



TÁMOP-4.1.1.C-12/1/KONV-2012-0005 projekt



„Ágazati felkészítés a hazai ELI projekttel összefüggő képzési és K+F feladatokra”

Atomfizika és elektromosság tanlaboratóriumi gyakorlat

## 12.

### A TRANSZFORMÁTOR VIZSGÁLATA

- Célkitűzés:**
- *a transzformátor működésének, fázisviszonyainak és a reális transzformátornál fellépő különböző veszteségeknek a tanulmányozása.*

A gyakorlatot összeállította: *dr. Bohus János* egyetemi adjunktus  
*dr. Füle Miklós* egyetemi docens  
SZTE Kísérleti Fizikai Tanszék

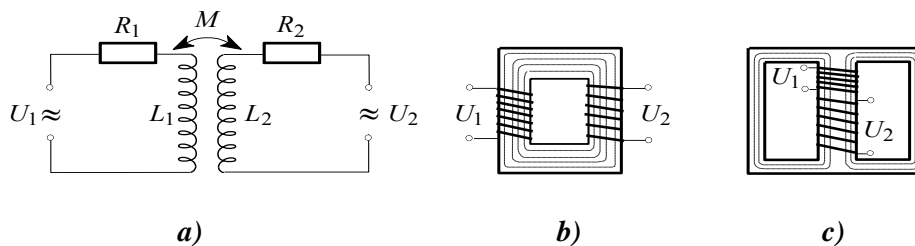


„Ágazati felkészítés a hazai ELI projekttel összefüggő képzési és K+F feladatokra”

## I. A 12. gyakorlathoz kapcsolódó fizikai alapismeretek

- **A transzformátor felépítése.** A váltóáramú hálózatok egyik leggyakrabban használt eleme a transzformátor. Alkalmazását az a tulajdonsága indokolja, hogy viszonylag csekély teljesítményvesztés árán a váltófeszültséget szolgáltató energiaforrás feszültsége tetszés szerinti értékre fel- vagy letranszformálható. Ezen kívül pl. erősítőfokozatok galvanikus leválasztására, feszültségforrások és terhelések közti impedancia illesztésére alkalmazható.

A transzformátor két vagy több egymáshoz szorosan csatolt tekercsből áll. Elvi vázlata, illetve felépítése az 1. ábrán látható. A gyakorlatban a transzformátorokat – eltekintve az egészen magas rádiófrekvenciákon használatos légmagos tekercsesektől – mindig jól mágnesezhető anyagokra tekercselik azért, hogy a szükséges induktivitás minél kisebb menetszámmal legyen megvalósítható. Kisebb menetszám esetén a veszteség is kevesebb, növekszik a tekercs jóságai tényezője, csökken a szórt mágneses tér. A transzformátoroknál az  $R$  ohmikus ellenállás értéke lényegesen kisebb, mint az induktív ellenállás  $L\omega$  értéke.



1. ábra

A transzformátor két (vagy több) tekercse közül azt, amelyikre a külső – általában időben szinuszosan változó – feszültséget kapcsoljuk, *primer tekercsnek* nevezzük. A primer tekercsben folyó áram változó indukciófluxust hoz létre a tekercs belsejében lévő vasmagban, és ez feszültséget indukál a másik (illetve a többi) tekercsben is. Ez utóbbi(aka)t *szekunder tekercs(ek)nek* nevezzük. Ha a primer tekercsre úgy kapcsolunk feszültséget, hogy a szekunder kivezetéseket szabadon hagyjuk, *üresjárásról*, ha pedig kicsi ellenálláson keresztül zárjuk azokat, *rövidzárásról* beszélünk. A transzformátor névleges feszültsége, névleges árama és névleges teljesítménye azok a jellemző értékek, amelyekkel a transzformátor hosszabb ideig káros melegedés nélkül üzemelhet.

