



电机与拖动**课件**之五

异步 电机

胡梦月、韩谷静

纺大电子电气



章节目录

4.1 三相异步电动机的工作原理和结构

4.2 交流电机的绕组

4.3 交流电机绕组的感应电动势

4.4 交流电机绕组的磁动势

4.5 三相异步电动机的空载运行

4.6 三相异步电动机的负载运行

4.7 三相异步电动机的等效电路和相量图

4.8 三相异步电动机的功率平衡、转矩平衡

一、频率折算

$F \propto I$ 磁动势不变 电流不变

- **频率折算**就是用一个等效的转子电路代替实际旋转的转子系统，而等效的转子回路应与定子电路有相同的频率。
- 折算过程中，要电机的电磁效应不变，有**两个条件**：一个是保持转子磁动势不变；二是转子回路的功率不变。

转子回路电流

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{E}_{2s}}{Z_{2s}} = \frac{\dot{E}_{2s}}{R_2 + jX_{2s}} = \frac{s\dot{E}_2}{R_2 + jsX_2} = \frac{\dot{E}_2}{R_2 + jX_2 + \frac{1-s}{s}R_2}$$

串入附加电阻

$f_2 = f_1$ 机械功率 + 机械损耗

附加电阻 $\frac{1-s}{s}R_2$ 的意义

频率折算

- 在转子回路中串联一个电阻，就可以将转子频率折算为定子频率（转子静止），同时保持转子磁动势不变。

等效功率

- 根据能量守恒关系，**该电阻消耗的功率等效机械损耗和机械功率之和——总机械功率。**



从等效电路角度，可以把 $\frac{1-s}{s}R_2$ 看成是异步电动机的“电阻负载”，其上的压降可以看成是转子回路的端电压：

$$\dot{U}_2 = \dot{E}_{2s} - (R_2 + jX_{2s})\dot{I}_2 = s\dot{E}_2 - (R_2 + jsX_2)\dot{I}_2$$

二、绕组折算

➤ 绕组折算就是用一个和定子绕组相同的 m_1 、 N_1 及 k_{w1} 等效转子取代 m_2 、 N_2 及 k_{w2} 的实际转子绕组。折算的方法与变压器基本相同：

1、电流折算 折算前后转子磁动势不变

$$\frac{m_1}{2} \times 0.9 \frac{N_1 k_{w1}}{p} \dot{I}_2' = \frac{m_2}{2} \times 0.9 \frac{N_2 k_{w2}}{p} \dot{I}_2$$

$$\dot{I}_2' = \frac{m_2 N_2 k_{w2}}{m_1 N_1 k_{w1}} \dot{I}_2 = \frac{\dot{I}_2}{k_i}$$

电流变比



利用守恒关系, 找到某种对移

二、绕组折算

2、电动势折算

折算前后传递到转子侧的视在功率不变

折算后

$$m_1 \overset{\text{折算后}}{E_2'} I_2' = m_2 E_2 I_2$$

$$E_2' = \frac{m_2 I_2}{m_1 I_2'} E_2 = \frac{m_2 m_1 N_1 k_{w1}}{m_1 m_2 N_2 k_{w2}} E_2 = \frac{N_1 k_{w1}}{N_2 k_{w2}} E_2 = k_e E_2 = E_1$$

电动势变比

3、阻抗的折算

折算前后有功功率（铜损耗）不变原则 $m_1 I_2'^2 R_2' = m_2 I_2^2 R_2$

$$R_2' = \frac{m_2}{m_1} R_2 \left(\frac{I_2}{I_2'} \right)^2 = \frac{m_2}{m_1} \left(\frac{m_1 N_1 k_{w1}}{m_2 N_2 k_{w2}} \right)^2 R_2 = \frac{m_1}{m_2} \left(\frac{N_1 k_{w1}}{N_2 k_{w2}} \right)^2 R_2 = \frac{k_i k_e}{k_e} R_2$$

