1}.$$

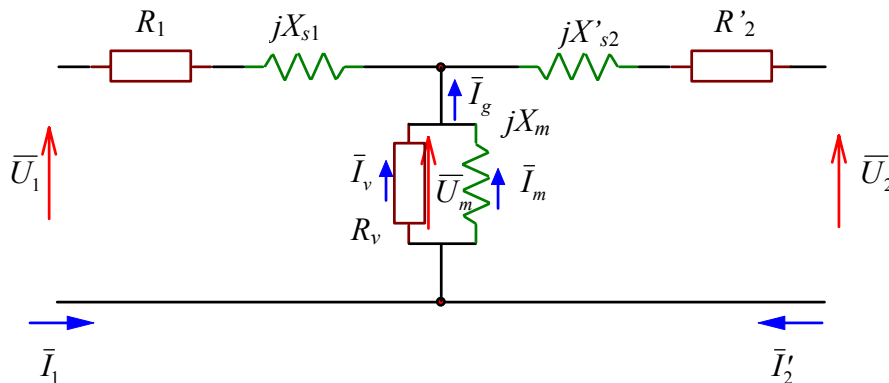
Mivel az átalakítás eredményeként a primer- és a szekunder egyenletben is ugyanaz az U_{m1} indukált feszültség szerepel, a két áramkör galvanikusan összeköthető, ezzel létrejön az egyesített helyettesítő áramköri vázlat állandósult állapotra.



A transzformátor egyesített áramköri vázlata állandósult állapotra

Az áramkörben R_1 a primer tekercsveszteséget, R'_2 a szekunder tekercsveszteséget reprezentálja.

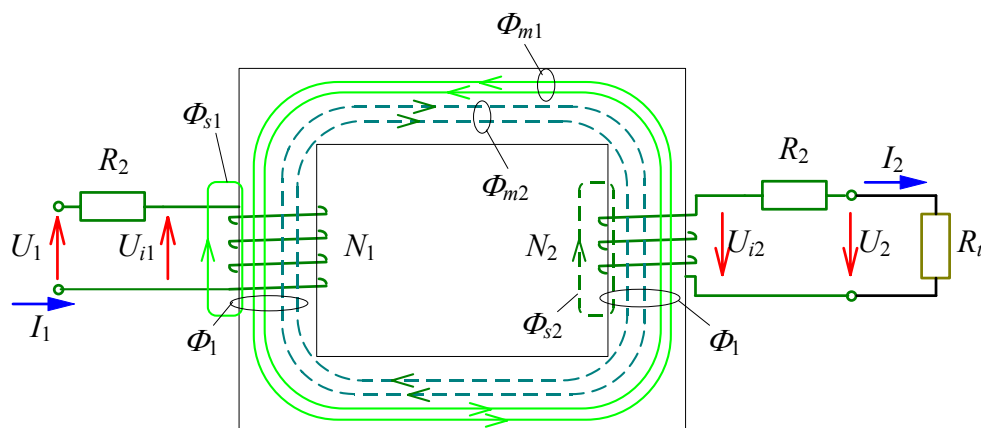
A helyettesítő áramkörben nem jelenik meg a vasvesztés és a járulékos veszteség (pl. a felharmonikusok által okozott veszteségek). A közülük legjelentősebb vasvesztés egy külön R_v ellenállással vehetjük figyelembe az áthidaló ágban. Ezt a megoldást az indokolja, hogy a vasvesztés döntő részét a főmező fluxus (illetve az annak megfelelő indukció) időbeli változása okozza, a főmező fluxus változását pedig az U_m feszültség reprezentálja.



Áramköri vázlat a vasvesztés figyelembe vevő ellenállással

A transzformátor működése

Az edigiek alapján a transzformátor egy olyan csatolt tekercsekből álló elektromágneses energia-átalakító, amelyik a primer oldal (1. tekercs) által felvett, U_1 feszültséggel és I_1 árammal jellemezhető villamos energiát a szekunder oldal (2. tekercs) által leadott, más feszültségű (U_2) és más áramú (I_2) de azonos frekvenciájú villamos energiává alakítja át.



A transzformátor vázlata

Üresjárásban szekunder áram nem folyik, a mágneses teret az I_1 primer áram hozza létre, ennek a térnek a primer szórással csökkentett része indukálja a szekunder tekercs U_{i2} feszültségét.

A szekunder tekercs terhelésekor a szekunder köri terheléstől függő nagyságú és fázishelyezett szekunder áram folyik, ami a primerhez képest ellentétes irányban gerjeszt (Lenz törvényével összhangban). Az eredő fluxus csökkenése miatt csökkenne az U_{i1} primer körüli indukált feszültség, ez viszont az I_1 primer áram növekedését okozza. Ugyanis a táphálózat feszültség kényszerrel jelent: $U_{i1} = U_1 - I_1 R_1$.

