

Kezdő amatőrök rovata

Hálózati transzformátor egyszerűsített számítása

Múlt havi számunkban megismertük a tápegység hálózati transzformátorának elvi működését. Most – ennek ismeretében – az általunk elképzelt tápegység transzformátorának adatait fogjuk kiszámolni.

Minden kezdetben felvetődik ilyenkor a nagyon kézenfekvő kérdés, hogy miből kell kiindulni? Ha erre a kérdésre röviden akarunk válaszolni, azt mondhatjuk, hogy egy adott készülék tápfeszültségeit kell biztosítani a tápegységnek. Tehát például, ha egy régebbi csöves készülékről van szó, a csövek fűtőfeszültségét és áramát, a csövek anód- és segédáramfeszültségét, áramát. Esetleg, ha van skálavilágítás, annak is a szükséges feszültségét. Tehát a transzformátor méretezésének az alapja a működendő készülék (vevő, adó, erősítő stb.) összes feszültség- és áramsükséglete.

Előjáróban jegyezzük meg, hogy a számításokat – egyszerűség céljából – táblázatok alapján fogjuk elvégezni. Ez az eljárás – bizonyos elhanyagolásokkal – az amatőr gyakorlatnak jól megfelel és kellő pontosságot biztosít.

A méretezési eljárást célszerű pontokba foglalni, már most, a munka elején, hogy lássuk az összefüggéseket.

1. Legelőször meg kell állapítani a szekunder oldali teljesítményt.

2. Az így kapott eredményt a veszteségek miatt 25%-kal megnöveljük. Ez lesz a primer oldali teljesítmény.

3. A primer oldali teljesítményből, az 1. táblázat segítségével megállapítjuk a szükséges vasmagkeresztmetszetet.

4. Ugyancsak az 1. táblázatból kiolvassuk a vasmagkeresztmetszet ismeretében a primer és szekunder oldali voltkénti menetszámokat.

5. A 220 V-os hálózati feszültség ismeretében kiszámítjuk a primer tekercs menetszámát.

6. A szekunder oldali feszültségek ismeretében kiszámítjuk a szekunder oldal tekercseinek menetszámát.

7. A primer oldali teljesítményből és feszültségéből kiszámítjuk a primer oldali áramot. (A szekunder oldali áramok adottak, katalógusadatok: anódáram, segédáram, csövek fűtőárama).

8. A primer és szekunder oldali áramok ismeretében a 2. táblázatból kiolvassuk a szükséges huzalátmérőket.

9. A primer és szekunder oldali huzalok adatainak ismeretében megállapítjuk a tekercsek helyszükségletét, és ellenőrizzük, hogy a tekercsek elférnek-e a tekercstesten.

Az összefoglalóban, mint látjuk, megállapítottunk egy sorrendet, melynek alapján elkezdhetjük a transzformátor adatainak kiszámítását. Tehát:

1. A szekunder oldali teljesítményt a táplált berendezés szükséges tápfeszültségei és a felvett áramerősségek határozzák meg. Tétélezük fel, hogy egy kisebb teljesítményű elektroncsöves RF-végfokozatot építünk. A cső fűtéséhez 6,3 V és 1,26 A szükséges, az anód- és segédáram táplálásához pedig 250 V, 70 mA áramfelvétel mellett. (Egy modern félvezetős berendezés esetében természetesen ezek az értékek nagyságrendileg mások, a későbbiekben erre is mutatunk példát.)

A leírt adatok alapján a szükséges fűtőteljesítmény $6,3 \text{ V} \times 1,26 \text{ A} = 7,938$, kerekítve 8 W. Az anód- és segédáramteljesítmény, 250 V anódfeszültséggel számolva $250 \text{ V} \times 0,07 \text{ A} = 17,5 \text{ W}$, kerekítve 18 W. Tehát a szekunder oldali összteljesítmény $8 + 18 = 26 \text{ W}$!

2. A transzformátor elvi működésének ismertetésénél már rámutattunk arra, hogy a transzformátor a valóságban nem ideális, hanem veszteséges. (Vas- és rézvesztés.) Emiatt a transzformátor hatásfoka csak 70–90%-os. Amatőr gyakorlatban 75–80%-kal számolhatunk. Ez azt jelenti, hogy egy primer oldalon 100 W-ot felvevő

transzformátor a szekunder oldalon – a veszteségek miatt – csak 75–80 W-ot ad le. Ebből pedig az következik, hogy ha a szekunder oldalon 100 W teljesítményt akarunk kapni, a primer oldalon meg kell növelni a teljesítményt 20–25 W-tal.

