

Traszformátorok
Házi dolgozat

Horváth Tibor
lkvm7261
2008 június

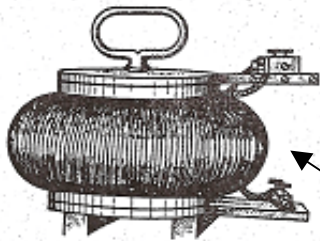
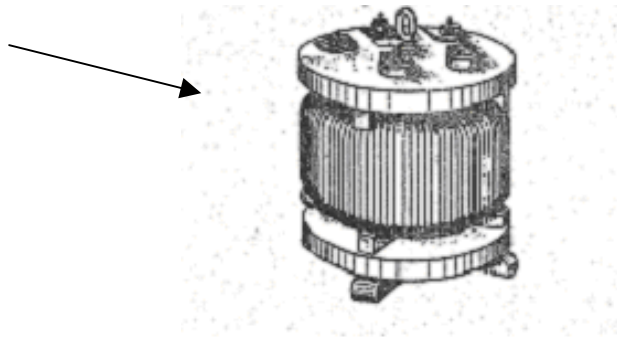
Traszformátorok

A traszformátor olyan statikus (mozgóalkatrészeket nem tartalmazó) elektromágneses átalakító, amely adott jellemzőkkel rendelkező villamos energiát más jellemzőkkel rendelkező villamos energiává alakít át.

Egy kis visszatekintés

Az első traszformátort Bláthy Ottó Titusz, Zipernovszky Károly és Déry Miksa szabadalmaztatta 1855-ben. E szabadalomban használták elsőként a „traszformátor” elnevezést. A szabadalom már tartalmazta a magtípusú és a köpeny típusú vasmag kialakítást is.

Mag típusú traszformátor



Köpeny típusú

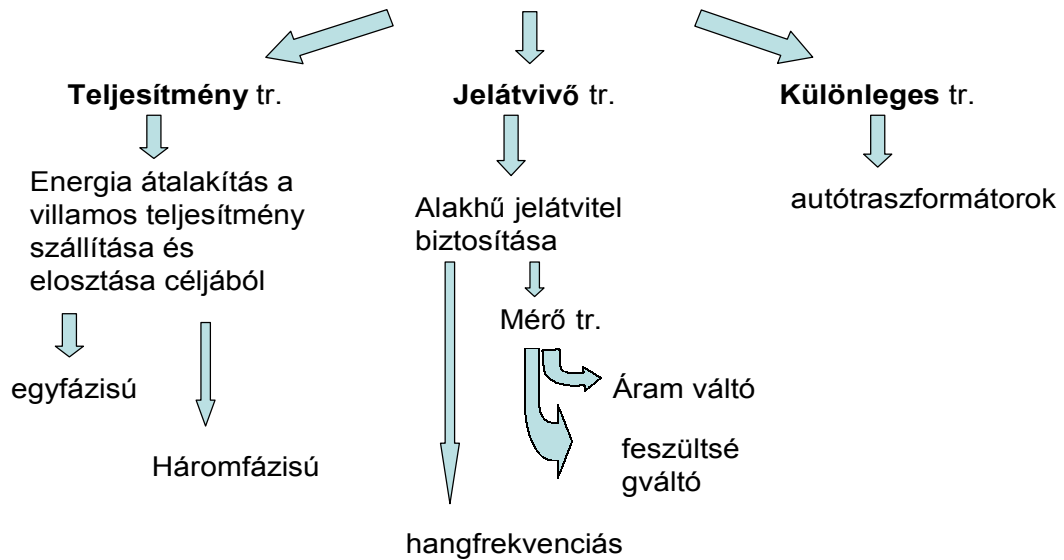
A veszteségek csökkentése érdekében a traszformátor vasmagját huzalból készítették.

A GANZ gyár 1885-ben már az ezredik, tíz évvel később pedig már a tízezredik traszformátort állította elő. A kezdeti 30 kVA teljesítményt 1912-re fokozatosan 21000 kVA-ig emelték.

A GANZ gyár korunkban már 270 MVA-es egységeket is gyártott. Napjaink legnagyobb traszformátorai 600-700 MVA-sek.

Gazdaságossági megfontolásokból a traszformátorok feszültségét folyamatosan emelik. Már hazánkban is rendszerben állnak 400-750 kVA-es traszformátorok.

Tranzformátorok csoportosítása funkciójuk szerint:



Vasmagon elhelyezett tekercsek száma alapján



Alkalmazás repülőgépeken:

-a fő váltakozó áramú hálózatról (200/115 V 1f.-36V 3f.előállítás az eltérő betáplálást igénylő berendezések táplálására.

