

环型变压器简化设计

第一部份：铁心有关参数求法

1) 铁心有效截面积 A_{fe}

$$A_{fe} = \left(\frac{D-d}{2} \right) \times b \times K_{fe}$$

式中：

A_{fe} -- 铁心有效截面积 -- cm^2

D -- 铁心外径 -- cm

d -- 铁心内径 -- cm

b -- 铁心高度 -- cm

K_{fe} -- 铁心填充系数, 可采用 - 0.96

2) 铁心平均磁路长度 l_{fe}

$$l_{fe} = \pi \times \left(\frac{D+d}{2} \right) = 1.57 \times (D+d) \text{ -- } cm$$

3) 铁心重量

$$G_{fe} = A_{fe} \times l_{fe} \times \gamma_{fe} \times 10^{-3} \text{ -- } Kg$$

$$\gamma_{fe} = 7.65 g / cm^3 \text{ (材料密度)}$$

$$G_{fe} = A_{fe} \times l_{fe} \times 7.65 \times 10^{-3} \text{ -- } Kg$$

4) 铁心窗口有效面积 A_w

若铁心内孔留 1/2 内径空间

$$A_w = \frac{\pi}{4} \left(d^2 - \left(\frac{d}{2} \right)^2 \right) = 0.7854 \times 0.75 \times d^2 = 0.59 \times d^2$$

2. 绕组有关参数求法：

平均每匝长度 l_{cu}

由经验公式

$$l_{cu} = (D-d) + 2b + (0.5 \sim 0.7)d \text{ -- } cm$$

3. 变压器有关参数求法：

1) 变压器最大外径 D_o

假定铁心外径占有的绕组面积等于铁心内孔绕组所占有的面积, 若铁心留有 1/2 内

孔,则变压器最大外径 D_o 为:

$$\frac{\pi}{4}(D_o^2 - D^2) = \frac{\pi}{4}(d^2 - d_i^2)$$

$$\text{若 } d_i = \frac{d}{2}$$

$$D_o = \sqrt{D^2 + \frac{3}{4}d^2}$$

D_o -- 变压器最大外径(cm)

d_i -- 变压器内孔(cm)

2) 变压器高度 H

若内孔为1/2内径

$$H = b + 0.5 \times \frac{1}{d} \left(d^2 - \left(\frac{d}{2} \right)^2 \right) = b + 0.375 \times d$$

若内孔为3/4内径

$$H = b + 0.5 \times \frac{1}{d} \left(d^2 - (0.75 \times d)^2 \right) = b + 0.22 \times d$$

3) 变压器近似散热面积 A_T

$$A_T = \pi \times D_o \times (0.5 \times D_o + H) \text{ -- cm}^2$$

4. 变压器允许温升

允许温升与变压器所工作的正温条件、电压调整率、使用的绝缘材料耐热等级等因素有关:

绝缘材料耐热等级		A	E	B	F	H
允许长期工作温度 (°C)		105	120	130	155	180
在右边 环境温 度时的 温升 (°C)	+40	65	80	90	115	140
	+55	50	65	75	100	125
	+70	85	50	60	85	110
	+85	25	35	45	70	95
	+100		20	30	55	80

注: (1)电组法测温升则测出来的结果是平均温升,最高温升与平均温升之差约15度,允许温升应将上表的数字减15度。

(2)由于某些产品使用寿命较短,若高温绝缘电阻能满足线路要求,允许温升

可比上表提高。

(3)下表为绝缘材料试验时温度与予期寿命的典型试验数据。

试验温度 予期寿命	工作温度	A	B	F	H
			105	130	155
3000 小时		135	165	195	225
1000 小时		150	180	215	245
850 小时		165	200	235	270

1. 磁通密度:

对于环形铁心, 采用冷轧硅钢片磁通密度可采用 1.65~1.75 特.

2. 变压器铁心损耗

$$P_{fe} = P_{1.7/50} \times \left(\frac{B}{1.7}\right)^{1.85 \sim 2.52} \times G_{fe} \approx 1.1 \times \left(\frac{B}{1.7}\right)^2 \times G_{fe} \text{ -- 瓦}$$

$P_{1.7/50}$ -- 频率50赫, 磁通密度1.7特时铁心每公斤损耗.

