

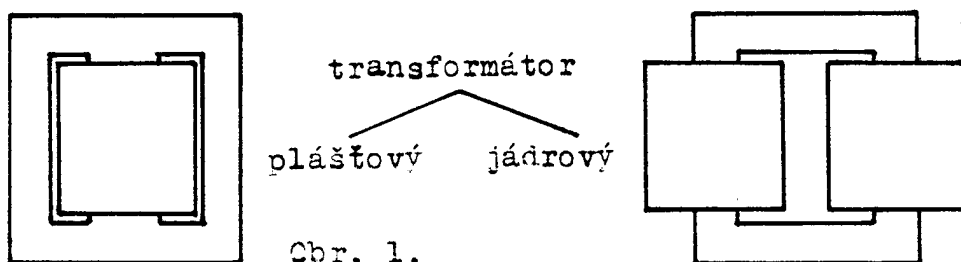
Ing. M. B e r a n

## Nebojte se transformátorů

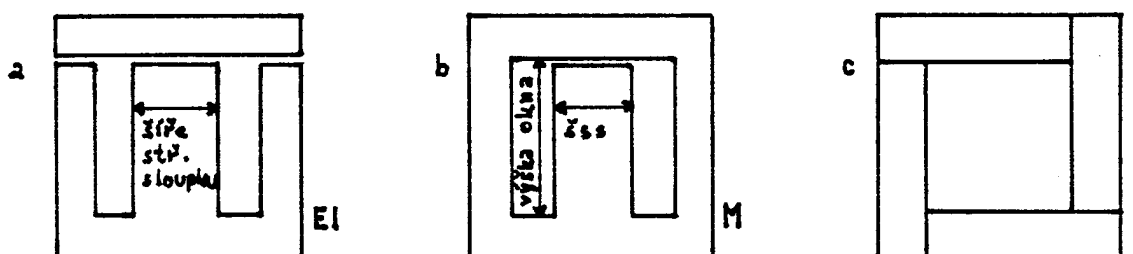
Sběratel historických rozhlasových přijímačů bývá občas postaven před problémem, jak opravit či nahradit vadný nebo chybějící transformátor. Také při amatérské výrobě pomocných přístrojů /zdrojů, generátorů, zkoušeček a pod./ narážíme na potřebu zhotovení transformátorů vlastními silami. Není to zas tak obtížné, jak se na první pohled zdá. Vyžaduje to jen trochu pečlivé práce, a ta je našim sběratelům vlastní. Následující pojednání je určeno těm méně zkušeným v tomto směru. Vycházím ze svých více jak čtyřicetiletých zkušeností při domácí výrobě transformátorů nejrozličnějších typů. Omezím se jen na nejdůležitější výpočty, plně postačující ke správnému navržení a realizaci opravy či rekonstrukce transformátorů, případně k jejich novému zhotovení. Více se budu zabývat praktickou stránkou věci.

Podle konstrukčního uspořádání rozeznáváme transformátory:

- a/ plášťové /nejběžnější/, u kterých jádro obklopuje vinutí,
- b/ jádrové, kde vinutí obklopuje jádro /viz obr. 1/.



Jádro transformátoru se skládá ze železných plechů s příměsí křemíku/ omezení ztrát vířivými proudy/, síly 0,35 až 0,5 mm. Tvar plechů je přizpůsoben snadnému skládání či rozebírání jádra. Pro plášťové transformátory se užívá plechů tvaru M či EI, pro jádrové tvaru I či UI /viz. obr. 2/. Rozměry jader M a EI jsou normalizovány, avšak u starých přijímačů se setkáme i s jádry nenormalizovanými. Rozměry jádra se udávají součinem šíře středního sloupku a tloušťky /stahu/ jádra, čili průřezem středního sloupku. Např. jádro EI 25x20 má šíři stř. sloupku 25 mm a stah 20 mm. Podobně jádro M 34x40 má stř. sloupek široký 34 mm a stah jádra 40 mm.

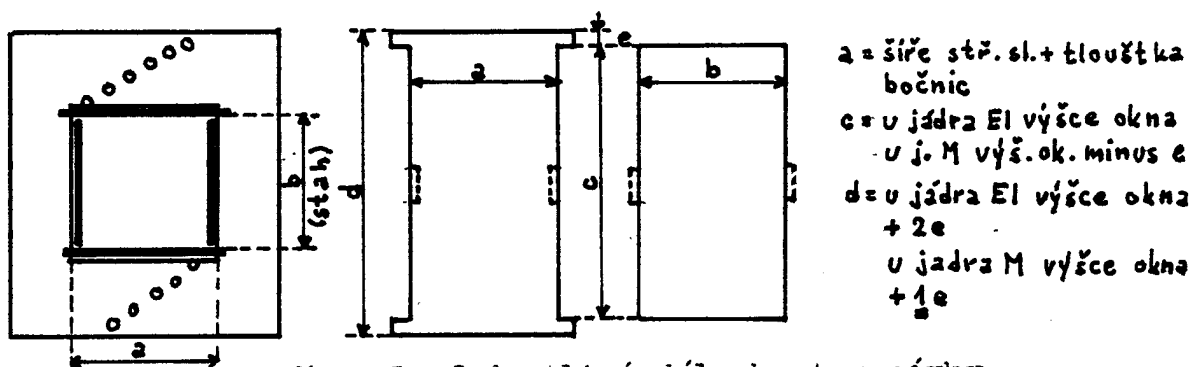


Obr. 2. Různé tvary transformátorových plechů.

Vinutí nejčastěji provádíme z měděného smaltovaného drátu /dráty opředené bavlnou či hedvábím zabírají na cívce mnoho místa/. Pokud možno používáme nového drátu, neboť použití starého drátu, odvinutého ze starého transformátoru, tlumivky či relé je vždy riskant-

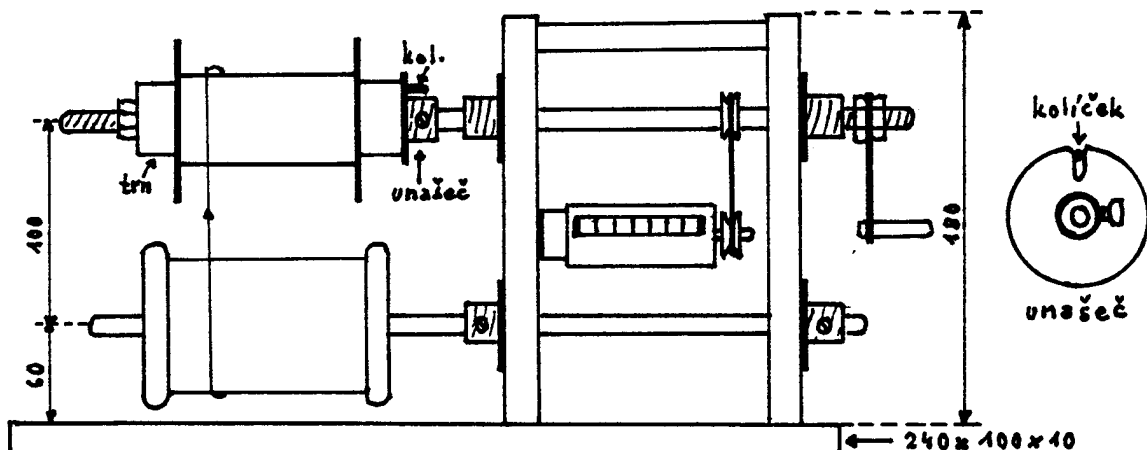
ní. Chceme-li se přesvědčit o stavu izolace použitého drátu, připojíme odizolovaný konec k jednomu pólu doutnavkové zkoušečky a druhým pólem, zakončeným chomáčkem vodou navlhčené vaty, přejíždíme po závitěch cívky. Porušená izolace se ihned projeví svitem doutnavky. Ještě použitelný je drát, u kterého zjistíme na jeden m délky 2 až 3 defektní místa /nesmí však být vidět pouhým okem/.