Az előbbieken kiszámoltuk a méretezendő transzformátor szekunder teljesítményét, ami 26 W-ot tesz ki. Tehát ha ezt a teljesítményt meg akarjuk kapni a szekunder oldalon, a primer oldal teljesítményét 25%-kal meg kell növelni (75%-os hatásfokot tétélezünk fel). Így a szükséges primer oldali teljesítmény 32,5 W!

3. Miután ismerjük a primer oldali teljesítményt, ami 32,5 W, az 1. táblázat alapján megállapíthatjuk, hogy mekkora a szükséges vasmagkeresztmetszet. Vegyük a szekunder oldali teljesítményt kerekben 33 W-nak. Ehhez a táblázat szerint 8 cm²-es vasmag szükséges. Ebből már megállapítható a szükséges primer és szekunder menetszám.

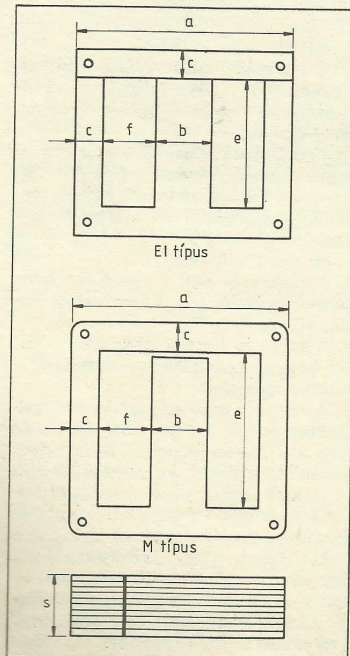
Mielőtt azonban ezt kiszámolnánk, szükséges néhány szót szólni a vasmagok formájáról. Előző számunkban említettük, hogy főleg a köpeny típusú vasmagokat használjuk, illetve ennek két fajtáját: az EI és az M magot. Az 1. ábrán láthatjuk a kétfajta vasmaglemeznek a formáját és a méretjelöléseket. A 3., 4., és 5. táblázatok mutatják ezek mm-ben értendő méreteit.

A vasmag kiválasztásánál mindig arra kell törekedni, hogy a lehető legegyszerűbb és legegyszerűbb alakú legyen, pl.: 2×2, 3×3 vagy 2,6×3 cm. A transzformátorlemez vastagsága 0,35 mm és az örvényáramú veszteségek csökkentése céljából szigetelőanyaggal vannak bevonva. E szigetelést is számításba kell venni, mert az csökkenti a hatásvaske- resztmetszetet. A szakirodalom a különböző vastagságú lemezekre megadja az ún. *kitöltési tényezőt*. Így 0,5 mm-re 0,94, 0,35 mm-re 0,92, 0,15 mm-re 0,83, 0,08 mm-re 0,71. A szükséges, hatásvaske- resztmetszetet úgy kapjuk meg, ha a már kiszámított vaske- resztmetszetet, esetünkben 8 cm², elosztjuk a kitöltési tényezővel:

$$A = \frac{8}{0,92} = 8,695 \text{ cm}^2$$

Tehát látjuk, hogy a lemezek szigetelése következtében közel 9%-kal megnövekedett a pakettvastagság. A hatásvaske- resztmetszet azonban nem! A szükséges vasmagkeresztmetszetet így kerekben 9 cm²-nek vehetjük.

4-6. A vasmagkeresztmetszet ismeretében az 1. táblázat segítségével ki tudjuk számítani a primer és szekunder oldali menetszámokat.