$m_1 = m_2, k_i = k_e$

阻抗变比

同理，无功功率不变，可得折算后的转子电抗为 $X_2' = k_i k_e X_2$



一、绕组折算后的基本方程

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + \dot{I}_1 R_1 + j\dot{I}_1 X_1$$

$$\dot{U}_2' = \dot{E}_2' - \dot{I}_2' R_2' - j\dot{I}_2' X_2'$$

$$\dot{I}_1 + \dot{I}_2' = \dot{I}_0$$

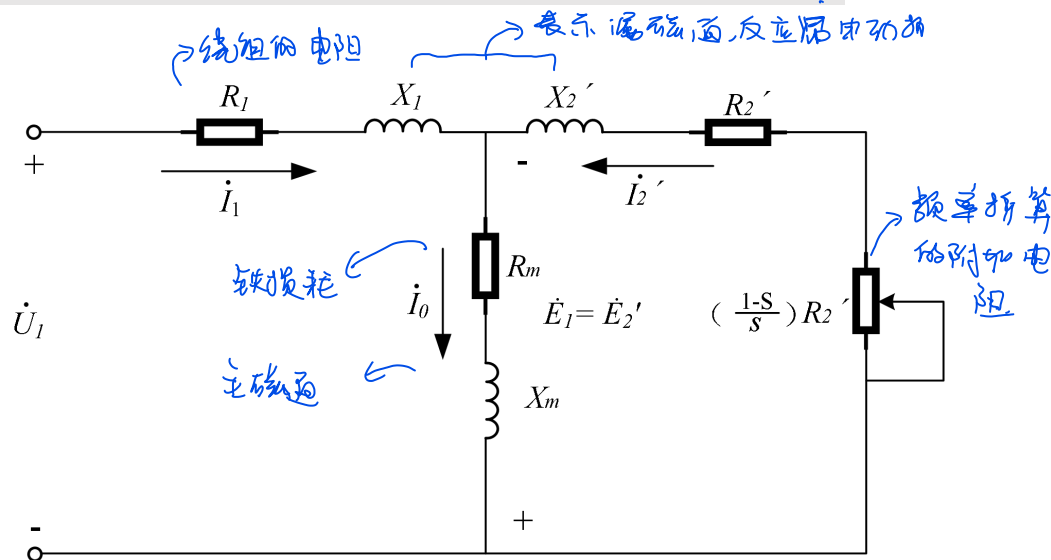
$$\dot{E}_2' = \dot{E}_1$$

$$\dot{E}_1 = -(R_m + jX_m)\dot{I}_0$$

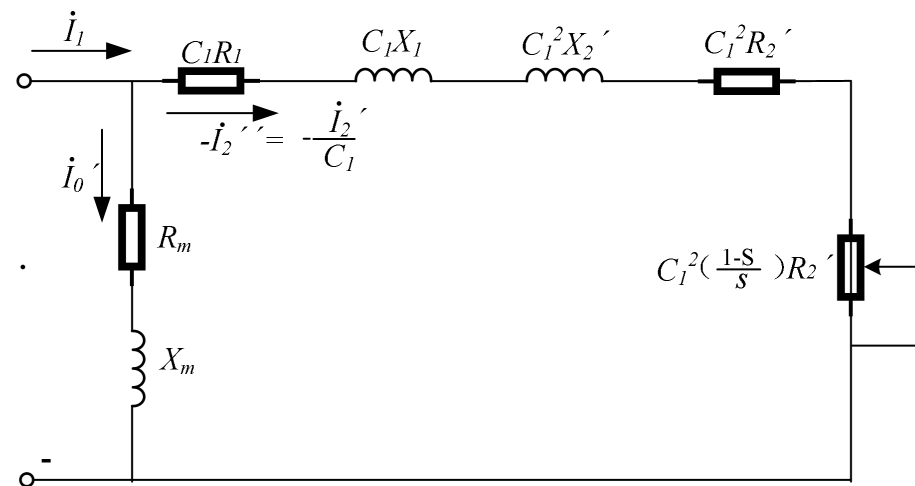
$$\dot{U}_2' = \dot{I}_2' \frac{1-s}{s} R_2'$$

