

Egyfázisú hálózati kistranszformátorok méretezése

Az egyfázisú hálózati kistranszformátorok elkészítése az elektronikát szerető és azzal foglalkozó emberek számára különösen fontos feladat. Nem biztos, hogy minden érdeklődőnek van kellő ismerete és gyakorlata a munka elvégzéséhez. Érttem ez alatt főként a méretezés részleteit, ill. a kivitelezés menetét. A címben írt transzformátorokat használhatjuk tápegységekhez, akkumulátor töltőkhöz, stb. Ennek megfelelően a teljesítményük a 20VA-tól 1000VA-ig terjed.

A „házilag” készített transzformátorok méretezésében helyenként egyszerűsítéseket alkalmazok, de ezek sohasem jelentik a szakmaiság feladását.

Jelen anyagot azok használhatják eredményesen, akik alapvető elektrotechnikai ismeretekkel rendelkeznek. Ezt az ismeretet feltételezem, ezért a legapróbb részletekre nem térek ki.

A transzformátorméretezést két esetre vizsgálom meg.

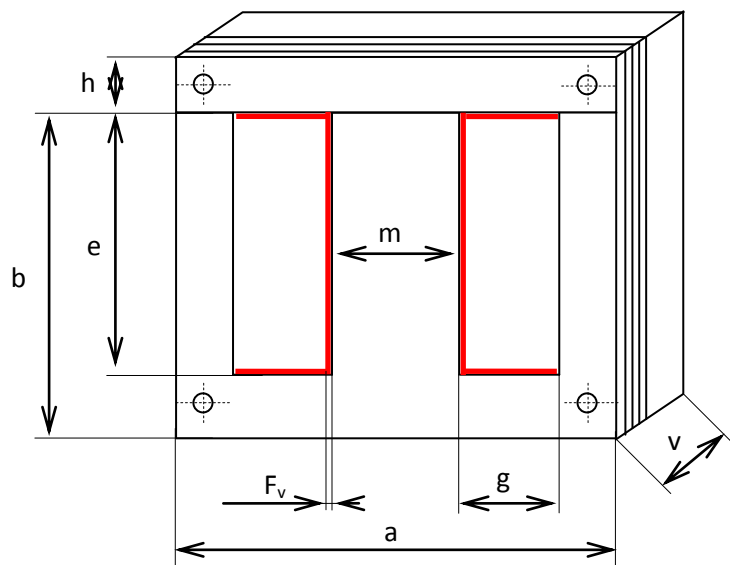
- I. Amikor a szükséges teljesítményigények állnak rendelkezésre és szabadon választható a vasmag.
- II. Amikor adott a vasmag és ki kell hozni belőle a lehető legnagyobb teljesítményt.

Mindenekelőtt rögzíteni kell a méretezés során alkalmazott jelöléseket és azok értelmezéseit.

- U_p : hálózati feszültség (230V)
- U_{s1} : az első szekunder tekercs feszültsége (V)
- U_{s2} : a második szekunder tekercs feszültsége (V), stb.
- I_{s1} : az első szekunder tekercs árama (A)
- I_{s2} : a második szekunder tekercs árama (A), stb.
- f : hálózati frekvencia (Hz)
- B_{max} : a vasmagra megengedett maximális indukció értéke (Vs/m^2)
- F_v : a csévetest falvastagsága (mm)
- K : összevont állandó, amely magába foglalja a vasmag geometriai méreteitől és anyagszerkezetétől függő értéket (VA/cm^4); $0,8 \leq K \leq 1,2$
- η : a transzformátor hatásfoka ($0,9 \leq \eta \leq 0,96$)
- K_t : tekercskitöltési tényező ($0,9 \leq K_t \leq 0,95$)
- K_s : sorkitöltési tényező ($0,9 \leq K_s \leq 0,95$)
- K_v : vasmagkitöltési tényező ($0,9 \leq K_v \leq 0,95$)
- S_a : alapszigetelés vastagsága (mm)
- S_s : sorszigetelés vastagsága (mm)
- S_f : fedőszigetelés vastagsága (mm)
- J : a réz vezeték áramsűrűsége (A/mm^2)
- S_{s1} : az első szekunder tekercs látszólagos teljesítménye (VA)
- S_{s2} : a második szekunder tekercs látszólagos teljesítménye (VA), stb.
- S_p : a primer tekercs látszólagos teljesítménye (VA)
- A_v : vasmag keresztmetszet (cm^2)
- m : vasmag oszlop szélessége (cm)
- v : vasmagcsomag vastagsága, ezt nevezzük **pakett** vastagságnak (cm)
- g : vasmag ablak szélességi mérete (mm)
- g' : vasmag ablak F_v -vel csökkentett szélességi mérete (mm)
- e : a vasmag ablak magassági mérete (mm)