- különleges feladatok megoldására.

Transzformátorok felépítése:

A transzformátorok felépítése, műszaki megoldásai szoros kapcsolatban vannak a transzformátor teljesítményével és feszültségével.

Teljesítményük alapján a transzformátoroknak többféle csoportosítása ismert, itt az egyik legelterjedtebbet közlöm:

- törpetranszformátor		1 W – 1 kW
- kis teljesítményű transzformátor		1 kW – 50 kW
- közepes teljesítményű	- „ -	50 kW – 50 MW
- nagy teljesítményű	- „ -	50 MW

A dolgozatban csak a „törpe” teljesítményű transzformátorokkal foglalkozunk. A transzformátor funkcionálisan két fő szerkezeti részre bontható. Ezek a **vasmag** és a **tekerceslés**.

Transzformátor vasmag szerkezete:

Feladata: Kis mágneses ellenállású közeg létrehozása, ami jó hatásfokú fluxus kapcsolódást hoz létre a primer és szekunder tekercsek között. Másképpen ez azt jelenti, hogy a szórt fluxust a lehető legkisebb értékre igyekszünk csökkenteni.

Anyaga: A transzformátor vasmag anyagának egymással ellentmondó követelményeknek kell megfelelnie. Jó mágneses tulajdonságokat (mágnesezhetőség, permeabilitás, remanencia, kis koercitiv erő (kell biztosítani nagy fajlagos ellenállás örvényáramok csökkentése) mellett. E követelményeknek csak az ötvözéssel kialakított lágymágneses anyagok felelnek meg.

Ezek közül a legelterjedtebbek a következők:

Szilícium vas

A 4 %-os Si ötvözésű vasat transzformátor és dinamóelem készítéséhez használják. Általában 0,35 – 0,5 mm vastagságban, meleg hengerléssel állítják el.

A 3,5 %-os Si ötvözésű vas „Hipersil” néven kerül forgalomba. Az anyag kristályszemcséit megfelelő hideghengerlési és hőkezelési eljárással úgy rendezik, hogy a mágnesezési irányok egybeesnek az anyag (szalag) hosszirányával. Az így nyert anyag a közönséges lemezanyaggal sokkal jobb tulajdonságokkal rendelkezik.

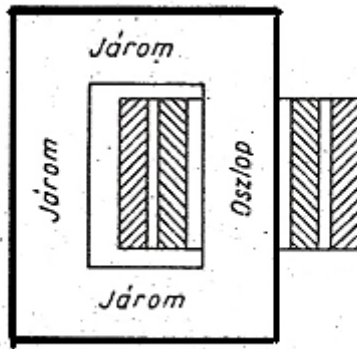
Szélessávú, nagyfrekvenciális és impulzustranszformátorok, illetve speciális, kis tömegű transzformátorok vasmagjaként használják.

- Permalloy ötvözetek
- Préselt ferritek
- Porvasmagok.

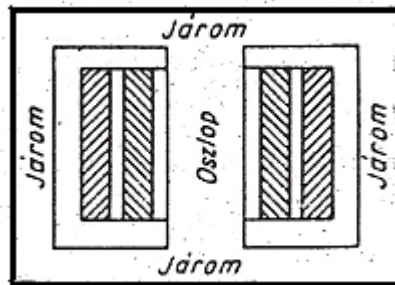
A transzformátorok vasmagjait a fajlagos ellenállás növelése (örvényáram) érdekében lemezekből állítják össze. A ferritek és porvasmagok általában egy tömbben készülnek hengeres, gyűrűs vagy köpeny alakban.

A lemezelte vasmagok a tekercsek elhelyezésétől függően különböző típusúak lehetnek:

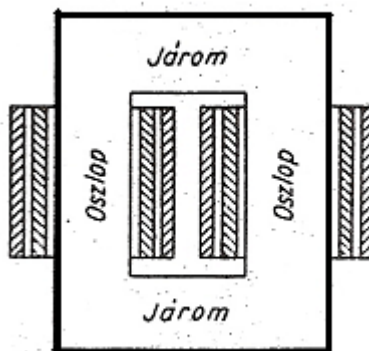
- láncszem
- köpeny
- magtípusúak



Egyfázisú, láncszem típusú vasmag. A primer és a szekunder tekercsek ugyanazon az oszlopon helyezkednek el. A vasmag keresztmetszete állandó.