B -- 磁通密度(特)

Z11材料 $P_{1.7/50}$ -- 等于1.1瓦/公斤

第二部分: 计算实例

1. 计算实例

铁心采用内径 40mm、外径 80 mm、高度 25 mm, 频率 50 赫, 材料用 0.35 mm 厚的 Z11 冷轧矽钢片求此铁心的功率。

1. 铁心有效截面积 A_{fe}

$$\begin{aligned} A_{fe} &= \left(\frac{D-d}{2}\right) \times b \times K_{fe} \\ &= \left(\frac{8-4}{2}\right) \times 2.5 \times 0.96 = 4.8 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

2. 铁心平均磁路长度 l_{fe}

$$\begin{aligned} l_{fe} &= \pi \times \left(\frac{D+d}{2}\right) = 1.57 \times (D+d) \\ &= 1.57 \times (8+4) = 18.84 \text{ cm} \end{aligned}$$

3. 铁心重量

$$G_{fe} = A_{fe} \times l_{fe} \times 7.65 \times 10^{-3}$$

$$= 4.8 \times 18.84 \times 7.65 \times 10^{-3} = 0.692Kg$$

4. 铁心窗口有效面积 A_w

若铁心内孔留 1/2 内径空间

$$A_w = \frac{\pi}{4} \left(d^2 - \left(\frac{d}{2} \right)^2 \right) = 0.7854 \times 0.75 \times d^2 = 0.59 \times d^2$$

$$= 0.59 \times 4^2 = 9.44cm^2$$

5. 绕组平均匝长

$$l_{cu} = (D - d) + 2b + (0.5 \sim 0.7)d$$

$$= 8 - 4 + 2 \times 2.5 + 0.5 \times 4 = 11cm$$

6. 变压器最大外径 D_o

$$\text{若 } d_i = \frac{d}{2}$$

$$D_o = \sqrt{D^2 + \frac{3}{4}d^2} = \sqrt{8^2 + \frac{3}{4}4^2}$$

$$= 8.7cm$$

D_o -- 变压器最大外径(cm)

d_i -- 变压器内孔(cm)

7. 变压器高度 H

若内孔为1/2内径

$$H = b + 0.5 \times \frac{1}{d} \left(d^2 - \left(\frac{d}{2} \right)^2 \right) = b + 0.375 \times d$$

$$= 2.5 + 0.375 \times 4 = 4cm$$

8. 变压器近似散热面积 A_T

$$A_T = \pi \times D_o \times (0.5 \times D_o + H) = \pi \times 8.7 \times (0.5 \times 8.7 + 4)$$

$$= 1.57 \times 8.7^2 \times 4 = 228.2cm^2$$

2. 变压器简化设计

例:初级电压 220 伏、次级电压 120 伏、次级电流 1 安、频率 50 赫

1. 计算变压器输出功率并选择铁心尺寸

$$P_2 = U_2 \times I_2 = 120 \times 1 = 120\text{伏安}$$

采用铁心内径40mm、外径80mm、高度25mm、m11冷轧矽钢片

2. 计算匝数

$$\begin{aligned}\text{每伏匝数 } N &= \frac{10000}{4.44 \times f \times B \times A_{fe}} \\ &= \frac{10000}{4.44 \times 50 \times 1.7 \times 4.8} = 5.52 \\ &= 5.52 \times 220 = 1214\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{次级匝数 } W_2 &= N \times U_2 \times \left(1 + \frac{\Delta U \%}{100}\right) \\ &= 5.52 \times 120 \times (1 + .05) = 695\end{aligned}$$

3. 计算空载电流

B 值在 1.4~1.8 特之间可用下式计算

$$\begin{aligned}I_\phi &= \left(\frac{B}{1.7}\right)^3 \times \frac{l_{fe}}{W_1} \\ &= \frac{18.84}{1214} = 0.0155a = 15.5ma\end{aligned}$$

4. 计算初级电流

1) 计算铁损电流

$$\begin{aligned}I_T &= \frac{P_{fe}}{U_1} \left(1 - \frac{\Delta U \%}{100}\right)^2 \\ &= \frac{0.76}{220} \left(1 - \frac{5}{100}\right)^2 = 3.1ma\end{aligned}$$

2) 计算初级电流

$$\begin{aligned}I_1 &= \sqrt{\left(I_2 \times \frac{W_2}{W_1} + I_3 \times \frac{W_3}{W_1} + \dots + I_T\right)^2} + I_\phi^2 \\ &= \sqrt{\left(1 \times \frac{695}{1214} + 0.003\right)^2} + .015^2 = 0.595a\end{aligned}$$

5. 计算导线直径

$$d = 1.13 \sqrt{\frac{I}{\delta}}$$

$$\text{初级线径} = 1.13 \sqrt{\frac{I}{\delta}} = 1.13 \sqrt{\frac{I_1}{\delta}} = 1.13 \sqrt{\frac{0.595}{4.5}} = 0.41mm \text{ -- 采用 } 0.4mm \text{ 线}$$

$$\text{次级线径} = 1.13 \sqrt{\frac{I_2}{\delta}} = 1.13 \sqrt{\frac{I_2}{\delta}} = 1.13 \sqrt{\frac{1}{4.5}} = 0.53mm \text{ -- 采用 } 0.5mm \text{ 线}$$

