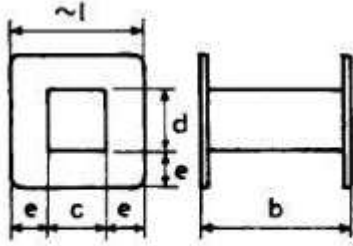


A csévetest készítés.

A ragasztott csévetest esetében a leszabott fibersáv szélességének EI vasmagnál 0,5mm-rel, M vasmagnál pedig 3...5 mm-rel kell keskenyebb lennie, mint a vas ablakának b hosszmérete. Az osztásvonalak mentén az anyagot legalább 0,5mm mélyen bekarcoljuk, majd laposfogóval meghajlítjuk. A két szélő szakaszt méretre vágjuk és az



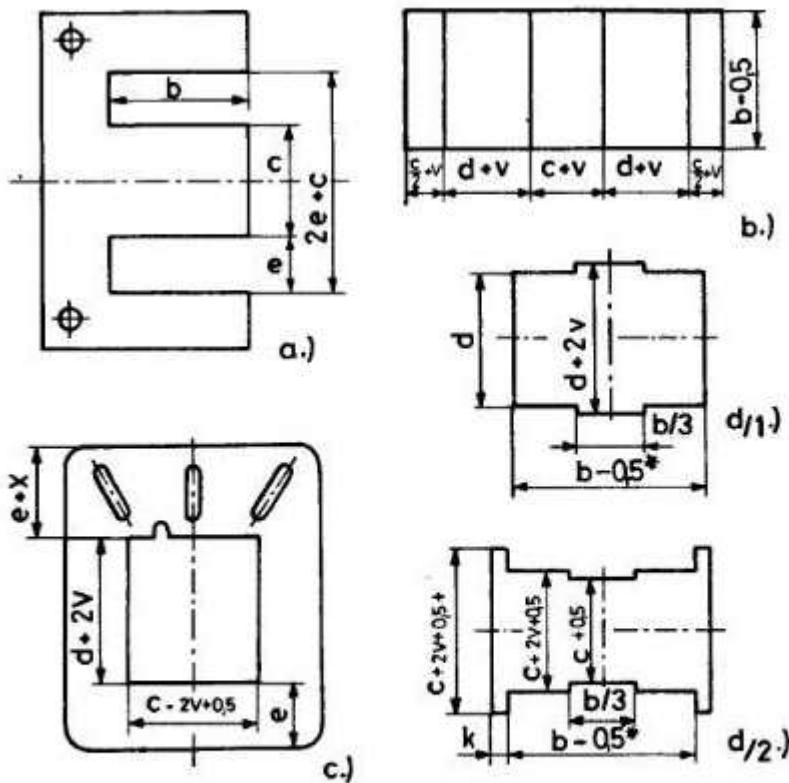
A csévetest méreteinek értelmezése.

összesimuló éleket ragasztópapírral átragasztjuk.

Összerakható csévetestet elemek felhasználásával készíthetünk. A jelölései a következők:

v az alkalmazott lemez vastagsága; d a lemezmag vastagsága (pakett); k a csévetest nagyságától függő méret (1,5...4mm); x a kivezetések számától függő méret (3..8mm).

Egy komplett csévéhez a $d/1$ és a $d/2$ alkotóelemekből 2-2 db szükséges. Az összerakás során az orsóarcokba bedugjuk a $d/2$ idomot, helyükre húzzuk az orsóarcokat, majd bepattintjuk a $d/1$ idomokat.



a.) az EI lemezmag vonatkoztatási méretei; b.) az orsó kiterített rajza; c.) orsóarc; $d/1$ és $d/2$ az összerakható csévetest orsóelemei ; [* $b - 0,5$ mm EI magnál, $b - 3...5$ mm M magnál.

A csévetestnél fokozott gondot kell fordítani a szigetelésre. A primer oldalt közrefogó szigetelés villamos szilárdságának minimum $2KV_{eft}$ -nek kell lennie. Itt hőre lágyuló műanyagfólia nem alkalmazható. Sorszigetelés célra, max. 0,15mm-es átmérőjű huzalok esetén legmegfelelőbb a kondenzátpapír. Kb. 0,5mm-ig szirpapír – e felett pedig a nagyobb mechanikai szilárdságú prespán alkalmazása célszerű. A kivezetéseket

mindig bujtassuk szigetelőcsőbe. Ez vékony huzaloknál (0,5mm-ig) pl. ISOPLAST cső lehet, e méret felett pedig varniscsövet célszerű alkalmazni.

Akár EI, akár M lemezmaglapokat használunk, a vasmagozásnak mindig váltakozva, vagyis két oldalról kell történnie. A könnyebb összerakás (és esetleges szétszedés) céljából, amikor lemezelés során a pakett vastagság közepéhez érünk, két lemezt tegyünk be egyszerre. Ez azért ajánlatos, mert amikor a cséve megsérülése nélkül már több lemez nem dugható be, e két lap közé könnyedén behelyezhető még annyi lemez, hogy a szorítócsavarok meghúzásakor sem fog lötyögni a csévetest. Az összeszerelt transzformátort ezután (fekete, 300-as) „szeszakk” festékbe mártva impregnáljuk.

