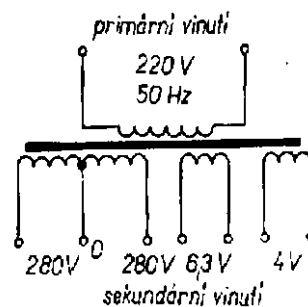




Obr.11: Schéma transformátoru k příkladu výpočtu

Transformátory

V radiotechnice je transformátor z nejčastějších součástek. Známe transformátory síťové, nízkofrekvenční, výstupní a autotransformátory. Transformátor je tvořen převážně dvěma cívkami. Protéká-li jednou z nich střídavý proud, vznikne v ní a okolo ní magnetické pole. Je-li druhá cívka dostatečně blízko, indukuje se v ní napětí. Říkáme, že do prvního vinutí (primárního) energie vstupuje, z druhého vinutí (sekundárního) jí odebíráme. Přitom však nejsou tato dvě vinutí přímo (neboli galvanicky) spojena, jsou spojena pouze společným magnetickým polem.

Nejvíce používaný transformátor v radiotechnice je síťový transformátor. Používáme ho k získávání různých potřebných napětí pro napájení různých obvodů ze sítě střídavého proudu. Pracuje zpravidla na tzv. průmyslovém kmitočtu, ten. 50 Hz. V běžné radioamatérské praxi často potřebujeme zhotovit transformátor, který by splňoval naše požadavky - proto si uvedeme, jak síťový transformátor navrhnout.

Příklad výpočtu transformátoru: máme navrhnout transformátor (obr. 11) pro následující napětí a proud (pro snazší výpočet a přehlednost jsou údaje, potřebné k výpočtu, v tab. 18). Primární napětí: 220 V, 50 Hz. Sekundární napětí:

2 x 280 V/0,1 A,
6,3 V/2 A,
4 V/1 A.

1. Volba velikosti jádra.

Sekundární výkon $N_S = 280 \times 0,1 + 6,3 \times 2 + 4 \times 1 = 45 \text{ W}$,
 $N_P = (1/\eta) \cdot N_S = 1,25 \times 45 = 56 \text{ W}$.

Příkon (při účinnosti $\eta = 80 \%$) bude tedy 56 W.

Z tabulky zvolíme vhodný typ jádra. V našem případě se rozhodneme pro EI32 o výšce svazku 25 mm. Toto jádro je použitelné pro výkony do 60 W. Plechy budou skládány střídavě bez vzduchové mezery.

2. Stanovení počtu závitů a průměru drátu.

Podle tab. 18 nalezneme pro použité jádro počet závitů na jeden volt (6,6 z/V). Tímto údajem násobíme napětí, která mají jednotlivá vinutí dodávat

Tab. 17. Počet závitů a rozměry filtračních tlumivek

Typové označení	Počet závitů	Rozměry [mm]						
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>d</i>
9 WN 651 10	3 000	67	43	34	18,5	60	51,5	3,5
9 WN 651 11	2 800	67	43	34	18,5	60	51,5	3,5
9 WN 651 12	3 100	79	53	45	23	72	64	3,5
9 WN 651 13	2 500	79	53	45	23	72	64	3,5
9 WN 651 14	2 500	79	53	50	28	72	64	3,5

a stanovíme tak počet jejich závitů. Ztráty v transformátoru respektujeme tím, že vypočtený počet závitů primární strany zmenšíme o 2 až 5 %, zatímco počet závitů sekundárních vinutí o 2 až 5 % zvětšíme.

Primární vinutí:

$$220 \times 6,6 - 3 \% = 1450 \text{ závitů.}$$

Sekundární vinutí:

$$2 \times 280 \times 6,6 + 3 \% = 2 \times 1850 \text{ závitů,}$$

$$6,3 \times 6,6 + 3 \% = 42 \text{ závitů,}$$

$$4 \times 6,6 + 3 \% = 26 \text{ závitů.}$$

Zvolíme-li proudovou hustotu např. $2,5 \text{ A/mm}^2$, můžeme s použitím tab. 19 určit podle proudového zatížení jednotlivých vinutí průměr d jejich vodičů.