- e' : a vasmag ablak $2 \cdot F_v$ -vel csökkentett magassági mérete (mm)
- N_{1v} : az 1V-ra jutó menetszám (menet/V)
- N_p : primer menetszám (menet)
- N_{s1} : első szekunder tekercs menetszáma (menet)
- N_{s2} : második szekunder tekercs menetszáma (menet), stb.
- A_p : a primer tekercs vezető keresztmetszete (mm²)
- A_{s1} : első szekunder tekercs vezető keresztmetszete (mm²)
- A_{s2} : második szekunder tekercs vezető keresztmetszete (mm²), stb.
- I_p : primer tekercs árama (A)
- d_p : primer tekercs vezető átmérője (mm)
- d_{s1} : első szekunder tekercs vezető átmérője (mm)
- d_{s2} : második szekunder tekercs vezető átmérője (mm), stb.
- V_T : a választott vasmag típusa
- N_{p1s} : az egy sorban elhelyezhető primer menetszám (menet/sor)
- $N_{pös}$: a primer tekercs egymáson elhelyezkedő sorainak száma (sor)
- P_h : a primer tekercs helyigénye g' irányban (mm)
- N_{s11s} : az egy sorban elhelyezhető első szekunder tekercs menetszám (menet/sor)
- $N_{s1ös}$: az első szekunder tekercs egymáson elhelyezkedő sorainak a száma (sor)
- S_{1h} : az első szekunder tekercs helyigénye g' irányban (mm)
- N_{s21s} : az egy sorban elhelyezhető második szekunder tekercs menetszám (menet/sor), stb.
- $N_{s2ös}$: a második szekunder tekercs egymáson elhelyezkedő sorainak a száma (sor), stb.
- S_{2h} : a második szekunder tekercs helyigénye g' irányban (mm), stb.
- Σ_h : az összes helyigény a tekercseléshez a g' irányban (mm)

Egy hulladékmentes EI lemez főbb méreteinek értelmezése (DIN 41 302-1960):



Közvetlenül a méretezés szempontjából fontos méreteket tartalmazó táblázat.

Vasmag típus	e (mm)	g (mm)	m (cm)	v (cm)
EI 30	15	5	1,0	1,0
EI 38	19,2	6,4	1,28	1,3
EI 42	21	7	1,4	1,43
EI 48	24	8	1,6	1,63
EI 54	27	9	1,8	1,83
EI 60	30	10	2,0	2,04
EI 66	33	11	2,2	2,24
EI 78	39	13	2,6	2,7
EI 84	42	14	2,8	2,9
EI 52	26	10	1,6	-
EI 58	29	11	1,8	-
EI 64	32	12	2,0	-
EI 72	36	14	2,2	-
EI 82	41	16	2,5	-
EI 92	46	18	2,8	-
EI 104	52	20	3,2	-
EI 116	58	22	3,6	-
EI 130	65	25	4,0	-
EI 146	73	28	4,5	-
EI 164	82	32	5,0	-
EI 176	88	33	5,5	-
EI 208	104	39	6,5	-
EI 240	120	45	7,5	-

A DIN 41 302-1960 szerint

Transz vill házi szabvány szerint. Ezek a régi vasmagok a mai napig fellelhetők, pl. magán szaküzletekben, ipari üzemekben, stb. A „v” oszlopában a (-) jel azt jelenti, hogy a pakett vastagság szabadon választható.

Felvetődik a kérdés, hogy **miért kell** a transzformátorméretezést manuális módon „fapados módszerrel” elvégezni akkor, amikor rendelkezésre áll már tucatszám program, ami elvégzi a munkát.

