电力系统分析

—第3章— 电力系统元件数学模型
——发电机和负荷

主讲教师：符玲

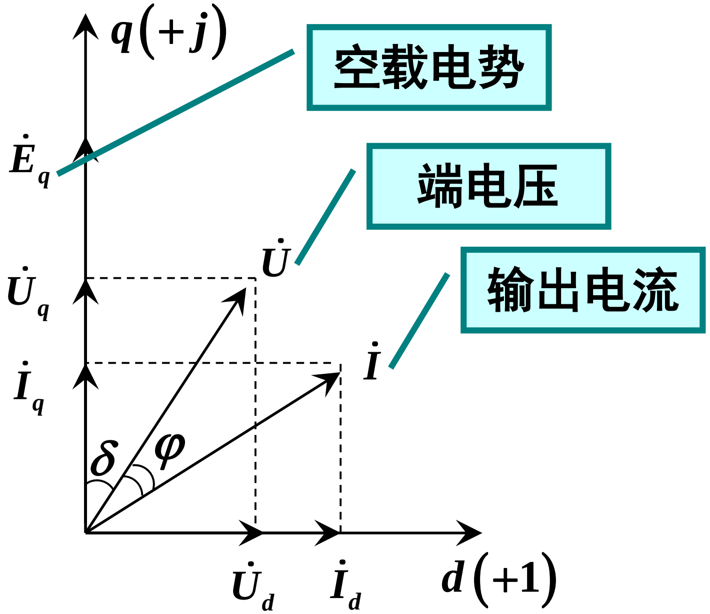
西南交通大学　　电气工程学院

-第3章- 电力系统元件数学模型——发电机和负荷

-第3.1节- 同步发电机

-第3.2节- 电力负荷

-第3.1节- 同步发电机

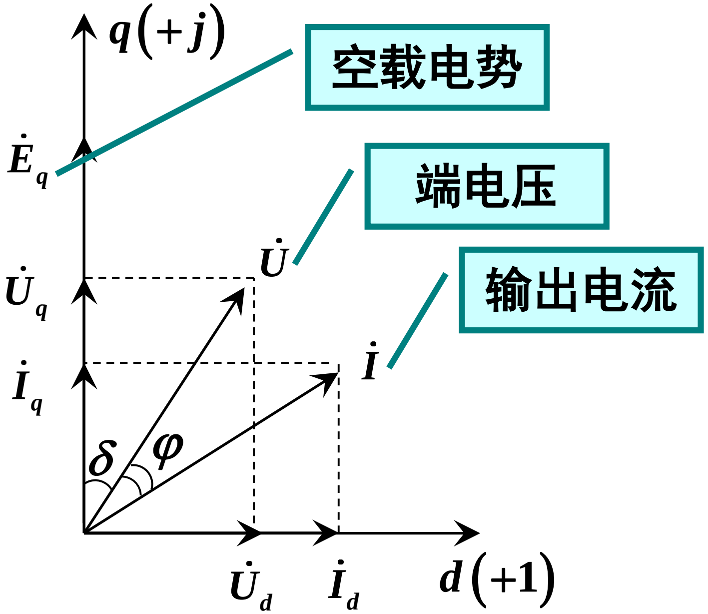


- 1. 以同步发电机空载电势为纵轴，以滞后其90°为横轴，建立坐标系。
- 2. 发电机端电压 滞后空载电势一个角度。
- 3. 发电机端电流滞后端电压一个角度（功率因数角）
- 4. 将发电机端电压、端电流分解为