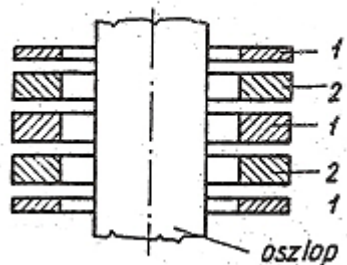
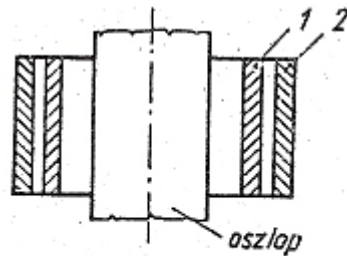
Egyfázisú köpenytípusú transzformátor. A tekercset hordozó középső oszlop végein a két járom két oldalra zárja a mágneses kört. Egy-egy járom a főfluxus felét vezeti, ezért a jármok és a szélső oszlopok keresztmetszete fele a középső oszlopénak.



Magtípusú transzformátor vasmag. Ennél a típusnál a vas keresztmetszete mindhárom ágban azonos, az egyes oszlopokon helyezkedik el és az adott fázishoz (ált. 3 fázisú traszf.) tartozó primer és szekunder tekercs is.

Transzformátor tekercsek szerkezete:

A primer és a szekunder tekercsek egymáshoz viszonyított helyzete alapján lehet hengeres vagy tárcsás.



Hengeres tekercselés esetén a primer és szekunder tekercsokat egymásba tolt hengerekként képezik ki. A két tekercs és a belső tekercs, illetve a vasmag között hűtési és szigetelési okokból megfelelő távolságot kell biztosítani. Szigetelési megfontolások alapján általában a kisebb feszültségű tekercset a vasmag közelében helyezik el.

A **tárcsás** elrendezés a szórt fluxusok szimétriája érdekében a tekercselés legalján és tetején lévő két tekercsrész mindegyike vagy a primer vagy a szekunder tekercshez tartozik. Menetszáma feleakkora, mint az adott tekercshez tartozó többi tekercsrésze.

A széles frekvenciatartományban üzemelő jelátvivő transzformátorok esetében, ahol fontos a szórási fluxus csökkentése, szokás a két elrendezés kombinált kialakítása is. (Sandwich tekercselés).

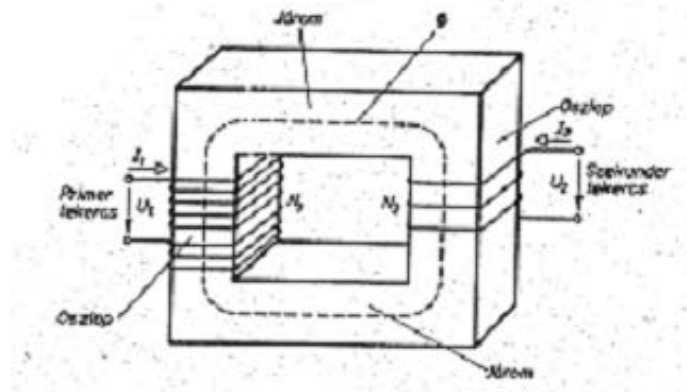
Anyaga:

Transzformátorok tekercselési anyagaként vörösréz vagy alumínium huzalt használnak. A huzal keresztmetszete 5 mm-ig kör, ezen felül négyzög alakú. A nagyfrekvenciás transzformátorok tekercseléséhez az áramkiszorulás csökkentése érdekében ún. Litze huzalt használnak. Ez sok, kis keresztmetszetű huzal sodrata.

Az egyfázisú transzformátor működési elve:

A transzformátor működési elve legkönnyebben az egyfázisú teljesítmény-transzformátor működésének vizsgálatán keresztül érthető meg. A többi transzformátortípus (háromfázisú, jelátviteli) működése lényegében mind visszavezethető az egyfázisú transzformátor működésére.

Az egyfázisú transzformátor közös vasmagra fűzött két tekercsből áll.



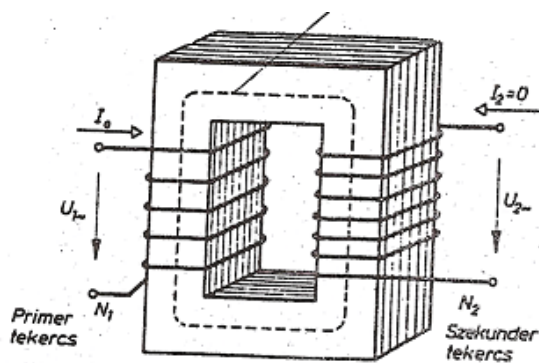
Azt a tekercset, amelyikre az általában, időben szinuszosan változó, átalakítandó feszültséget kapcsoljuk, primer tekercsnek, amelyikről az átalakított villamos teljesítményt levesszük, szekunder tekercsnek nevezzük.

