
VILLANYSZERELŐ KÉPZÉS

2015

VILLAMOS GÉPEK 1.

EGYFÁZISÚ TRANSZFORMÁTOR

ÖSSZEÁLLÍTOTTA
NAGY LÁSZLÓ
MÉRNÖKTANÁR

Tartalomjegyzék

Villamos gépek fogalma, felosztása	3
Egyfázisú transzformátor felépítése	4
Egyfázisú transzformátor szerkezeti kialakításai	4
Transzformátor működési elve	5
Ideális transzformátor jellemzői	5
A valóságos transzformátor veszteségei	6
Transzformátor üresjárási üzeme	7
Transzformátor terhelt üzeme	7
Transzformátor hatásfoka.....	7
Transzformátor rövidzárási üzeme	8
Transzformátor felhasználási területei.....	9

Villamos gépek fogalma, felosztása

Villamos gépek alatt az elektromágneses indukció közvetítésével működő energia-átalakítókat értjük.

A villamos gépek felosztása:

a felvett és leadott energia átalakítása alapján:

- | | | |
|---------------|---|---|
| mechanikaiból | → | villamos energiát állítanak elő a generátorok, |
| villamosból | → | mechanikai energiát állítanak elő a motorok, |
| villamosból | → | villamos energiát állítanak elő a transzformátorok. |

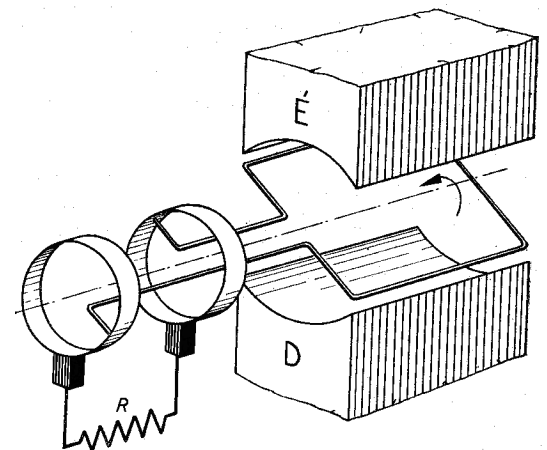
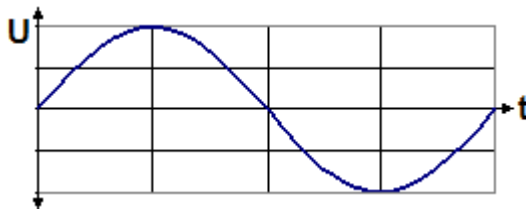
az indukciót létrehozó áram időbeli lefolyása alapján:

- váltakozó áramú gépek,
- egyenáramú gépek,
- univerzális gépek.

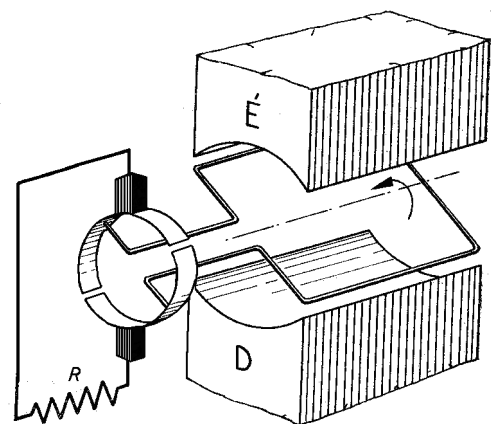
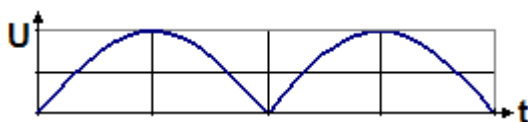
A generátor és a dinamó elve:

Homogén mágneses térben, a tér irányára merőleges tengelyű vezető keret forog.