$$U_q = U\cos\delta \qquad I_q = I\cos(\delta+\varphi)$$

$$U_d = U\sin\delta \qquad I_d = I\sin(\delta+\varphi)$$

-第3.1节- 同步发电机



- 根据同步电机模型可知

$$U_q = E_q - x_d I_d - rI_q$$

$$U_d = x_q I_q - rI_d$$

r 定子每相绕组的电阻

x_d 定子纵轴同步电抗

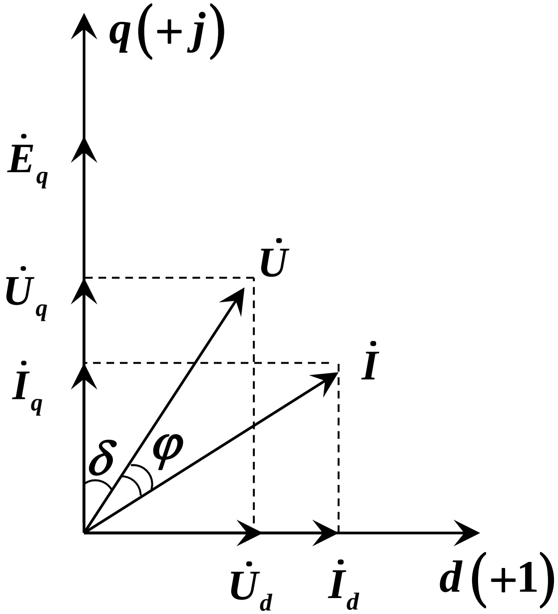
x_q 定子横轴同步电抗

$$U_q = U\cos\delta$$

$$U_d = U\sin\delta$$

$$I_q = I\cos(\delta+\varphi)$$

$$I_d = I\sin(\delta+\varphi)$$



$$U_q = E_q - x_d I_d - rI_q$$

$$U_d = x_q I_q - rI_d$$

$$\dot{U} = U_d + jU_q = \left(x_q I_q - rI_d\right) + j(E_q - x_d I_d - rI_q)$$

$$= -jx_q jI_q - rI_d + jE_q - jx_d I_d - rjI_q$$

$$= jE_q - \left(rI_d + jx_d\right) I_d - (r + jx_q) jI_q$$

$$= jE_q - (r + jx_q) I_d - j(x_d - x_q) I_d - (r + jx_q) jI_q$$

$$= jE_q - j(x_d - x_q) I_d - (r + jx_q)(I_d + jI_q)$$

$$= \dot{E}_q - j(x_d - x_q) I_d - (r + jx_q)\dot{I}$$

$$\dot{E}_q = jE_q$$

$$\dot{U} = U_d + jU_q$$

$$\dot{I} = I_d + jI_q$$

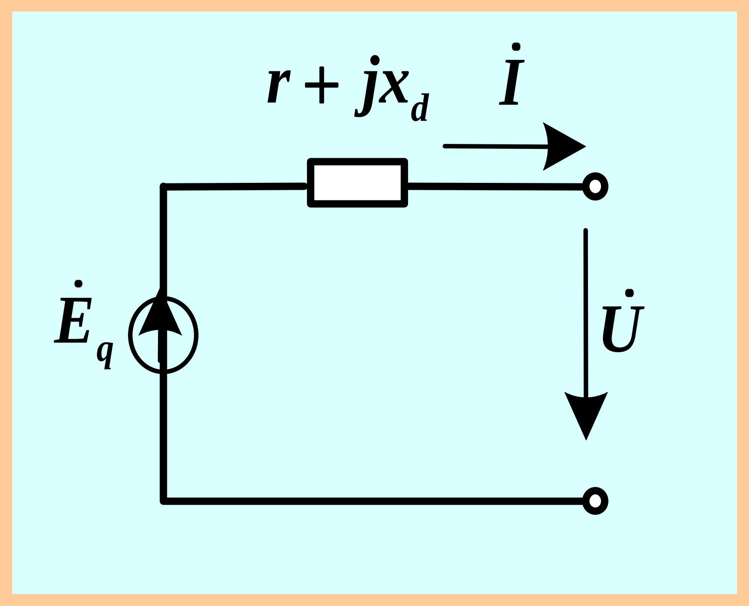
-第3.1节- 同步发电机

$$\dot{U} = \dot{E}_q - j(x_d - x_q)\dot{I}_d - (r + jx_q)\dot{I}$$

- **隐极同步发电机（汽轮发电机）**

$$\because x_d = x_q$$

$$\therefore \dot{U} = \dot{E}_q - \left(r + jx_d\right)\dot{I}$$



-第3.1节- 同步发电机

$$\dot{U} = \dot{E}_q - j\left(x_d - x_q\right)I_d - \left(r + jx_q\right)\dot{I}$$