A továbbiakban a működést a transzformátor két, alapvető üzemi állapotában külön-külön tárgyaljuk.

- Terhelés nélküli üzemi, avagy „üresjárási állapot”
- Terheléses üzemi, avagy „üzemi állapot”.

Működés üresjárási állapotban

Ebben az állapotban a transzformátor szekunder kapcsaira nincs villamos terhelés kapcsolva, így $I_2 = 0$.



az U_1 primer feszültség a primer tekercsen I_{10} üresjárási áramot hajt át, ami „ f ” frekvenciával változó fluxust hoz létre.

A fluxus két részből áll:

Φ_m főfluxus

Φ_{sl} szortfluxus

A fluxus túlnyomó része a kis mágneses ellenállású vasban záródik. Ez a főfluxus, ami feszültséget indukál, mind a szekunder, mind a primer tekercsben.

Működés, terheléses állapotban:

A transzformátor „terhelése” azt jelenti, hogy a szekunder kapcsokra villamos fogyasztót kapcsolunk. A szekunder áram ekkor nem zérus ($I_2 \neq 0$), hanem a fogyasztó által meghatározott nagyságú és fázishelyzetű.

A transzformátor primer tekercse a gyakorlatilag „végtelen teljesítményű”-nek tekinthető hálózatra van kapcsolva, így a primer oldali tekercs feszültsége az „ U_1 ” kapcsolófeszültség állandó, a transzformátor üzemállapotától függetlenül. A primer tekercsben keletkező feszültségeknek így „ U_1 ”-gyel kell egyensúlyt tartania.

Azaz:

$$U_1 = U_{1i} + U_{1s} + U_{1R}$$

ahol:

- U_{1i} hálózati feszültség
- U_{1s} főfluxus által indukált feszültség
- U_{1s} szórt fluxus által indukált feszültség
- U_{1R} primer tekercs ohmos ellenállásán eső feszültség.

Ahhoz, hogy ez a feszültségegyensúly fennálljon, mindig akkora fluxusnak kell keletkeznie, ami létre tudja hozni az egyensúlyt tartó (U_{1i} ; U_{1s}) feszültséget. Mivel egy állandó nagyságú (U_1) feszültséggel kell egyensúlyt tartania, így a fluxusnak is állandónak kell lennie ($\Phi_m = \text{áll.}$).

Üres járásban az e fluxus fenntartásához szükséges áram, 5-10 %-a a névleges terhelésnél folyó áramnak (I_1).

Ha terheljük a transzformátort, akkor a szekunder körben ($I_2 = 0$) áram folyik. Ez az áram fluxust hoz létre, melynek iránya olyan, hogy gyengíteni igyekszik a primer áram által keltett fluxust (Lentz törvénye.) A „ m ” főfluxus így két összetevő eredője

$$\Phi_m = \Phi_1 + \Phi_2 \quad / \underline{\Phi_m} = \underline{\Phi_1} + \underline{\Phi_2} /$$

A „ Φ_m ” főfluxusnak azonban állandónak kell maradnia, amit terhelés esetén a primerbe folyó többletáram biztosít, automatikusan.

A folyamat a következőképpen zajlik le:

1. A szekunder oldalra terhelést kapcsolunk, azaz $I_2 \neq 0$
Az így keletkező szekunder áram gerjesztést hoz létre.
2. A szekunder oldali gerjesztés fluxust hoz létre, ami csökkenteni igyekszik a Φ_m főfluxus.
3. A Φ_m főfluxus csökkenése a primerben indukált (U_{1i}) feszültség csökkenését vonja maga után.
4. Így megbomlik a primer oldali feszültségegyensúly. $U_1 > U_{11} + U_{1S} + U_{1R}$
5. I_1 primer áram üresjárási értékéhez képest a $U = U_1 - (U_{11} + U_{1S} + U_{1R})$ Feszültség különbségnek megfelelően megnő.
6. Az így megnövekedett I_1 áram hatására a $\Theta_1 = I_1 \times N_1$ primer gerjesztése is megnő, vele nő az általa létrehozott Φ_1 fluxus és az egyensúly visszaáll.