Ha a vezető keret csúszógyűrűkre van kivezetve, akkor csúszógyűrűkre csatlakozó szénkeféken szinuszos lefolyású váltakozó feszültség jelenik meg és az elrendezést generátornak nevezzük. Egy körülfordulás alatt a terhelésen mérhető feszültség időbeli lefolyása:



Ha a vezető keret félgyűrűkre van kivezetve, akkor a félgyűrűkre csatlakozó szénkeféken lüktető egyenfeszültség jelenik meg és az elrendezést dinamónak nevezzük. Egy körülfordulás alatt a terhelésen mérhető feszültség időbeli lefolyása:

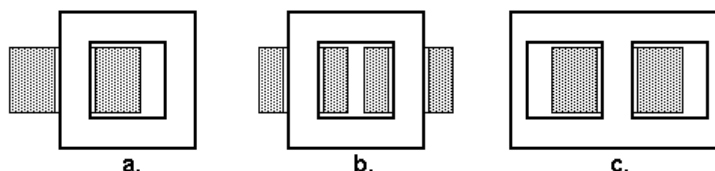


Egyfázisú transzformátor felépítése

A transzformátor zárt vasmagon elhelyezett két vagy több tekercsből áll. Az energia felvevő tekercset primernek, az energia leadó tekercset szekundernek nevezzük. A vasmagnak azt a részét amelyen a tekercsek elhelyezkednek oszlopnak, a többi részét járomnak nevezzük. A szabvány szerint a nagyobb feszültségű tekercsek kivezetéseit nagybetűvel (pl. E-F vagy U-V-W), a kisebb feszültségű tekercsek kivezetéseit ugyanolyan kisbetűvel (pl. e-f vagy u-v-w) kell jelölni.

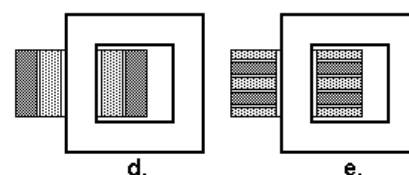
Egyfázisú transzformátor szerkezeti kialakításai

A vasmag alakját és a tekercsek elhelyezését illetően többfajta kialakítás létezik. Láncszem, röviden lánc típusú (a.) a transzformátor, ha a vastest és a tekercs mint két láncszem kapcsolódik egymásba. A tekercselés a vasmag egyik oszlopán helyezkedik



el. Többnyire kis teljesítményű (néhány VA-es) transzformátor készül ilyen szerkezettel. A tekercselés két részre osztásával jön létre a mag típusú (b.) transzformátor. A vasmag tömege kb. ugyanannyi, mint a lánc típusúnál, de a tekercsek közepes átmérője, így a vezeték hossza is kisebb, azaz az ohmos ellenállás csökkenthető. Köpeny típusúnak (c.) nevezzük azt a transzformátort, amely a vastest két részre osztásával alakul ki. A tekercs közepes átmérője kb. ugyanannyi, mint a lánc típusúnál, viszont a vasban a fluxus vonalak átlagos hossza kisebb, így a gerjesztés is. A vasvesztesség csökkenthető, mivel kevesebb vas szükséges. Az egyes kialakítások jellemzőinek mérlegelése alapján nagyobb teljesítmények esetén inkább a mag- vagy köpenytranszformátort célszerű alkalmazni. Ha a primer oldal folyamatos üzemű, akkor a kisebb vasvesztességű köpenytranszformátor, szakaszos üzem esetén a kisebb rézvesztességű magtranszformátor beépítése előnyösebb. A vasmag az örvényáramú veszteség csökkentése érdekében lemezelt. A 0,35 mm vastag lemezek összerakásával jön létre a szükséges vaskeresztmetszet. A szerelhetőséget a lemezek E illetve I alakra vágása biztosítja. A lemezeket egymástól, selyempapír vagy lakkréteg szigeteli el. (foszfátotázás) Az összeállított vasmagot erre a célra kivágott lyukakon keresztül, szigetelt szárú csavarok szorítják össze. (nem fog morogni) Speciális kialakítású az U alakúra hajlított és köszörült illeszkedő felületű hypersil vasmag, mely 4 darabból álló készlettel, kisebb teljesítményű, néhány 100 VA-es transzformátor építhető fel. (pl. elektronikus műszerek tápegységei)