Ez biztosítja az energetikai egyensúlyt: a szekunder oldal leadott W_2 energiáját a primer oldal veszi fel a táphálózatból.

A tekercs- és a vasveszteségek miatt $P_2 < P_1$, a szekunder oldalon leadott hatásos teljesítmény mindig kisebb a primer teljesítménynél.

Mivel a transzformátor feszültségének és áramának fázishelyzete (a fázisszög) a szekunder oldali fogyasztótól függ, ezért a névleges látszólagos teljesítményt adják meg, pl. 10 kVA.

Transzformátor helyettesítő áramköri paramétereinek meghatározása méréssel

A paramétereket két méréssel, egy üresjárási és egy rövidzárási mérés eredményeiből számíthatjuk ki.

a) Üresjárási mérés

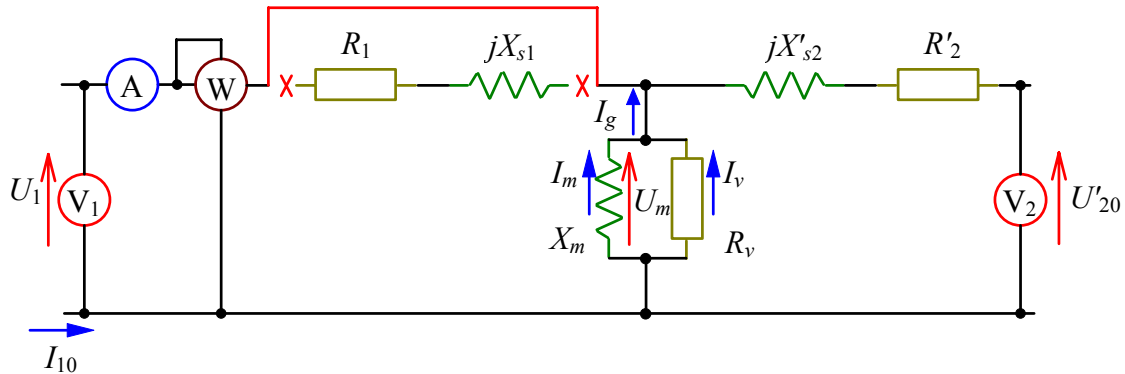
Üresjárásban R_v -hez és X_m -hez képest R_1 és X_{s1} elhanyagolható, $I_{10} \approx I_g$, ezért a hatásos teljesítmény közelítően megegyezik a vasveszteséggel (az R_v ellenállás veszteségi teljesítményével), a meddő teljesítmény közelítően megegyezik a váltakozó főmező fenntartáshoz szükséges teljesítménnyel (az X_m reaktancia teljesítményével).

A W wattmérő kitérése a primer hatásos teljesítménnyel $P_0 = U_1 I_{10} \cos \varphi_0$ -al arányos. A V_1 voltmérő az U_1 primer oldali feszültséget méri, ami megegyezik a wattmérő feszültségtekercsére jutó feszültséggel. Az A ampermérő mutatja az I_{10} primer áramot, a wattmérő áramtekercsén átfolyó áramot.

Az U_m feszültség a szekunder kapcsokon közvetlenül mérhető a V_2 voltmérővel, $U_m = U'_{20}$.

Az üresjárási látszólagos teljesítmény $S_0 = U_1 I_{10}$, a meddő teljesítmény $Q_0 = \sqrt{S_0^2 - P_0^2}$.

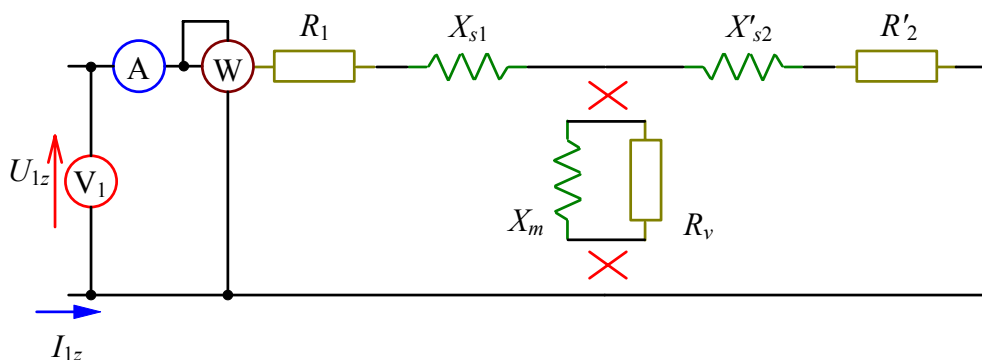
a vasvesztéget reprezentáló ellenállás $R_v = \frac{U_m^2}{P_0}$, az áthidaló ág reaktanciája $X_m = \frac{U_m^2}{Q_0}$, az üresjárású teljesítménytényező $\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{S_0}$.