- **Ideális (vesztésmentes) transzformátor.** Ha a transzformátort veszteségmentesnek, valamint az indukciófluxusnak a vasmagon kívül eső részét elhanyagolhatónak tekintjük, akkor bármely tekercs bármely menetében ugyanakkora a fluxusváltozás, és a transzformátor a primer oldalon felvett teljesítményt a szekunder oldalon leadja. Ebből adódóan:

$$\frac{U_p}{U_s} = \frac{N_p}{N_s} = \frac{I_s}{I_p} = n ,$$

ahol a primer, illetve a szekunder tekercsben indukált feszültségeket  $U_p$ -vel, illetve  $U_s$ -sel, a tekercsek áramait  $I_p$ -vel, illetve  $I_s$ -sel, a menetszámokat  $N_p$ -vel, illetve  $N_s$ -sel jelöltük. Attól függően, hogy az  $n$  *átvételi szám* 1-nél kisebb vagy nagyobb, *fel-, illetve letranszformálásról* beszélünk. Az előbbivel igen nagy feszültségek, az utóbbival igen nagy áramerősségek állíthatók elő.

„Ágazati felkészítés a hazai ELI projekttel összefüggő képzési és K+F feladatokra”

Terheletlen transzformátoron a disszipált teljesítmény átlagértéke:

$$P_{\text{át}} = \frac{1}{T} \int_0^T U_0 \sin \omega t \cdot I_0 \sin(\omega t + \delta) dt = 0.$$

- **Reális transzformátor.** Változó frekvenciájú jelek átvitelére alkalmazott transzformátorok (pl. mikrofonok, hangszórók illesztő transzformátorai, erősítő fokozatok közötti csatoló transzformátorok) jellemzőivel e gyakorlat keretében nem foglalkozunk. A továbbiakban kizárólag hálózati (50 Hz) frekvencián működő transzformátorok különböző veszteségeit és hatásfokát vizsgáljuk.
- **A transzformátor jellemzői.** *Vasveszteség.* Terheletlen transzformátornál a primer oldalon a hálózathoz felvett  $P_{\text{üh}}$  *üresjárási hatásos teljesítmény* kicsi, mert a primer tekercs általában nagy induktivitású, így a primer üresjárási impedancia ( $Z_{\text{ü}} = L_{\text{ü}}\omega$ ) nagy, és a fázistolás közel  $90^\circ$ :

$$P_{\text{üh}} = U_{\text{eff}} I_{\text{eff}} \cos \varphi \approx 0.$$

Az üresjárásban mért primer hatásos teljesítmény tehát gyakorlatilag csak a vasmag periodikus átmágnesezéséből származó *örvényáramú* és *hiszterézis veszteségből* adódik. Ennek neve: *vasveszteség*.

*Tekercsveszteség vagy rézveszteség.* A transzformátorban folyó áram mind a primer, mind a szekunder tekercsben *Joule*-féle hőt fejleszt, ami szintén a primer oldalon betáplált elektromos energia rovására történik. Ha a szekunder oldalt rövidre zárjuk, a rövidzárási áram fluxusa gyakorlatilag teljesen lerontja a primer áram fluxusát, így a primer induktivitás és ezen keresztül a primer kör impedanciája jelentősen lecsökken. Ennek következtében a primer feszültség névleges értéken tartásához rendkívül nagy primer áram alakulna ki, amelyet lényegében a primer tekercs ohmos veszteségi ellenállása határozná meg. Az ekkor mért  $P_{\text{rh}}$  *primer hatásos teljesítmény* neve: *rézveszteség*. Rézveszteség (vagy tekercsveszteség) gyakorlatilag csak terhelte transzformátornál lép fel, a vasveszteség üresjárásnál is.

*A rézveszteséget tehát rövidre zárt szekunder tekercs mellett mérjük,* de csak olyan kicsi primer feszültséggel, hogy a kialakuló primer vagy szekunder áram ne lépje túl a megengedett (névleges) értéket. *Szórás fluxus okozta veszteség.* Annak ellenére, hogy a vasmag zárt, nem minden erővonal záródik a transzformátor vasmagjában. Azok az erővonalak, amelyek nem haladnak át mind a primer, mind a szekunder tekercsen, szórt fluxust eredményeznek. A primer tekercs üresjárásban megmért  $Z_{\text{ü}} = L_{\text{ü}}\omega$  impedanciája és a rövidre zárt szekunder kör mellett megmért  $Z_r = L_r\omega$  rövidzárási impedanciája ismeretében megadhatjuk az úgynevezett *szórás tényezőt*:

$$\sigma = \frac{Z_r}{Z_{\text{ü}}}.$$

Ennek értéke arra jellemző, hogy az egyik tekercs által létrehozott fluxus milyen mértékben szóródik (vagyis milyen mértékben nem fogja át a másik tekercs felületét) pl. rosszul összefogott vasmag esetén.