Nem kell, de **ajánlatos**. Ha az ember bele akar látni a részletek egy részébe, akkor tanácsos a kézi módszer. A programok valamilyen rendező elv meneten készültek, és a felhasználó helyett nem gondolkozik egyik sem.

A méretezés kézi módszerrel sem vesz igénybe ½ óránál többet akkor, ha tudja az ember, hogy mi a célja és miből dolgozhat. Jó, lehet az első lesz 1 óra is, de gyakorlással egyre rövidebb időt vesz igénybe.

- I. Példaként nézzünk meg egy olyan transzformátort, amelynél a szekunder oldali adatok vannak megadva, tehát amit a fogyasztók felé biztosítani kell. A feladatot melegen hengerelt EI típusú vasmaggal mutatom be. Megjegyzem, hogy HIPERSIL vasmagok esetén $B=1,6Vs/m^2$, és $K=1,25VA/cm^4$.
Legyen: $U_{s1}=8V$; $I_{s1}=3A$; $U_{s2}=15V$; $I_{s2}=5A$; $U_{s3}=40V$; $I_{s3}=3,75A$; $U_p=230V$; $f=50Hz$; $B=1Vs/m^2$; $K_t=0,9$; $K_s=0,9$; $K_v=0,95$; $\eta=0,9$; $F_v=1,5mm$; $S_a=0,3mm$; $S_s=0,1mm$; $S_f=0,3mm$; $K=1VA/cm^4$; $J=2,5A/mm^2$.

A szükséges primer összteljesítmény meghatározása:

Először az egyes szekunder oldali teljesítményeket kell összeszámolni. Ezt követően a hatások figyelembevételével kiszámítható a primer teljesítmény.

$$S_{s1} = U_{s1} * I_{s1} = 8V * 3A = \mathbf{24VA}$$

$$S_{s2} = U_{s2} * I_{s2} = 15V * 5A = \mathbf{75VA}$$

$$S_{s3} = U_{s3} * I_{s3} = 40V * 3,75A = \mathbf{150VA}$$

$$S_p = \frac{S_{s1} + S_{s2} + S_{s3}}{\eta} = \frac{24VA + 75VA + 150VA}{0,9} = 276,67VA \approx \mathbf{280VA}$$

Nos, $S_p=280VA$ teljesítményt kell a primer oldalon bevinni ahhoz, hogy a szekunder oldalon a kívánt teljesítmények biztonsággal rendelkezésre álljanak.

Következhet a vasmag méretének a meghatározása:

$$A_v = \sqrt{\frac{S_p}{K}} = \sqrt{\frac{280VA}{1 \frac{VA}{cm^4}}} = 16,7332cm^2 \approx \mathbf{17cm^2}$$

Most határozzuk meg a vasmag „m” méretét úgy, hogy gyököt vonunk A_v -ből. Itt fontos megemlíteni, hogy a vasmag oszlopot úgy határozzuk meg egy adott keresztmetszet esetén, hogy az közel négyzetes alakot adjon. Ennek az oka a primer tekercs által létrehozott indukciós vonalakra vezethető vissza. Na, ez az egyik pont, amit nem fejtek ki, mert az anyag hossza akkor a „tengeri kígyó” hosszúságával lenne azonos, ezt pedig nem akarom.

$$\text{Tehát: } m = \sqrt{A_v} = \sqrt{17cm^2} = \mathbf{4,123cm}.$$

Most térjünk vissza a 3. oldalon lévő táblázathoz és keressünk benne az „m” oszlopban olyan adatot, ami a 4,123cm-hez a legközelebb áll.

Ez az **EI 130** típusú lemez, aminél **m=4,0 cm**.