Kostru cívky použijeme pokud možno původní. Jinak ji zhotovíme z pertinaxu, umakartu či tvrdé lepenky příslušné tloušťky. Osvědčuje se samonosná kostra, složená ze 6 dílů, jak naznačeno na obr. 3. Použijeme-li lepenky, je vyřezání jednotlivých dílů lupenkovou pilkou snadné a rychlé. Pracnější je přesné narýsování dílů, neboť na tom závisí konečný výsledek práce. Při skládání kostry nejdříve do čel přední a zadní díl, oddálíme je od sebe a vsuneme bočnice. Dobře vyrobená kostra musí dobře držet tvar, aniž bychom ji slepili. Do čel můžeme předem vyvrtat řadu otvorů pro vývody. Chceme-li použít nýtovacích pájecích oček, potom čela patřičně prodloužíme. U velmi dlouhých cívek pro lepší pevnost kostry opatříme bočnice a předozadní díly výstupky, jak naznačeno čárkovaně na obr. 3.



Obr. 3. Jednotlivé díly kostry cívky.

Hotovou kostru nasuneme na dřevěný trn, který je po délce provrtán na průměr hřídele navíječky. Náčrtek jednoduché navíječky je na obr. 4. Na základové prkénko připevníme dvě bočnice, opatřené ložisky /např. ze starých potenciometrů/ pro hřídel. Je výhodné opatřit navíječku počítadlem závitů /např. ze starého elektroměru, tachometru a pod./, náhon postačí gumovým řemínkem. Silnější dráty cca od  $\phi$  0,8 mm vineme raději v ruce, anebo si uděláme robustnější navíječku s  $\phi$  hřídele cca 10 mm. Hřídel je opatřena závitem, trn sevřeme na hřídeli mezi matky, anebo připevníme na hřídel unášecí kotouč se zářezem pro kolíček, zaražený postraně do trnu.



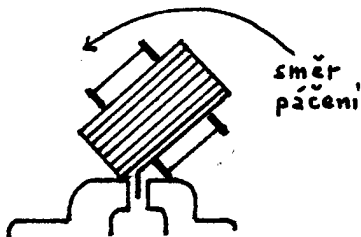
Obr. 4. Jednoduchá, snadno zhotovitelná navíječka cívek.

Vineme zásadně závit vedle závitu. Začátky a konce vinutí z tenkého drátu /do cca  $\varnothing$  0,2 mm/ nastavíme v délce několika závitů silnějším drátem či lankem /o  $\varnothing$  cca 0,4 mm/, kterým též vyvádíme případné odbočky. Začátky a konce vinutí vždy zajistíme omotáním tenkou nití, příp. proužkem izolopy. Jednotlivé vrstvy vinutí prokládáme proužky hedvábného papíru, které jsou po stranách natřepeny /nastříhány do hloubky cca 3 mm s roztečí 2 až 3 mm/. Proklady jsou o něco širší, než je vzdálenost čel cívky. Drát nevineme však až k čelům, ale ponecháváme mezeru cca 2 až 3 mm po obou stranách. Silnější drát /cca od 0,3 mm/ můžeme po navinutí každé vrstvy přetřít lehce acet. lakem /u slabších drátů je nebezpečí rozpuštění izolace/. Mezi jednotlivými vinutími /zejména mezi primárem a sekundárem u síťových transformátorů, ale i u výst. transformátorů/ navineme několik závitů balicího papíru, který potíráme acet. lakem /lepší je elektrotechnické plátno anebo fólie na knižní obaly/. Po skončení vinutí celou cívku vyvaříme v rozpuštěném parafínu /v plechovce na plynovém sporáku na plotýnce s nejmenším plamenem anebo na elektrickém vařiči či žehličce/. Vyvaříme tak dlouho, až přestanou z vinutí unikat vzduchové bublinky. Potom cívku z parafínu vyjeme, necháme okapat a schladnout. Nakonec opatříme vinutí popisným štítkem /s údaji o vinutí: počty závitů, průměry drátů, napětí a pod./ a několika závity elektrotechnického plátna či igelitu.

Plechý vkládáme do hotové cívky síťového transformátoru střídavě /přepřátováním/, aby se zamezilo vzniku vzduchové mezery v jádře, která by snižovala účinnost transformátoru. U jednočinných výstupních transformátorů a síťových tlumivek naopak vkládáme plechy jedním směrem, abychom vytvořili potřebnou vzduchovou mezeru. U plechů M je tato mezeru již dána samotnými plechy /při jejich výrobě/, u jader typu EI ji vymezíme vložkou z izolačního materiálu.

Jestliže pouze převinujeme síťový transformátor, stačí spočítat při odvíjení závity a znovu navinout stejný počet závitů novým drátem. Často bývá poškozeno pouze anodové vinutí, takže primární vinutí můžeme ponechat. Jestliže je známo napětí anodového vinutí, nemusíme při odvíjení závity počítat. Stačí spočítat závity některého ze žhavicích vinutí a vydělením napětím tohoto vinutí zjistíme počet závitů na 1 V sekundáru. Prostým vynásobením napětím anodového vinutí dostaneme potřebný počet závitů.

Demontáž převinovaného traťáka je někdy dosti obtížná, zvláště když je celý transformátor impregnován bakelitovým či asfaltovým lakem. Zde se mi osvědčil tento postup: Celý transformátor dáme do plynové či elektrické trouby a pozvolna ho prohřejeme na teplotu cca 80 stupňů C. Při této teplotě impregnace změkne, takže se již obvykle podaří uvolnit několik prvních plechů /pracujeme v prac. rukavicích/. U zvláště zpečených jader odchlípneme první plech, sevřeme tento konec do svěráku a páčíme /viz obr. 5/. Jakmile plech povyleze, uvolníme ho a zasuneme hlouběji mezi čelisti svěráku a pokračujeme v páčení. Tak se nám podaří uvolnit první plech. Další již půjdou snadněji, buď ještě páčením ve svěráku, nebo bude stačit uvolnění plechů nožem a vytažením kleštěmi na hřebíky. Pokřivené plechy opatrně vyrovnáme /jsou křehké, snadno se lámou/.



Obr. 5. Uvolňování plechů.

me ho a zasuneme hlouběji mezi čelisti svěráku a pokračujeme v páčení. Tak se nám podaří uvolnit první plech. Další již půjdou snadněji, buď ještě páčením ve svěráku, nebo bude stačit uvolnění plechů nožem a vytažením kleštěmi na hřebíky. Pokřivené plechy opatrně vyrovnáme /jsou křehké, snadno se lámou/.