1. ábra. EI és M típusú transzformátorlemez

1. táblázat (50 Hz-es hálózat esetén)

Vasmagkereszt- metszet [cm ²]	Teljesítmény [W]	Volt/menet 0,8 T = 8000 gauss		Volt/menet 0,9 T = 9000 gauss		Volt/menet 1 T = 10 000 gauss	
		Pr.	Szek.	Pr.	Szek.	Pr.	Szek.
		1	0,51	53	59	47,5	52,5
1,5	1,15	35,5	39	31,5	35	28,5	31,5
2	2	26,5	29,5	23,6	26,3	21,5	23,5
2,5	3,2	21,3	23,5	19,0	21,0	16,0	18,7
3	4,6	17,6	19,6	15,8	16,5	14,2	15,7
3,5	6,4	15,2	16,8	13,6	15,0	12,2	13,5
4	8,2	13,3	14,7	11,9	13,2	10,7	11,8
4,5	10,04	11,8	13,0	10,5	11,6	9,5	10,5
5	12,8	10,5	11,8	9,5	10,5	8,6	9,5
5,5	15,4	9,6	10,7	8,6	9,6	7,8	8,6
6	18,4	8,8	9,8	7,9	8,8	7,1	7,9
6,5	21,8	8,2	9,1	7,3	8,1	6,5	7,3
7	25	7,6	8,4	6,8	7,5	6,1	6,7
7,5	29	7,1	7,8	6,3	7,0	5,7	6,3
8	33	6,6	7,3	5,9	6,6	5,3	5,9
8,5	37	6,2	6,9	5,6	6,2	5,0	5,6
9	41	5,9	6,5	5,3	5,8	4,7	5,3
9,5	46	5,6	6,2	5,0	5,5	4,5	5,0
10	51	5,3	5,9	4,7	5,3	4,3	4,7
12	73	4,4	4,9	4,0	4,4	3,6	3,9
15	115	3,6	3,9	3,2	3,5	2,8	3,2
18	165	3,0	3,3	2,7	2,9	2,4	2,7
20	200	2,7	3,0	2,4	2,6	2,15	2,4
25	320	2,1	2,4	1,9	2,1	1,72	1,9
30	460	1,8	1,97	1,6	1,76	1,43	1,6

A kiszámított 8 cm²-es vasmagkereszt-
metszethez - 1 teslá gerjesztéssel
számolva - a primer oldalhoz 5,3 volt-
kénti menetszám tartozik. A primer te-
keres menetszáma így 220 V-os hálózati
feszültség esetén:

$$n = 220 \times 5,3 = 1166 \text{ menet.}$$

A szekunder oldalhoz a táblázat szerint 5,9
voltontkénti menetszám tartozik. Először a
250 V anódfeszültséget szolgáltató tekercs
menetszámát számoljuk ki:

$$n = 250 \times 5,9 = 1475 \text{ menet.}$$

Tekintettel arra, hogy tápegységünkben
kétoldalas egyenirányítást fogunk alkal-
mazni, így az anódekeres 2 × 1475 menet
lesz.

A szekunder oldali második tekercs a
csövek fűtését látja el, és ennek 6,3 V fe-
szültséget kell szolgáltatnia. Tehát:

$$n = 6,3 \times 5,9 = 37,17 \approx 38 \text{ menet.}$$

7. Hetedik lépésként a tekercseken átfolyó
áramokat kell meghatározni. Eddigi
számításaink eredményeként már ismerjük
a primer oldali teljesítményfelvételt, 32,5
W. A hálózati feszültség pedig 220 V. E két
adatból már ki tudjuk számítani a primer
tekercsen folyó áramot. Mielőtt azonban
ezt megtennénk, szólnunk kell a teljesít-
ménytényezőről, a $\cos \varphi$ -ról is. Változó
áram esetén ugyanis a feszültség és az áram
között fáziseltolás van, ha az áramkörben
kapacitás vagy induktivitás van. (Esetünk-
ben a tekercsek induktivitása.) A $\cos \varphi$ érté-
ke mindig kisebb egynél. A transzformáto-
rok számításánál az amatőr gyakorlatnak
megfelelő $\cos \varphi = 0,8$ -cal számolunk.

A primer oldali teljesítmény ezzel

$$P_{pr} = U_{pr} \times I_{pr} \times \cos \varphi, \text{ ebből}$$

$$I_{pr} = \frac{P_{pr}}{U_{pr} \times \cos \varphi} = \frac{32,5}{220 \times 0,8} = \frac{32,5}{176} = 0,184 \text{ A, azaz} = 184 \text{ mA}$$

A szekunder oldali áramok adottak
(katalógusból vettük), az anód és segéd-
rácsáramok összege 70 mA, a fűtőáram
pedig 1,26 A.