Következhet a „v” értékének (a pakett vastagságának) a meghatározása. A házi készítésű vasmagoknál nem tudjuk elhelyezni a vasmag lemezeket légrésmentesen a csévetestben, (megjegyzem gyárilag sem) ezért a K_v vasmagkitöltési tényezőt figyelembe kell venni.

$$\text{Tehát: } A_v = K_v * m * v. \Rightarrow v = \frac{A_v}{K_v * m} = \frac{17cm^2}{0,95 * 4cm} = 4,474cm \approx \mathbf{4,5cm}.$$

A vasmag kiválasztás megtörtént, kezdődhet a menetszámok meghatározása. Ezt a munkát az 1V-ra jutó menetszám meghatározással kezdjük, ismét levezetés nélkül az összefüggés:

$$N_{1v} = \frac{1}{4,44 * f * B_{max} * A_v} = \frac{1V}{4,44 * 50Hz * 1 \frac{Vs}{m^2} * 17 * 10^{-4}m^2} = \mathbf{2,6497menet/V}.$$

A mértékegység első ránézésre ellentmondásnak tűnhet, hiszen a számlálóban „V” szerepel. Nos, ez azt jelenti, hogy 1V feszültség 2,6497 menetben indukálódik, tehát 2,6497 menet szükséges 1V indukált feszültség előállításához.

A tekercsek menetszámainak meghatározása:

$$N_p = U_p * N_{1v} * \left\{ 1 - \left(\frac{1-\eta}{2} \right) \right\} = 230V * 2,6497 \frac{\text{menet}}{V} * \left\{ 1 - \left(\frac{1-0,9}{2} \right) \right\} = \mathbf{579\text{menet.}}$$

$$N_{s1} = U_{s1} * N_{1v} * \left\{ 1 + \left(\frac{1-\eta}{2} \right) \right\} = 8V * 2,6497 \frac{\text{menet}}{V} * \left\{ 1 + \left(\frac{1-0,9}{2} \right) \right\} = \mathbf{23\text{menet.}}$$

$$N_{s2} = U_{s2} * N_{1v} * \left\{ 1 + \left(\frac{1-\eta}{2} \right) \right\} = 15V * 2,6497 \frac{\text{menet}}{V} * \left\{ 1 + \left(\frac{1-0,9}{2} \right) \right\} = \mathbf{42\text{menet.}}$$

$$N_{s3} = U_{s3} * N_{1v} * \left\{ 1 + \left(\frac{1-\eta}{2} \right) \right\} = 40V * 2,6497 \frac{\text{menet}}{V} * \left\{ 1 + \left(\frac{1-0,9}{2} \right) \right\} = \mathbf{112\text{menet.}}$$

Az $\left\{ 1 - \left(\frac{1-\eta}{2} \right) \right\}$ és az $\left\{ 1 + \left(\frac{1-\eta}{2} \right) \right\}$ magyarázata. A transzformátorok hatásfoka $0,9 \leq \eta \leq 0,99$. Ezt felfoghatjuk úgy, hogy ha a primer oldalon beviszünk egy adott teljesítményt, akkor a szekunder oldalon, csak a hatásfokkal csökkentett részét tudjuk kinyerni. Ez igaz a feszültségekre is. Így az $1 - \eta$ közötti részt megfelezzük, és a primer oldal menetszámának a meghatározásakor az 1-ből (ez lenne a 100%-os hatásfok) levonjuk (ez így 0,95 lesz), illetve a szekunder oldalon az 1-hez hozzáadjuk (ami jelen esetben 1,05 lesz). Ezzel azt érjük el, hogy a primer oldalt túlgerjesztjük, a szekunder oldalon pedig a nagyobb menetszám révén nagyobb üres járási feszültséget tudunk biztosítani. Ennek az eredménye, hogy a szekunder oldalon a névleges terhelése esetén is biztosítva lesz az előírt szekunder oldali kapocsfeszültség.

Következik a tekercsek huzalátmérőinek a meghatározása.

$$\text{A primer tekercs árama: } I_p = \frac{S_p}{U_p} = \frac{280VA}{230V} = \mathbf{1,2174A.}$$

$$\text{A primer tekercs huzal keresztmetszete: } A_p = \frac{I_p}{J} = \frac{1,2174A}{2,5 \frac{A}{mm^2}} = \mathbf{0,4869mm^2.}$$

$$\text{A primer tekercs huzalátmérője: } d_p = \sqrt{\frac{4 * A_p}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 * 0,4869mm^2}{\pi}} = 0,7873mm \approx \mathbf{0,8mm.}$$

$$\text{Az } N_{s1} \text{ menetszámú szekunder tekercs huzal keresztmetszete: } A_{s1} = \frac{I_{s1}}{J} = \frac{3A}{2,5 \frac{A}{mm^2}} = \mathbf{1,2mm^2.}$$