Návrh /vypočet/ síťového transformátoru, který následuje, je maximálně zjednodušen, pro naše potřeby však plně vyhovuje. Předpokládá plechy průměrné jakosti /zpravidla neznáme jejich vlastnosti, jako je permeabilita, měrné ztráty, hysterze a pod/, sycení 1 T /Tesla/ a oteplení při plném zatížení a trvalém provozu do 50 stupňů C, což v naprosté většině případů vyhovuje.

1. Nejdříve určíme výkon traťá tak, že sečteme sekundární výkony a násobíme předpokládanou účinností 1,3. Sek. výkony vypočítáme tak, že vynásobíme příslušná sek. napětí příslušným proudem a jednotlivé součiny sečteme.
2. Vypočteme průřez jádra v cm<sup>2</sup>. U plášťového traťá je to druhá odmocnina z jeho výkonu, u jádrového druhá odmocnina z jeho polovičního výkonu.
3. Vypočteme počet závitů na jeden V tak, že konstantu 45 /pro sycení 1 T/ vydělíme průřezem jádra v cm<sup>2</sup>.
4. Počet primárních závitů dostaneme vynásobením primárního napětí /tj. síťového/ počtem závitů na 1 V minus 4% /krytí ztrát/. Primární proud vypočteme vydělením výkonu traťá primárním napětím. Z tab. 1 stanovíme průměr vodiče.
5. Počet sekundárních závitů dostaneme obdobně, jenže 4% přičítáme. Sekundární proudy jsou dány /v zadání/, takže stačí pouze v tab. 1 vyhledat příslušné průměry vodičů.
6. Vypočteme průřez všech vinutí tak, že počty závitů vynásobíme druhými mocninami průměrů příslušných vodičů. Součet těchto součinů ještě vynásobíme koef. 2,2 /koef. plnění/, čímž dostaneme průřez okénka potřebného jádra. Tím je zároveň určena i šířka středního sloupku jádra. Stah jádra pak vypočteme vydělením vypočteného průřezu jádra šířkou středního sloupku.

Nejlépe si to ujasníme na příkladu: Máme navrhnout síťový transformátor pro síťové napětí 220V. Na sekundáru potřebujeme anodové napětí 2x300V pro 60 mA, 4V/2,5A pro žhavení elektronky a 4V/1A pro žhavení usměrňovačky. Trafo plášťového typu.

1. Výkon traťá  $P = 2 \times 300 \times 0,06 + 4 \times 2,5 + 4 \times 1 / \times 1,3 = 65W$ .
2. Průřez jádra  $S = \sqrt{65} \approx 8 \text{ cm}^2$  /pro jádrové trafo by to bylo  $\sqrt{\frac{65}{2}}$ /.
3. Počet záv. na 1 V =  $45:8 = 5,6 \text{ z/V}$ .
4. Počet prim. závitů =  $220 \times 5,6 = 1\,232 \text{ z} - 4\% = 1\,232 - 49 = 1\,183 \text{ z}$ .  
Prim proud  $I = P:U = 64:220 = 0,29A$ , čemuž odpovídá drát  $\phi 0,4 \text{ mm}$  /viz tab. 1/. 65 0,29A
5. Poč. sek. záv. pro 2x300V =  $2 \times 300 \times 5,6 = 2 \times 1680 \text{ z}$  plus 4% =  $2 \times 1680 + 67 = 2 \times 1747 \text{ z}$  drátu 0,18 /pro 60 mA/  
Pro 4V =  $4 \times 5,6 = 22,4 \text{ z}$  plus 4% =  $22,4 + 0,9 \approx 23 \text{ z}$ ,  
pro 2,5A =  $1,15 \text{ mm}$ , pro 1A /druhé vinutí/ -  $0,7 \text{ mm}$   $\phi$  drátu.
6. Průřez vinutí =  $1183 \times 0,4^2 + 2 \times 1747 \times 0,18^2 + 23 \times 1,15^2 + 23 \times 0,7^2 =$   
 $= 1,893 + 1,134 + 0,304 + 0,115 = 3,446 \text{ cm}^2 \times 2,2 = 7,58 \approx 7,6 \text{ cm}^2$ ,  
což by měla být min. plocha okénka. Tomuto rozměru odpovídá jádro s plechy EI32, které mají plochu okna 7,7 cm<sup>2</sup>. Stah jádra pak bude  $8 : 3,2 = 2,5 \text{ cm}$ . Použijeme tedy jádra EI32x25.

*www.radiohistoria.sk 28*

Mohli bychom použiť i jadra M29x27, ktoré má plochu okna 7,1 cm<sup>2</sup>, vinutí by sa mělo tiež vejít /koeficient plnění je poněkud nadnesen/.

Nechce-li se nám počítati s průřezem vinutí /ačkoliv dnes v době kapesních kalkulaček by to neměl být žádný problém/, odhadneme velikost jádra podle vypočteného průřezu středního sloupku. Přitom šířka středního sloupku by měla být cca o 20% větší, než stah jádra. V našem příkladě proto dobře vyhovuje jádro EI32x25. Kdybychom ale vzali naopak jádro EI25x32, vinutí by se nevešlo, i když průřez jádra je stejný, jako u jádra EI32x25.

Následující tabulka průměrů vodičů pro různé proudy je vypočítána pro proudovou hustotu 2,5A na mm<sup>2</sup>. Poslední vrstva cívk, která má nejlepší chlazení, může být vinuta i z tenšího drátu, než jsme v tabulce vyhledali /musí však být alespoň pro poloviční proud/. K tomu se uchylujeme jen z nouze, kdy zápasíme s místem na cívce.

Jestliže bychom pro vinutí použili drát opředený bavlnou či hedvábím, musíme při výpočtu průřezu vinutí počítat s jeho hrubým průměrem /včetně izolace/.

Kdybychom použili pro vinutí drát hliníkový, musí být jeho průměr o 20% větší, než jsme našli v tabulce pro drát měděný. V našem příkladě jsme pro vinutí 4V/1A určili průměr měděného drátu 0,7 mm. Kdybychom použili drát hliníkový, musel by mít průměr 0,7 + 0,14 mm = 0,84 mm.

Výpočet výstupních transformátorů, síťových tlumivek jakož i různých nízkofrekvenčních transformátorů /vstupních, vazebních, budicích/ je poněkud složitější. Jelikož však o různé výstupní, ní transformátory a tlumivky není mezi sběrateli nouze, netřeba se s nimi vyrábět. Kdo by však přesto měl o jejich návrh a výrobu zájem, může se o tom poučit v samostatné stati.

φ mm	mA	φ mm	mA	φ mm	A
0,08	12,57	0,34	227	0,90	1,59
0,10	19,6	0,36	255	0,95	1,77
0,12	28,3	0,38	283	1,00	1,96
0,14	38,5	0,40	314	1,20	2,83
0,16	50,3	0,45	397	1,40	3,85
0,18	63,5	0,50	491	1,60	5,03
0,20	78,5	0,55	594	1,80	6,36
0,22	95,0	0,60	707	2,00	7,85
0,24	113	0,65	830	2,20	9,5
0,26	133	0,70	962	2,40	11,3
0,28	154	0,75	1 105	2,60	13,3
0,30	177	0,80	1 257	2,80	15,4
0,32	201	0,85	1 420	3,00	17,7

Tab. 1. Průměry vodičů Cu pro různé proudové zatížení /při proudové hustotě 2,5A na 1 mm/.