A transzformátorok tekercselése hengeres vagy tárcsás elrendezésű lehet. Hengeres tekercselés (d.) esetén a tekercsek az oszlop teljes szélességében egymás fölé kerülnek. Általában a kisebb feszültségű kerül közelebb a vasmaghoz, a ki-

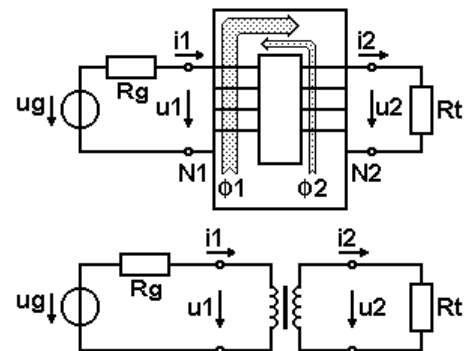


sebb potenciál-különbség érdekében. A tárcsás tekercselés (e.) úgy jön létre, hogy az azonos menetszámú kisebb és az azonos menetszámú nagyobb feszültségű tekercsrészek egymást váltogatva vannak felfűzve az oszlop hosszában. Az első és az utolsó tekercsrész kisfeszültségű és menetszáma fele a közbenső tekercseknek. Ez az elrendezés csökkenti a szórt fluxusokat, de gyártása költségesebb. Főleg nagyobb teljesítményű, energiaátviteli transzformátorokban fordul elő. A tekercselés anyaga többnyire három-kilences vörösréz, szigetelése műanyag alapú lakk (0,02 - 0,04 mm vastag zománc) vagy olajtranszformátorokban papír. A tekercselés előre gyártott csévetestre rendezett sorokban géppel történik. A sorok közé helyezett szigetelés az átütés veszélyét csökkenti és a fejlődő hő leadását segíti. Egyes transzformátor típusok kész tekercseit összeszerelés előtt vákuum kamrában impregnálják.

Transzformátor működési elve

A primer oldalra kapcsolt váltakozó feszültség hatására a tekercsben váltakozó áram alakul ki, mely a vasmagban váltakozó fluxust hoz létre. A váltakozó fluxus mind a primer mind a szekunder tekercsben feszültséget indukál. A primer áramot a kapocsfeszültség és az indukált feszültség különbsége hozza létre. Ha a szekunder oldal áramköre zárt, akkor a kialakuló áram fluxusa (Lenz törvénye szerint) a primer áram által keltett fluxussal szembekepcsolódva igyekszik azt csökkenteni. A csökkenő fluxus miatt csökken a primer oldali indukált feszültség, ami a különbségi feszültség növekedését eredményezi. A növekvő különbségi feszültség növeli a primer áramot, aminek következtében csaknem helyreáll az eredeti fluxus is. A transzformátor működési elve a primer és szekunder gerjesztések egyensúlyán alapszik:

$$I_1 \cdot N_1 = I_2 \cdot N_2$$



Ideális transzformátor jellemzői

Az ideális transzformátor veszteség mentes. A primer oldalon felvett és a szekunder oldalon leadott teljesítmény azonos.

$$P_1 = P_2 \quad \text{azaz} \quad U_1 I_1 = U_2 I_2$$

A primer és a szekunder tekercsek menetszámának hányadosát menetszám áttételnek nevezzük:

$$a = \frac{N_1}{N_2}$$

Az ideális transzformátorban a primer és a szekunder tekercsek fluxusa közös, ezért az egy menetben indukált feszültség (u_m) értéke azonos. Ennek alapján a feszültségek:

$$U_1 = N_1 u_m \quad \text{és} \quad U_2 = N_2 u_m$$

Az egy menetre eső feszültség azonossága miatt az ideális transzformátorban a feszültség áttétel a menetszám áttétellel egyezik meg:

$$a = \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

Az ideális transzformátor áram áttétele a teljesítmények azonossága vagy a gerjesztések egyensúlya alapján, a feszültség, illetve a menetszám áttétel reciprokéval egyezik meg:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{a}$$

A szekunder és a primer oldali teljesítmények egyenlősége miatt:

$$P_2 = P_1 \quad \text{azaz} \quad \frac{U_2^2}{R_t} = \frac{U_1^2}{R_t'}$$

Az R_t' az, az ellenállás, amennyinek a szekunder oldali terhelés a primer oldalon látszik.

