变压器

- 01 概述
  - 分类
    - 按用：电力变压器、特殊变压器
    - 按相数：单相、三相、多相
    - 按绕组数：双绕组、三绕组、自耦变压器
    - 按冷却方式：油浸式、干式
  - 主要部件
    - 铁芯：构成闭合磁路
    - 绕组：通电流产生磁场
    - 其他：绝缘材料、油箱、散热器、防爆管、压力释放阀、分接开关、瓦斯继电器、温度计、呼吸器、绝缘套管
  - 额定值
    - 额定容量 S_N：视在功率，单位 VA、kVA、MVA
    - 额定电压 U_{1N}、U_{2N}：线电压，单位 V、kV
    - 额定电流 I_{1N}、I_{2N}：线电流，单位 A
    - 额定频率 f_N：50Hz 或 60Hz
    - 额定效率 η_N：额定负载下输出功率与输入功率之比
    - 额定温升：绕组、铁芯、油面允许温升限值
    - 额定绝缘水平：绝缘材料耐受电压等级
    - 额定阻抗电压 u_k：短路时阻抗压降与额定电压之比
    - 额定空载电流 I_0：空载时原边电流
    - 额定空载损耗 P_0：铁芯损耗
    - 额定短路损耗 P_k：铜损
    - 额定短路电压 u_k：短路时阻抗压降与额定电压之比
  - 额定值
    - 额定电压：$U_{1N}=E_{1N}/k$，$U_{2N}=E_{2N}/k$
    - 额定电流：$S_N=\sqrt{3}U_{1N}I_{1N}=\sqrt{3}U_{2N}I_{2N}$
    - 额定容量：$I_{1N}=\sqrt{3}U_{1N}$，$I_{2N}=\sqrt{3}U_{2N}$，$S=3U_{1N}I_{2N}$
    - 额定频率：$f_N=E_{1N}/4.44N_1\Phi_m$，$E_{1N}=4.44N_1\Phi_m f_N$
    - 额定效率：$\eta_N=1-\frac{P_0+P_{kN}}{S_N\cos\varphi_2+P_0+P_{kN}}$
  - 分类
    - 按用途：电力变压器、特殊变压器
    - 按相数：单相、三相、多相
    - 按绕组数：双绕组、三绕组、自耦变压器
    - 按冷却方式：油浸式、干式
  - 主要部件
    - 铁芯：构成闭合磁路
    - 绕组：通电流产生磁场
    - 其他：绝缘材料、油箱、散热器、防爆管、压力释放阀、分接开关、瓦斯继电器、温度计、呼吸器、绝缘套管
- 02 变电运行
  - 空载运行基本物理过程
    - 主磁通
      - 定义：由原边、副边共同产生
      - 作用：传递能量
      - 特点：随负载变化，基本不变
    - 漏磁通
      - 定义：只与原边绕组交链
      - 作用：产生漏阻抗
      - 特点：随负载变化
    - 空载电流 I_0
      - 作用：建立主磁通
      - 特点：很小，通常为额定电流的 5%~10%
    - 空载损耗 P_0
      - 铁损：主要是磁滞损耗和涡流损耗
      - 铜损：空载时几乎为零
    - 空载电压 U_0
      - 特点：$U_0 \approx E_1$，$U_0 \approx E_2$
    - 空载电流 I_0
      - 作用：建立主磁通
      - 特点：很小，通常为额定电流的 5%~10%
    - 空载损耗 P_0
      - 铁损：主要是磁滞损耗和涡流损耗
      - 铜损：空载时几乎为零
    - 空载电压 U_0
      - 特点：$U_0 \approx E_1$，$U_0 \approx E_2$

图 3.7 单相变压器的空载运行

  - 变压器的电压方程
    - 原边方程：$u_1=-e_1+e_{\sigma 1}+i_0R_1$
    - 副边方程：$u_2=e_2$
    - 主磁通感应电动势：$e_{1m}=-N_1\frac{d\Phi_m}{dt}$
    - 漏磁通感应电动势：$e_{\sigma 1}=-N_1\frac{d\Phi_{\sigma 1}}{dt}$
    - 电压比：$\frac{e_1}{e_2}=\frac{N_1}{N_2}$
    - 原边漏阻抗：$R_{1m}=R_1+R_m$
    - 副边漏阻抗：$R_{2m}=R_2+R_m$
    - 原边漏电感：$L_{1m}=L_1+L_m$
    - 副边漏电感：$L_{2m}=L_2+L_m$
  - 等效电路
    - 原边等效电路
    - 副边等效电路
    - 电压比：$k=\frac{N_1}{N_2}$
    - 电流比：$\frac{I_1}{I_2}=\frac{1}{k}$
    - 阻抗比：$\frac{Z_1}{Z_2}=k^2$
    - 功率：$P_1=P_2$
    - 电压：$U_1=kU_2$
    - 电流：$I_1=\frac{I_2}{k}$
    - 阻抗：$Z_1=k^2Z_2$
    - 原边等效电路中的阻抗比值
    - 副边等效电路中的阻抗比值
    - 原边等效电路中的电压比值
    - 副边等效电路中的电压比值
    - 原边等效电路中的电流比值
    - 副边等效电路中的电流比值
    - 原边等效电路中的阻抗比值
    - 副边等效电路中的阻抗比值