## Výstupní transformátory

Výstupní transformátory /dále VT/ slouží k impedančnímu přizpůsobení nízkofrekvenčních zesilovačů k reproduktorům. Přenášejí nízkofrekvenční výkon v oblasti akustických kmitočtů /od 20 Hz do 20 000 Hz/. Nejnižší přenášený kmitočet je dán primární indukčností, nejvyšší pak závisí na kapacitě vinutí. VT rozdělujeme na jednoduché, určené pro jednočinné zesilovače třídy A, a na dvojčinné, určené pro dvojčinné zesilovače třídy B.

Jádro VT se skládá z transformátorových plechů nejčastěji typu EI. U jednoduchých VT vytváříme v jádře vzduchovou mezeru k zamezení přesycení jádra procházejícím stejnoseměrným proudem. Přesycením jádra by totiž došlo k podstatnému snížení indukčnosti primárního vinutí a tím podstatnému zhoršení činnosti VT. Proto na rozdíl od síťových transformátorů skládáme plechy jádra souhlasně. Vzduchovou mezeru pak vytvoříme vložením izolačního materiálu mezi části E a I jádra. U některých přijímačů je primár VT připojen přes kondensátory, čímž je stejnoseměrná složka zcela oddělena a vzduchové mezery v jádře není zapotřebí.

VT má zpravidla dvě vinutí: Primární a sekundární. Nejčastěji se používá vinutí válcového, přičemž primární vinutí se umísťuje do spod /co nejmenší ss odpor a kapacita vinutí/ a sekundární vinutí navrch. Někdy se sekundární vinutí vkládá mezi rozdělené vinutí primární, čímž se zmenší rozptylové indukčnosti, které jinak omezují přenos vyšších kmitočtů. Izolaci vinutí VT /pro elektronkové zesilovače/ nutno věnovat zvýšenou pozornost, neboť na primáru může vzniknout napěťová špička až několik kilovoltů /při náhlém odpojení reproduktoru při plné vyhazeném zesilovači/.

Při návrhu jednoduchého VT nejdříve vypočteme průřez jádra  $S_{Fe}$  podle vzorce

$$S_{Fe} = c \cdot \sqrt{\frac{P}{f_{min}}} \quad /cm^2; - , W, Hz/ \quad /1/$$

kde  $c$  je součinitel /konstanta/ 10 až 20,  $P$  nízkofrekvenční výkon elektronky a  $f_{min}$  nejnižší přenášený kmitočet. Čím jakostnější má být VT, tím musí být větší součinitel  $c$ .

Potom vypočteme střídavé napětí na primáru  $U_p$  podle vzorce

$$U_p = \sqrt{R_a \cdot P} \quad /V; \Omega, W/ \quad /2/$$

kde  $R_a$  je anodový zatěžovací odpor elektronky a  $P$  výkon elektronky. U pentody je  $R_a = U_a : I_a$  za předpokladu, že napětí stínící mřížky je zhruba stejné, jako je napětí anody, což bývá obvykle splněno.

Primární proud  $I_p$  vypočteme ze vzorce

$$I_p = 1,3 I_a \quad /A, A/ \quad /3/$$

kde  $I_a$  je ss anodový proud elektronky. Průřez vodiče dimenzujeme na primární proud  $I_p$  při proudové hustotě 2,5A/mm. Čím silnější drát, tím lépe.

Počet primárních závitů  $n_p$  vypočteme ze vzorce

$$n_p = \frac{2,3 \cdot U_p \cdot 10^3}{B_{stř} \cdot S_{Fe} \cdot f_{min}} \quad /-; V, T, cm^2, Hz/ \quad /4/$$

kde  $U_p$  je střídavé primární napětí,  $B_{stř}$  střídavá magnetická indukce,  $S$  průřez jádra a  $f_{min}$  nejnižší přenášený kmitočet /se zeslabením cca 10%/. Střídavou magnetickou indukcí  $B_{stř}$  volíme v rozmezí 0,5 až 0,7T /Tesla/. Čím kvalitnější má být VT, tím nižší indukčnost volíme.

Převod transformátoru  $p$  vypočteme ze vzorce

$$p = \sqrt{\frac{R_a}{Z_r}} \quad /-; \Omega, \Omega/ \quad /5/$$

kde  $R_a$  je anodový odpor elektronky a  $Z_r$  impedanace kmitačky reproduktoru. Ta se přibližně rovná 1,25 násobku ss odporu kmitačky reproduktoru.

Sekundární proud  $I_s$  vypočteme ze vzorce

$$I_s = \sqrt{\frac{P}{Z_r}} \quad /A; W, \Omega/ \quad /6/$$

kde  $P$  je výkon elektronky a  $Z_r$  impedanace reproduktoru. Na tento proud dimenzujeme průřez vodiče při  $\sigma = 2,5A/mm$ . ( $\sigma = \text{sigma}$ )

Počet sekundárních závitů  $n_s$  vypočteme ze vzorce

$$n_s = \frac{n_p}{p} \cdot 1,05 \quad /-; -, -/ \quad /7/$$

kde  $n_p$  je počet primárních závitů a  $p$  převod VT.

Průřez obou vinutí vypočteme prostým vynásobením počtu závitů čtvercem průměrů použitých vodičů. Jádro VT určíme pomocí připojené tabulky podle požadovaného průřezu jádra  $S_{Fe}$  a průřezu vinutí  $S_v$ .

Nakonec vypočteme velikost vzduchové mezery  $l_v$  podle vzorce

$$l_v = \frac{1,6n_p \cdot I_a - 1,3B_{ss} \cdot \frac{l_z}{\mu} \cdot 10^4}{B_{ss} \cdot 10^4} \quad /cm; -, A, T, cm, -, T/ \quad /8/$$

kde  $n_p$  je počet primárních závitů,  $I_a$  anodový proud elektronky,  $B_{ss}$  stejnosměrná magnetická indukce,  $l_z$  střední délka siločáry a  $\mu$  permeabilita plechů /pokud ji neznáme, volíme  $\mu = 4000$ /.  $S_s$  magnetickou indukcí  $B_{ss}$  volíme v rozmezí 0,5 až 0,7T /jak již bylo řečeno výše/. Střední délka siločáry je též v tabulce uvedena. U nenormalizovaných plechů je rovna  $2 \cdot a + c + \pi a$ , kde  $a$  je šířka okénka a  $c$  jeho výška.