Az N_{s1} menetszámú szekunder tekercs huzalátmérője:

$$d_{s1} = \sqrt{\frac{4 * A_{s1}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 * 1,2mm^2}{\pi}} = 1,236mm \approx \mathbf{1,25mm.}$$

$$\text{Az } N_{s2} \text{ menetszámú szekunder tekercs huzal keresztmetszete: } A_{s2} = \frac{I_{s2}}{J} = \frac{5A}{2,5 \frac{A}{mm^2}} = \mathbf{2mm^2.}$$

Az N_{s2} menetszámú szekunder tekercs huzalátmérője:

$$d_{s2} = \sqrt{\frac{4 * A_{s2}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 * 2mm^2}{\pi}} = 1,595mm \approx \mathbf{1,6mm.}$$

$$\text{Az } N_{s3} \text{ menetszámú szekunder tekercs huzal keresztmetszete: } A_{s3} = \frac{I_{s3}}{J} = \frac{3,75A}{2,5 \frac{A}{mm^2}} = \mathbf{1,5mm^2.}$$

Az N_{s3} menetszámú szekunder tekercs huzalátmérője:

$$d_{s3} = \sqrt{\frac{4 * A_{s3}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 * 1,5mm^2}{\pi}} = 1,382mm \approx \mathbf{1,4mm.}$$

„Már csak” a tekercsek helyszükségletének az ellenőrzését kell elvégezni. Ez azért fontos, mert ha tekercselés közben derül ki, hogy a tekercsek nem férnek el a vasmagon, az finoman szólva is kellemetlen. Az anyagi vonzatáról nem is beszélve.

Mindenekelőtt: $e' = e - 2 * F_v = 65mm - 2 * 1,5mm = 62mm.$ } A ténylegesen rendelkezésre álló hely.
 $g' = g - F_v = 25mm - 1,5mm = 23,5mm.$ } Az értelmezéshez lásd a 2. oldalon az ábrát.

A primer tekercs helyszükséglete:

Az egy sorban elhelyezhető menetek száma: $N_{ps1} = \frac{e'}{d_p} * K_s = \frac{62mm}{0,8mm} * 0,9 = 69 \text{ menet/sor}.$

A primer tekercs sorainak a száma: $N_{pös} = \frac{N_p}{N_{ps1} * K_t} = \frac{579 \text{ menet}}{69 \text{ menet/sor} * 0,9} = 9,32 \text{ sor} \approx 10 \text{ sor}.$

A primer tekercs helyigénye g' irányban:

$P_h = d_p * N_{pös} + (S_a + 9 * S_s + S_f) = 0,8mm * 10 \text{ sor} + (0,3mm + 9 * 0,1mm * 0,3mm) = 9,5mm.$

Az 1-es szekunder tekercs helyszükséglete:

Az egy sorban elhelyezhető menetek száma: $N_{s11s} = \frac{e'}{d_{s1}} * K_s = \frac{62mm}{1,25mm} * 0,9 = 44 \text{ menet/sor}.$

A primer tekercs sorainak a száma: $N_{s1ös} = \frac{N_{s1}}{N_{s11s} * K_t} = \frac{23 \text{ menet}}{44 \text{ menet/sor} * 0,9} = 0,58 \text{ sor} \approx 1 \text{ sor}.$

Az 1-es szekunder tekercs helyigénye g' irányban:

$S_{1h} = d_{s1} * N_{s1ös} + (S_a + 0 * S_s + S_f) = 1,25mm * 1 \text{ sor} + (0,3mm + 0mm * 0,3mm) = 1,85mm.$

A 2-es szekunder tekercs helyszükséglete:

Az egy sorban elhelyezhető menetek száma: $N_{s21s} = \frac{e'}{d_{s2}} * K_s = \frac{62mm}{1,6mm} * 0,9 = 34 \text{ menet/sor}.$