Az összefüggést R_t' -re rendezve:

$$R_t' = a^2 R_t$$

A transzformátor a szekunder oldali terhelést az áttétel négyzetével transzformálja a primer oldalra.

A valóságos transzformátor veszteségei

Rézveszteség: A tekercsek ohmos ellenállásán fellépő teljesítmény. Nagysága a tekercsen folyó áram négyzetével arányos.

Vasveszteség: A ferromágneses anyagokra jellemző hiszterézis hatása kettős. Egyrészt eltorzítja a gerjesztő áram alakját, a keletkező felharmónikusok növelik az árammal kapcsolatos veszteségeket. Másrészt a vas periodikus átmágnesezésekor a remanens indukciót csak munkavégzés árán lehet megszüntetni. A veszteségi teljesítmény hiszterézis görbe által határolt területtel és a frekvenciával arányos. Csökkentése kis koercitív térerősségű ferromágneses anyag alkalmazásával lehetséges. A vasmagban, mint vezetőben a fluxus változás feszültséget indukál, aminek hatására a változó erővonalakat körülvevő örvényáram keletkezik. Az örvényáram, mint zárlati áram erőteljesen melegíti a vasat. A veszteség nagysága az indukált feszültséggel, a feszültség pedig az indukcióval és a frekvenciával arányos. Csökkentése a vas lemezelésével (0,35 mm) azaz az örvényáram útjának növelésével és a ferromágneses anyag fajlagos ellenállásának növelésével (2% - 4% szilícium ötvözés) lehetséges.

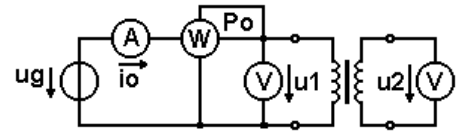
Szórási veszteség: A transzformátorban üzem közben 3 féle fluxus jön létre. A főfluxus (Φ_0) az, az erővonal-nyaláb, amely mind a primer, mind a szekunder menetekkel kapcsolódik. A primer szórt fluxus (Φ_{s1}) csak a primer menetekkel, a szekunder szórt fluxus (Φ_{s2}) pedig csak a szekunder menetekkel kapcsolódik. A szórt fluxusok nem vesznek részt az energia átalakításban, de a létrehozásukhoz energia szükséges. Csökkentés hengeres vagy tárcsás tekercseléssel lehetséges.

Transzformátor üresjárási üzeme

Üresjárásban a transzformátor szekunder árama $I_2 = 0$, a primer oldal egyszerű induktivitásként viselkedik. A mérhető villamos jellemzők az U_1 feszültség, az I_0 üresjárási áram, a P_0 üresjárási teljesítmény és az U_2 feszültség. Az I_0 áram meddő összetevője a mágnesező áram, ez hozza létre a főfluxust, ami a primer tekercsben az U_1 feszültséget indukálja. Az I_0 áram wattos összetevője fedezi a vasveszteséget (P_v). A primer tekercs ellenállásán, a kis értékű I_0 áram elhanyagolható feszültségesést hoz létre. Ebből következik, hogy üresjárásban az indukált feszültség csaknem megegyezik a primer kapocsfeszültséggel és a P_v vasveszteség a wattmérő által jelzett P_0 teljesítménnyel. A P_v hatásos és az $S_0 = U_1 I_0$ lát-szólagos teljesítményeket a $\cos \varphi_0 \approx 0,1$ értékű üresjárási teljesítménytényező kapcsolja össze:

$$P_v = S_0 \cos \varphi_0$$

Mivel a primer oldali gerjesztéssel ellentétes irányú gerjesztést nem hoz létre az I_2 áram, ezért a vasban üresjárásban a legnagyobb a fluxus. Mivel a legnagyobb fluxus mellett a vasveszteség is a legnagyobb, ezért az üresjárási méréssel a transzformátor vasvesztesége határozható meg. Az U_2 szekunder feszültség is ebben az üzemmódban veszi fel a legnagyobb értéket, tehát az U_1 és U_2 hányados adja meg a transzformátor valódi feszültség áttételét. Az üresjárási áram kisebb, mint az I_{1n} névleges áram 0,5 - 10 %-a.