Igen fontos, hogy a rendelkezésre álló transzformátormag ablakméretébe betekercselhető rézhuzal mennyiségét mindig kiszámítsuk. Azt, hogy a lemezlap ablakkeresztmetszetének hány százalékát foglalja el a rézvezető, a következő kifejezés adja meg:

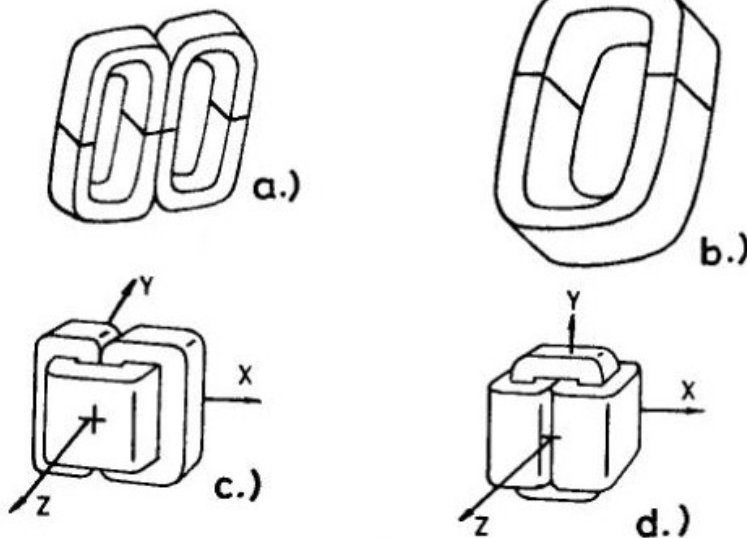
$$k(\%) = \frac{A_{cu}(mm^2)}{A_{abl}(mm^2)} \cdot 100,$$

ahol A_{cu} az összegzett rézkeresztmetszet. Itt minden tekercsnek, ill. tekercsrésznek kiszámítjuk a „tisztaréz” – keresztmetszetét (keresztmetszet és a menetszám szorzatát).

E részeredmény összege adja a $\sum A_{cu}$ értékét. A kifejezésbe mind a rézkeresztmetszet, mind a A_{abl} ablakkeresztmetszetet mm^2 -ben kell behelyettesíteni.

Szalag lemezmagú transzformátorok

A melegen hengerelt lemezek mellett jelentős mennyiségű hidegen hengerelt lemez is rendelkezésre áll. Ezek a különleges hideghengerelési és izzítási folyamat révén a hengerlés irányában kedvezőbb mágneses tulajdonságot mutatnak. E hidegen hengerelt,



SBK szalagmagformák (a; b) és felhasználásukkal készített transzformátorok (c; d)

irányított kristálystruktúrájú lemeznél a wattvesztés közepes indukciójánál kettősfaktorral kisebb, mint a hagyományos dinamólemezeknél. Így a hálózati transzformátoroknál 30...40% - kal nagyobb munkaindukcióval számolhatunk, feltéve hogy a mágneses fluxus irány megegyezik a maganyag kedvezőbb mágneses tulajdonságot mutató irányával. Az ismert EI, M és UI formáknál ez a feltétel nem teljesül. Különösen előnyösen használhatók a

telítő gyantával rögzített, darabolt szalag lemezmagok (Schnittbandkern = SBK), röviden szalagmagok. Gyakorlati előnyük a lemezelés és a csévetest készítés elmaradásában rejlik.

A szalagmag mágneses minőségét jelentősen befolyásolja a darabolás jósága. A korszerű gyártási eljárások és rombusztus feszítőszalaggokkal készített rögzítőeszközök lehetővé teszik a mágnesesen hatásos légrés kis értéken való tartását.

Számítási példa:

A méretezendő transzformátor adatai a következők: $U_{be} = U_p = 220V$; a szekunder feszültségek: $U_{s1} = 24V$; $U_{s2} = 10V$; a szekunder tekercsek terhelőárama: $I_{s1} = 5A$; $I_{s2} = 8A$, a szekunder teljesítmények: $P_{s1} = 120W$; $P_{s2} = 80W$; a hálózati frekvencia $f=50Hz$.

Megoldás:

A teljes szekunder teljesítmény:

$$P_S = P_{s1} + P_{s2} = 120 + 80 = 200W.$$

A táblázatból az SM102a és az SU75a típus között választhatunk. Az SU75a típust választva a táblázat 5. és 6. oszlopából: $n_p = 4,2 \text{ menet/V}$ és $n_s = 4,7 \text{ menet/V}$.

A szükséges primer és szekunder menetszámok:

$$N_p = n_p U_p = 4,2 \cdot 220 = 924 \text{ menet.}$$

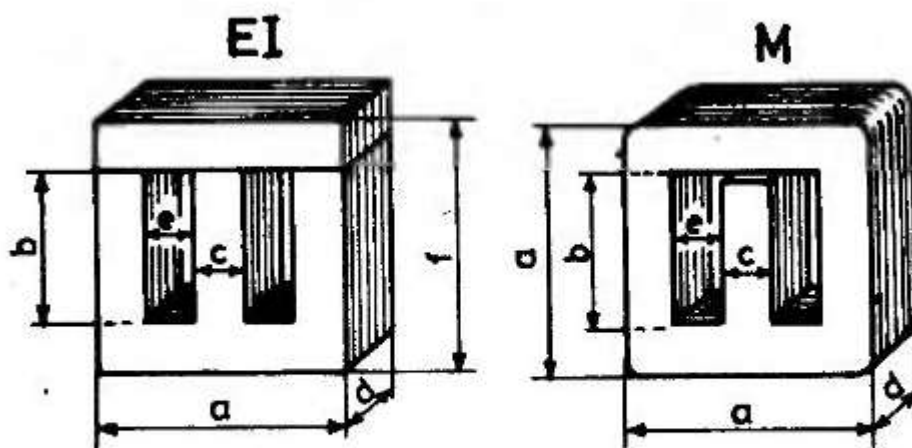
$$N_{s1} = n_s U_{s1} = 4,7 \cdot 24 = 113 \text{ menet,}$$

$$N_{s2} = n_s U_{s2} = 4,7 \cdot 10 = 47 \text{ menet,}$$

A táblázat 9. és 10. oszlopából:

$$S_n = 3,6A/mm^2; \quad \Delta i = 1,09$$

A primer áram: $I_p \approx \Delta i P_S / U_p = 1,09 \cdot 200 / 220 = 0,99A$.