A transzformátor üresjárású mérése az elhanyagolás jelölésével

b) Rövidzársi mérés

A szekunder kapcsok rövidzárása következtében az áthidaló ágra jutó U_{mz} feszültség megegyezik az $R'_2 - X'_{s2}$ ág feszültségével, ami csak töredéke a névleges U_m feszültségnek. Ezért az áthidaló ág elhanyagolható.



A transzformátor rövidzársi mérése az elhanyagolás jelölésével

Az elhanyagolásnak megfelelően az I_{1z} rövidzársi áram az $R_1 - X_{s1} - X'_{s2} - R'_2$ ágon folyik. Feltételezzük, hogy $R_1 = R'_2$ és $X_{s1} = X'_{s2}$.

A rövidzársi látszólagos teljesítmény $S_z = U_{1z} I_{1z}$, a meddő teljesítmény $Q_z = \sqrt{S_z^2 - P_z^2}$.

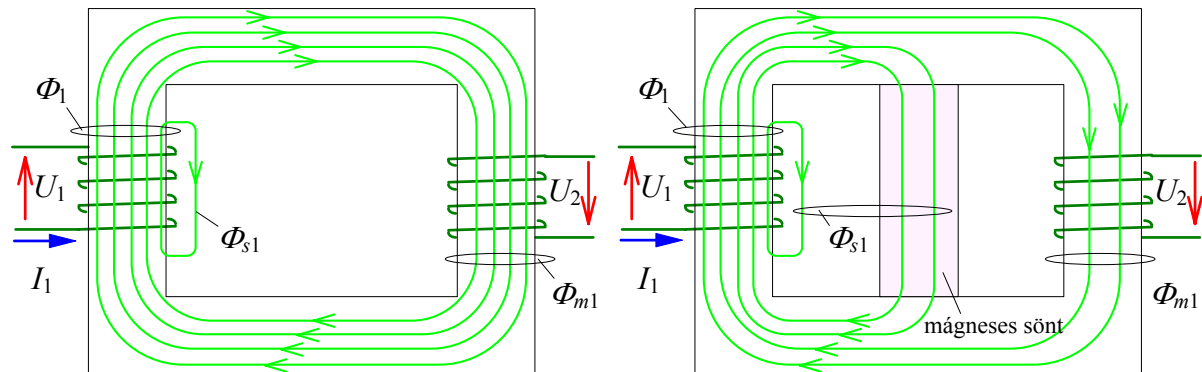
a tekercsek ellenállása $R_1 = R'_2 = \frac{P_z}{2I_{1z}^2}$, a tekercsek szórásreaktanciája $X_{s1} = X'_{s2} = \frac{Q_z}{2I_{1z}^2}$, a

rövidzársi teljesítménytényező $\cos \varphi_z = \frac{P_z}{S_z}$.

A mágneses sönt hatása

A mágneses tér útját jó mágneses vezetőképességű (nagy permeabilitású) anyagból készített szerkezeti elemekkel terelik a kívánatos irányba, a tér előírt részébe, például a primer tekercs

felől a szekunder tekercs felé. Bizonyos szabályozási feladatoknál szükség lehet a mágneses tér módosítására, a mágneses fluxus útjának elterelésére. Ezt a célt szolgálja a mágneses sönt.



A mágneses sönt hatása a tér eloszlására

A primer tekercs által létrehozott mágneses tér egy részének elterelésével – azonos primer áram (gerjesztés) és Φ_1 fluxus mellett – csökken a szekunder tekercssel kapcsolódó Φ_{m1} fluxus részaránya, nő a Φ_{s1} szórás.

A mágneses sönt természetesen a szekunder tekercs által létrehozott tér egy részét is eltereli annak gerjesztése esetén.

A helyettesítő áramkörben a mágneses sönt a szórási reaktancia növekedését okozza, aminek hatására növekszik az $I_1 X_{s1}$ feszültségesés és a szekunder feszültség áram-függése. Ezt a hatást használják ki a hegesztő transzformátoroknál az íváram szabályozására.