8. Az áramok ismeretében meghatározha-
tjuk a szükséges huzalátmérőt. A 2. táb-
lázatban a rézhuzalok terhelhetőségét tűn-
tettük fel különböző áramsűrűségek ese-
tére.

Mi az áramsűrűség?

Áramsűrűség alatt a vezető egységnyi
keresztmetszetére eső áramerősséget ért-
jük, jelölése: J.

A kezdő amatőrben felvetődhet a kér-
dés, hogy miért kell különböző áramsűrű-
ségekkel számolni?

A választ a trafó csévetestén levő, ese-
tünkben három tekercs elhelyezése adja
meg. A primer tekercs legalul foglal helyet,
ezután következik az anódfeszültséget
szolgáltató tekercs, majd legfölül a fűtőte-
keres. Az átfolyó áramok a huzalok ohmos
ellenállása miatt melegítik az egyes teker-
cseket. Nyilván a legalul elhelyezkedő pri-
mer tekercs fog leginkább melegedni, hi-
szén az van „elzárva” legjobban a külvilá-
gtól, a hűlési lehetőségétől. Ezért tehát ennél
a tekercsnél célszerű kisebb áramsűrűséget
választani. A gyakorlat általában az, hogy
a „belső” tekercseknél $J = 2,5 \text{ A/mm}^2$
áramsűrűséget engednek meg.

Gyakorlatilag ugyanez a helyzet az
anódekeresnél is, mert azt is „belső” elhe-
lyezésűnek tekinthetjük. Tehát itt is 2,5
A/mm² áramsűrűség engedhető meg.
A fűtőtekercs viszont legkívül helyezkedik
el, legjobb a hűlési lehetősége, így ennél
3 A/mm² áramsűrűség választható.

Ezek után határozzuk meg a 2. táblázat
segítségével az egyes tekercsek huzalátmé-
rőit. A primer tekercsen átfolyó áram
0,184 A. A 2,5 A/mm² áramsűrűségnél a
legközelebbi magasabb érték 0,240 A, ezt
kell választanunk. Mindig inkább felfelé
keresünk! Így a 0,240 A-hez 0,35-ös hu-
zal szükséges.

A szekunder oldalon az anódekeresnél
0,07 A folyik keresztül. Itt is 2,5 A/mm²
áramsűrűséggel számolva a 0,079 A-es sor-
hoz 0,2 mm átmérőjű huzal tartozik. A fű-
tőáram 1,26 A. Ennél a tekercsnél, mint-
hogy kívül foglal helyet, 3 A/mm² áramsű-
rűséget engedhetünk meg. A táblázatban
erre a 0,8 mm-es huzal biztosít 1,5 A ára-
mot.

9. Eddigi számításaink eredményeként
transzformátorunk valamennyi adatát is-
merjük már. Ezek után csak egy felada-
tunk van: ellenőrizni azt, hogy a tekercsek
elférnek-e a transzformátor csévetestén.

A helyszükséglet megállapításához is-
mernünk kell a transzformátorlemez ada-
tait. Az 1. ábrán látható jelölések, vala-
mint a 3., 4. és 5. táblázatok segítségével
tudjuk az ellenőrző számításokat elvége-
zni. A lemez e és f szorzata adja a felhasz-
nálható területet mm²-ben.

2. táblázat. Rézhuzalok terhelhetősége

Átmérő [mm]	Keresztmetszet [mm ²]	Megengedett áram [A]		
		J = 2 A/mm ²	J = 2,5 A/mm ²	J = 3 A/mm ²
0,05	0,002	0,004	0,005	0,006
0,08	0,005	0,01	0,013	0,015
0,1	0,0079	0,016	0,02	0,024
0,12	0,0113	0,022	0,029	0,033
0,15	0,0177	0,034	0,044	0,051
0,2	0,0314	0,062	0,079	0,093
0,25	0,049	0,098	0,122	0,147
0,3	0,071	0,142	0,177	0,213
0,35	0,096	0,192	0,240	0,288
0,4	0,126	0,252	0,315	0,378
0,45	0,159	0,320	0,400	0,480
0,5	0,196	0,392	0,490	0,588
0,6	0,283	0,580	0,710	0,840
0,7	0,385	0,770	0,965	1,155
0,8	0,503	1,000	1,260	1,500
0,9	0,636	1,280	1,590	1,900
1	0,786	1,600	1,960	2,400
1,2	1,13	2,200	2,750	3,300
1,4	1,54	3,000	3,750	4,500
1,5	1,77	3,600	4,500	5,400
1,8	2,54	5,000	6,250	7,500
2	3,14	6,200	7,750	9,300
2,5	4,9	10,0	12,5	15,0
3	7,55	15	18,75	22,5