EI és M transzformátor magok

Jel	Transzformátor csévetest méretei					Hozzávaló lemezmag
	l legfeljebb	c legalább	e legfeljebb	d	b legfeljebb	
	mm					
M 20	12,5	5,3	3,5	5,5	12	M20
M 22	12,5	5,3	3,8	5,5	14	M 22
M 30	19	7,6	5,7	7,6	19	M 30
M 42	29	12,6	8,1	15,7	28	M 42
M 55	37	17,6	9,6	21,7	35,5	M 55
M 65	44	20,6	11,6	27,8	42	M 65
M 74	50	23,6	13,1	33,5	48	M 74
M 85/32	54,6	29,6	12,4	33,5	52	M 85
M 85/45	54,6	29,6	12,4	46,5	52	M 85
M 102/35	65	34,6	15,1	36,5	64	M 102
M 102/53	65	34,6	15,1	54,0	64	M 102
EI 30/10	19,2	10,5		10,8	14,5	EI 30
EI 30/12	24,8	13,3		13,6	18,7	EI 38
EI 42/14	27,2	14,5		14,8	20,5	EI 42
EI 48/16	31,2	16,5		16,8	23,5	EI 48
EI 54/18	35,2	18,5		18,8	26,5	EI 54
EI 60/20	39,1	20,6		21	29	EI 60
EI 66/22	43,1	22,6		23	32	EI 66
EI 78/26	51,1	26,6		27,5	38	EI 78
EI 84/28	55,1	28,6		29,5	41	EI 84
EI 84/42	55,1	28,6		43,5	41	EI 84
EI 92/23	67,4	23,6		24,5	50	EI 92
EI 92/32	67,4	23,6		33,5	50	EI 92
EI 92/30	60,4	30,6		31,5	45	EI 92 K
EI 92/42	60,4	30,6		44	45	EI 92 K
EI 106/32	75,4	29,6		33,5	55	EI 106
EI 106/45	75,4	29,6		46,5	55	EI 106
EI 106/34	68,4	34,6		35,5	52	EI 106 K
EI 106/47	68,4	34,6		48,8	52	EI 106 K
EI 130/36	92	35,7		37,7	69	EI 130
EI 130/46	92	35,7		47,7	69	EI 130
EI 150/40	107	40,7		41,7	79	EI 150
EI 150/50	107	40,7		51,7	79	EI 150
EI 150/60	107	40,7		61,7	79	EI 150
EI 170/55	121	45,7		56,7	94	EI 170
EI 170/65	121	45,7		66,7	94	EI 170
EI 170/75	121	45,7		76,7	94	EI 170
EI 195/56	136	56,5		57,7	124	EI 195
EI 195/69	136	56,5		70,7	124	EI 195
EI 195/84	136	56,5		85,7	124	EI 195
EI 231/63	159	66,5		64,7	143	EI 231
EI 231/79	159	66,5		80,7	143	EI 231
EI 231/98	159	66,5		99,7	143	EI 231

Számítási értékek különböző méretű szalagmagokra

Típus	Szekunder teljesítmény P_n , VA	Mágneses indukció B_n , T	Voltonkénti indukciós menetszám n_1 menet/V	Voltonkénti primer menetszám n_p , menet/V	Voltonkénti szekunder menetszám n_s , menet/V	Feszültség tényező ΔU	Szekunder feszültségesés $1+\Delta s$
SM 42	5,3	1,75	17,8	13,2	22,3	1,68	1,25
SM 55	21,1	1,76	8,8	7,7	9,85	1,28	1,12
SM 65	45,7	1,78	5,6	5,1	6,05	1,18	1,08
SM 74	84	1,79	4,0	3,75	4,2	1,12	1,06
SM 85a	115	1,78	3,2	3,1	3,4	1,1	1,05
SM 85b	159	1,76	2,3	2,2	2,4	1,08	1,04
SM 102a	206	1,79	2,5	2,4	2,6	1,08	1,04
SM 102b	300	1,78	1,64	1,6	1,7	1,06	1,03
SE 130a	387	1,83	2,2	2,2	2,3	1,06	1,03
SE 130b	484	1,83	1,7	1,7	1,8	1,05	1,03
SE 150a	590	1,83	1,7	1,7	1,8	1,05	1,03
SE 150b	720	1,83	1,4	1,35	1,4	1,04	1,02
SE 150c	860	1,83	1,1	1,06	1,1	1,04	1,02
SE 170a	1130	1,83	1,1	1,06	1,1	1,035	1,02
SE 170b	1308	1,83	0,95	0,93	0,96	1,03	1,015
SE 170c	1490	1,83	0,83	0,82	0,84	1,03	1,015
SU 30a	3,3	1,79	30	18,2	41,3	2,27	1,375
SU 30b	6,3	1,78	19	13,6	24,1	1,77	1,27
SU 39a	12,4	1,8	17,5	13,7	21,2	1,55	1,21
SU 39b	20	1,79	11,1	9,35	12,9	1,38	1,16
SU 48a	30,5	1,81	11,4	9,8	13,0	1,33	1,14
SU 48b	48,6	1,8	7,25	6,5	8,0	1,23	1,10
SU 60a	82	1,83	7,1	6,5	7,7	1,19	1,09
SU 60b	122	1,82	4,7	4,4	5,0	1,14	1,07
SU 75a	200	1,84	4,4	4,2	4,7	1,12	1,06
SU 75b	306	1,83	2,2	2,1	2,3	1,08	1,04
SU 90a	387	1,85	3,1	3,0	3,22	1,08	1,04
SU 90b	630	1,84	1,8	1,8	1,9	1,06	1,03
SU 102a	620	1,85	2,3	2,3	2,4	1,06	1,03
SU 102b	960	1,84	1,45	1,4	1,5	1,04	1,02
SU 114a	920	1,86	1,87	1,82	1,92	1,05	1,025
SU 114b	1440	1,85	1,15	1,15	1,2	1,035	1,02

Transzformátorszámítások

A transzformátor csak váltóárammal működhet. A szekunder tekercs menetszámától függ a leadott feszültség (Volt). A váltóáramra jellemző módosításokkal a Volt (V) és amper (A) szorzata határozza meg a transzformátor teljesítményét (Watt). Képletben tehát: $W = V \cdot A$ (Watt = Volt · Amper). A transzformátornál a teljesítményt nem Wattban, hanem voltamperben számoljuk.

A transzformátor alapja a vasmag. Erre helyezzük rá a primer és a szekunder tekercseket. Anyaga lágyvas, szilíciumos dinamólemez, amelyben kicsi a visszamaradó (remanens) mágnesség. Vastagsága 0,3 – 0,5 mm. Egymástól vékony papírral vagy festékekkel vannak szigetelve. Erre azért van szükség, hogy a bennük keletkező örvényáramok ne okozzanak nagy veszteségeket, káros melegeledést.