Így kijelenthetjük, hogy a transzformátor Φ_m főfluxusát a primer és szekunder oldali gerjesztések eredője tartja állandó értéken minden időpillanatban.

ahol:

$$I_1 \times N_1 + I_2 \times N_2 = I_{10} \times N_1$$

- I_1	primer áram
- I_2	szekunder áram
- I_{10}	üresjárási, primer áram.

Ez az összefüggés a „gerjesztések egyensúlyának törvénye”.

A transzformátor helyettesítő áramköre:

A transzformátor működésének magyarázatánál kiderült, hogy bonyolult fizikai folyamatok zajlanak egy időben és e folyamatok hatásainak szuperpozíciója eredményezi az eszköz működését.

A részletesebb vizsgálathoz a valós fizikai modell bonyolult, ezért célszerű egy koncentrált paraméterű elemekből álló modell létrehozása. E modell be- és kimeneti pontjain pontosan „lemásolja” a transzformátor primer és szekunder oldalán megjelenő villamos jeleket, de felépítését tekintve olyan, hogy egyszerű hálózatszámítási módszerekkel kezelhető legyen.

A modellhez a transzformátor lényeges fizikai folyamatainak kihangsúlyozásával és a kevésbé lényegesek elhanyagolásával jutunk el.

A helyettesítő áramkör (modell) ellenállások és reaktanciák kombinációja, mely bizonyos határok között úgy viselkedik, mint maga a transzformátor.

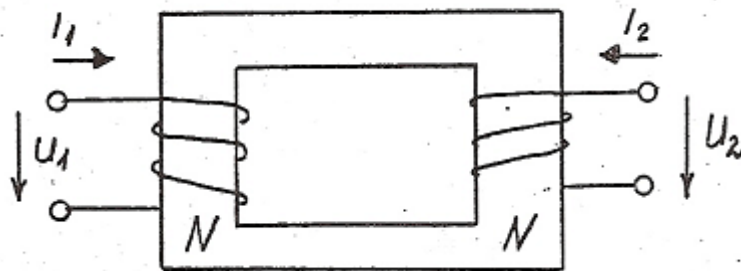
Számos olyan helyettesítő áramkör rajzolható, melynek elemeit helyen megválasztva, a transzformátort jól reprodukáló modellhez jutunk.

A továbbiakban csak a teljesítmény transzformátorok állandósult állapotának vizsgálatánál használt „T” kapcsolású áramkört építjük fel.

A transzformátor működési elvének ismeretében már tudjuk, hogy a kapocsfeszültségekkel (primer, szekunder) három feszültség tart egyensúlyt.

$$\overline{U}_1 = \overline{U}_{1i} + \overline{U}_{1R} + \overline{U}_{1S} \quad ; \quad \overline{U}_2 = \overline{U}_{2i} + \overline{U}_{2R} + \overline{U}_{2S}$$

Ezek a feszültségek a tekercselés menetein elosztva keletkeznek, de a modell szempontjából elegendő, ha úgy tekintjük ezeket, mintha egy koncentrált paraméterű elemen keletkeznének. Első lépésként egy $N_1 = N_2 = N$ menetszámú tekercselésekkel rendelkező transzformátor (szoros csatolásban lévő tekercspár) helyettesítő áramkörét rajzoljuk fel.

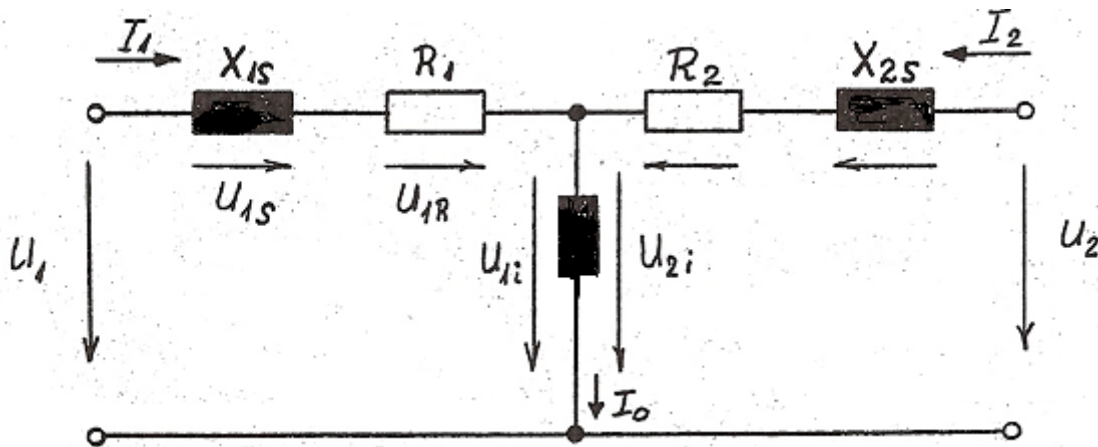


$N_1 = N_2 = N$ helyettesítő áramkör (kép)

Elegendő csak a primer oldalt vizsgálni, az eredmények értelemszerűen alkalmazhatóak a szekunder körre is.