Postup při návrhu jednoduchého VT si ukážeme na příkladě: Máme navrhnout kvalitní VT pro  $P = 4,5\text{W}$ ,  $I_a = 36\text{ mA}$ ,  $R_a = 7\text{ k}\Omega$ ,  $Z_r = 4\Omega$  a  $f_{\min} = 30\text{ Hz}$ .

$$S_{Fe} /1/ = e \sqrt{\frac{P}{f_{\min}}} = 20 \cdot \sqrt{\frac{4,5}{30}} \doteq 7,8\text{ cm}^2$$

$$U_p /2/ = \sqrt{R_a \cdot P} = \sqrt{7000 \cdot 4,5} \doteq 180\text{V}$$

$$I_p /3/ = 1,3 \cdot I_a = 1,3 \cdot 0,036 \doteq 0,047\text{A} \quad \text{/tj. } 47\text{ mA/}$$

$$n_p /4/ = \frac{2,3 \cdot U_p \cdot 10^3}{B_{stř} \cdot S_{Fe} \cdot f_{\min}} = \frac{2,3 \cdot 180 \cdot 10^3}{0,5 \cdot 7,8 \cdot 30} \doteq \underline{\underline{3540\text{z}/0,16\text{ mm}}}$$

$$p /5/ = \sqrt{\frac{R_a}{Z_r}} = \sqrt{\frac{7000}{4}} \doteq 42$$

$$I_s /6/ = \sqrt{\frac{P}{Z_r}} = \sqrt{\frac{4,5}{4}} \doteq 1,06\text{A}$$

$$n_s /7/ = \frac{n_p}{p} \cdot 1,05 = \frac{3540}{42} \cdot 1,05 \doteq \underline{\underline{88\text{z}/0,75\text{ mm}}}$$

$$S_v = 3540 \cdot 0,016^2 + 88 \cdot 0,075^2 \doteq 1,41\text{ cm}^2$$

jádro: dle tab. 1 volíme EI25 x 34, které při ploše okénka  $S_o = 4,7\text{ cm}^2$  má plochu pro vinutí  $S_v = 2,74\text{ cm}^2$ , což je téměř dvojnásobek vypočteného  $S_v /1,41\text{ cm}^2/$ , takže můžeme použít na primáru silnější drát, např. 0,18 mm.

$$l_v /8/ = \frac{1,6n_p \cdot I_a - 1,3B_{ss} \cdot \frac{l_2}{\mu} \cdot 10^4}{B_{ss} \cdot 10^4} =$$

$$= \frac{1,6 \cdot 3540 \cdot 0,036 - 1,3 \cdot 0,5 \cdot \frac{13,9}{4000} \cdot 10^4}{0,5 \cdot 10^4} = 0,036\text{ cm}$$

tj. 0,36 mm, takže břevno vzdálíme o 0,18 mm /magnetický tok je přerušen dvakrát, proto jen poloviční vzdálenost/.

Výše navržený postup při návrhu VT je maximálně zjednodušený /pro potřeby sběratelů však plně dostačující/. Obvykle neznáme permeabilitu použitých plechů a ani ji nemůžeme dost dobře změřit. Neohlídíme k rozptylovým indukčnostem transformátoru, ke ztrátám vířivými proudy a pod. Také měření na hotovém VT není snadné. Proto nezbyvá, než se spokojit s přibližným návrhem VT, jak výše naznačeno. V praxi amatérského sběratele se však navržený postup zcela osvědčil. Přesný návrh má význam pro profesionálního výrobce VT, kde záleží na každém gramu mědi a plechu.



Návrh dvojčinného VT pro elektronkové přijímače je obdobný. Odpadá zde výpočet vzduchové mezery v jádře, protože stejnosměrné proudy, protékající primárem, tečou proti sobě, takže se jejich účinek /magnetizační/ ruší. Proto plechy EI můžeme skládat střídavě, event. použít i jádra M.

Průřez jádra  $S_{Fe}$  vypočteme podle vzorce /1/, kde za P dosazujeme výkon zesilovače, nikoliv pouze jedné elektronky.

Střídavé napětí na primáru vypočteme podle vzorce /2/, kde dosazujeme zatěžovací odpor mezi anodami elektronek  $R_{a-a}$ . Pokud ho nenalezneme v katalogu elektronek, vypočteme ho jako čtyřnásobek zatěžovacího odporu jedné elektronky  $/R_{a-a} = 4 \cdot R_a/$ .

Primární proud  $I_p$  vypočteme ze vzorce

$$I_p = \frac{P}{U_p} \quad /A; W, V/ \quad /9/$$

kde P je výkon zesilovače a  $U_p$  střídavé napětí na primáru.

Počet primárních závitů  $n_p$  vypočteme ze vzorce /4/, přičemž odbočku pro přívod anodového napětí vyvedeme přesně v polovině vypočtených závitů.

Převod transformátoru p vypočteme podle vzorce /5/, kde opět dosazujeme  $R_{a-a}$ .

Sekundární proud  $I_s$  vypočteme ze vzorce /6/, počet sekundárních závitů podle vzorce /7/.

Příklad návrhu dvoučinného VT: Navrhněte kvalitní dvojčinný VT pro elektronky AD1, jestliže  $R_{a-a} = 4 \text{ k}\Omega$ ,  $I_a = 2 \times 60 \text{ mA}$ ,  $P = 9,5 \text{ W}$ , impedance reproduktoru  $Z_r = 4 \Omega$  a  $f_{min} = 30 \text{ Hz}$ .

$$S_{Fe} /1/ = e \cdot \sqrt{\frac{P}{f_{min}}} = 15 \cdot \sqrt{\frac{9,5}{30}} \doteq 8,6 \text{ cm}^2$$

$$U_p /2/ = \sqrt{R_{a-a} \cdot P} = \sqrt{4000 \cdot 9,5} \doteq 195 \text{ V}$$

$$I_p /9/ = \frac{P}{U_p} = \frac{9,5}{195} \doteq 0,049 \text{ A}$$

$$n_p /4/ = \frac{2,3 \cdot U_p \cdot 10^3}{B_{stř} \cdot S_{Fe} \cdot f_{min}} = \frac{2,3 \cdot 195 \cdot 10}{0,5 \cdot 8,6 \cdot 30} \doteq \underline{\underline{34782/0,16 \text{ mm}}}$$

/odbočku uděláme po 1739 závitěch/

$$p /5/ = \sqrt{\frac{R_{a-a}}{Z_r}} = \sqrt{\frac{4000}{4}} \doteq 32$$

$$I_s /6/ = \sqrt{\frac{P}{Z_r}} = \sqrt{\frac{9,5}{4}} \doteq 1,55 \text{ A}$$

$$n_s /7/ = \frac{n_p}{p} \cdot 1,05 = \frac{3478}{32} \cdot 1,05 = \underline{114} \text{ z } / 0,9 \text{ mm}$$

$$S_v = 3478 \cdot 0,016^2 + 114 \cdot 0,09^2 = 1,8 \text{ cm}^2$$

jádro zvolíme EI 25 x 35, které má  $S_0 = 4,7 \text{ cm}^2$  a  $S_v = 2,74 \text{ cm}^2$

Dvojčinné zesilovače se používají v síťových přijímačích jen zřídka /jen u velkých, luxusních/, kdežto v bateriových naopak dosti často. Odběr anodového proudu u těchto zesilovačů závisí do značné míry na vybuzení zesilovače, takže provoz takového přijímače je velmi úsporný.

#### Určení převodu neznámého VT

Převod určíme za pomoci střídavého zkušebního napětí /50 Hz/, kterým napájíme jedno vinutí a měřením napětí na vinutí druhém. Potom převod vypočteme za vzorce

$$p = \frac{U_p}{U_s} \quad /-; V, V/ \quad /10/$$

kde  $U_p$  je napětí na primárním a  $U_s$  napětí na sekundárním vinutí, přičemž jedno z těchto napětí je napětím zkušebním. Zkušební napětí na sekundáru volíme cca 2V, na primáru cca 100V.