二、T型等效电路和简化等效电路

由基本方程可以作出等效电路:



T型等效电路



简化等效电路



二、T型等效电路和简化等效电路

从等效电路分析可知:

电机不转时

- $n=0$, $s=1$, $(1-s)R_2'/s=0$

总机械功率=0 电机处于短路状态

理想控制时

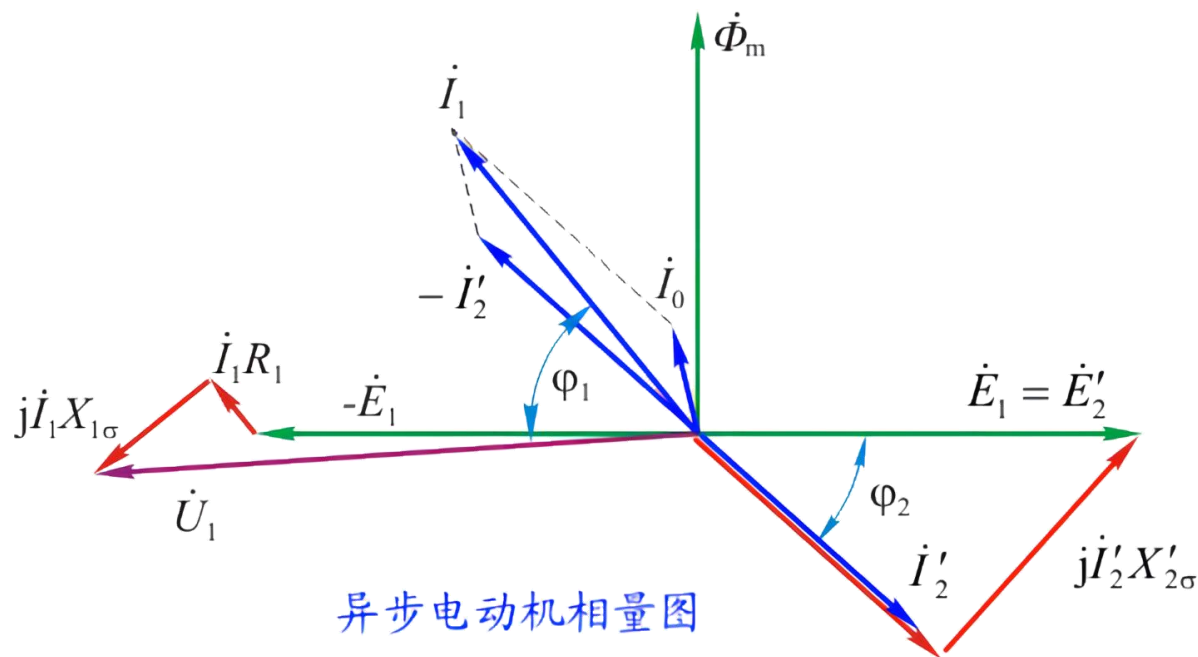
- $n \approx n_0$, $s \approx 0$, $(1-s)R_2'/s \rightarrow \infty$, $I_2' \approx 0$ 总机械功率=0 电机相当于开路状态

功率因数

- 三相异步电动机的功率因数一般滞后;

➤ 注: 附加电阻不能用电感或电容来代替; 在等效电路中负载的变化是用转差率s来体现的。





定子电流滞后电压

- 要建立和维持气隙中的主磁通和定、转子的漏磁通，电机需要从电源吸收一定的感性无功功率，所以异步电动机的功率因数总是滞后的。

定子电流随负载变化

- 当电动机机械负载增加时，转速 n 下降，转差率 s 增大，使 I'_2 增加， I_1 随之增加，电动机从电源吸取更多的电功率，实现由电能到机械能的转换。



小结

Why?

➤ 频率折算就是用一个等效的转子电路代替实际旋转的转子系统，而等效的转子回路应与定子电路有相同的频率。

how?