Transzformátor terhelt üzeme

Terhelt üzemben a szekunder oldalról valamilyen fogyasztó áramot vesz fel. Az I_2 áramot a terhelés mértéke, fázisszögét a terhelés ohmos, induktív vagy kapacitív jellege határozza meg. A szekunder áram változásait, a gerjesztések egyensúlyának megtartása miatt, a primer oldal $U_1 - U_i$ különbségi feszültsége azonos irányban követi, de ez a különbségi feszültség az áram névleges értéke esetén is csak igen kismértékben növekszik meg. Megállapítható, hogy a főfluxus és így az indukált feszültség is a teljes terhelési tartományban közelítőleg állandó. Terheletlen kábelhálózatot, vagy fázisjavító kondenzátor telepet egy üresen járó transzformátorra kapcsolva, a szekunder feszültség megemelkedik.

Transzformátor hatásfoka

A transzformátor hatásfoka alatt a szekunder oldalon leadott és primer oldalon felvett hatásos teljesítmények hányadosát értjük. A hatásfok (tipikus értéke: 96-99%) mind a primer, mind a szekunder oldali (ez a gyakoribb) mennyiségekkel kifejezhető:

$$\eta = \frac{P_1 - P_{TV}}{P_1} \quad \text{vagy} \quad \eta = \frac{P_2}{P_2 + P_{TV}}$$

A P_{TV} a transzformátor összes veszteségét, azaz a tekercsveszteségnek és a vasveszteségnek az összegét foglalja magába. Mivel a vas fluxusa névleges terhelés esetén sem tér el jelentősen az üresjárásban kialakuló fluxustól, ezért a P_{vn} névleges vasveszteséget állandónak lehet tekinteni. A tekercsveszteség a pillanatnyi terhelő áram függvénye. Zárlati üzemmódban meghatározható P_{tn} névleges tekercsveszteséget csak a névleges terhelés esetén lehet felhasználni a hatásfok számításához. Más terhelési (pl. $S/S_n = 1/4, 2/4, 3/4$ vagy $5/4$) esetekben figyelembe kell venni a terhelési állapotot, azaz a pillanatnyi és a névleges terhelés viszonyát ($x = S / S_n$).

Mivel a tekercsveszteség az áram négyzetével arányos ezért:

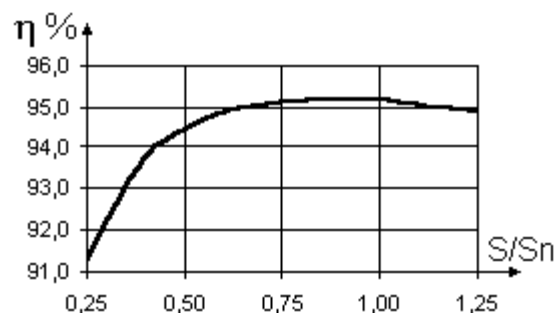
$$P_{tx} = R_{tekercs} I_x^2 \quad \text{és} \quad P_{tn} = R_{tekercs} I_n^2 \quad \text{összefüggések alapján} \quad P_{tx} = P_{tn} \frac{I_x^2}{I_n^2}$$

A hatásfok:
$$\eta = \frac{x \cdot U_2 \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2}{x \cdot U_2 \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2 + P_{vn} + x^2 \cdot P_{tn}}$$

A transzformátorok hatásfoka a terhelés növelésével rohamosan nő és $1/4$ és $5/4$ terhelési állapot között alig változik. A maximum a vas- és rézveszteség egyenlősége estén érhető el. Használatos az éves hatásfok is:

$$\eta_{\text{éves}} = \frac{P_2}{P_2 + P_v \frac{8760}{h} + P_t}$$

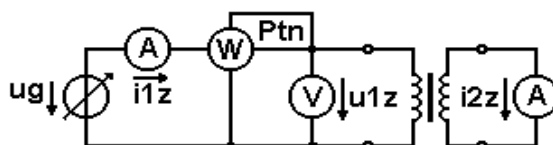
ahol a 8760 az összes órák száma egy évben, a „h” a terheléses órák száma egy évben.



