

变压器

变压器设计逻辑

在变压器设计时，分为以下几个步骤：

1. 根据需求设定相数 m 、容量 S_N 、频率 f 、额定电压 $U_{\phi N}$ 、额定电流 $I_{\phi N}$ 等关键系数，设定短路阻抗、空载损耗、效率、温升等允许范围。
2. 根据相数、容量、频率，假定选择铁心材料，从而根据材料选择设定最大磁通 B_m 和线负荷 A_s ，进而根据经验公式，可以得铁心高度 l_{ef} 和截面直径 D 的初步取值。再根据线负荷 A_s 和额定电流 $I_{\phi N}$ 确定线串联匝数 W ，进而根据材料对应合适的电流密度 J ，设计线截面形状 a, b 或 d ，从而可以算出绕组电阻和粗略估计铁心需要的窗口大小，即铁心中心距 M_0 。根据 l_{ef} 和 D ，可以确定铁心窗高 H_0 和角轭高 H_{Δ} 。故铁心形状已经完全确定，进而可以计算出每部分的重量，从而计算空载损耗 P_0 和空载励磁电流 $I_o\%$ 的有功 $I_{o1}\%$ 和无功 $I_{o2}\%$ 分量。计算过程与选择的材料息息相关。
3. 目前已经确定了导线形状和并联和串联匝数，于是需要根据此选择一个合适的绕组缠绕方式将之组织起来。并根据对应的缠绕方式和电压等级选择绝缘方式和气道设计。并计算绕组辐向和轴向长度厚度。
4. 绝缘半径计算，根据铁心的 D ，绕组的辐向厚度，绕组间的绝缘，计算 M_0 的可行性。
5. 短路阻抗计算，需要算漏磁电抗和绕组阻抗。漏磁电抗需先算漏磁面积 $\sum a_r$ ，再算极距 τ/λ ，平均电抗计算高度 H_k ，计算洛式系数 ρ_1 ，引入电抗修正系数 K ，从而计算电抗分量 $u_x\%$ 。而计算电阻分量 $u_a\%$ 时需要先算电阻损耗+涡流损耗才能算，为负载损耗除以额定容量。
6. 负载损耗。由空载损耗，电阻损耗，涡流损耗组合而成。电阻损耗通过直接计算绕组电阻乘过电流平方即可；涡流损耗需用p77的公式进行计算，也只于绕组和工况相关；空载损耗在前面铁心设计时已经算过，直接引进即可。总损耗为其三相加。
7. 温升计算核心在计算等效散热面积（取决于绕组绕制方式和气道情况）和总热功率（电阻损耗+涡流损耗）。
8. 质量计算在之前铁心计算已经算过。

变压器符号

额定参数 P43

| 符号 | 内涵 | 单位 | 公式 |
|----------|--------|---------|---------|
| S_n | 额定容量 | VA, kVA | 4-1 4-2 |
| U_{1l} | 一次侧线电压 | V | |

| 符号 | 内涵 | 单位 | 公式 |
|-----------|-----------|----|-----|
| U_{1ln} | 一次侧线电压额定值 | V | |
| U_{1p} | 一次侧相电压 | V | |
| U_{1pn} | 一次侧相电压额定值 | V | |
| U_{2l} | 二次侧线电压 | V | |
| U_{2ln} | 二次侧线电压额定值 | V | |
| U_{2p} | 二次侧相电压 | V | |
| U_{2pn} | 二次侧相电压额定值 | V | |
| I_{1l} | 一次侧线电流 | A | |
| I_{2l} | 二次侧线电流 | A | |
| I_{1p} | 一次侧相电流 | A | p48 |
| I_{2p} | 二次侧相电流 | A | |

主要尺寸 P47

| 符号 | 内涵 | 单位 | 公式 |
|---------------------|----------------------------|----------|---------|
| S_r | 每个铁心柱容量 | kVA | 4-3 4-6 |
| D | 阶梯形铁心柱外接圆直径 | m | 4-4 4-8 |
| $l_a \text{ or } h$ | 一线圈沿铁心柱方向的高度 | m | 4-4 |
| f_n | 额定频率 | Hz | |
| K_C | 铁心柱的铁心几何面积与其直径所限定的圆面积，截面系数 | | 表A-8 |
| k_{dp} | 铁心叠压系数 | | |
| B_m | 铁心内的磁通密度 | T | |
| A_s | 线负荷，铁心柱上的安匝数 | A/m | |
| W | 串联匝数 | | |
| ρ_1 | 罗果夫斯基系数,算漏电抗 | | 4-11 |
| x_{k1} | 短路电抗 | Ω | 4-18 |
| u_x | 用每相阻抗基值表示的短路阻抗电抗分量 | % | p47 |