Alakja kétféle is lehet: mag- vagy köpenytípus. A köpenytípusnak valamivel jobb a hatásfoka, kisebb a vesztesége, mert jobban egybetartja a szétszóródó mágneses erővonalakat. Tudnunk kell azt is, hogy a transzformátor elkészíthető kisebb vasmagon sok menetű tekercsel (előnye: kicsi az üresjáratnyi fogyasztás, pl. csengőtranszformátor) vagy vastagabb vasmagon kevesebb menettel (kisebb a tekercs ohmikus ellenállása, pl. hegesztő transzformátor). Egy voltra jutó menetszámot a következő képlet segítségével lehet kiszámolni.

$$e = \frac{f}{Q}$$

ahol f = a hálózati frekvencia (ez Európában 50 Hz), a Q = a vasmag keresztmetszete. Ez példánkban

$$\frac{50}{Q} = \text{menet}/V$$

Ezután el kell dönteni, hogy milyen teljesítményű transzformátorra van szükségünk. (Pl. modellvasúthoz 20 – 25 Watt, forrasztópákához 50 – 75 Watt stb.)

Tegyük fel, hogy 20 Volt, 2 Amper teljesítményű transzformátort akarunk készíteni. A szekunder tekercsről levenni kívánt teljesítmény tehát:

$$N_S = V \cdot A = 20 \cdot 2 = 40 \text{ voltamper}$$

Tekintve, hogy minden energiaátalakítás veszteséggel jár, a primer tekercs teljesítményét kb. 12%-kal meg kell növelni a szekunderéhez képest. A veszteség tehát:

$$40 \cdot 0,12 = 4,8 \text{ kereken } 5VA \text{ (voltamper)}$$

Így a primer teljesítmény: $N_P = 40 + 5 = 45VA$

Egy VA teljesítmény átviteléhez 24 gramm vasmagra van szükség. Mérlegen lemérünk tehát annyi transzformátorlemezt, amennyi szükséges. Adott esetben:

$$N_P \cdot 24 = 45 \cdot 24 = 1080 \text{ gramm} = 108 \text{ dkg}$$

Összerakjuk a lemezeket, jól összeszorítjuk, majd lemérjük a „b” méretet, leszámítva a 2,6 cm szigetelést. Ügyeljünk arra, hogy a „b” méret ne legyen nagyobb az „a” méret másfélszeresénél, s ne legyen kisebb sem az „a” méretnél. Transzformátorunkhoz tehát olyan lemezre van szükség, amelynek „a” mérete 25mm. (A szabványos méretek: 20, 25, 30mm.) Most kiszámítjuk a vasmag keresztmetszetét:

$$q = a \cdot b = 2,5 \cdot 2,6 = 6,5 \text{ cm}^2$$

Ezután hozzákezdünk a tekercsek számításához. A képlet segítségével kiszámítjuk az egy voltra jutó menetek számát:

$$n = \frac{50}{q} = \frac{50}{6,5} = 7,7 \text{ menet /volt}$$

Az így kapott menetszám azonban nem végleges. A primer menetszámot a veszteségek miatt 5%-kal csökkentjük, azaz megszorozzuk 0,95-tel, a szekunder menetszámot pedig növeljük 5%-kal, azaz megszorozzuk 1,05-tel.

Ha a hálózati feszültség 220 V, akkor a primer menetszám:

$$n_p = 7,7 \cdot 220 \cdot 0,95 = 1610 \text{ menet}$$

A szekunder menetszám pedig 20 Voltra:

$$n_s = 7,7 \cdot 20 \cdot 1,05 = 162 \text{menet}$$

A kis transzformátoraink tekercseinél 1 mm² - re 2,55 Amper terhelést engedhetünk meg. A primer tekercsen átfolyó áram erősségét úgy kapjuk meg, hogy a primer volt – ampert elosztjuk a hálózati feszültséggel, 220 V – tal.

$$A_p = \frac{45}{220} = 0,22 \text{ Amper}$$

A táblázatból kikeressük az ehhez tartozó huzalátmérőt, amely adott esetben felfele kerekítve 0,35mm. Ugyanígy járunk el a szekunder tekercsnél is. A számítás:

$$A_s = \frac{40}{20} = 2 \text{ Amper}$$

Ehhez az értékhez is kikeressük a táblázatból a megfelelő huzalátmérőt, amely 1,05 mm. Az adatok zománc szigetelésű huzalra vonatkoznak.

Meg kell győződnünk arról is, hogy tekercsek elférnek-e a vasmag ablakában. Az ablak 1,875 cm széles és 6,25 cm hosszú. Az ablaknyílás tehát 11,7cm². Ebből le kell vonni a tekercs csévét, amelyet pl. 2 mm-es prespánból készíthetünk. A cséve által elfoglalt hely 2 cm². Így az ablaknyílás 9,7 cm². Ennek felét foglalhatja el a primer tekercs.

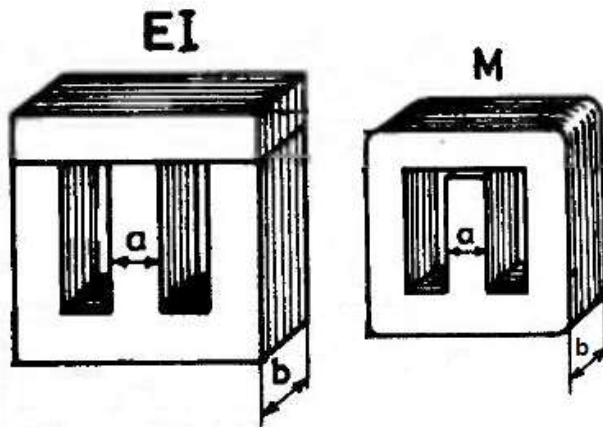
A táblázatban megnézzük hány menet fér el 1 cm²-ben. Azt találjuk, hogy 0,35 mm-es huzalból 410 menet. Ha primer menetszámot elosztjuk 410-zel, megkapjuk hogy hány cm²-nyi hely szükséges a primer tekercsnek.

$$1610 : 410 = 3,9 \text{ cm}^2$$

Hasonló számítás alapján a szekunder tekercs 2,7 cm² helyet foglal el. A tekercs fölött így kb. 5 mm hézag marad ami még megengedhető. A primer és a szekunder tekercsüket többféleképpen helyezhetjük el. Lehet a primer és a szekunder külön – külön egymás mellett, lehet egymással szemben, de leginkább szokásos egy csévére tekercselni előbb a primer, azután a szekunder tekercset.