Ezzel ellentétesen változó jellemző a  $k = M/M_{\text{max}}$  ( $0 \leq k \leq 1$ ) *csatolási tényező*. Az  $M$  és az  $M/M_{\text{max}}$  mennyiségek közti különbség annál nagyobb, minél kevesebb a két tekercs közös indukciójainak száma, vagyis „laza” a csatolás közöttük. Kimutatható, hogy a csatolási tényező és a szórás tényező közötti kapcsolat:

„Ágazati felkészítés a hazai ELI projekttel összefüggő képzési és K+F feladatokra”

$$\sigma \approx 1 - k^2.$$

A *transzformátor hatásfoka*. A transzformátor hatásfokát a szekunder terhelésen leadott, és a primer oldalon betáplált teljesítmény hányadosával definiáljuk:

$$\eta = \frac{P_s}{P_p}.$$

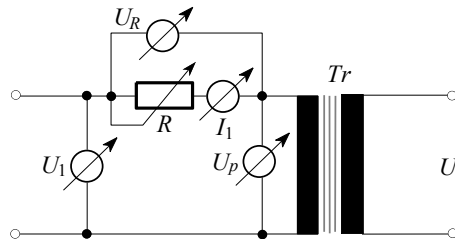
Ez a hatásfok a 90%-ot is elérheti a szokásosan használt transzformátoroknál.

## II. A mérés menete

- **Az áttételi szám meghatározása.** Az áttételi szám meghatározásához keressük meg a transzformátor primer és szekunder tekercseinek kivezetéseit. Ezek ismeretében kapcsoljunk a primer tekercsre ismert feszültséget és mérjük meg a terheletlen szekunder tekercsen lévő feszültséget. Az  $n$  áttételi számot a primer tekercsen mért  $U_p$  és a szekunder tekercsen mért  $U_s$  feszültségek hányadosaiból számítjuk:

$$n = \frac{N_p}{N_s} \approx \frac{U_p}{U_s}.$$

- **A vasvesztés mérése.** A vasvesztés mérése a primer kör üresjárási veszteségének mérésén alapszik, ugyanis üresjárásnál a *Joule-hő* kicsi, így a felvett energia gyakorlatilag a vasvesztés fedezésére fordítódik. A mérést a 2. ábrán látható kapcsolásban végezzük.

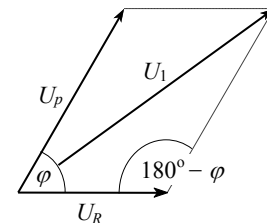


2. ábra

A primer körbe egy  $R$  ohmos ellenállást sorba kötve megmérjük  $U_1$ ,  $U_R$ ,  $U_p$  és  $I_1$  értékeit. A három feszültség alapján vektor ábrát rajzolva (l. 3. ábra), az  $U_p$  és  $U_R$  közötti  $\varphi$  szög lesz a számításokhoz szükséges fázisszög. Könnyen belátható, hogy a *teljesítménytényezőt*, valamint a *vesztéget* a következő összefüggések adják:

$$\cos\varphi = \frac{U_1^2 - U_R^2 - U_p^2}{2U_R U_p},$$

$$P_{1h} = U_p I_1 \cos\varphi = \frac{U_1^2 - U_R^2 - U_p^2}{2U_R} I_1.$$



3. ábra

## „Ágazati felkészítés a hazai ELI projekttel összefüggő képzési és K+F feladatokra”

A vasvesztés mérésénél a szekunder oldali tekercsek nyitva maradnak, azokra semmiféle terhelést nem kötünk. Mivel a vasvesztés közelítőleg a feszültség négyzetével arányos, feltétlenül szükséges, hogy a mérést a tekercs névleges, üzemi feszültségénél végezzük. (A 2. ábra kapcsolásában  $U_p$ -nek kell a névleges feszültség-értékűnek lennie).

- **A tekercsvesztés mérése.** A tekercsvesztés mérése a transzformátor szekunder tekercsének rövidre zárási állapotában történik. Rövidzárásnál a felvett primer teljesítmény egyenlőnek vehető a tekercsvesztéssel, mivel rövidzáraskor a felvett elektromos energia túlnyomó része *Joule*-hő formájában disszipálódik.