6. 校核能否

0.4mm 线与 0.5mm 线带绝缘外径分别为 0.44 与 0.55

$$K_{cu} = \left(\frac{\sum A_{cu}^* \times W}{A_w} \right)$$
$$= \left(\frac{\frac{\pi}{4} (0.44^2 \times 1214 + 0.55^2 \times 695) \times 10^{-2}}{9.44} \right) = 0.355$$

K_{cu} 不大于 0.4

7. 计算导线近似总长

绕在铁心上的绕组长度

绕在铁心上绕组长度 L_1

$$L_1 = (0.8 \sim 0.9) \times l_{cu} \times W_1 \times 10^{-2} \text{ -- } m$$
$$= 0.9 \times 11 \times 1214 \times 10^{-2} = 120.2m$$

绕在中间的绕组长度 L_2

$$L_2 = l_{cu} \times W_1 \times 10^{-2} \text{ -- } m$$

绕在外层的绕组长度 L_3

$$L_3 = 1.1 \times l_{cu} \times W_1 \times 10^{-2} \text{ -- } m$$
$$= 1.1 \times 11 \times 695 \times 10^{-2} = 84.09m$$

8. 计算绕组直流电阻

1) 常温下的直流电阻

$$R = L \times R_0 \times 10^{-3} \text{ -- } \Omega$$

$$R_1 = 120.2 \times 141.7 \times 10^{-3} = 17.03\Omega$$

$$R_2 = 84.09 \times 89.95 \times 10^{-3} = 7.564\Omega$$

R_0 -- 为每千米导线电阻值 Ω / km

2) 高温下的直流电阻

不同温度时的 K_T 可由下表查出.

t°C	90	95	100	105	110	115	120	125	130
K_T	1.28	1.3	1.32	1.34	1.36	1.38	1.4	1.42	1.44
t°C	135	140	145	150	155	160	165	170	175
K_T	1.46	1.48	1.5	1.52	1.54	1.56	1.58	1.6	1.62

环境温度 50 度。允许温升 65 度查 $t=50+65=115$

$$R_t = K_t \times R_0 \text{ -- } \Omega$$

$$R_1 = 1.38 \times 17.03 = 23.5$$

$$R_2 = 1.38 \times 7.564 = 10.44$$

1. 修正次级匝数

$$W_2 = \frac{U_2 + I_2 \times R_2}{U_1 - I_1 \times R_1} \times W_1$$

$$W_2 = \frac{120 + 1 \times 10.44}{220 - 0.594 \times 23.15} \times 1214 = 768$$

2. 计算导线重量(略)

$$G = L \times G_0 \text{ -- } g$$

G_0 -- 为每千米导线重量 kg/km

3. 计算温升

1) 计算铜损

$$p_{cu} = \sum I^2 \times R \times K_t$$
$$= 0.594^2 \times 23.5 + 1^2 \times 7.564 = 15.82$$

2) 变压器的散热系数 α_m

散热系数与铁心大小，预留内孔大小有关，环形铁心的尺寸虽有标准可查，在实际应用中铁心尺寸极不规范，同样的铁心预留内孔大小也不一定相同，这给确定散热系数带来困难。我们介绍一个公式，此公式只在铁心外、内径之比为 2，且内孔留二分之一时有效。

$$\alpha_m = \left(\frac{19.9}{d_0} + 0.56 \right) \times 10^{-3} (cm^2 \times ^\circ C / w)$$

注: d_0 单位为 mm

当 $d_0 = 40mm$

$$\alpha = \left(\frac{19.9}{d_0} + 0.56 \right) \times 10^{-3}$$
$$= \left(\frac{19.9}{40} + 0.56 \right) \times 10^{-3}$$
$$= 1.06 \times 10^{-3} (cm^2 \times ^\circ C / w)$$

3) 计算温升

$$\Delta \tau = \frac{P_{cu} + P_{fe}}{\alpha \times A_T}$$
$$= \frac{15.82 + 0.76}{1.06 \times 228.2 \times 10^{-3}} = 68.5^\circ C$$