A mágnesezési görbe nemlinearitásának hatása

Egy tekercsre szinuszos függvény szerint váltakozó u_k kapocsfeszültséget kapcsolva vele szinuszos függvény szerint váltakozó u_i indukált feszültség tart egyensúlyt (a tekercs ellenállásának feszültségét elhanyagoljuk).

Ha $u_i(\omega t) = U_{im} \sin(\omega t)$, akkor

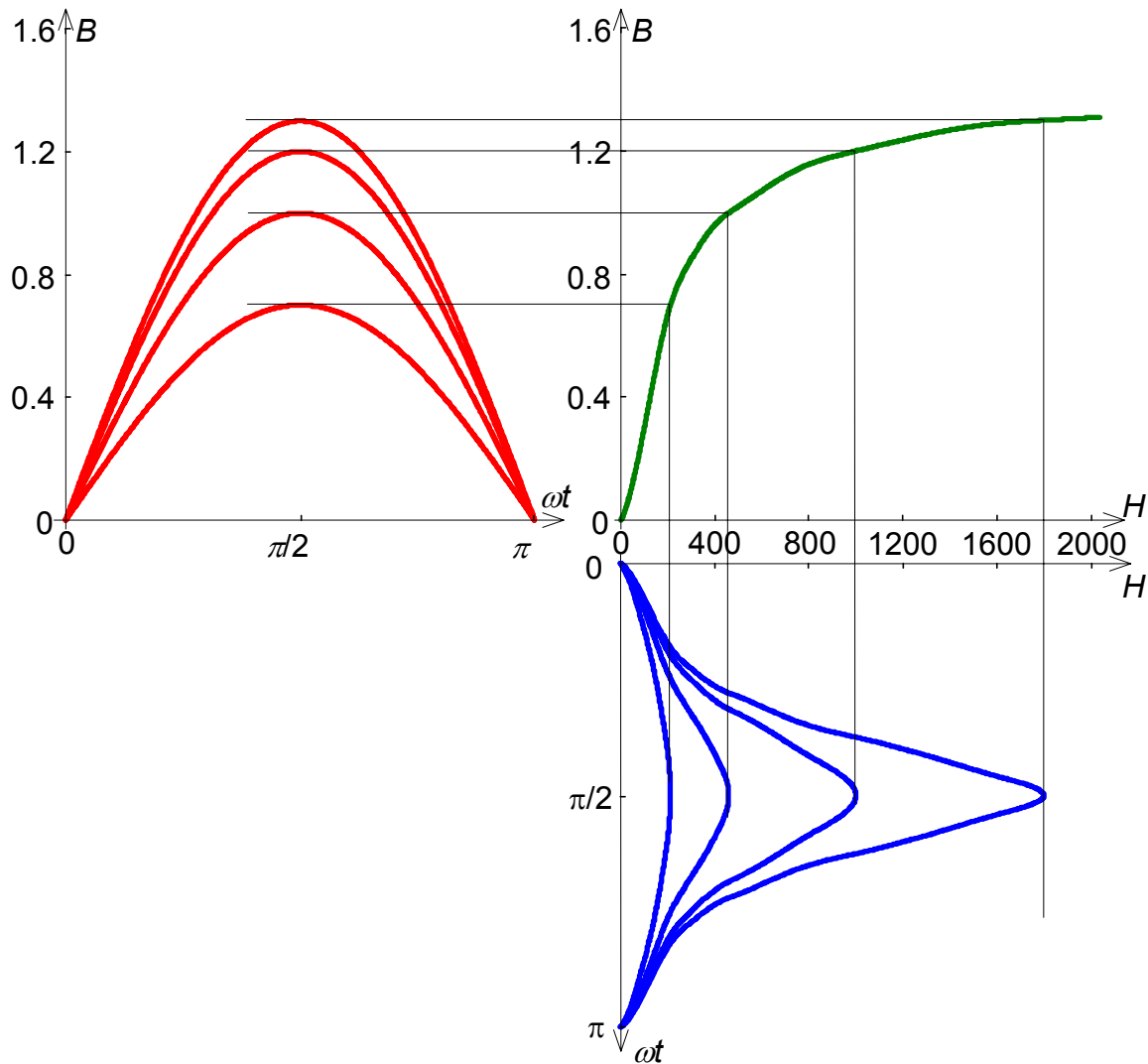
$$u_i(\omega t) = \omega \frac{d\psi(\omega t)}{dt}, \text{ amiből } \psi(\omega t) = \frac{1}{\omega} \int u_i(\omega t) dt = -\frac{U_{im}}{\omega} \cos(\omega t) = -\Psi_m \cos(\omega t).$$

Mivel $\Psi = N\Phi = NBA$, az indukció változása követi a tekercsfluxus változását, itt Ψ – a tekercsfluxus (fluxuskapcsolódás), N – a tekercs menetszáma, A – a fluxust átfogó keresztmetszet.

