

## A transzformátor

Lenz törvénye általánosan megfogalmazva azt mondja ki, hogy valamely fizikai rendszer többnyire környezetének megváltozására úgy „reagál” hogy e változást csökkenteni igyekszik. Ezen meglehetősen érdekes észrevételre az elektrotechnikában jó példa a vezető keret által meghatározott felületen áthaladó mágneses térerősség megváltozása, amikor is a keretben ennek hatására olyan áram indukálódik, amely által létrehozott fluxus kiegyenlíteni igyekszik az eredeti fluxusváltozás mértékét. (A keret felé mozgatott mágnes hatására keret is kilendül.) Ez a tulajdonság alkotja a transzformátor alapelvét is.

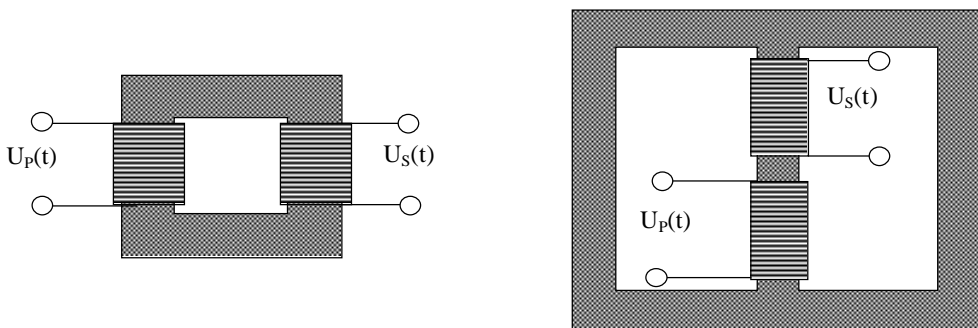
Általában két, eltérő menetszámú, közös vasmagra szerelt tekercs alkotja, az egyik a primer (P), a másik a szekunder (S) körhöz (oldalhoz) csatlakozik. A közös vasmagot az örvényáramok okozta veszteség csökkentése céljából vékony vaslemezekből készítik.

Transzformátor működése legegyszerűbben a következőképp képzelhető el: az  $U_P(t)$  primer oldali váltakozó feszültség megváltozása a primer tekercsekben változó mágneses térerősséget hoz létre, ami a vasmag belsejében tovaterjed és zárt kört alkotva a szekunder tekercsen is áthalad. Mint tudjuk, a mágneses indukció jelensége akkor lép fel, ha valamely vezetőkeret által határolt felületen az átmenő mágneses fluxus megváltozik. Ez a megváltozó fluxus hatására jelenik meg a zárt szekunder körben az áram, a nyitott szekunder oldal kapcsain pedig a feszültségkülönbség. Mindezekből látható, hogy a transzformátort csak váltakozó feszültség mellett lehet használni, ugyanis hiába van a primer körre egyenfeszültség kapcsolva, az általa létrehozott egyenáram állandó mágneses teret hoz létre a vasmagban, ami a szekunder tekercsen állandó volta miatt nem képes elektromos hatást előidézni.

Említésre méltó tulajdonsága, hogy csak mágneses csatoláson keresztül létesít kapcsolatot a primer és szekunder oldal között, ezáltal galvanikusan elválasztja azokat. Ez a tulajdonság bizonyos mértékű biztonságot is nyújt: még ha az egyik oldal károsodik is (zárlatos lesz, vagy érintésvédelmi szempontból megbízhatatlanná válik), a másik oldal ettől függetlenül ugyanúgy üzemeltethető.

A transzformátor talán egyik legfontosabb tulajdonsága, hogy a kapcsain mérhető feszültségek és áramok nem csak a tápláló feszültségtől, hanem a következőkben ismertetett módon a transzformátor tekercselésétől is függenek.

Két jellegzetes alakja a mag-, és a köpenytranszformátor:



A transzformátor főbb tulajdonságait két jellegzetes kapcsolási mód alapján tudjuk szemléletesen megvizsgálni.

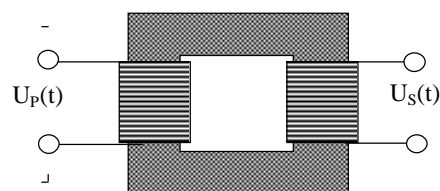
### 1. A nyitott szekunder körű-, vagy terheletlen transzformátor.