Příklad: Určete převod neznámého VT, jestliže zkušební napětí na sekundáru 2V vyvolalo na primáru napětí 80V.

$$p /10/ = \frac{U_p}{U_s} = \frac{80}{2} = 40$$

#### Určení impedance neznámého VT

Známe-li převod VT  $p$  a impedanci sekundárního vinutí  $Z_s$ , můžeme primární impedanci  $Z_p$  vypočítat podle vzorce:

$$Z_p = p^2 \cdot Z_s \quad /\Omega; \Omega, -/ \quad /11/$$

Známe-li převod  $p$  a impedanci primárního vinutí  $Z_p$ , můžeme sekundární impedanci  $Z_s$  vypočítat podle vzorce

$$Z_s = \frac{Z_p}{p^2} \quad /\Omega; \Omega, -/ \quad /12/$$

Příklad: Vypočtete primární impedanci VT, jestliže jeho sekundár byl připojen k reproduktoru o impedanci  $5 \Omega$  a převod VT byl 40:

$$Z_p /11/ = p^2 \cdot Z_s = 40^2 \cdot 5 = 8000 \Omega$$

Příklad: Vypočtete sekundární impedanci VT s převodem 44,7,

jestliže primární impedance /podle použité elektronky/ by měla být  $8000\Omega$ :

$$Z_s /12/ = \frac{Z_p}{p^2} = \frac{8000}{44,7} \approx 4\Omega$$

### Převíjení sekundáru VT

Máme-li převínout sekundární vinutí VT o známé impedanci na impedanci jinou, vypočteme potřebný počet závitů  $n_{s2}$  podle vzorce:

$$n_{s2} = n_{s1} \cdot \sqrt{\frac{Z_{s2}}{Z_{s1}}} \quad /-; -, \Omega, \Omega/ \quad /13/$$

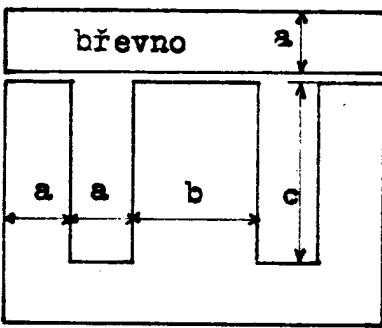
kde  $n_{s1}$  je původní počet sekundárních závitů,  $Z_{s2}$  požadovaná /nová/ a  $Z_{s1}$  původní impedance sekundárního vinutí.

**Příklad:** Sekundár VT má pro reproduktor o impedanci  $4\Omega$  88 závitů. Kolik závitů musíme přivínout pro reproduktor o impedanci  $8\Omega$  ?

$$n_{s2} /13/ = n_{s1} \cdot \sqrt{\frac{Z_{s2}}{Z_{s1}}} = 88 \cdot \sqrt{\frac{8}{4}} \approx 124 \text{ z.}$$

takže přivíneme  $124 - 88 = 36$  závitů.

**Poznámka:** Měření impedancí je dosti složité, nelze ho realizovat ohmetrem, to bychom změřili pouze stejnosměrný odpor vinutí, který se liší od impedance velmi podstatně. U kmitaček reproduktorů je impedance přibližně rovna 1,25 násobku jejího ss odporu.

Rozměry plechů EI	Ozn.	b	a	e	$l_{Fe}$	$S_0$	$S_v$
		mm	mm	mm	cm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>
	EI16	16	8	24	8,9	1,92	1,10
	EI22	22	14	39	15,0	5,46	3,96
	EI25	25	12,5	37,5	13,9	4,70	2,74
	EI20	20	10	30	11,1	3,00	1,80
	EI25sp	25	12,5	41	14,6	6,56	4,8
	EI26	26	13	39	14,5	5,07	4,1
	EI28	28	14	42	15,6	5,88	4,56
	EI32	32	16	48	17,8	7,7	5,1

Tab. 1. Rozměrové parametry plechů EI.

## Vazební transformátory

---

Vazební transformátory se používají k impedančnímu přizpůsobení mezi jednotlivými stupni nízkofrekvenčního zesilovače. Jednoduché vazební transformátory se nazývají obvykle transformátory nízkofrekvenční /NT/, dvojjinné, pro impedanční přizpůsobení předzesilovacího ní stupně k dvojjinnému stupni koncovému, se nazývají obvykle transformátory budicí /BT/.

Jádro vazebního transformátoru se opět skládá z křemíkových plechů s permeabilitou  $\mu$  400 až 700, u plechů z magneticky měkkých slitin v rozmezí 1700 až 15000. Protože stejnosměrný proud, procházející primárem je nepatrný, skládáme plechy souhlasně, bez vzduchové mezery. Průřez jádra nevypočítáváme, neboť přenášený výkon je nepatrný. Volíme ho v rozmezí 2 až 6 cm<sup>2</sup>. Čím větší průřez jádra zvolíme, tím nám vyjde menší počet závitů a tudíž i menší kapacita vinutí /lepší přenos vysokých tónů/. Pro přenos hlubokých tónů je rozhodující indukčnost vinutí.

Transformátorová vazba mezi ní stupni dává větší zesílení, než vazba odporová. Proto se jí používá mezi stupni, osazenými málostrými elektronkami /triodami/. Vlivem jádra transformátoru však vzniká větší zkreslení, než u vazby odporové. Ta se užívá mezi stupni, osazenými strmými tetrodami či pentodami.

Návrh vazebního transformátoru je dosti komplikovaný, vyžadující řadu měření na vyrobených vzorcích. V renovátorské praxi se vždy snažíme nejdříve použít předepsaného typu továrně vyrobeného transformátoru. Dostí častou závadou bývá přerušeni vinutí /obvykle v místě nastavení velmi tenkého drátu vinutí se silnějším drátem vývodním. Můžeme se tuto závadu odstraniti tak, že na přerušené vinutí připojíme ss napětí cca 500V. Vzniklý elektrický oblouk obvykle přerušené místo svaří. Je to ovšem nouzové řešení.. Jistější by bylo transformátor převinout.

Jestliže původní transformátor se nedochoval a není možno si ho opatřit, ani zjistit jeho parametry /především rozměry jádra a počty závitů jednotlivých vinutí/, nezbyvá, než si náhradní transformátor vyrobit. V dalším uváděné postupy jeho návrhu jsou přibližné, maximálně zjednodušené.

### Návrh nízkofrekvenčního transformátoru /NT/

---

Primární impedance  $Z_p$  je dána vztahem

$$Z_p = \sqrt{1 + 3/R_i} \quad / \Omega ; \Omega / \quad / 1 /$$

kde  $R_i$  je vnitřní odpor elektronky. Čím vyšší impedanci zvolíme, tím lépe.

Primární indukčnost  $L_p$  pak vypočteme ze vzorce

$$L_p = \frac{Z_p}{2\pi \cdot f_{min}} \quad / H ; \Omega , Hz / \quad / 2 /$$

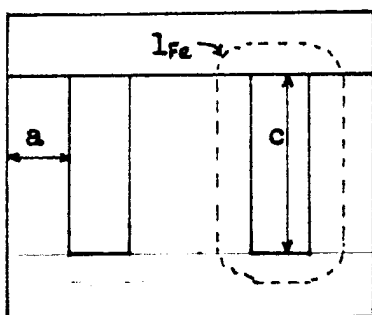
kde  $Z_p$  je primární impedance a  $f_{min}$  nejnižší přenášený kmitočet.

Průřez jádra  $S_{Fe}$ , jak již bylo řečeno výše, ne~~v~~počítáváme, ale volíme v rozmezí 2 až 6 cm<sup>2</sup>.