Transzformátor rövidzárási üzeme

A névleges feszültségre kapcsolt transzformátor szekunder kapcsait nem szabad rövidre zárni, mert a zárlati áram károsítja, tönkreteszi a transzformátort. A rövidzárási mérés elvégzéséhez, akkora feszültséget kell a primer oldalra kapcsolni, amely szekunder oldali rövidzár mellett, a névleges primer áramot hozza létre. Ezt a feszültséget rövidzárási feszültségnek nevezzük. A transzformátor jellemző adata a viszonylagos rövidzárási feszültség, angolból átvett szóval a drop, mely a rövidzárási és a névleges feszültség hányadosa, általában százalékban kifejezve:

$$\varepsilon = 100 \cdot \frac{U_{1z}}{U_{1n}} \cdot \%$$



A drop mérésekor a primer feszültséget nulláról indítva, a névleges áram elérésig kell növelni. A rövidzárási feszültség általában a névleges feszültség 3 - 10 %-a.

Zárlati üzemmódban, a vasban a fluxus, kb. fele akkora lesz mint üresjárásban. A mágnesező és a vasveszteséget fedező áramok is jelentősen lecsökkennek, így a névleges áramhoz viszonyítva elhanyagolhatóak. Ebből következik, hogy a wattmérő által jelzett P_{tn} teljesítmény a transzformátor névleges tekercsvesztesége. A P_{tn} hatásos és az $S_z = U_{1z} I_{1n}$ látszólagos teljesítményeket a $\cos \varphi_z \approx 0,4$ értékű rövidzárási teljesítménytényező kapcsolja össze:

$$P_{\text{tn}} = S_z \cos \varphi_z$$

A rövidzárási méréssel a valódi áramátétel, azaz $a = I_{2n} / I_{1n}$ is megállapítható. A drop segítségével meg lehet határozni a transzformátor zárlati áramainak várható értékét. Ha rövidzárási feszültség mellett a névleges áram folyik, akkor névleges feszültség mellett a zárlati áramnak kell folynia, tehát:

$$I_{1z} = I_{1n} \cdot \frac{U_{1n}}{U_{1z}} = \frac{I_{1n}}{\varepsilon}$$

Névleges primer feszültség esetén a zárlati áram a névleges primer áram 10 - 30 szorosa. A szekunder oldali zárlati áram a primer oldali zárlati áram és az áram áttétel alapján állapítható meg.

Transzformátor felhasználási területei

Az elektromágneses indukció elvét Faraday már 1831-ben leírta. Az energiaátalakításra alkalmas transzformátort 1885-ben Bláthy Ottó, Zipernowsky Károly és Déri Miksa, a Ganz gyár mérnökei állították elő. A transzformátor egyik jelentős felhasználási területe a nagyteljesítményű villamos energia továbbításához és szétosztáshoz a szükséges feszültség szintek előállítása. Az energia átviteli hálózaton fellépő veszteség jelentősen csökkenthető, ha a szükséges teljesítményt továbbítása nagyobb feszültségen, de kisebb árammal történik. A veszteségek az áram négyzetével arányosak, így az áram csökkentése a veszteségeket is négyzetesen csökkenti.

A transzformátor szinte minden hálózati készülékben, pl. rádió, televízió, különféle hang és képrögzítő, elektronikus műszer, stb. megtalálható. A hatásfoka nagyon jó, ezért alkalmazása gazdaságos.

A transzformátor felhasználási területét szélesíti, hogy két áramkör galvanikus elválasztása, illetve a terhelés és a terheléstől eltérő belső ellenállású generátor illesztése egyszerűen megoldható.