Még több szekunder tekercset is tehetünk a trafóra, csak arra kell vigyázni, hogy a szekunder tekercsek teljesítményeinek összegéhez méretezzük a primer tekercset.

A huzalok beszerzéséhez jó, ha előre ki tudjuk számítani a szükséges mennyiséget. Ehhez ki kell számítani egy menet közepes hosszát. Adott esetben a primer tekercs



3,9 cm², kerekítve 4 cm² helyet foglal el. Ezt a mennyiséget 5,8 cm hosszban tekercseljük fel a csévére. A tekercs vastagsága $4 : 5,8 = 0,69$ cm kerekén 7mm.

a középső szál tehát 3,5 mm – rel van a csévetest felett. Ezért a csévetest méretéhez minden oldalon hozzászámítunk 3,5 mm-t. Adott esetben a vasmag mérete 25 · 26mm. Erre kerül a cséve, azaz minden oldalról 2 mm. Így a csévetest 29 · 30 mm. Ehhez kétszer kell hozzáadni az előbb

kiszámított 3,5 mm – t. Így a középszál mérete

$(36+37) \cdot 2 = 146\text{mm} = 0,146\text{m}$. Ezt menetszámmal megszorozva, megkapjuk a primer tekercs hosszát: $0,146 \cdot 1610 = 235$ méter. A huzal súlyának kiszámítása már igen egyszerű. A táblázatban megnézzük 1m huzal súlyát s megszorozzuk az imént kapott huzalhosszúsággal. Az eredmény 20,6 dkg.

Ugyanígy számítjuk ki a szekunder tekercs hosszát is, figyelemmel arra, hogy a szekunder tekercs a primerre kerül. A szekunder tekercshez adott esetben 31,5 m huzal kell, ennek súlya 22,3 dkg.

Először elkészítjük a csévet a vasmag méretei szerint. Kivágunk egy olyan fadarabot, amely pontosan akkora, mint a vasmagnak az a része, ahová a tekercs kerül. Erre tesszük rá a csévet. A tekercselés megkönnyítése végett a fadarabba tengelyt teszünk – szögből vagy drótból – s ennél forgathatjuk a csévet akár kézzel akár furdanccsal. Ügyeljünk arra, hogy menet menet mellé kerüljön, s a szigetelést meg ne sértsük. Ha csak egy menet is érintkezik, transzformátorunk károsan bemelegszik, leég. Ezért ha egy sort feltekercselünk, olvasztott paraffinnal kenjük be, s papírral szigeteljük a sorokat egymástól. Ezen a módon elérjük, hogyha egy menet érintkezik, melegszik, a paraffin megolvad, s lehűléskor minden valószínűség szerint a huzalok közé folyik, s a zárlatot megszünteti. Transzformátorunk végleges elkészítése előtt ajánlatos a szekunder tekercsből ideiglenesen csupán 100 menetet feltekercselni. Ezután a transzformátort összerakjuk s lemérjük a 100 menet által leadott feszültséget. A szekundert maximális terhelhetőségének kb. $\frac{3}{4}$ - ével azaz adott esetben 1,5 A – rel terheljük meg. Így végezzük el a mérést. Erre azért van szükség hogy esetleg módosítsuk a számítást, mert felhasznált anyagok minősége, és az ügyességünk befolyásolja a teljesítményt. A mért feszültséggel elosztjuk a menetszámot (100 - at), s megkapjuk egy volt menetszámát. Ezt megszorozzuk a levenni kívánt feszültséggel (20 - szal).

Ha minden egyezik, véglegesen elkészítjük a szekunder tekercset. Leágazásokat is készíthetünk, ahogyan szükséges. A huzal kis darabkájáról eltávolítjuk a zománc szigetelést, ehhez forrasztjuk a kivezetést. A forrasztást jól szigeteljük, pl. papír közé tesszük. A kész tekercset papírral vagy varnish – szalaggal burkoljuk be. Kivesszük belőle a fát, s beillesztjük a vasmagot úgy, hogy a lemezek vágása felváltva hol az egyik, hol a másik oldalra kerüljön.

Ezután bekapcsoljuk a transzformátorunkat. Vigyázzunk, ne legyen érintkezés a kivezető huzalok között, mert ugyanúgy bemelegszik és leég a transzformátorunk, mint a menetzárlat esetében. Az üzemi hőmérséklet nem lehet 60 – 70 °C fok felett. Ha magasabb, hiba van a számításban. Befejezésül a kész transzformátort dobozba helyezzük, s a kivezetéseket érintkezőkkel látjuk el.

Huzaltáblázat				
Huzalátmérő mm	Zománcozva	Megengedhető terhelés A-ban	1 cm ² -ben jutó menetszám	Súly m/g
0,05	0,065	0,005	14.000	0,03
0,1	0,115	0,02	4.200	0,075
0,15	0,17	0,045	2.000	0,165
0,2	0,22	0,08	1.200	0,29
0,25	0,275	0,125	800	0,45
0,3	0,33	0,18	560	0,65
0,35	0,38	0,245	410	0,88
0,4	0,43	0,32	330	1,14
0,45	0,48	0,41	260	1,43
0,5	0,54	0,5	210	1,78
0,6	0,64	0,72	150	2,76
0,7	0,74	0,98	110	3,47
0,8	0,85	1,28	90	4,53
0,9	0,95	1,62	73	5,78
1	1,05	2	60	7,07
1,1	1,16	2,42	50	8,54
1,2	1,26	2,88	42	10,2
1,3	1,36	3,38	35	11,9
1,4	1,46	3,92	30	13,8
1,5	1,56	4,5	26	15,9

Még egy kis transzformátorszámítás

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{n_2}{n_1}$$

ahol:

U_2 = a szekunder feszültség.