A primer tekercs sorainak a száma: $N_{s2ös} = \frac{N_{s2}}{N_{s21s} * K_t} = \frac{42 \text{ menet}}{34 \text{ menet/sor} * 0,9} = 1,37 \text{ sor} \approx 2 \text{ sor}.$

A 2-es szekunder tekercs helyigénye g' irányban:

$S_{2h} = d_{s2} * N_{s2ös} + (S_a + 1 * S_s + S_f) = 1,6mm * 2 \text{ sor} + (0,3mm + 0,1mm * 0,3mm) = 3,9mm.$

A 3-as szekunder tekercs helyszükséglete:

Az egy sorban elhelyezhető menetek száma: $N_{s31s} = \frac{e'}{d_{s3}} * K_s = \frac{62mm}{1,4mm} * 0,9 = 39 \text{ menet/sor}.$

A primer tekercs sorainak a száma: $N_{s3ös} = \frac{N_{s3}}{N_{s31s} * K_t} = \frac{112 \text{ menet}}{39 \text{ menet/sor} * 0,9} = 3,19 \text{ sor} \approx 4 \text{ sor}.$

A 2-es szekunder tekercs helyigénye g' irányban:

$S_{3h} = d_{s3} * N_{s3ös} + (S_a + 3 * S_s + S_f) = 1,4mm * 4 \text{ sor} + (0,3mm + 0,3mm * 0,3mm) = 6,5mm.$

A tekercselés összes helyigénye g' irányban:

$\Sigma_h = P_h + S_{1h} + S_{2h} + S_{3h} = 9,5mm + 1,85mm + 3,9mm + 6,5mm = 21,75mm.$

Látható, hogy $\Sigma_h < g'$, azaz $21,75mm < 23,5mm$, tehát a tekercselés elfér a rendelkezésre álló helyen.

Az alap, a sor és a fedő szigetelések elhelyezése az összefüggésekből egyértelműen követhetők.

Fontos, hogy egy tekercs fedőszigetelése után a következő tekercs alá helyezzünk alapszigetelést is. Ezzel a biztonságot növeljük.

A tekercselés során minden tört sort egész sorra kerekítünk, hiszen a tört sorokba „nem illik” már egy következő tekercs meneteit elhelyezni. Korrektebb megoldás a szintkülönbséget szigetelőanyaggal kitölteni, majd az alapszigetelés elhelyezése után a következő tekercselem meneteit felcsévélni.

II. Amikor adott a vasmag és ki kell hozni belőle a lehető legnagyobb teljesítményt.

Példaként vegyünk az előző EI 130-as lemeztípust, amelynél $m=4,0\text{cm}$ és $v=4,5\text{cm}$.

Ekkor:

$$A_v = m * v * K_v \text{ és}$$

$$A_v = \sqrt{\frac{S_p}{K}}$$

Az egyenletek jobb oldalait egyenlővé téve és S_p -re rendezve kapjuk, hogy:

$$S_p = K * m^2 * v^2 * K_v^2 = 1 \frac{\text{VA}}{\text{cm}^4} * 16\text{cm}^2 * 20,25\text{cm}^2 * 0,95^2 = \mathbf{324VA}.$$

Tehát az EI 130 típusú lemez 4,5cm-es csomagja maximálisan 324VA teljesítmény átvitelére alkalmas.

A további eljárás az I. pontban leírtak szerint folytatódik.

Ha HIPERSIL vasmag áll rendelkezésre, akkor egységnyi vasmag keresztmetszetből kb. 35%-al nagyobb teljesítmény nyerhető ki. A méretezés lépései ebben az esetben is megegyeznek a leírtakkal.

A zománcszigetelésű vörösréz huzalokról néhány gondolat. A huzalokat szabványban rögzített méretsorozat szerint gyártják.

Ebben a munkámban a <http://www.stafeta.hu/zom.htm> linken tájékoztam a huzalméretekről.

Itt a 0,18-0,67 mm mérettartományban a CX200, míg a 0,71-3,00mm mérettartományban a C200 típusú huzalok találhatóak.

Jó barkácsolást és hasznos ismeretszerzést kívánok.

Kiss László