Primární vinutí: $56 \text{ W}/220 \text{ V} = 254 \text{ mA}$; $d = 0,375 \text{ mm}$; sekundární vinutí: $0,1 \text{ A} = 100 \text{ mA}$, $d = 0,236 \text{ mm}$, $2 \text{ A} = 2000 \text{ mA}$, $d = 1,00 \text{ mm}$, $1 \text{ A} = 1000 \text{ mA}$, $d = 0,71 \text{ mm}$.

3. Přibližná kontrola pravidelnosti vinutí.

Vypočteme plochu okénka potřebnou pro jednotlivá vinutí. Z tab. 19 zjistíme pro průměr drátu $0,375 \text{ mm}$, že na 1 cm^2 plochy připadá 510 závitů. Dělíme-li tímto číslem příslušný počet závitů, dostaneme plochu vinutí $S_1 = 1450 : 510 = 2,84 \text{ cm}^2$. Stejným způsobem zjistíme plochy vinutí 2 až 4; $S_2 = 2,96 \text{ cm}^2$; $S_3 = 0,51 \text{ cm}^2$; $S_4 = 0,17 \text{ cm}^2$.

Součet $S_1 + S_2 + S_3 + S_4$ zvětšíme o 25 % (rezerva) a kontrolujeme, zda je menší, než užitečná plocha pro vinutí, uvedená v tabulce 18; $S_1 + S_2 + S_3 + S_4 = 6,48 \text{ cm}^2 + 25 \% = 8,10 \text{ cm}^2$ (tab. 19 je na 2. str. obálky).

Z tab. 18 zjistíme, že použitá kostra cívky má při vinutí s vývody po obou stranách cívky užitečnou plochu pro vinutí $4,45 \text{ cm}^2$. Pro transformátor nelze tedy zvolené jádro (i když výkonově vyhovuje) použít.

Musíme zvolit větší typ jádra, např. EI40, o výšce svazku 32 mm pro výkon do 150 W ($4,12 \text{ z/V}$). Vypočítáme znovu počty závitů pro jednotlivá vinutí a opakujeme kontrolu plochy pro vinutí. Po výpočtu zjistíme že $S_1 + S_2 + S_3 + S_4 = 4,09 + 25 \% = 5,11 \text{ cm}^2$.

Protože cívkové tělísko má užitečnou plochu pro vinutí $7,2 \text{ cm}^2$, lze pro transformátor navržené jádro použít.

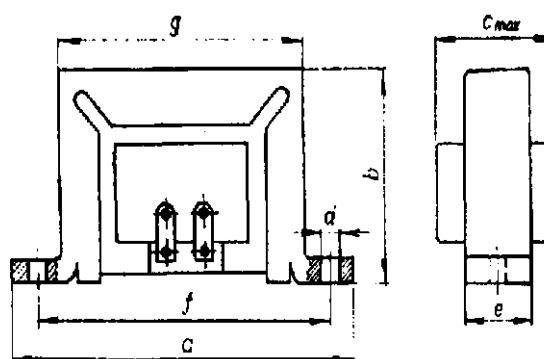
Při výpočtu můžeme ještě stanovit délku vinutí, činný odpor a váhu vinutí. Při tomto výpočtu předpokládáme pro zjednodušení pro primární vinutí plnění 50%, pro sekundární vinutí 100%. Dále můžeme určit váhu celého transformátoru, výpočet ztrát v železe a mědi a kontrolovat ochlazování transformátoru. V zásadě lze říci, že tyto údaje stačí k tomu, abychom mohli transformátor navrhnout.

Při výpočtech s použitím jádra typu M použijeme tab. 20.