U_1 = a primer feszültség.

n_2 = a szekunder tekercs menetszáma.

n_1 a primer tekercs menetszáma.

Az alapegyenletből tehát levonhatjuk azt a fontos következtetést, hogy a transzformátor segítségével a váltófeszültséget tetszőleges értékűre alakíthatjuk. Ebből az is következik, hogy a transzformátorral egy bizonyos feszültséget *feltranszformáltunk*, vagy *letranszformáltunk*. A transzformátor teljesítményviszonyait vizsgálva azt találjuk, hogy a primer- és szekunder oldali teljesítmények egyenlőek. A teljesítményt váltóáram esetén is mint az egyenáramnál a feszültség és áram szorzata adja. (Ha nincs fáziseltolódás.)

Tehát:

$$U_1 \cdot I_1 = U_2 \cdot I_2 \quad \text{ebből} \quad \frac{I_1}{I_2} = \frac{U_2}{U_1}$$

Ez a képlet a transzformátor másik fontos alapegyenlete, vagyis: *a primer- és szekunder áramok és –feszültségek között fordított az arány.* Nagyobb szekunder feszültséghez kisebb áramerősség tartozik. (A teljesítmények csak így lehetnek egyenlők.) A transzformátor egyenletek felírásánál láttuk, hogy a feszültségek aránya egyenlő a menetszámok arányával, vagyis:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

Ezt a képletet helyettesítsük az előbb felírt teljesítmény képletébe:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{U_2}{U_1} \text{ azaz } \frac{I_1}{I_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

E képlet azt mutatja, hogy az áramok és a menetszámok között is fordított az arány. A transzformátort az eddig leírtak szerint áram és feszültség transzformálására használhatjuk. De alkalmas ellenállás, illetve váltakozó áramú ellenállás, impedancia transzformálására is. Írjuk fel a teljesítményt, a következő módon:

$$P_1 = P_2$$

ahol:

$$P_1 = U_1 \cdot I_1 \text{ és } I_1 = \frac{U_1}{r_1}, \text{ amivel}$$

$$P_1 = U_1 \frac{U_1}{r_1} = \frac{U_1^2}{r_1}$$

$$P_2 = U_2 I_2 \text{ és } I_2 = \frac{U_2}{r_2}, \text{ amivel}$$

$$P_2 = U_2 \frac{U_2}{r_2} = \frac{U_2^2}{r_2}$$

tehát:

$$\frac{U_1^2}{r_1} = \frac{U_2^2}{r_2} \text{ ebből } \frac{U_1^2}{U_2^2} = \frac{r_1}{r_2}$$

minthogy:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2} \text{ (ez transzformátor egyenlete)}$$

Tehát:

$$\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 = \frac{r_1}{r_2},$$

mivel $\frac{n_1}{n_2}$ az áttétel (az \dot{a}), ezért:

$$\dot{a} = \frac{r_1}{r_2}$$

Ebből a képletből következik, hogy: *ellenállás, illetve váltakozó áramú ellenállás (impedancia) transzformálásakor a primer- és szekunder oldal ellenállások aránya a menetszámok arányának négyzetével, azaz az áttétel négyzetével egyenlő.*

Eddigi tárgyalás során ideálisnak azaz veszteségmentesnek tételeztük fel a transzformátort. A gyakorlatban ez természetesen nem így van: a transzformátorok veszteségesek. A veszteségek a következőkből tevődnek össze:

1. *Részveszteség.* amely a tekercs anyagául felhasznált rézhuzal valós ellenállásából adódik.
2. *Vasveszteség.* amely két részből áll:
 - a). *Örvényáram-veszteség.* A mágneses erőtérben nemcsak a tekercsek, hanem a vasmag önmaga is benne van, melyet egy rövidre zárt egymenetű tekercsnek foghatunk fel. Az indukció törvénye alapján a vasban is indukálódik feszültség, amely áramot hoz létre. Ezt az áramot örvényáramnak nevezzük. Ez energia veszteséget jelent, amely hővé alakul. Ez ellen úgy védekeznek (ezt úgy csökkentik), hogy a vasmagot alkotó lemezeket elszigetelik egymástól.
 - b). *Hisztézis-veszteség.* amely a vasmag átmágnesezése következtében jelentkezik. A mágneses pólusok másodpercenként százszor felcserélődnek (50 Hz-es hálózat esetén). A csere molekuláris átrendezéssel jár, ez hőt fejleszt, tehát energiaveszteség.

A transzformátor veszteségét úgy határozzuk meg, hogy megmérjük a primer- és szekunderoldali teljesítményeket a kettő közötti különbség a transzformátor vesztesége.

A szekunder- és primeroldali teljesítmények arányából határozható meg a transzformátor hatásfoka:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100[\%]$$

A P_2/P_1 aránya mindig kisebb 1-nél. A miáltalunk használt transzformátorok hatásfoka kb. 70...90% közötti.

A transzformátorszámítást mindig a szükséges szekunder oldali teljesítmény meghatározásával kezdjük. Ez esetünkben adott: 20W. (Egyébként a szekunderoldali feszültség és áram szorzata adja.)

Ha ismerjük a szekunderoldali teljesítményt és a transzformátor hatásfokát, akkor ezekből az adatokból a primer teljesítmény már kiszámolható. A hatásfok képlete:

$$\eta = \frac{P_{sz}}{P_{pr}}$$

Azt is megjegyezzük hogy az η (éta) az amatőrgyakorlatban használt transzformátorok esetében 0,7...0,8 körüli érték. Válaszuk az $\eta = 0,8$ értéket a továbbiakban.

$$P_{Pr} = \frac{P_{sz}}{\eta} = \frac{20}{0,8} = 25W$$

Ennek ismeretében már ki tudjuk számolni, hogy mekkora áram fog folyni a primer tekercsben:

$$I_{pr} = \frac{P_{pr}}{U_{pr} \cdot \cos \varphi} = \frac{25}{220 \cdot 0,8} = 0,142A$$

A képletben szereplő $\cos \varphi$ –t teljesítmény- vagy fázistényezőnek hívják: mértékegység nélküli szám. A váltakozó áramú teljesítmény számításánál figyelembe kell venni a feszültség és az áram közötti fáziseltolódást, a $\cos \varphi$ –t, amely azt mutatja meg, hogy a váltóáramú teljesítmények mekkora hányada végez hasznos munkát. A $\cos \varphi$ értéke a gyakorlatban használt transzformátorok esetében 0,7...0,8 értékkel számolunk.