2005.08

线径速查表

表格中的数字为电流 单位 A

线径 (mm)	电 流 密 度 A/mm ²								
	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5
0.05	0.002945	0.003927	0.004909	0.005891	0.006872	0.007854	0.008836	0.009818	0.010799
0.06	0.004241	0.005655	0.007039	0.008482	0.009896	0.011310	0.012723	0.014137	0.015551
0.07	0.005773	0.007697	0.009621	0.011545	0.013470	0.015394	0.017318	0.019242	0.021167
0.08	0.007540	0.010053	0.012566	0.015080	0.017593	0.020106	0.022620	0.025133	0.027646
0.09	0.009543	0.12724	0.015904	0.019085	0.022266	0.025447	0.028628	0.031809	0.034990
0.10	0.011781	0.015708	0.019635	0.023562	0.027489	0.031416	0.035343	0.039270	0.043197
0.11	0.014255	0.019007	0.023758	0.028510	0.033262	0.038013	0.042765	0.047517	0.052268
0.12	0.016965	0.022620	0.028274	0.033929	0.039584	0.045239	0.050894	0.056549	0.062204
0.13	0.019910	0.026547	0.033183	0.039820	0.046456	0.053093	0.059730	0.066366	0.073003
0.14	0.023091	0.030788	0.038485	0.046182	0.053878	0.061575	0.069272	0.076969	0.084666
0.15	0.026507	0.026507	0.044179	0.053015	0.061850	0.070686	0.079522	0.079522	0.097193
0.16	0.030159	0.041213	0.050266	0.060319	0.070372	0.080425	0.090478	0.100531	0.110584

0.17	0.034047	0.045396	0.056745	0.068094	0.079443	0.090792	0.102141	0.113490	0.124839
0.18	0.038170	0.050894	0.063617	0.076341	0.089064	0.101788	0.114511	0.127235	0.139958
0.19	0.042529	0.056706	0.070882	0.085059	0.099235	0.113412	0.127588	0.141765	0.155941
0.20	0.047124	0.062832	0.078540	0.094248	0.109956	0.125664	0.144372	0.157080	0.172788
0.21	0.051954	0.069272	0.086590	0.103908	0.121227	0.138545	0.155863	0.173181	0.190500
0.22	0.057020	0.076027	0.095033	0.114040	0.133046	0.152053	0.171060	0.190067	0.209074
0.23	0.062322	0.083095	0.103769	0.124643	0.145417	0.166191	0.186965	0.207738	0.228512
0.24	0.067859	0.090478	0.113098	0.135717	0.158337	0.180956	0.203576	0.226195	0.248815
0.25	0.073631	0.096175	0.122719	0.147263	0.171806	0.196350	0.220894	0.245438	0.269981
0.26	0.079639	0.106186	0.132733	0.159279	0.185826	0.212372	0.238919	0.265465	0.292012
0.27	0.085884	0.114511	0.143139	0.171767	0.200395	0.229023	0.257651	0.286278	0.314906
0.28	0.092363	0.123151	0.153938	0.184726	0.215514	0.246301	0.277089	0.307877	0.338664
0.29	0.099078	0.132104	0.165130	0.198156	0.231183	0.264209	0.297235	0.330261	0.363287
0.30	0.106029	0.141372	0.176715	0.212058	0.247401	0.282744	0.318087	0.353430	0.388773
0.32	0.120637	0.160850	0.201062	0.241275	0.281487	0.321700	0.361912	0.402125	0.442373
0.35	0.144317	0.192423	0.240529	0.288635	0.336740	0.384846	0.432952	0.481058	0.529163
0.37	0.161282	0.215043	0.268803	0.322563	0.376324	0.430085	0.483846	0.537606	0.591367
0.40	0.188496	0.251328	0.314160	0.376992	0.439824	0.439824	0.565488	0.628320	0.691152
0.45	0.238565	0.318087	0.397609	0.477131	0.556652	0.636174	0.715696	0.795218	0.874739
0.50	0.294525	0.392700	0.490875	0.589050	0.687225	0.785400	0.883575	0.981750	1.079925
0.55	0.356375	0.475167	0.593959	0.712751	0.831542	0.950334	1.069126	1.187918	1.306709
0.60	0.424116	0.565488	0.706860	0.848232	0.989604	1.130976	1.272348	1.413720	1.555092
0.65	0.497747	0.663663	0.829579	0.995495	1.161410	1.327326	1.493242	1.659158	1.825073
0.70	0.577269	0.769692	0.962115	1.154538	1.346961	1.539384	1.731807	1.924230	2.116653
0.85	0.851177	1.134903	1.418629	1.702355	1.986080	2.269806	2.553532	2.837258	3.120983
0.90	0.954261	1.272348	1.590435	1.908522	2.226609	2.544696	2.862783	3.180870	3.498957
1.00	1.178100	1.570800	1.963500	2.356200	2.748900	3.141600	3.534300	3.927000	4.319700
1.10	1.425501	1.900668	2.375835	2.851002	3.326169	3.801336	4.276503	4.751670	5022683 7
1.20	1.696464	2.261952	2.827440	3.392928	3.958416	4.523904	5.089392	5.654880	6.220368
1.30	1.990989	2.654652	3.318315	3.981978	4.645641	5.309304	5.972967	6.636630	7.300293
1.40	2.309076	3.078768	3.848460	4.618152	5.387844	6.157536	6.927228	7.696920	8.466612