Szinuszos függvény szerint váltakozó feszültség hatására tehát szinuszos függvény szerint váltakozó indukciónak kell kialakulni. Vasmagot tartalmazó tekercs esetén a $B(H)$ mágnesezési görbe nemlinearitása miatt a mágneses térerősség nem szinuszos függvény szerint fog változni. A gerjesztési törvénynek megfelelően a gerjesztés és a gerjesztő áram alakja is torzul:

$$Ni(\omega t) = \theta(\omega t) = H[B(\omega t)],$$

ahol θ – a gerjesztés, ℓ_k – a közepes erővonal hossza.



A mágneses térerősség jelalakjának torzulása transzformátor lemeznél

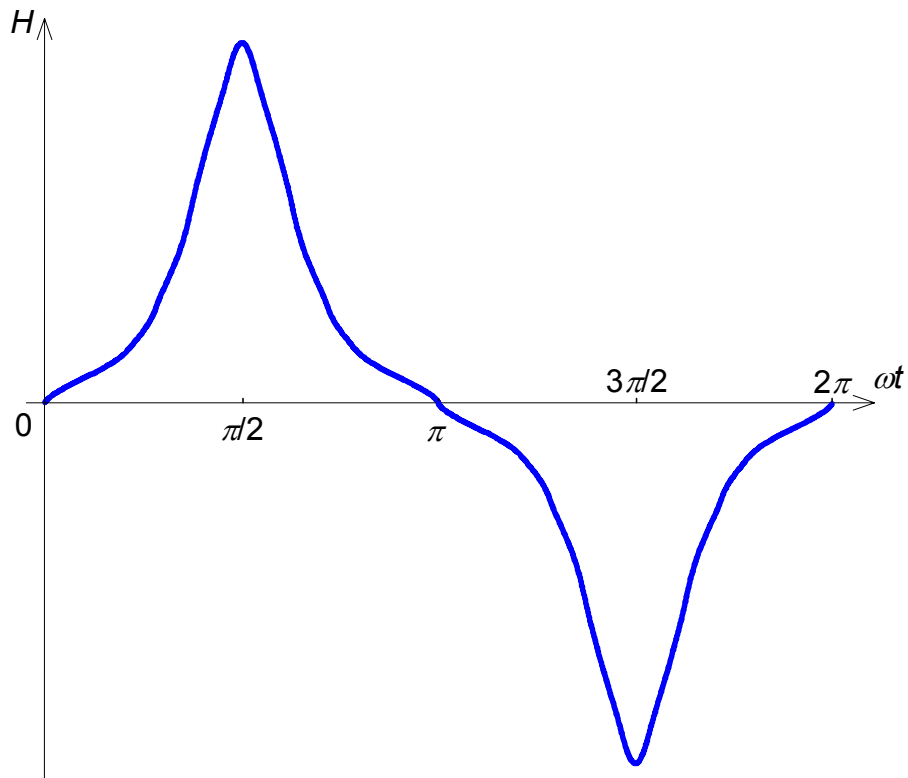
A térerősség (és az áram) függvényének torzulása attól függ, hogy az indukció maximális értéke a mágnesezési görbe melyik szakaszára esik.

B_{max} (T)	H_{max} (A/m) tényleges	$\sqrt{2}H_{eff}$ (A/m) közelítés
0,7	212	212,7
1,0	461	386,3
1,2	1000	724,6
1,3	1800	1153

lineáris szakasz
könyök szakasz
telítési szakasz
erős telítés

A mágneses térerősség (gerjesztés, gerjesztőáram) legnagyobb értéke

A térerősség nemszínusz alakú függvényét szokás olyan szinusz függvénnyel közelíteni, amelyeknek a H_{eff} effektív értéke megegyezik a tényleges függvény alak effektív értékével. Ez a közelítés hibás maximumot ad, az eltérés a tényleges H_{max} és a közelítő szinusz függvényből számítható $\sqrt{2}H_{eff}$ érték között a telítéssel nő.