➤ 在折算的过程中，电机的电磁效应不变，因而有**两个条件**：一个是保持转子磁动势不变；二是转子回路的功率不变。

频率折算

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{E}_{2s}}{Z_{2s}} = \frac{\dot{E}_{2s}}{R_2 + jX_{2s}} = \frac{s\dot{E}_2}{R_2 + jsX_2} = \frac{\dot{E}_2}{R_2 + jX_2 + \frac{1-s}{s}R_2}$$

附加电阻的功率等于总的机械功率

从等效电路角度，可以把 $\frac{1-s}{s}R_2$ 看成是异步电动机的“电阻负载”，其上的压降可以看成是转子回路的端电压：

$$\dot{U}_2 = \dot{E}_{2s} - (R_2 + jX_{2s})\dot{I}_2 = s\dot{E}_2 - (R_2 + jsX_2)\dot{I}_2$$

等效电路

绕组折算

1、电流折算 折算前后转子磁动势不变

$$\frac{m_1}{2} \times 0.9 \frac{N_1 k_{w1}}{p} \dot{I}_2' = \frac{m_2}{2} \times 0.9 \frac{N_2 k_{w2}}{p} \dot{I}_2 \quad I_2' = \frac{m_2 N_2 k_{w2}}{m_1 N_1 k_{w1}} I_2 = \frac{I_2}{k_i}$$

电流变比

2、电动势折算

折算前后传递到转子侧的视在功率不变

$$m_1 E_2' I_2' = m_2 E_2 I_2$$

$$E_2' = \frac{m_2 I_2}{m_1 I_2'} E_2 = \frac{m_2 m_1 N_1 k_{w1}}{m_1 m_2 N_2 k_{w2}} E_2 = \frac{N_1 k_{w1}}{N_2 k_{w2}} E_2 = k_e E_2 = E_1$$

电动势变比

3、阻抗的折算

折算前后有功功率（铜损耗）不变原则

$$m_1 I_2'^2 R_2' = m_2 I_2^2 R_2$$

$$R_2' = \frac{m_2}{m_1} R_2 \left(\frac{I_2}{I_2'} \right)^2 = \frac{m_2}{m_1} \left(\frac{m_1 N_1 k_{w1}}{m_2 N_2 k_{w2}} \right)^2 R_2 = \frac{m_1}{m_2} \left(\frac{N_1 k_{w1}}{N_2 k_{w2}} \right)^2 R_2 = k_i k_e R_2$$

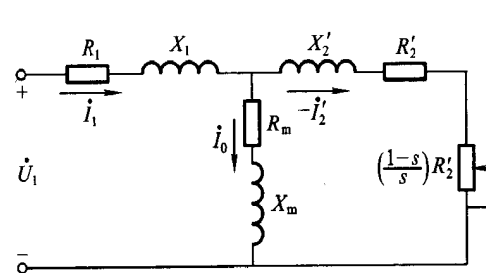
同理，无功功率不变，可得折算后的转子电抗为

$$X_2' = k_i k_e X_2$$

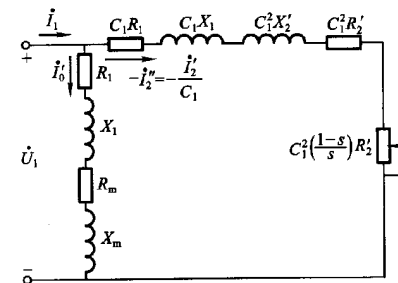
阻抗变比

二、T型等效电路和简化等效电路

由基本方程可以作出等效电路：



T型等效电路



简化等效电路

一、绕组折算后的基本方程

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + \dot{I}_1 R_1 + j\dot{I}_1 X_1 \quad \dot{U}_2' = \dot{E}_2' - \dot{I}_2' R_2' - j\dot{I}_2' X_2'$$

$$\dot{I}_1 + \dot{I}_2' = \dot{I}_0 \quad \dot{E}_2' = \dot{E}_1 \quad \dot{E}_1 = -(R_m + jX_m)\dot{I}_0 \quad \dot{U}_2' = \dot{I}_2' \frac{1-s}{s} R_2'$$

等效电路