- U_{1i} primer tekercsben indukált feszültség
A helyettesítő képben egy N menetszámú, ideális tekercsben fog keletkezni.
- U_{1R} primer tekercs ohmos ellenállására eső feszültség.
A helyettesítő képben a primer tekercs ohmos ellenállásával megegyező értékű R ellenálláson fog keletkezni.
- U_{1S} a primer tekercs szórt fluxusa által indukált feszültség.
A helyettesítő képben a tekercselés sorbakötött X_{1S} ideális induktív reaktanciával modellezzük.

A fentiek figyelembevételével a transzformátor helyettesítő képe megrajzolható.



$$U_i = U_{1i} = U_{2i} \quad ; \quad \bar{I}_0 = \bar{I}_1 + \bar{I}_2$$

Az I_0 áram állandó értékű, I_1 és I_2 vektoriális eredője.

Az egyenlet a gerjesztések egyensúlyának speciális esete, $N_1 = N_2 = N$ helyettesítéssel.

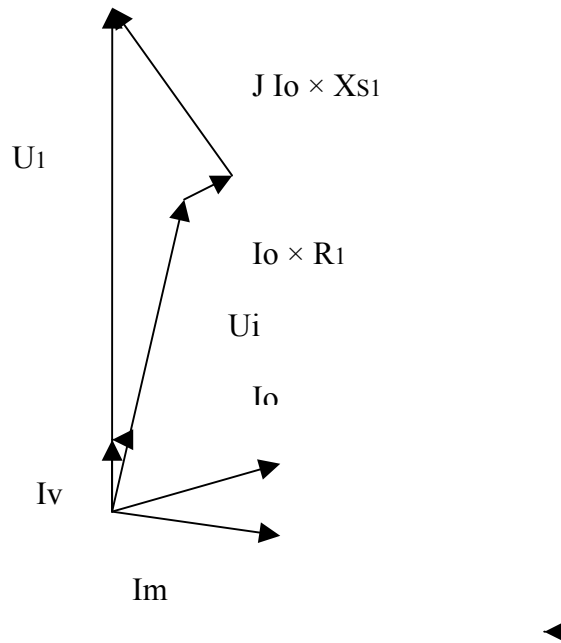
Vektorábrák:

A transzformátorban lezajló fizikai jelenségek jól nyomonkövethetők a transzformátor vektorábráinak segítségével, amiket a transzformátor helyettesítő képe alapján könnyen felvehetünk.

A transzformátor különböző üzemállapotaihoz (üresjárás, rövidzár, különböző jellegű „R”; „L”; „C” terhelések) más és más vektorába tartozik. Ezek közül kettőt: az **üresjárásit** és egy induktív jellegű **terheléshez** tartozót szerkesztünk meg. Ezek alapján már bármilyen más üzemállapothoz tartozó vektorára is megszerkeszthető.

Üresjárási vektorábra:

Az ábrát a helyettesítő képnél alkalmazott referencia irányokkal vesszük fel.



Az U_1 Primer kapocs fesz. Vektorából ill. az I_0 üresjárási primer áramából indulunk ki.

$$I_1 = I_0$$

Az I_0 áram közel 90° -ot késik az U_1 feszhez képest, mert a primer tekercs impedanciájában induktívreaktancia van túlsúlyban.

A váltakozó főfluxus hozza létre a primer, illetve szekunder tekercselésben U_{1i} és U_{2i} indukált feszültségeket, azaz a helyettesítő kép U_i feszültségét. A primer tekercsben I áram létrehozza a vele fázisban lévő U_{1R} feszültséget és az U_{1R} -el 90° -ot bezáró U_{1S} feszültséget. E három feszültség vektoriális eredője az U_1 kapocsfeszültség.

$$U_1 = U_i + U_{1R} + U_{1S}$$

Mivel a szórt fluxus a főfluxusnak csak néhány tized százaléka, ezért U_{1S} is csupán néhány tized százaléka U_i -nek.

Ugyanilyen a viszony U_{1R} és U_i között is.