A primer teljesítményt azért kellett kiszámolni, hogy annak ismeretében meghatározhassuk a transzformátor szükséges vaskeresztmetszetét a következő képlet segítségével:

$$A = k \sqrt{P_{pr}}$$

A k tényező értékét a szakirodalom 50W-ig $k = 1,2...1,4$ között adja meg. Tehát:

$$A = k \sqrt{P_{pr}} = 1,4 \sqrt{25} = 7cm^2$$

Ezek szerint $7cm^2$ valóságos vasmagkeresztmetszet szükséges. Ezt lemezekből fogjuk összerakni, amelyek az örvényáramú veszteségek csökkentése céljából lakkréteggel vagy vékony papírral vannak egymástól elszigetelve. Ebből logikusan következik, hogy ha ilyen lemezekből rakjuk össze a szükséges $7cm^2$ vasmagkeresztmetszetet, akkor a valóságos vaskeresztmetszet ettől eltérő lesz.

Hogy mennyivel kell a keresztmetszetet megnövelni, azt a már kiszámított A keresztmetszet és a tényleges keresztmetszet A_t aránya adja meg. Ezt az arányt kitöltési tényezőnek (t_{vas}) nevezzük.

$$t_{vas} = \frac{A}{A_t}$$

melyből a tényleges keresztmetszet:

$$A_t = \frac{A}{t_{vas}}$$

Transzformátorunkat a kereskedelemben kapható 0,35 – ös transzformátorlemezekből készítjük el:

$$A_t = \frac{A}{t_{vas}} = \frac{7}{0,9} = 7,6cm^2$$

Kérdés hogy az így kiszámított $7,6 \text{ cm}^2$ keresztmetszetet hány darab lemezből tudjuk megvalósítani? Ehhez nyújt segítséget a táblázat, melyekben az EI és az M típusú vasmagok méreteit tüntettük fel mm-ben; innen kiválaszthatjuk a nekünk legjobban megfelelőt. A közölt magtípusok közül válasszuk az EI típust, amelynek a mérete 84 mm! Közbevetőleg megjegyezzük, hogy célszerű olyan típust választani, amelyből közel négyzet alakú magot tudunk összeállítani. Az általunk választott EI-84 méretű lemez adatai következők:

$$\begin{aligned} a &= 84 \text{ mm}, \\ b &= 28 \text{ mm}, \\ c &= 14 \text{ mm}, \\ e &= 42 \text{ mm}, \\ f &= 14 \text{ mm}, \end{aligned}$$

A szükséges pakettvastagságot az:

$$s = \frac{A_t}{b}$$

képlet segítségével számoljuk ki, ahol

s = a pakett vastagsága [cm],

A_t = a tényleges keresztmetszet [cm^2],

b = a lemez szélessége [cm],

Tehát:

$$s = \frac{A_t}{b} = \frac{7,6}{2,8} = 2,7 \text{ cm}.$$

Hány darab lemezből tudjuk ezt megvalósítani?

Minthogy egy lemez vastagsága $d = 0,35 \text{ mm}$, a kiszámított pakettvastagság $s = 2,7 \text{ cm} = 27 \text{ mm}$:

$$\frac{s}{d} = \frac{27}{0.35} = 77 \text{ darab}.$$

Ezek után ki kell számolni a primer és szekunder tekercsek menetszámát. Ezt az

$$n = \frac{U}{4,44 \cdot f \cdot A \cdot B}$$

képlet segítségével fogjuk kiszámolni. A képletben szereplő:

U = a primer tekercsre kapcsolt feszültség effektív értéke [V],

f = a primer feszültség frekvenciája [Hz],

A = a vasmag valóságos keresztmetszete [m^2],

B = a vasmagban megengedett maximális indukció [T].

A B indukció mértéke a tesla - T. Egy tesla = 10 000 gausszal (a régi szakirodalomban fordul elő az utóbbi elnevezés). A transzformátor méretezésénél 4 % - os szilíciumtartalmú transzformátorlemez esetén a B értékére 0,8...1,2 T-t szokás felvenni. Nagyobb teljesítményű transzformátoroknál kisebb értékű, kis transzformátorok esetén

nagyobb értékű B felvétel javasolt. Az amatőrgyakorlaban használatos transzformátoroknál a $B = 0,8..1$ T érték a leggyakoribb.

Alakítsuk át a menetszám kiszámítására szolgáló képletet úgy, hogy az U helyébe 1 V-ot írunk. Ezzel 1 voltra jutó menetszámot fogjuk megkapni. Jelöljük n' -vel

$$n' = \frac{1}{4,44 \cdot f \cdot A \cdot B} = \frac{1}{4,44 \cdot 50 \cdot 7 \cdot 10^{-4} \cdot 1} = \frac{10^4}{1554} = 6,5 \text{ menet/volt}$$

Tehát 1 volt transzformálására 6,5 menet szükséges. Ezt az értéket azonban huzal veszteségek miatt módosítani kell. Ugyanis a primer és a szekunder tekercseken átfolyó áram, a huzal ohmos ellenállása miatt, a tekercseken feszültségesést hoz létre. Ennek következtében a primer tekercsekben csökken a transzformátor működéséhez szükséges mágnesező áram. A szekunder oldalon pedig a terhelés okoz feszültségesést. Ezt elkerülendő, a primer oldalon csökkenteni, a szekunder oldalon pedig növelni kell a menetszámot.