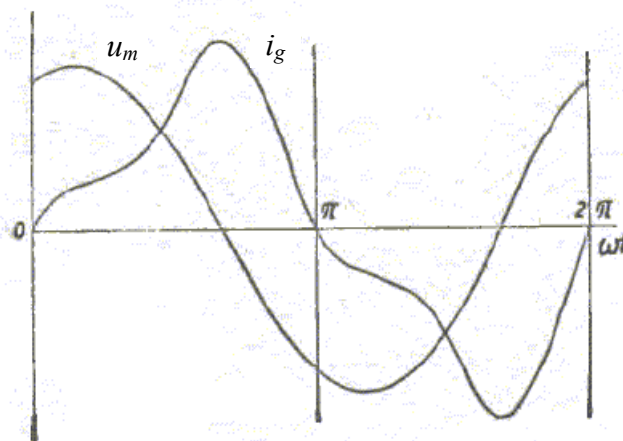


A térerősség és az áram időbeli változásának 1 periódusa

Az I_m mágnesező áram alakja függ a telítettségtől, alapharmonikusa fázisban 90° -ot késik U_m indukált feszültséghez képest. Állandó primer feszültség esetén transzformátor I_g gerjesztő árama terheléskor alig különbözik az üresjárási áramtól.

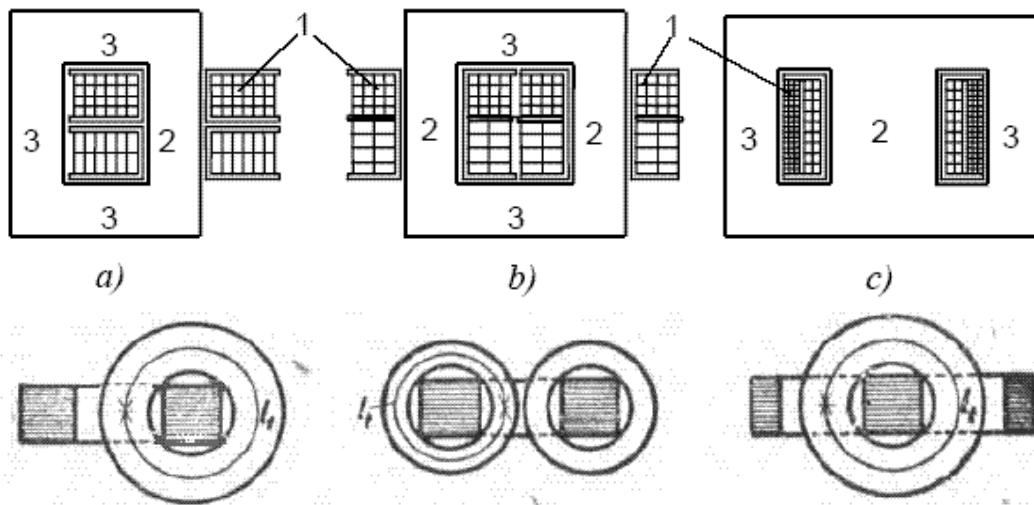
A hiszterézis- és az örvényáram veszteségnek megfelelő áram az R_v ellenálláson folyik és fázisban van U_m -el.

A mágnesező I_m és a vasvesztésre jellemző I_v áram vektoros összege adja az I_g eredő gerjesztő áramot.



Az áthidaló ág u_m indukált feszültségének és i_g gerjesztő áramának 1 periódusa

Vasmagtípusok



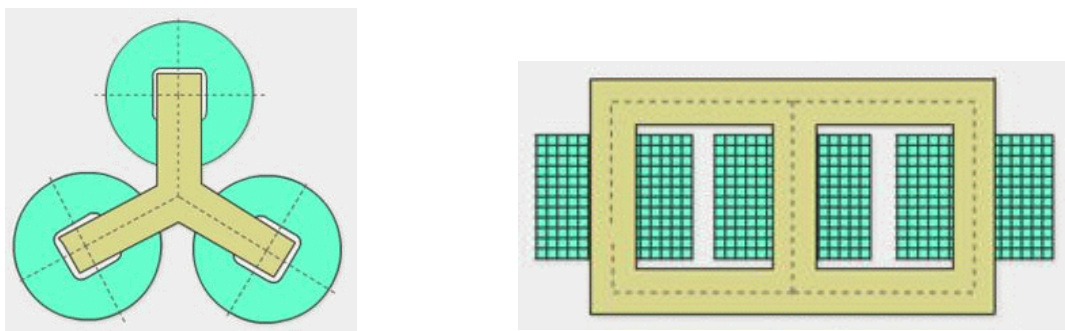
Egyfázisú transzformátor vasmagtípusok: a) láncszem- b) mag- c) köpeny típusú
1 tekercselés; 2 oszlop; 3 járom

Láncszem típusnál az egyfázisú transzformátor villamos- és mágneses köre – a tekercsek és a vastag – az a) abra szerint két láncszemhez hasonlóan kapcsolódik. Mag típusnál a tekercsek körbefogják a vasmagot, köpeny típusnál a vasmag fogja körbe a tekercseket. Mag típusnál a tekercsek, köpeny típusnál a vasmag súlya kisebb a láncszem típusúhoz képest.