Általában a primer oldali feszültség alakja:

$$U_P(t) = U_P \cdot \cos(\omega \cdot t).$$

Ennek hatására a primer tekercsen üresjárási áram folyik, amely által a tekercsekben létrejövő mágneses tér a

$$\Phi(t) = m_0 \cdot m_r \cdot \frac{n_P \cdot I(t)}{l} \cdot A$$



váltakozó fluxust generálja. ( $n_p$  - a primer oldali menetszám,  $A$  - a tekercs metszetének felülete,  $l$  - a tekercs hossza.) Ezen váltakozó fluxus azonban olyan ellenfeszültséget indukál még mindig a primer tekercsben, amely által létrehozott áram tere a változást csökkenteni igyekszik. Ez a jelenség önindukció néven ismert. Nagysága:

$$U_{ind}(t) = -n_p \cdot \frac{d\Phi(t)}{dt}$$

Mivel az egyéb veszteségeket (*Pl.: vasmagban való elnyelődés, örvényáramok, stb.*) elhanyagolhatónak tekintjük, és tudjuk hogy zárt körben a feszültségesések összege nulla, kapjuk, hogy:

$$U_{ind}(t) + U_p(t) = 0 \quad \Rightarrow \quad U_p(t) = -U_{ind}(t).$$

Írjuk be a megfelelő mennyiségeket és oldjuk meg a kapott differenciálegyenletet!

$$\begin{aligned} U_p \cdot \cos(\omega \cdot t) &= - \left( -n_p \cdot \frac{d\Phi(t)}{dt} \right) = n_p \cdot \frac{d\Phi(t)}{dt} \quad \Big/ \int \dots dt \\ U_p \cdot \frac{1}{\omega} \cdot \sin(\omega \cdot t) &= n_p \cdot \Phi(t) \\ \Phi(t) &= \frac{1}{n_p} \cdot \frac{1}{\omega} \cdot U_p \cdot \sin(\omega \cdot t) \end{aligned}$$

Ez a  $\Phi(t)$  fluxus azonban a szekunder tekercsen is áthalad, és kapcsai közt az előzőekhez hasonlóan

$$U_s(t) = -n_s \cdot \frac{d\Phi(t)}{dt}$$

nagyságú szekunder feszültséget indukál. Beírva  $\Phi(t)$  értékét, és elvégezve a differenciálást:

$$U_s(t) = -n_s \cdot \frac{d}{dt} \left( \frac{1}{n_p} \cdot \frac{1}{\omega} \cdot U_p \cdot \sin(\omega \cdot t) \right) = -\frac{n_s}{n_p} \cdot \frac{1}{\omega} \cdot \frac{d}{dt} (U_p \cdot \sin(\omega \cdot t)) = -\frac{n_s}{n_p} \cdot \frac{1}{\omega} \cdot (U_p \cdot \omega \cdot \cos(\omega \cdot t))$$

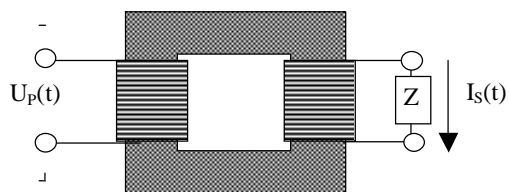
$$U_s(t) = -\frac{n_s}{n_p} \cdot U_p \cdot \cos(\omega \cdot t) = -\frac{n_s}{n_p} \cdot U_p(t)$$

Azaz kaptuk, hogy a szekunder oldalon megjelenő feszültség a menetszámok megfelelő arányának függvénye, és ellentétes fázisú a primer feszültséghez képest. (*Ezt a negatív előjel jelzi. Ha ugyanis az egyik mennyiség negatív, az azt jelenti, hogy az őt meghatározó koszinusz függvény negatív, azaz a fázisa ellentétes az ugyanekkora értékű, pozitív koszinusz fázisához képest.*). A szekunder oldalon természetesen nem folyik áram, hiszen a szekunder oldal két kapcsa ebben az esetben nincs összekötve, a két kivezetés között mindössze a váltakozó szekunder feszültség mérhető.

Az üresjáratú teljesítményfelvétel:  $P_0 = U_p \cdot I_p \cdot \cos(\varphi_0)$  ahol  $\varphi_0$  a primer oldalról „látható” többnyire veszteségek által létrejövő impedanciára jellemző fázisszög.

## 2. A megterhelt transzformátor

Ebben az esetben a szekunder oldalon a szekunder tekercs két kapcsa között egy impedanciát tételezünk fel, ez egyben azt is jelenti, hogy a szekunder oldalon a váltakozó fluxus által gerjesztett szekunder váltakozó feszültség ettől az impedanciától is függő, szintén váltakozó áramot fog itt létrehozni.