A primer tekercsre kapcsolt hálózat meghatározza U_1 feszültséget, így a relé közel egyenlő U_{1i} -et is. E feszültség létrehozásához pedig adott nagyságú fluxusra, ehhez viszont megfelelő nagyságú és fázisú gerjesztő áramra van szükség. Így mondhatjuk, hogy U_1 mindig ekkora áramot (I_1) hajt át a primer tekercsen, ami a megfelelő U_1 feszültség létrehozásához kell. Ez az áram 5-10 %-a a teljes terhelésnél folyó áramnak.

Terhelési vektorábra:

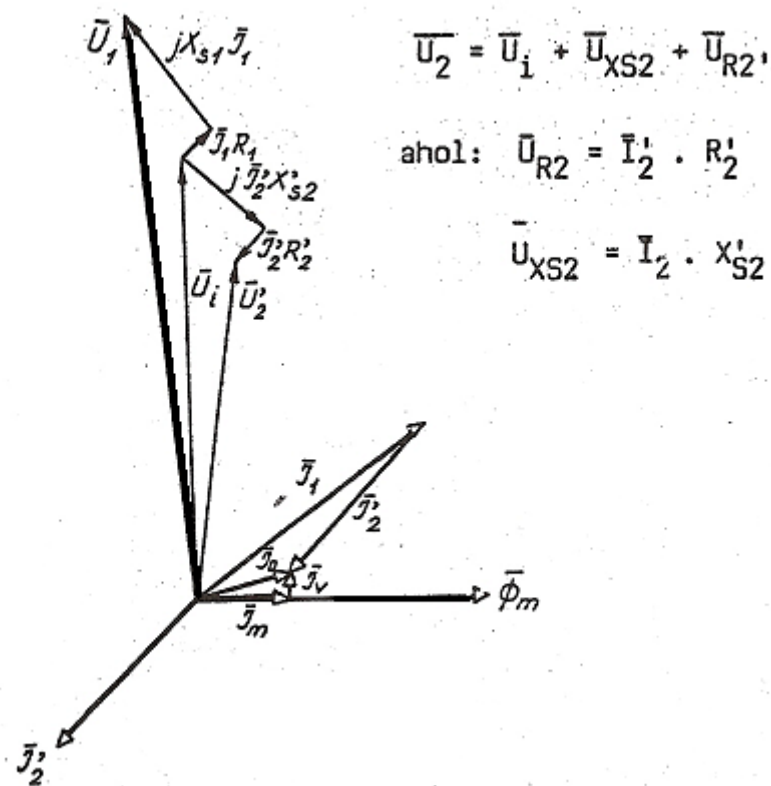
Ha a transzformátor szekunder kapcsaira „fogyasztó”-t kapcsolunk, akkor szekunder áram fog keletkezni és a terhelésen, illetve a szekunder tekercsen átfolylni.

Ezen áram nagysága és fázishelyzete a fogyasztótól függ. A szabályos fogyasztók (motor, fűtőszál, izzó, stb.) leggyakrabban induktív jellegűek, ezért most egy induktív jellegű terhelés vektorábráját rajzoljuk fel.

Induktív terhelés árama késik a feszültségéhez képest.

Az ábra felvételénél a terhelés által meghatározott \bar{U}'_2 és \bar{I}'_2 redukált szekunder mennyiségekből kell kiindulni.

A helyettesítő kép alapján felírhatjuk a szekunder kör hurokegyenletét.



Ennek ismeretében folytathatjuk az ábra szerkesztését \bar{U}'_2 majd a rá merőleges \bar{U}_{XS2} berajzolásával. A három feszültség vektoros eredője az \bar{U}_i indukált feszültség.

Az \bar{U}_i illetve X_m és R_v ismeretében \bar{I}_0 meghatározható:

$$\bar{I}_v = \frac{\bar{U}_i}{R_v} \quad ; \quad \bar{I}_M = \frac{\bar{U}_i}{X_m} \quad ; \quad \bar{I}_0 = \bar{I}_v + \bar{I}_m$$

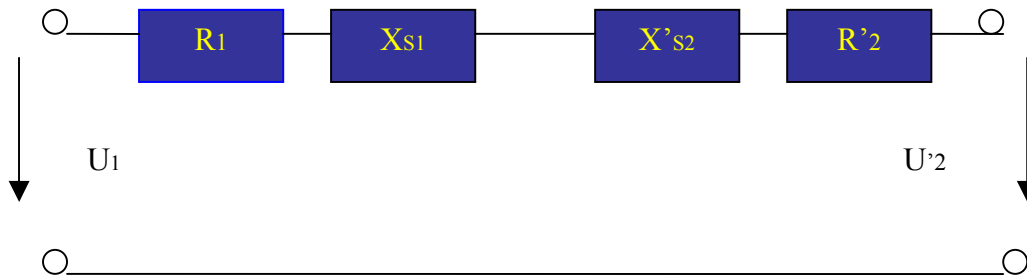
Ezután \bar{I}_0 és \bar{I}'_2 segítségével \bar{I}_1 primer áram adódik. A primer áram meghatározza feszültség vektorokat.