Háromfázisú transzformátor

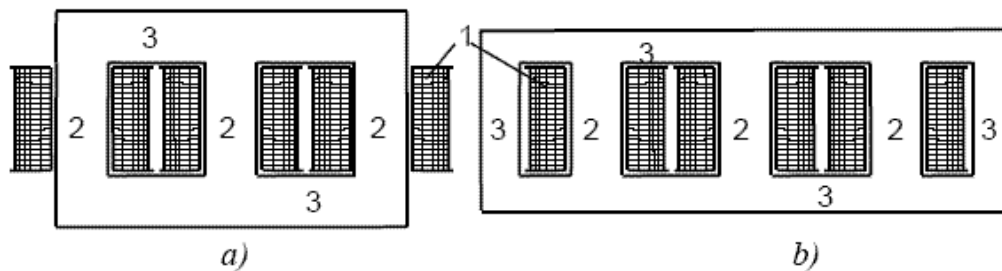
Három egyfázisú magtípusú transzformátor be nem tekercselt oszlopainak egyesítésével háromfázisú magtípusú transzformátort kapunk.

Mivel szinuszos függvény szerinti változást feltételezve, szimmetrikus táplálásnál a három fázistekercs árama által létrehozott fluxusok eredője minden pillanatban zérus, így a középső oszlopra tulajdonképpen nincs szükség.



Háromfázisú transzformátor lehetséges és a valóságos kialakítása

Az ábrán látható szimmetrikus geometriai kialakítás gyártása drága, helyigénye nagy, ezért a három oszlopot egy síkban helyezik el. Az így kapott megoldás egyrészt megbontja a szimmetriát, másrészt a fázistekercsek mágnesesen nem függetlenek egymástól, mert az egyes oszlopok fluxusa a másik két oszlopon át záródik. (Ez a kényszer nem lép fel a köpeny típusú vasagnál.)



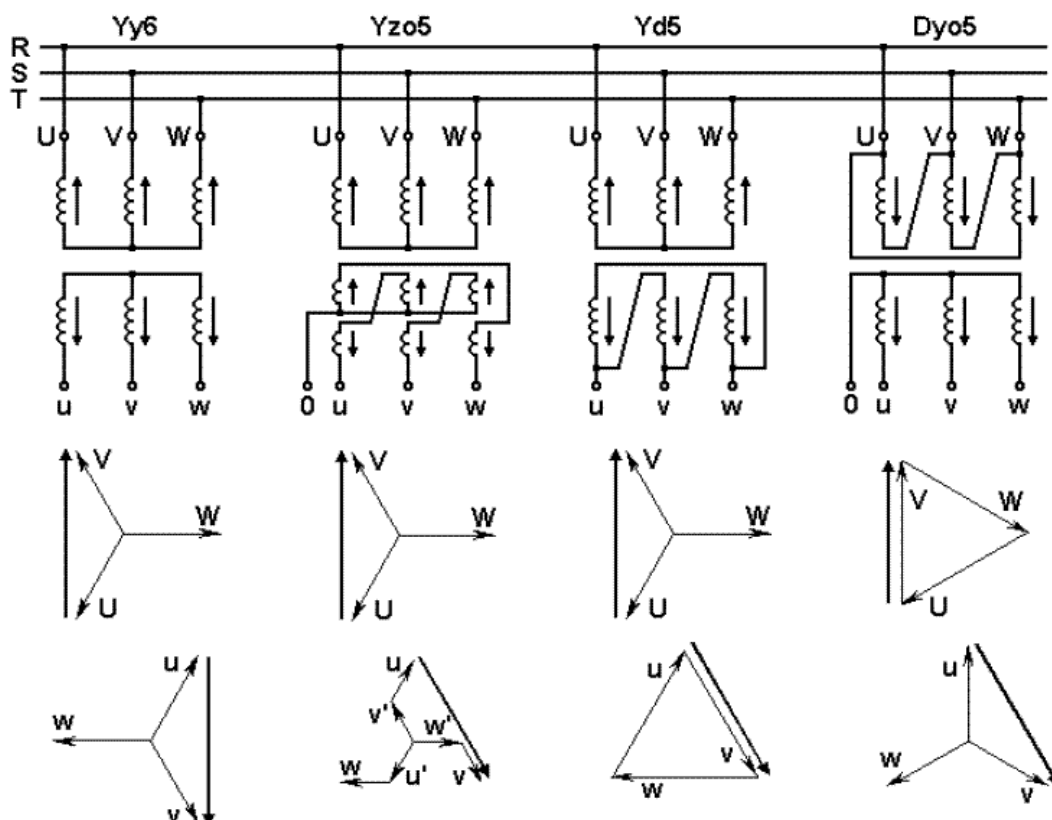
Háromfázisú transzformátor vasmagtípusok: a) mag- b) köpeny típusú
1 tekercselés; 2 oszlop; 3 járom