注意经验公式 $D = k\sqrt[4]{S_r}$

铁心 P50

| 符号 | 内涵 | 单位 | 公式 |
|--------------|---------|----------------|-----|
| M_0 | 铁心中心距 | m | |
| H_0 | 铁心窗高 | m | |
| H_{Δ} | 铁轭高 | mm | |
| A_Z | 铁心柱净截面积 | m-2 | |
| G_z | 心柱重量 | kg | p50 |
| G_z | 铁轭重量 | kg | p50 |
| G_{Δ} | 角重 | kg | p50 |
| G_{Fe} | 铁心总重量 | kg | p50 |

绕组设计 P50

| 符号 | 内涵 | 单位 | 公式 |
|------------|----------------|--------|------|
| J | 电流密度 | A/mm^2 | 4-10 |
| S_d | 线截面积 | mm^2 | |
| ΔE | 第n位置导体感应的漏磁电动势 | V | p53 |
| b_1 | 裸导线轴向宽度 | mm | |
| a_1 | 裸导线幅向宽度 | mm | |
| b | 包绝缘导线轴向宽度 | mm | |
| a | 包绝缘导线幅向宽度 | mm | |
| m_b | 轴向并绕根数 | | |
| W_C | 圆筒式绕组每层匝数 | | |
| H_L | 绕组轴向高度 | mm | p59 |
| B_{H1} | 1绕组幅向厚度 | mm | |
| δ | 绕组间气道长度 | mm | |
| B_H | 总绕组幅向厚度 | mm | |
| M_E | 段数 | | |
| W_{L1} | 每段匝数 | | |

| 符号 | 内涵 | 单位 | 公式 |
|----------|-------------------|----|----|
| N_T | 撑条数 | | |
| H_{SP} | 调节安匝平衡所预留的调节气油道高度 | | |

性能计算 P74

| 符号 | 内涵 | 单位 | 公式 |
|-------------|----------------------|-----------------|-----------|
| P_0 | 空载损耗 | W | 4-47 |
| k_{P0} | 铁耗工艺系数 1.15~1.35 | | |
| ρ_{Fe} | 单位铁损 | W/kg | 表A-9 |
| $I_o\%$ | 空载电流占额定电流的百分数 | | 4-48 |
| $I_{o1}\%$ | 有功空载电流占额定电流的百分数 | | 4-49 |
| $I_{o2}\%$ | 无功空载电流占额定电流的百分数 | | 4-50 |
| q_c | 铁心柱单位励磁容量 | VA/kg | 表A-9 |
| q_y | 铁轭单位励磁容量 | VA/kg | 表A-9 |
| q_j | 接缝处单位面积励磁容量 | VA/kg | 表A-9 |
| C | 接缝数目 | | p75 |
| D_{p1} | 一次绕组平均直径 | | |
| S_H | 一次绕组导线截面积 | mm ² | |
| W_1 | 一次绕组匝数 | | |
| ρ | 电阻系数 铜0.02135铝0.0357 | | |
| S_L | 二次绕组导线截面积 | mm ² | |
| K_{W1} | 涡流损耗系数 | | 4-52/4-53 |
| A | 单根导线截面积 | mm ² | |
| ρ_1 | 纵向漏磁罗果夫斯基系数,算漏电抗 | | 4-11 |
| a | 导线径向尺寸，包绝缘导线幅向宽度 | mm | |
| m | 线段径向导体数 | | |
| n | 线段轴向导体数 | | |
| P_k | 负载损耗 | | p77 |

| 符号 | 内涵 | 单位 | 公式 |
|--------------|-------------------|--------------|------|
| K_{θ} | 温升引起的电阻折算系数 | | |
| S_{jw1} | 外绕组裸露部分面积外表面积 | m^2 | 4-54 |
| S_{jn1} | 外绕组非裸露部分面积内表面积 | m^2 | 4-55 |
| R_{j1} | 外绕组外半径 | mm | |
| H_{X1} | 外绕组电抗计算高度 | mm | |
| r_{j1} | 外绕组非裸露部分的半径 | mm | |
| N | 沿圆均匀分布的撑条数 | | |
| b_t | 撑条宽度 15mm | mm | |
| S_{jp2} | 内绕组个表面均为非裸露部分的表面积 | m^2 | 4-56 |
| H_{X2} | 内绕组电抗计算高度 | mm | |
| K_a | 绕组轴向气道有效散热系数 | | 4-57 |
| δ | 轴向气道宽度 | mm | |
| H_X | 气道计算高度 | mm | |
| S_{W1} | 外绕组有效散热面积 | | 4-58 |
| S_{W2} | 内绕组有效散热面积 | | 4-58 |
| q_{j1} | 外绕组单位热负荷 | W/m^2 | 4-59 |
| q_{j2} | 内绕组单位热负荷 | W/m^2 | 4-60 |
| τ | 绕组温升计算 | $^{\circ}/K$ | 4-61 |
| K, n | 经验系数，与工艺及采用材料有关 | | |
| q_W | 绕组散热面单位热负荷 | W/m^2 | 4-61 |
| P_W | 折算到参考温度下的绕组损耗 | W | |
| S_W | 绕组的有效散热面积 | m^2 | |