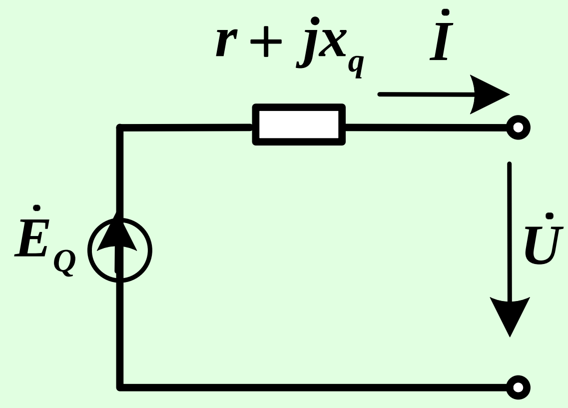
- 凸极同步发电机（水轮发电机）

$$x_d \neq x_q$$

令 $$\dot{E}_Q = \dot{E}_q - j\left(x_d - x_q\right)I_d$$ (隐极化电势)

$$\dot{U} = \dot{E}_Q - \left(r + jx_q\right)\dot{I}$$

(隐极化的凸极同步机回路方程)



$$\dot{E}_Q = jE_q - j\left(x_d - x_q\right)I_d$$

➢ 同步发电机已知参数

- 额定线电压 U_N
- 三相额定容量 S_N
- 额定功率因数 $\cos\varphi_N$
- 定子电阻和同步电抗标幺值或百分值 $r\%, x_d\%, x_q\%$