Névleges primer feszültségnél nem lehet huzamosabb időn keresztül rövidre zárnunk a szekunder kapcsokat, mivel a tekercsek túlságosan felmelegsznek, sőt le is éghetnek. Ezért a mérést olyan primer feszültséggel végezzük, amelynél a rövidre zárt szekunder körben a névleges üzemi áram folyik.

A tekercsvesztés mérése szintén a 2. ábrán feltüntetett kapcsolásban történik, azzal az eltéréssel, hogy a szekunder kapcsokat most elhanyagolható belső ellenállású áramerősség-mérővel rövidre zárjuk.

- **A szórás fluxus okozta veszteség mérése.** Váltakozóáramú hídban, vagy egyéb impedancia-mérő műszerrel megmérve a primer tekercs induktivitását nyitott szekunder tekercs esetén, majd rövidre

zárt szekunder tekercs esetén, a  $\sigma = \frac{Z_r}{Z_z}$  és  $\sigma \approx 1 - k^2$  összefüggések felhasználásával kiszámíthatjuk a szórás, valamint a csatolási tényezőt.

- **A transzformátor hatásfokának mérése.** A transzformátor hatásfokának meghatározása ugyancsak a 2. ábrán feltüntetett kapcsolásban történik úgy, hogy a primer tekercsre névleges feszültséget, a szekunder oldalra pedig fogyasztóként árammérő közbeiktatásával változtatható,  $R_t$  ohmos ellenállást kapcsolunk. Az  $R_t$  terhelő ellenállást fokozatosan csökkentve mérjük az azon átfolyó áramot, és a terhelt szekunder kivezetéseken eső  $U_t$  feszültséget. Ebből egyszerűen számítható a terhelő ellenállás és a leadott teljesítmény nagysága:

$$R_t = \frac{U_t}{I_t}, \text{ illetve } P_t = U_t I_t .$$

A  $P_t$  teljesítmény maximuma annál az ellenállás értéknél lesz, amely illeszkedik a transzformátorhoz.

A maximális teljesítmény esetében megmérve a primer körben a teljesítményt az  $\eta = \frac{P_s}{P_p}$  összefüggés felhasználásával kiszámíthatjuk a transzformátor hatásfokát is.

### III. Mérési feladatok és számítások

1. Adott transzformátor primer és szekunder tekercseinek ismeretében határozza meg az áttételi számokat!
2. Mérje meg a transzformátor vasvesztését! Amennyiben az árammérő műszer belső ellenállása nem elhanyagolható, úgy azt is vegye figyelembe!
3. Mérje meg a transzformátor tekercsvesztését!
4. Határozza meg a transzformátor szórás és csatolási tényezőjét!

„Ágazati felkészítés a hazai ELI projekttel összefüggő képzési és K+F feladatokra”

5. Mérje meg és ábrázolja a terhelt transzformátor által leadott teljesítményt a terhelő ellenállás függvényében!
6. Kétsugaras oszcilloszkóppal vizsgálja meg a primer és a szekunder tekercsek feszültsége, illetve árama közötti fáziskülönbséget! (Készítsen a vizsgálat előtt kapcsolási vázlatot!)

#### IV. Ellenőrző kérdések

1. Miért lemezekből készítik a transzformátorok vasmagjait?
2. Miért folyik a terheletlen transzformátor primer tekercsében áram?
3. Mi történik akkor, ha a transzformátorhuzal megsérül, és két szomszédos menet között átvezetés jön létre?
4. Terhelés hatására hogyan változik a primer és szekunder feszültség közötti fáziseltérés?
5. Miért lényeges, hogy a vasvesztéséget a névleges feszültség mellett mérjük?
6. Milyen értékek között változhat a szórási tényező?

#### V. Felhasznált és ajánlott irodalom

1. Hevesi I.: Elektromosság, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1998.
2. Budó Á.: Kísérleti Fizika II., Tankönyvkiadó, Budapest, 1968.
3. Török M.: Elektronika, JATEPress, Szeged, 2000.
4. Michailovits L.: III. éves fizikai laboratóriumi gyakorlatok, JATEPress, Szeged, 2004

A 12. számú laboratóriumi gyakorlat ábrái a Michailovits L.: III. éves fizikai laboratóriumi gyakorlatok (JATEPress, Szeged, 2004) című jegyzet 25. gyakorlatának ábrái alapján készültek.