

# 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:

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

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<br>环境温<br>度时的<br>温升<br>(°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<br>予期寿命 | 工作温度 | A   | B   | F   | H   |
|--------------|------|-----|-----|-----|-----|
|              |      | 105 | 130 | 155 | 180 |
| 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

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

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

#### 4. 铁心窗口有效面积 $A_w$

若铁心内孔留 1/2 内径空间

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

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

#### 5. 绕组平均匝长

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

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

#### 6. 变压器最大外径 $D_o$

$$\text{若 } d_i = \frac{d}{2}$$

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

$$= 8.7 cm$$

$D_o$  -- 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

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

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

#### 8. 变压器近似散热面积 $A_T$

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

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

## 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

$$\text{每伏匝数 } N = \frac{10000}{4.44 \times f \times B \times A_{fe}}$$

$$= \frac{10000}{4.44 \times 50 \times 1.7 \times 4.8} = 5.52$$

$$= 5.52 \times 220 = 1214$$

$$\text{次级匝数 } W_2 = N \times U_2 \times \left(1 + \frac{\Delta U\%}{100}\right)$$

$$= 5.52 \times 120 \times (1 + .05) = 695$$

## 3. 计算空载电流

B 值在 1.4~1.8 特之间可用下式计算

$$I_\phi = \left(\frac{B}{1.7}\right)^3 \times \frac{l_{fe}}{W_1}$$

$$= \frac{18.84}{1214} = 0.0155a = 15.5ma$$

## 4. 计算初级电流

### 1) 计算铁损电流

$$I_T = \frac{P_{fe}}{U_1} \left(1 - \frac{\Delta U\%}{100}\right)^2$$

$$= \frac{0.76}{220} \left(1 - \frac{5}{100}\right)^2 = 3.1ma$$

### 2) 计算初级电流

$$I_1 = \sqrt{\left(I_2 \times \frac{W_2}{W_1} + I_3 \times \frac{W_3}{W_1} + \dots + I_T\right)^2} + I_\phi^2$$

$$= \sqrt{\left(1 \times \frac{695}{1214} + 0.003\right)^2} + .015^2 = 0.595a$$

## 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 $\Omega / km$

2) 高温下的直流电阻

不同温度时的  $K_T$  可由下表查出.

|       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| t℃    | 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℃    | 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)

$$G = L \times G_0 - -g$$

$G_0$ ——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 $\alpha_m$

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<br>(mm) | 电 流 密 度 A/mm <sup>2</sup> |          |          |          |          |          |          |          |          |
|-------------|---------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|             | 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<br>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     |