A feszültségesés értéke a tekercsen átfolyó áram értékétől, az áramsűrűségétől, valamint a tekercs huzalanyagából adódó ohmos ellenállástól függ. Áramsűrűség alatt a vezető keresztmetszetének egységnyi felületére jutó áramsűrűséget értjük. A

EI magok mérete [mm]				
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

jele: J. Számításunk során nem közömbös, hogy milyen áramsűrűséggel számolunk.

Ugyanis a transzformátor csévetestjére, a mi esetünkben két tekercs kerül: a primer alul és ettől szigetelten a szekunder, fölül. A huzalon átfolyó áram melegíti a huzalt, tehát az egész transzformátort is. Az alul elhelyezett tekercs szellőzhet a legkevésbé, míg a fölül levő(k) jobban. (Egy csévetesten lehet 3-4 tekercs is, melyek egymás fölött helyezkednek el.) Ebből következik az, hogy az alul lévő primer tekercsnél kisebb, $J = 2,5 \text{ A/mm}^2$ áramsűrűséget engedhetünk meg, míg a jobban hűlő felső, szekunder tekercsnél a $J = 3 \text{ A/mm}^2$ áramsűrűség is megengedhető. A mi esetünkben, minthogy csak két tekercset kell elhelyezni a csévetesten, mindkettőnél $J = 2,5 \text{ A/mm}^2$ áramsűrűséggel számolunk majd.

β -val jelöljük a százalékban kifejezett feszültségesést:

$$\beta = 6 \frac{J}{b \cdot B} = 6 \frac{2,5}{2,8 \cdot 1} = 5,35\%$$

ahol

J = az áramsűrűség [$2,5 \text{ A/mm}^2$],

b = a lemez szélessége [cm],

B = az indukció [1 tesla],

Tehát a primer tekercs menetszámát 5,35%-kal kell csökkenteni. Ennek figyelembevételével a primer menetszáma:

$$n_{pr} = \left(1 - \frac{\beta}{100}\right) n' \cdot U_{pr} = (1 - 0,0535) \cdot 6,5 \cdot 220 = 1353$$

A szekunder tekercs menetszámát pedig 5,35%-kal kell növelni:

$$n_{szek} = \left(1 + \frac{\beta}{100}\right) n' \cdot U_{szek} = (1 + 0,0535) \cdot 6,5 \cdot 24 = 164$$

A kiszámított menetszámok után az a kérdés, hogy a primer és szekunder tekercseket milyen átmérőjű huzalból kell megtekercselni. Ehhez ismerni kell a primer- és a szekunder oldali áramokat. A primer áramot már kiszámoltuk: $I_{pr} = 0,142A$. A szekunder áramot a teljesítmény és a feszültségből számítjuk ki.

$$I_{szek} = \frac{P_{szek}}{U_{szek}} = \frac{20}{24} = 0,83A$$

A huzalátmérő az áramok ismeretében a

$d = 1,13 \sqrt{\frac{I}{J}}$ képlettel számoljuk, ahol

I = a huzalon átfolyó áram[A],

J = az áramsűrűség A/mm²-ben.

Ezzel a primer tekercs huzalátmérője:

$$d_{pr} = 1,13 \sqrt{\frac{0,142}{2,5}} = 0,25mm$$

a szekunderé pedig:

$$d_{szek} = 1,13 \sqrt{\frac{0,83}{2,5}} = 0,6mm$$

A menetszámok és huzalátmérők ismeretében még meg kell győződnünk arról hogy a tekercsek elférnek-e a transzformátorlemez ablakkivágásában. A tekercsek egyes menetsorait vékony papírcsíkokkal szigeteljük el egymástól különös figyelemmel arra, hogy a szélső menetek ne csússzanak le az előtte lévő sorra!

A papírszigetelés is helyet foglal el. Ezenkívül maga a csévetest is csökkenti a hasznos tekercselési teret.

Lássuk tehát a primer helyfoglalását! Először is kiszámítjuk a primer tekercs huzalkeresztmetszetét:

$$q_{pr} = \frac{d_{pr}^2 \cdot \pi}{4} = \frac{0,25^2 \cdot 3,14}{4} = 0,049mm^2$$

A teljes tekercs rézkeresztmetszete:

$$L_{pr} = n_{pr} \cdot q_{pr} = 1353 \cdot 0,049 = 66,3mm^2$$

A papírszigetelés miatt a kihasználási tényezőt 50%-nak vesszük. Ezzel a primer tekercs keresztmetszete:

$$A_{pr} = \frac{L_{pr}}{t_l} = \frac{66,3}{0,5} = 132 \text{ mm}^2$$

A szekunder oldal számítása:

$$q_{szek} = \frac{d_{szek}^2 \cdot \pi}{4} = \frac{0,36 \cdot 3,14}{4} = 0,282 \text{ mm}^2$$

$$L_{szek} = n_{szek} \cdot q_{szek} = 164 \cdot 0,282 = 46,24 \text{ mm}^2$$

Ezzel az adatokkal a szekunder oldal keresztmetszete:

$$A_{szek} = \frac{L_{szek}}{t_l} = \frac{46,24}{0,5} = 92,5 \text{ mm}^2$$

A két tekercs együttes helyigénye:

$$A_{pr} + A_{szek} = 132 + 92,5 = 224,5 \text{ mm}^2$$

A választott transzformátorlemez ablakkeresztmetszetét a táblázatban feltüntetett méretek alapján számoljuk ki. A csévetest anyagának vastagságát (g-t) 1,5-re vesszük. Így a hasznos ablakkeresztmetszet:

$$L_{abl} = (f - g) \cdot (e - 2g) = (14 - 0,4) \cdot (42 - 3) = 487,5 \text{ mm}^2$$

Tehát látjuk, hogy a hasznos ablakkeresztmetszet ($487,5 \text{ mm}^2$) jóval nagyobb a szükséges $224,5 \text{ mm}^2$.

M magok mérete [mm]				
a	b	c	e	f
20	5	3,5	13	4
30	7	7	20	6,5
42	12	8	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

t [mm] lemezvastagság	t_{vas}
0,5	0,94
0,35	0,92
0,15	0,8
0,08	0,71

EI magok bővített ablakkal [mm]				
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	26	65	65