Legyen a szekunder oldalon valamely adott időpillanatban megjelenő áram nagysága  $I_S$ . Próbáljuk meg ebben a látszólagos állóképben megvizsgálni, a mennyiségek felvett értékeit. Az  $I_S$  adott időpillanatban állandónak tekinthető szekunder áram létrehoz egy neki megfelelő fluxust:

$$\Phi_S = m_0 \cdot m_r \cdot \frac{n_S \cdot I_S}{l} \cdot A$$

Mivel azonban a primer oldali feszültség a primer oldali áramot – s rajta keresztül az ott ébredő fluxust – teljesen meghatározza, így a külső áramforrásnak egy olyan primer oldali (terhelési) áramot is kell szolgáltatnia, amelyre jellemző  $\Phi_P$  fluxus kompenzálja  $\Phi_S$ -t. Ez azonban ekkor azt jelenti, hogy:

$$\Phi_P + \Phi_S = 0 \Rightarrow \Phi_P = -\Phi_S$$

A megfelelő  $\Phi$  kifejezéseket behelyettesítve, majd egyszerűsítve:

$$m_0 \cdot m_r \cdot \frac{n_P \cdot I_P}{l} \cdot A = -m_0 \cdot m_r \cdot \frac{n_S \cdot I_S}{l} \cdot A$$

$$I_S = -\frac{n_P}{n_S} \cdot I_P$$

Mivel állításunk tetszőleges időpillanatra igaz, így az előző mennyiségek időfüggvényeire is, azaz:

$$I_S(t) = -\frac{n_P}{n_S} \cdot I_P(t)$$

A kapott eredmény az, hogy a transzformátor esetén a primer és szekunder áramok a menetszámokat tekintve pont fordítva arányosak, mint a megfelelő feszültségek voltak, viszont ugyanolyan ellentétes fázisúak egymáshoz képest.

A primer oldalon felvett teljesítmény ( $P_P$ ) és szekunder oldali kivehető teljesítmény ( $P_S$ ) általában nem egyezik meg, arányuk jellemzését a transzformátorok hatásfoka adja ( $h$ ).

$$h = \frac{P_S}{P_P} \quad (\approx 98-99\%), \text{ ahol}$$

$$P_P = U_P \cdot I_P \cdot \cos(\varphi_P), \quad P_S = U_S \cdot I_S \cdot \cos(\varphi_S)$$

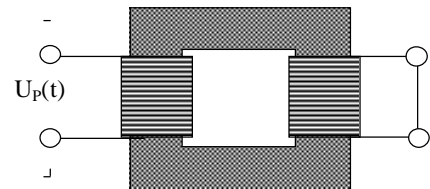
Összegezve az előbb látottakat az úgynevezett áttételi viszony ( $a$ ):

$$a = \frac{n_P}{n_S} = -\frac{U_P}{U_S} = -\frac{I_S}{I_P}$$

### 3. Speciális eset – rövidre zárt transzformátor.

Ez akkor fordulhat elő, amikor a szekunder köri impedancia értéke 0. Vigyázat! Ebben az esetben nagyon nagy áram képes indukálódni a szekunder körben!!!

Egy alkalmazás: a primer kör több ezres tekercs, a szekunder kör egyetlen olyan vajt körgyűrű, amelybe fémdarabok helyezhetők. Ha most erre a rendszerre primer oldalon valamilyen alacsonyabb (hálózati) feszültséget kapcsolunk, akkor a szekunder körű felizzik felolvasztva a benne elhelyezett fémdarabokat, anélkül, hogy a primer körnek bármi baja esne. Ezen az elven működnek az elektromos olvasztókemencék is.



### A háromfázisú transzformátorok.

A távvezetékben általában háromfázisú feszültséget szállítanak, amelyet több fokozatban háromfázisú transzformátorokkal transzformálnak nagy feszültségre, majd a célállomásnál hasonlóan többfokozatú csökkentés mellett érik el a kívánt értéket.

A háromfázisú transzformátor vagy három darab különálló egyfázisú transzformátorból, vagy közös vasmagra szerelt tekercsekből áll. Ez utóbbi szerkezete látható a jobb oldali ábrán. A teljesítmény ez esetben:

$$P_P = \sqrt{3} \cdot U_{V_P} \cdot I_{V_P} \cdot \cos(\varphi_P)$$