Počet primárních závitů  $n_p$  vypočteme ze vzorce

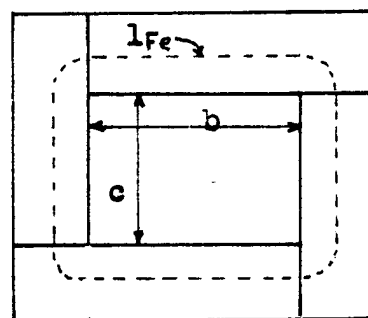
$$n_p = \sqrt{\frac{L_p \cdot l_{Fe} \cdot 10^9}{4\pi \cdot \mu \cdot S_{Fe}}} \quad /-; H, cm, -, cm^2/ \quad /3/$$

kde  $L_p$  je primární indukčnost,  $l_{Fe}$  střední délka siločáry,  $\mu$  permeabilita jádra a  $S_{Fe}$  průřez jádra. Pokud použijeme normalizovaných plechů EI, pak délku siločáry zjistíme v tab. 1, která je uvedena na konci stati o VT. U nenormalizovaných plechů ji snadno vypočítáme následovně:



jádro EI

$$l_{Fe} = 2/a + c + \pi a$$



jádro rámcové

$$l_{Fe} = 2/b + c + \pi a$$

U starších typů NT se převážně používalo jader rámcových. Cívka byl jen jedna, obvykle umístěná na horním břevnu. Výhodou rámcových jader byla velká plocha pro vinutí  $S_v$ .

Převod NT volíme v rozmezí 1 : 1,5 až 1 : 5 /obvykle je tento převod uveden ve schematu renovovaného přístroje/.

Počet sekundárních závitů  $n_s$  vypočteme podle vzorce

$$n_s = \frac{n_p}{p} \quad /+,-,-/ \quad /4/$$

kde  $n_p$  je počet primárních závitů a  $p$  převod NT.

Průřez vodiče jak na primáru, tak na sekundáru není kritický /přenášený výkon je mizivý/. Volíme ho tak, aby průřez vinutí  $S_v$  odpovídal ploše pro vinutí na cívce  $S_v$ .

Příklad návrhu: Navrhněte NT pro impedanční přizpůsobení mezi předzesilovací elektronikou REN904 a koncovou elektronikou RES164 s převodem  $p = 1 : 3$ , jestliže volíme jádro EI16x20 /cca 3 cm<sup>2</sup>/ pro nejnižší přenášený kmitočet 50 Hz s permeabilitou jádra  $\mu = 600$ .

$Z_p$  /1/ volíme 1 R<sub>i</sub> - pro REN904 12 500 Ω

$$L_p / 2 / = \frac{Z_p}{2\pi \cdot f_{\min}} = \frac{12\,500}{2,3,14 \cdot 50} \doteq 40\text{H}$$

$$n_p / 3 / = \sqrt{\frac{L_p \cdot l_{Fe} \cdot 10^9}{4\pi \cdot \mu \cdot S_{Fe}}} = \sqrt{\frac{40 \cdot 8,9 \cdot 10^9}{4,3,14 \cdot 600 \cdot 3}} \doteq \underline{4000 \text{ z} / 0,07 \text{ mm}}$$

$$n_s / 4 / = \frac{n_p}{p} = 4000 : \frac{1}{3} = \underline{12000 \text{ z} / 0,07 \text{ mm}}$$

$S_v = 4000 \cdot 0,007^2 + 12000 \cdot 0,007^2 \doteq 0,8 \text{ cm}^2$ , což odpovídá danému jádru, které má  $S_v = 1,1 \text{ cm}^2$ .

### Návrh budicího transformátoru /BT/

Návrh je prakticky stejný, jako u NT jen s tím rozdílem, že na sekundární straně bude dvojnásobný počet závitů:

$$n_s = 2 \cdot \frac{n_p}{p} \quad / - ; - , - / \quad / 5 /$$

Příklad návrhu BT: Navrhněte BT pro budicí triodu s  $R_i = 5 \text{ k}\Omega$ , jestliže  $f_{\min} = 50 \text{ Hz}$  pro jádru EI 20x32 s permeabilitou  $\mu = 700$  a  $l_{Fe} = 11,1 \text{ cm}$  a  $S_v = 1,8 \text{ cm}^2$ .

$$Z_p / 1 / = 2 \cdot R_i = 2 \cdot 5000 = 10000 \Omega$$

$$L_p / 2 / = \frac{Z_p}{2\pi \cdot f_{\min}} = \frac{10000}{2,3,14 \cdot 50} \doteq 30 \text{ H}$$

$$n_p / 3 / = \sqrt{\frac{L_p \cdot l_{Fe} \cdot 10^9}{4\pi \cdot \mu \cdot S_{Fe}}} = \sqrt{\frac{30 \cdot 11,1 \cdot 10^9}{4,3,14 \cdot 700 \cdot 6}} \doteq \underline{2\,570 \text{ z} / 0,1 \text{ mm}}$$

$p$  volíme 1 : 2

$$n_s / 5 / = 2 \cdot \frac{n}{p} = 2 \cdot \frac{2570}{1/2} = \underline{2 \times 5\,140 \text{ z} / 0,1 \text{ mm}}$$

$S_v = 2\,570 \cdot 0,01^2 + 2 \cdot 5140 \cdot 0,01^2 = 1,29 \text{ cm}^2$ , což plně vyhovuje danému jádru, u kterého  $S_v = 1,8 \text{ cm}^2$ .

## Filtrační tlumivky

Filtrační tlumivky slouží k filtraci /vyhlazení/ usměrněného napětí /proudu/ v anodových zdrojích rozhlasových přijímačů. Jsou tvořeny železným jádrem a jedním vinutím.

Jádro tlumivky se skládá nejčastěji z plechů EI, někdy též M, případně mají jádro rámcové. Plechy se však skládají souhlasně, aby bylo možno vytvořit vzduchovou mezeru, potřebnou ke správné činnosti tlumivky. Jinak by došlo k přesycení tlumivky stejnosměrným proudem a tím i k podstatnému snížení její indukčnosti. Vzduchové mezery u jader EI se dosahuje vložением izolačního materiálu mezi obě části jádra /u jader rámcových mezi část U a část I/, u jader M je dána výrobcem plechů.

Velikost vzduchové mezery se pohybuje v rozmezí 0,3 až 2 mm. Obecně platí, že čím je mezeru větší, tím má tlumivka více závitů a naopak. Dále platí, že čím větší proud bude tlumivkou procházet, tím větší mezeru volíme a naopak. Stejně tak při větší indukčnosti volíme větší vzduchovou mezeru a naopak. Optimální velikost vzduchové mezery  $l_v$  a tím i celé tlumivky je taková, při níž průřez vinutí odpovídá velikosti okénka jádra. Optimální vzduchové mezery nejběžnějších typů tlumivek jsou tyto:

L	I	$l$	L	I	$l$	L	I	$l$
3H	0,06A	0,3mm	6H	0,1A	0,5mm	6H	0,2A	0,8mm
6H	0,06A	0,4mm	10H	0,1A	0,6mm	0,1H	1A	0,6mm
10H	0,06A	0,4mm	3H	0,2A	0,7mm	1H	1A	2 mm

Tab. 1. Optimální vzduchové mezery tlumivek.