A primer oldalra felírható hurokegyenlet alapján pedig \bar{U}_1 kapocsfeszültség is berajzolható.

A terheléses vektorábra alapján megállapíthatunk néhány fontos, a gyakorlatban is jól alkalmazható következtetést:

Az I_0 sokkal kisebb, mint I_1 vagy I_2 áram. Ezt úgy is fogalmazhatjuk, hogy X_m és R_v igen nagy impedanciát képeznek.

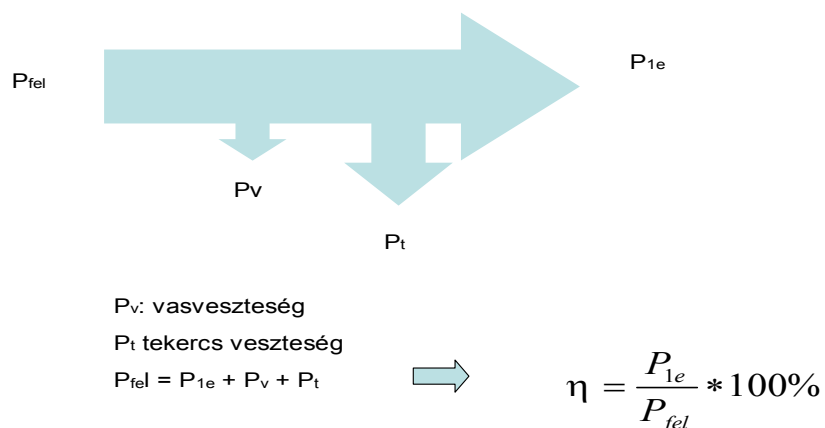
Ezek alapján a helyettesítő kép áthidaló ágában lévő – elemek elhagyhatóak, így az egyszerűsödik.



A második fontos megállapítás, hogy \dot{U}_1 és \dot{U}_2 közel fázisban vannak.

Transzformátor hatásfoka:

A transzformátor hatásfokát a leadott, illetve felvett teljesítmény hányadosából számíthatjuk. A felvett teljesítmény mindig nagyobb, mint a leadott. A különbség a veszteségek fedezésére fordítódik. Szemléletes képet kapunk, ha megvizsgáljuk az ún. „teljesítménymérleg”-et.



Repülőgépeken alkalmazott transzformátorok:

A repülőgépek fedélzetén kiterjedt és bonyolult villamos rendszer található, melyben különféle jellemzőkkel (amplitúdó, fázisszám) bíró, váltakozó feszültségrendszerek is vannak. A fedélzetén lévő villamos rendszereket eleve úgy tervezik, hogy a generátorok kimenő feszültsége transzformátoros átalakítás nélkül is felhasználható legyen, ezért az energiaellátásban nem szokás transzformátort használni.

A fedélzetén található szabályozástechnikai rendszereknél azonban adódik néhány olyan feladat, ami a repülőgép fedélzetén fellépő különleges környezeti hatások között transzformátorral oldható meg megfelelő biztonsággal:

- átmeneti folyamatok stabilitásának javítása;
- jelátalakítás;
- teljesítményszabályozás.

A fenti feladatok megoldására tervezett transzformátorokat úgy kell kialakítani, hogy megfeleljenek a különleges külső hatásoknak.

Célszerű ezeket áttekinteni:

- Nagy és gyors környezeti hőmérsékletváltozás (- 60 C + 60 C), ami fokozott igénybevételt jelent a szigetelésekre és befolyásolja a vasmagok mágneses vezetőképességét is.
- Gyakran 95-98 %-os páratartalom.
- Nagy dinamikájú légnyomásváltozás (befolyásolja az átütési szilárdságot).
- Nagy vibrációs terhelés.
- Extrém nagy, változó irányú gravitációs túlterhelések, melyek elérhetik a 10-15 g-s amplitúdót is.

Tovább nehezíti a tervezést, hogy igen fontos követelmény a transzformátor minél kisebb súlya. Ezt nagyobb frekvencián (400 Hz) való üzemeltetéssel is igyekezzenek biztosítani.

Forrás: Kovács József mk. alez. (jegyzet)
Transzformátorok (jegyzet)