Nízkofrekvenční transformátory se používají hlavně u nf zesilovačů třídy B, dále u velkých zesilovačů, u nichž je nebezpečí přepětí na mřížce koncové elektronky, což vede ke zkreslení signálu apod.

Výstupní transformátory jsou vyráběny pro šířku kmitočtového pásma: A - 40 Hz až 16 kHz; B - 60 Hz až 15 kHz; C - 100 Hz až 10 kHz (tab. 21, obr. 12),

Kostry cívek transformátorů se obvykle zhotovují z tenké lepenky nebo pertinaxu, cívka má tvar hranolu se zahrnutými okraji, k nimž jsou přilepena čela. Cela musí být dosti tuhá, aby se při navíjení drátu neprohýbala a aby se proto délka cívky na okrajích vinutí nezvětšovala. Strojně vinuté cívky bývají i bez čel. Tyto cívky bývají však zpevněny napuštěním izolačním lakem.



Obr. 12. Rozměrový náčrtek výstupního transformátoru

Tab. 18. Údaje potřebné k výpočtu síťového transformátoru

Typ plechu	Výška svazku [mm]	Počet plechů [kusů]		Vhodné pro výkon [W]	Ef. průřez železa [cm ²]		Závitů na volt		Délka mg. siločáry [mm]	Obvod těliska cívky [mm]	Střední délka závitů při plnění [mm]	
		0,5 mm	0,35 mm		0,5 mm	0,35 mm	0,5 mm	0,35 mm			50 %	100 %
EI10	8	16	22	1	0,76	0,68	59,2	66,2	52	38	47	53
	10	20	28	2	0,95	0,85	47,5	53,0		42	51	57
	12,5	25	35	3	1,19	1,06	37,8	42,5		47	56	62
	16	32	45	4	1,52	1,36	29,6	33,1		54	63	69
EI12	10	20	28	3	1,14	1,02	39,4	44,0	71	46	58	66
	12,5	25	35	4	1,43	1,28	31,3	35,2		51	63	71
	16	32	45	5	1,82	1,63	24,8	27,6		58	70	78
	20	40	55	6	2,28	2,04	19,7	22,1		67	79	87
EI16	12,5	25	35	5	1,90	1,70	23,7	26,5	89	63	73	83
	16	32	45	6	2,43	2,18	18,5	20,6		70	80	90
	20	40	55	8	3,04	2,72	14,8	16,5		79	89	99
	25	50	69	10	3,80	3,40	11,85	13,3		90	100	110
EI20	16	32	45	8	3,04	2,72	14,80	16,5	111	78	91	104
	20	40	55	10	3,80	3,40	11,85	13,3		87	100	113
	25	50	69	20	4,70	4,40	9,58	10,2		98	111	124
	32	64	89	30	6,10	5,40	7,36	8,35		112	125	138
EI25	20	40	55	20	4,70	4,40	9,58	10,2	139	97,2	114	131
	25	50	69	40	5,90	5,30	7,66	8,3		108	125	142
	32	64	89	60	7,60	6,80	5,92	6,6		122	139	156
	40	80	111	80	9,50	8,50	4,74	5,3		139	156	173
EI32	25	50	69	60	7,60	6,80	5,92	6,60	178	122	145	168
	32	64	89	100	9,70	8,70	4,64	5,17		136	159	182
	40	80	111	150	12,20	10,90	3,69	4,12		153	176	199
	50	100	139	200	15,20	13,60	2,96	3,30		174	197	220
EI40	32	64	89	150	12,20	10,90	3,69	4,12	223	157	184	211
	40	80	111	200	15,20	13,60	2,96	3,30		174	201	228
	50	100	139	350	19,00	17,00	2,37	2,65		195	222	249
	64	128	178	500	24,40	21,80	1,84	2,06		224	251	278
EI50	40	80	111	350	19,00	17,00	2,37	2,65	278	194	229	264
	50	100	139	500	23,80	21,80	1,89	2,12		215	250	285
	64	128	178	800	30,20	27,20	1,48	1,65		244	279	314
	80	160	224	1300	38,00	34,00	1,18	1,32		278	313	348
EI64	50	100	139	800	30,20	27,20	1,48	1,65	356	247	291	335
	64	128	178	1 500	39,00	34,80	1,15	1,29		276	320	364
	80	160	224	2 100	48,50	43,50	0,93	1,03		310	354	398
	100	200	278	3 200	60,80	54,40	0,74	0,83		352	396	440