Vlastní návrh filtrační tlumivky je daleko složitější, než by se na první pohled zdálo. Zvláště u tlumivek, které se mají vyrábět ve velkých seriích, kde pak záleží na každém gramu železa a mědi. V amatérské praxi však takové nároky nejsou nezbytně nutné. Pro sběratele historických rozhlasových přijímačů postačí návrh přibližný. Obvykle musíme indukčnost tlumivky zvolit odhadem /pokud není ve schématu přístroje udána/. Na indukčnosti tlumivky záleží její filtrační schopnost. Tlumivka je jen jedním členem filtračního řetězce, obvykle typu C-L-C. Protože hodnoty filtračních kondensátorů jsou obvykle známe, bylo by možno indukčnost tlumivky vy počítat pro požadované zvlnění výstupního proudu z filtru. To však nebývá výrobcem udáváno, takže nezbyvá, než indukčnost tlumivky pouze odhadnout. Obvykle se pohybuje u běžných přijímačů v rozmezí 3 až 10 H. Čím větší indukčnost, tím lepší filtrace. Ovšem nesmíme zanedbat i vliv stejnosměrného odporu vinutí tlumivky, na kterém nastává úbytek anodového napětí. Tento úbytek bývá ve schématech nepřímo uveden tím, že je udáno anodové napětí před a za tlumivkou. Z celkového anodového proudu a rozdílu napětí můžeme pak snadno ss odpor vinutí tlumivky určit /z Ohmova zákona/. Následující postup návrhu filtrační tlumivky je tedy velmi přibližný, avšak pro daný účel postačující.

Počet závitů tlumivky n vypočteme ze vzorce

$$n = \frac{560 \cdot l_v}{I_{ss}} \quad /-; \text{ mm, A/} \quad /1/$$

kde  $l_v$  je vzduchová mezera a  $I_{ss}$  usměrněný proud, který bude tlumivkou procházet.

Průřez jádra tlumivky  $S_{Fe}$  vypočteme ze vzorce

$$S_{Fe} = \frac{9 \cdot L \cdot l_v \cdot 10^6}{n^2} \quad /cm^2; H, \text{ mm, -/} \quad /2/$$

kde  $L$  je indukčnost tlumivky,  $l_v$  vzduchová mezera a  $n$  počet závitů tlumivky.

Průřez vinutí  $S_v$  vypočteme snadno ze vzorce

$$S_v = n \cdot d^2 \quad /cm; -, \text{ cm/} \quad /3/$$

kde  $n$  je počet závitů a  $d$  průměr vodiče. Průřez vodiče volíme pro proudové zatížení max.  $2,5 \text{ A/mm}^2$ , raději však méně, aby se odpor vinutí byl co nejnižší.

Stejnoseměrný odpor vinutí  $R_v$  vypočteme za vzorce

$$R_v = \frac{2 \cdot (s + b) + \pi \cdot a}{1000} \cdot n \cdot r_{Am} \quad /\Omega; \text{ mm, -, } \Omega/ \quad /4/$$

kde  $s$  je stah jádra,  $b$  šířka středního sloupku,  $a$  šířka okénka,  $n$  počet závitů a  $r_{Am}$  je odpor vodiče na 1 m /viz tab. 2/.

Výkon  $P$ , přenášený tlumivkou, vypočteme za vzorce

$$P = R_v \cdot I_{ss}^2 \quad /W; \Omega, \text{ A/} \quad /5/$$

kde  $R_v$  je ss odpor vinutí a  $I_{ss}$  je ss proud, procházející tlumivkou. Tomuto výkonu musí alespoň přibližně odpovídat průřez jádra, vypočtený podle vzorce

$$S_{Fe} = \sqrt{P} \quad \text{u jader EI a M, nebo } S_{Fe} = \sqrt{\frac{P}{2}} \quad \text{u jader rámcových.}$$

Příklad: Navrhněte síťovou tlumivku pro běžný přijímač s celkovým odběrem anodového proudu 60 mA, má-li mít indukčnost 4,4H /buď je udána, nebo jsme ji odhadli/.

$$n /1/ = \frac{560 \cdot l_v}{I_{ss}} = \frac{560 \cdot 0,3}{0,06} = \underline{2800} \quad \text{z / 0,18 mm}$$

$$S_{Fe} /2/ = \frac{9 \cdot L \cdot l_v \cdot 10^6}{n^2} = \frac{9 \cdot 4,4 \cdot 0,3 \cdot 10^6}{2800^2} = 1,5 \text{ cm}^2$$

$$S_v /3/ = n \cdot d^2 = 2800 \cdot 0,18^2 = 0,9 \text{ cm}^2$$



Jádro zvolíme EI 16 x 11 /  $S_0 = 1,92$ ,  $S_v = 1,1 \text{ cm}^2$  / viz tab. 1 ve stati Výst. transformátory/. Břevno vzdálíme o 0,15 mm, neboť magnetický tok je přerušen dvakrát.

$$R_v / 4/ = \frac{2 \cdot (s+b) + \pi a}{1000} \cdot n \cdot r_{1m} = \frac{2/11+16/+3,14 \cdot 8}{1000} \cdot 2800 \cdot 0,68 \doteq$$

$$\doteq 150 \Omega \quad / \text{úbytek napětí bude } 0,06 \cdot 150 = 9V/$$

$$P / 5/ = R_v \cdot I_{ss}^2 = 150 \cdot 0,06^2 = 0,54W$$

Pro tento výkon by jádro mělo mít nejmenší průřez  $\sqrt{P}$  tj.  $\sqrt{0,54} = 0,73 \text{ cm}^2$ . Zvolené jádro má průřez cca  $1,5 \text{ cm}^2$ , takže bohatě vyhovuje.

Jak z uvedeného příkladu zjevno, je jádro tlumivky vzhledem k přenášenému výkonu velmi málo využito /stačilo by na přenos výkonu cca 2W/. V našem případě to však můžeme tolerovat. Oteplení tlumivky bude proto velmi malé, což přispěje k její spolehlivosti a delší životnosti.

U továrně vyrobené tlumivky můžeme předpokládati, že je navržena optimálně a že tudíž průřez jádra odpovídá přenášenému výkonu. Jestliže neznáme, pro jaký proud je navržena, můžeme ho vypočítat s postačující přesností podle vzorce

$$I_{ss} = \sqrt{\frac{\sqrt{S_{Fe}}}{R_v}} \quad /A; \text{ cm}^2, \Omega / \quad /6/$$

kde  $R_v$  je odpor vinutí a  $S_{Fe}$  je průřez jádra.

Příklad: Odhadněte zatížitelnost neznámé tlumivky tovární výroby, jestliže  $S_{Fe} = 6 \text{ cm}^2$  a  $R_v = 60 \Omega$ :

$$I_{ss} /6/ = \sqrt{\frac{\sqrt{S_{Fe}}}{R_v}} = \sqrt{\frac{\sqrt{6}}{60}} \doteq \underline{0,2A}$$

d mm	$r_{1m}$ $\Omega$	I mA	d mm	$r_{1m}$ $\Omega$	I mA
0,10	2,2	20	0,22	0,45	95
0,12	1,5	28	0,24	0,38	113
0,14	1,14	39	0,26	0,33	133
0,16	0,86	50	0,28	0,28	154
0,18	0,68	64	0,30	0,244	177
0,20	0,55	79	0,32	0,215	201

Tab. 2. Odpor vodičů /Cu/ na 1 m délky a jejich proudová zatížitelnost při proudové hustotě  $2,5A/mm^2$ .