3. táblázat. EI-magok mérete

a	b	c	e	f
42	14	7	21	7
48	16	8	24	8
54	18	9	27	9
60	20	10	30	10
66	22	11	33	11
78	26	13	39	13
84	28	14	42	14
92	30	16	46	16
106	34	18	53	18

4. táblázat. M-magok mérete

a	b	c	e	f
20	5	3,5	13	4
30	7	5	20	6,5
42	12	6	30	9
55	17	8,5	38	10,5
65	20	10	45	12,5
74	23	11,5	51	14
85	29	14,5	59	15,5
102	34	17	68	17

5. táblázat. EI magok bővített ablakkal

a	b	c	e	f
52	16	10	26	26
64	20	12	32	32
82	25	16	41	41
104	32	20	52	52
130	40	25	65	65

A primer tekercs menetszáma 1166 és 0,35-ös huzalból kell elkészíteni. A 2. táblázat a huzalok mm²-ben megadott keresztmetszetét is tartalmazza. A 0,35 m átmérőhöz 0,096 mm² keresztmetszet tartozik. Ezt a számot kell megszorozni a primer menetszámmal és megkapjuk a primer tekercs helyszükségletét mm²-ben.

$$1166 \times 0,096 = 111,9 \text{ mm}^2$$

A szekunder 2 × 1475 menet anóttekercsét 0,2 mm-es huzalból kell elkészíteni. Itt a keresztmetszet 0,0314 mm². Tehát $2950 \times 0,0314 = 92,6 \text{ mm}^2$

A fűtőtekercs 38 menet, 0,8 mm-es huzalból, melynek a keresztmetszete 0,503 mm². Így

$$38 \times 0,503 = 19,11 \text{ mm}^2$$

Tehát a tekercsek helyszükséglete összesen:

$$111,9 + 92,6 + 19,11 = 223,6 \text{ mm}^2$$

A 2. táblázat a szigetelés nélküli huzalok adatait tartalmazza. A transzformátor huzalanyagául pedig zománccsigetelésű huzalokat használunk. A zománccsigetelés is helyet foglal el. Ezenkívül amikor egy-egy menetsort feltekercselünk a csévetestre, szigetelő papírral (rendszerint kondenzátorpapírral) szigeteljük el egymástól a sorokat. Így a huzalok zománccsigetelése és a menetenkénti papírszigetelés csaknem annyi helyet foglal el, mint a huzalok rézanyaga. Ezenkívül a csévetest anyaga is leszűkíti a transzformátorlemez $e \times f$ szorzatából adódó hasznos ablakkeresztmetszetét. Emiatt a korábban kiszámított helyszükségletet meg kell szorozni kettővel. Így tehát olyan transzformátorlemez kell kiválasztani, melynél az $e \times f$ szorzat nagyobb, mint 447 mm². Ennek megfelelően az EI lemezek közül az $e = 39 \text{ mm}$, és $f = 13 \text{ mm}$ méretű már megfelel, mert a szorzatuk 507 mm²-t ad.

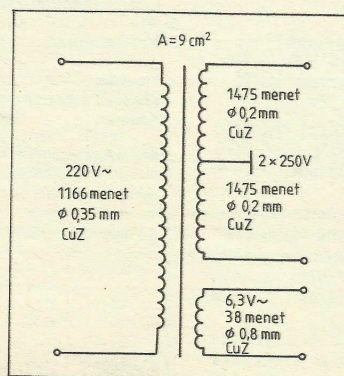
A korábbi számításaink szerint 9 cm² a szükséges vasmagkeresztmetszet. A megfelelőnek bizonyult lemez adatai közül a $b = 26 \text{ mm}$ (2,6 cm) szükséges, mert a pakett vastagságát, az s -t ennek a segítségével tudjuk kiszámolni.

$$A = b \times s, \text{ azaz}$$

$$9 \text{ cm}^2 = 2,6 \times s$$

$$s = \frac{9}{2,6} = 3,46 \text{ cm}$$

-őtbété-



A transzformátor elvi rajza a kiszámított adatokkal