Typ plechu	Délka pro vinuti [mm]			Výška pro vinuti [mm]			Plocha pro vinuti [cm²]			Váha železa	Ochla- zovací plocha
	abs.	1 x	2 x	abs.	Ø < 0,6mm	Ø > 0,6 mm	abs.	1 x	2 x	[kg]	[cm²]
EI10	12,5	10	9	3,5	3	2,5	0,44	0,30	0,23	0,04	24
										0,05	26
										0,06	29
										0,07	33
EI12	16,5	14	13	5	4	3,5	0,82	0,56	0,46	0,07	38
										0,08	42
										0,11	46
										0,13	52
EI16	22,5	20	19	6,5	5,5	5	1,46	1,10	0,95	0,15	60
										0,19	
										0,23	73
										0,29	82
EI20	27,5	24	22	8,5	7,5	6,5	2,34	1,80	1,43	0,26	95
										0,33	104
										0,41	115
										0,53	130
EI25	34,5	30,5	28,5	10,5	9	8	3,63	2,74	2,30	0,51	148
										0,63	162
										0,82	181
										1,02	203
EI32	44,5	40,5	38,5	14,0	12,5		6,25	5,10	4,45	1,07	242
										1,37	268
										1,71	295
										2,15	330
EI40	55,5	50	48	17,25	16	15	9,55	8,00	7,2	2,07	381
										2,54	416
										3,22	460
										4,14	520
EI50	70,0	65,5	63,5	22	20,05	19,5	15,4	13,3	12,4	4,10	595
										5,06	650
										6,52	727
										8,16	815
EI64	91,0	85	83,0	28	26	25	25,4	21,1	20,7	8,35	966
										11,10	1065
										13,85	1176
										17,25	1318