A geometriai aszimmetria miatt a középső oszlop indukció vonalai rövidebbek, így a rá jutó gerjesztés kisebb, mint ami a két szélsőre jut. A három fázis feszültsége azonos, ezen kényszer miatt azonos a B indukció és azonos a H térerősség is, de a rövidebb ℓ miatt a középső oszlop gerjesztése kisebb.

A transzformátor kapcsainak jelölése, kapcsolási csoportok

Az egyfázisú transzformátor nagyobb feszültségű kapcsait rendszerint U, V-vel, a kisebb feszültségűket pedig u, v-vel jelölik.

A háromfázisú transzformátor nagyobb feszültségű kapcsait U, V, W-vel a kisebb feszültségűket u, v, w-vel jelölik.



A legfontosabb kapcsolások

Az ugyanarra az oszlopra helyezett tekercsekben indukált feszültségek fázisban vannak, a fázorok iránya megegyezik. A tekercsek kapcsolásától függ, hogy a fázis azonosság a vonali feszültségekre is fennáll-e. A fázistekercset csillagba, deltába vagy zezugba lehet kapcsol-

ni, a primer és a szekunder oldal tekercseinek kapcsolása eltérhet egymástól. Zegzug kapcsolásnál az egyes fázisok tekercsei két egyenlő menetszámú részből állnak és minden rész a következő oszlopra elhelyezett tekercsféllal ellentétes értelemben van sorba kötve.

A gyakorlatban négy kapcsolási módot használnak: Yy_6 , Yz_5 , Yd_5 és Dy_5 . A nagy betű a primer, a kis betű a szekunder oldalra vonatkozik, Y, y – csillag, D, d – háromszög, Z, z – zegzug kapcsolást jelent. A kapcsolást követő szám azt mutatja, hogy a szekunder feszültség hányszor 30° -kal késik az azonos betűvel jelölt primer feszültséghez képest. Az alkalmazott pozitív irányok

csillag kapcsolásnál: csillagpont \rightarrow csatlakozó pontok (kapcsok),
háromszög kapcsolásnál: a csatlakozó pontok jelölése szerint $U \rightarrow V \rightarrow W$,
zegzug kapcsolásnál: a csillagpontból kiindulva.

Ellenőrző kérdések

1. Ismertesse a gerjesztési törvényt (Ampere törvényét), milyen feltételek mellett egyszerűsíthető a felírása? Hogyan alkalmazható mágneses körök számításánál?
2. Mikor beszélünk csatolt tekercsekről? Milyen összetevőkre szokták felbontani a csatolt tekercsek mágneses terét? Értelmezze az egyenértékű szórt fluxust.
3. Vázolja fel a mágneses tér térelméleti felbontását tükröző helyettesítő áramkört és értelmezze az áramkör elemeit.
4. Milyen célt szolgál a transzformátor szekunder oldalának a primer oldalra történő redukálása? Mely követelményeknek kell megfelelni az átalakítás során?
5. Vázolja fel a transzformátor állandósult állapotra érvényes egyesített áramköri vázlatát és értelmezze az áramkör elemeit. Hogyan veszik figyelembe a vasvesztéséget?
6. A transzformátor szekunder oldalának terhelésekor miért nő a primer oldal felvett teljesítménye?
7. Ismertesse a transzformátor üresjárású mérését és a helyettesítő áramköri paraméterek meghatározásának módját.
8. Ismertesse a transzformátor rövidzárási mérését és a helyettesítő áramköri paraméterek meghatározásának módját.
9. Mi a mágneses sönt alkalmazásának célja, hogyan befolyásolja a transzformátor helyettesítő áramkörét?
10. Hogyan hat a mágnesezési görbe nemlinearitása a transzformátor jellemző változóinak időbeli lefolyására? Milyen szinuszfüggvénnyel helyettesíthető a torzult jelalak?
11. Mutassa be az egyfázisú transzformátor vasmagtípusait.
12. Mutassa be egy Dy_5 kapcsolási csoportú transzformátor feszültségviszonyait.
13. Mutassa be egy Yz_5 kapcsolási csoportú transzformátor feszültségviszonyait.

Összeállította: Kádár István
2019. december