Tab. 19. Přehled a vlastnosti lakovaných měděných drátů

Jmeno- vitý průměr drátu [mm]	Max. vnější průměr drátu [mm]	Průřez drátu [mm²]	Činný odpor [Ω /km]	Váha [g/km]	Počet závitů na 1 cm²	Počet závitů na 1 cm³	Proudové zatížení [mA] při proudové hustotě				
							1,5 A	2,0 A	2 5 A	3,0 A	4,0 A
0,030	0,048	0,0007	25 268	6	200	39 000		1,5	1,7	2	3
0,040	0,058	0,0013	14 214	11	165	27 000	2	2,5	3	4	5
0,050	0,068	0,0020	9 096	17	140	19 000	3	4	5	6	8
0,056	0,077	0,0025	7 252	22	125	15 000	4	5	6	8	10
0,063	0,084	0,0031	5 730	28	115	12 500	5	6	8	10	12
0,071	0,092	0,0039	4 511	35	105	10 500	8	8	10	12	16
0,080	0,101	0,0050	3 553	45	95	9 000	8	10	13	15	20
0,090	0,111	0,0064	2 807	57	85	7 000	10	13	16	20	26
0,100	0,121	0,0079	2 274	70	78	6 000	12	16	20	24	32
0,112	0,141	0,0098	1813	87	67	5000	15	20	25	30	40
0,125	0,154	0,0122	1455	109	61	3 800	18	24	30	36	48
0,132	0,161	0,0137	1305	122	58	3 500	20	27	34	40	54
0,140	0,169	0,0154	1097	137	55	3 200	23	31	38	46	62
0,150	0,179	0,0177	959	157	52	2 800	27	35	44	53	71
0,160	0,189	0,0201	845	179	49	2 500	30	40	50	60	80
0,170	0,200	0,0226	787	202	46	2 250	34	45	56	68	90
0,180	0,210	0,0254	702	227	44	2 000	38	51	63	76	102
0,190	0,220	0,0284	630	252	42	1800	42	57	71	85	114
•0,200	0,230	0,0314	568	280	40	1650	47	63	78	94	126
0,212	0,247	0,0353	506	315	38	1500	53	71	88	106	142
0,224	0,259	0,0392	453	350	36	1350	59	78	78	118	156
0,236	0,271	0,0437	408	390	34	1250	65	87	110	130	174
0,250	0,285	0,0491	364	437	32	1 100	74	98	123	148	196
0,265	0,303	0,0550	324	490	30	975	83	110	137	166	220
0,280	0,318	0,0616	290	549	29	870	92	123	154	185	246
0,300	0,338	0,0707	253	630	27	770	106	141	177	212	282
0,315	0,360	0,0776	229	695	25	690	116	155	194	233	310
0,335	0,380	0,0880	202	785	24	625	132	176	220	264	352
0,355	0,400	0,0990	180	883	23	560	148	198	248	296	396
0,375	0,420	0,1100	168	984	22	510	165	220	275	310	440
0,400	0,445	0,1257	142	1 120	21	450	188	250	314	376	500
0,425	0,477	0,1418	126	1 260	20	400	212	284	355	424	568
0,450	0,502	0,1590	112	1 417	19	360	240	320	400	480	640
0,475	0,527	0,1768	101	1 575	18	325	265	353	442	530	706
0,500	0,552	0,1963	91	1 750	17	300	294	392	490	588	784
0,530	0,590	0,2200	81	1 960	16	265	330	440	550	660	880
0,560	0,620	0,2463	72	2 195	15	240	370	493	616	740	986
0,600	0,660	0,2827	63	2 520	14	210	425	565	705	850	1 130
0,630	0,690	0,3140	57	2 775	13	190	470	630	785	940	1 260
0,670	0,725	0,3535	51	3 150	13	170	530	710	880	1 060	1 410
0,710	0,775	0,3962	45	3 520	12	155	595	790	990	1 190	1 580
0,750	0,825	0,4418	40	3 937	11	140	660	880	1 100	1 325	1 770
0,800	0,875	0,5027	35	4 480	10	120	750	1000	1 250	1 500	2 000
0,850	0,925	0,5675	31	5 055	10	110	850	1135	1 420	1 700	2 270
0,900	0,975	0,6362	28	5 670	9	100	955	1270	1 590	1 910	2 550
0,950	1,025	0,7088	25	6 317	9	90	1 060	1420	1 770	2 120	2 840
1,000	1,075	0,7854	22,8	7 000	9	83	1 180	1570	1 965	2 360	3 140
1,06	1,155	0,8796	20,2	7 840	8	74	1 320	1 760	2 200	2 640	3 520
1,12	1,215	0,9817	18,1	8 750	8	65	1 475	1 965	2 460	2 950	3 930
1,18	1,275	1,0917	16,3	9 730	7	56	1 640	2 180	2 740	3 280	4 370
1,25	1,345	1,2250	14,5	10 920	7	50	1 635	2 445	3 030	3 670	4 890
1,32	1,415	1,3665	13,0	12 180	6	44	2 050	2 730	3 420	4 100	5 460
1,40	1,495	1,5394	11,6	13 720	6	40	2 250	3 000	3 750	4 500	6 000
1,50	1,595	1,7671	10,1	15 750	5	33	2 700	3 600	4 500	5 400	7 200
1,60	1,695	2,0106	8,6	17 920	5	28	3 000	4 000	5 000	6 000	8 000