- 定子每相绕组的电阻 r
- 定子纵轴同步电抗 x_d
- 定子横轴同步电抗 x_q

$$r = \frac{r\%}{100}\frac{U_N^2}{S_N}$$

$$x_d = \frac{x_d\%}{100}\frac{U_N^2}{S_N}$$

$$x_q = \frac{x_q\%}{100}\frac{U_N^2}{S_N}$$

➢ 负荷的静态特性

- 负荷功率大小随电压幅值的变化而变化
- 将额定电压下的负荷功率分为三部分：

$$P_{DN}\begin{cases} a_p \\ b_p \\ c_p \end{cases}$$

- 有功功率与电压平方成正比
- 有功功率与电压大小成正比　（比重）
- 有功功率不随电压大小变化

- 比重之和应等于1　$a_P + b_P + c_P = 1$

-第3.2节- 电力负荷

- 1. 有功功率与电压的平方成正比

$$P_{Da}=P_{DN}a_P(\frac{U}{U_N})^2$$

- 2. 有功功率与电压大小成正比

$$P_{Db}=P_{DN}b_P\frac{U}{U_N}$$

- 3. 有功功率不随电压大小变换

$$P_{Dc}=P_{DN}c_P$$

- 总负荷有功功率大小：

$$P_D=P_{Da}+P_{Db}+P_{Dc}=P_{DN}[a_P(\frac{U}{U_N})^2+b_P\frac{U}{U_N}+c_P]$$

$$a_P+b_P+c_P=1$$

- 同理，负荷无功功率大小：

$$Q_D = Q_{DN}[a_Q(\frac{U}{U_N})^2 + b_Q\frac{U}{U_N} + c_Q]$$

$$a_Q + b_Q + c_Q = 1$$

- 总结：负荷功率随电压大小的变化

$$P_D = P_{DN}[a_P(\frac{U}{U_N})^2 + b_P\frac{U}{U_N} + c_P]$$

$$a_P + b_P + c_P = 1$$

$$Q_D = Q_{DN}[a_Q(\frac{U}{U_N})^2 + b_Q\frac{U}{U_N} + c_Q]$$

$$a_Q + b_Q + c_Q = 1$$

-第3.2节- 电力负荷

- 负荷功率也随电压频率变化而变化（频率变化较小，在额定频率附近线性化）

$$\Delta P_D = k_p \Delta f$$

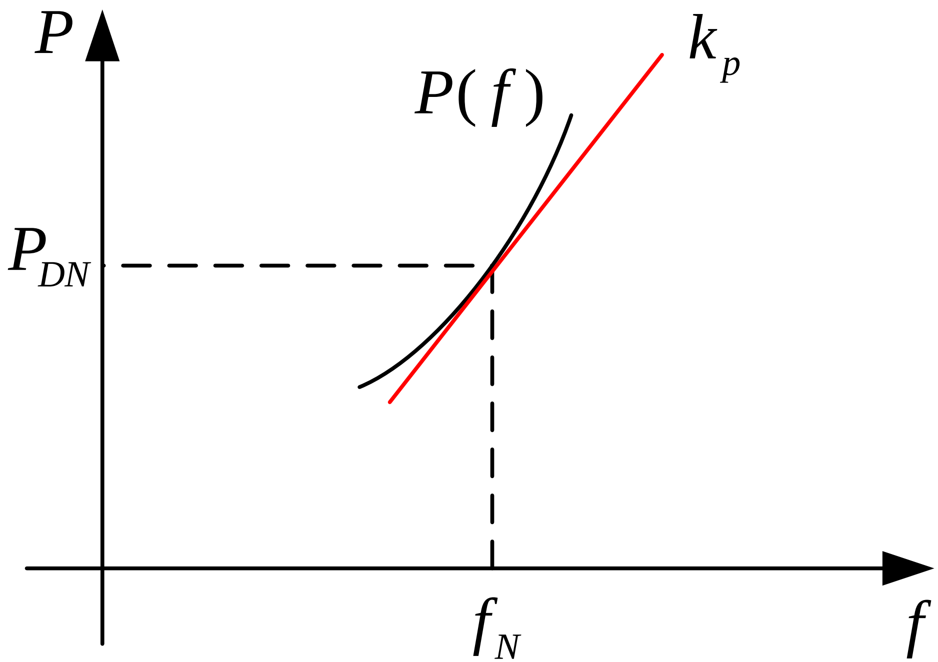
$$P_D - P_{DN} = k_p (f - f_N)$$

$$P_D = P_{DN} + k_p (f - f_N)$$

$$= P_{DN}\left[1 + \frac{k_p}{P_{DN}}(f - f_N)\right]$$

$$= P_{DN}\left[1 + \frac{k_p f_N}{P_{DN}} \frac{f - f_N}{f_N}\right]$$

$$= P_{DN}\left[1 + k_{Pf} \frac{f - f_N}{f_N}\right] \qquad k_{Pf} = \frac{k_p f_N}{P_{DN}}$$



-第3.2节- 电力负荷

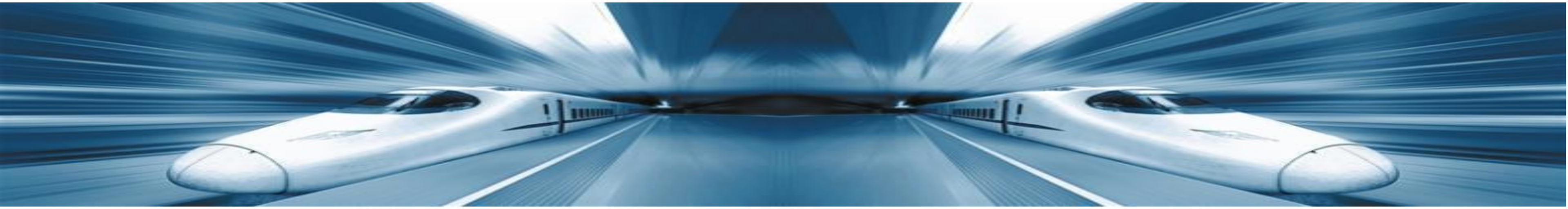
- 同理，无功功率随频率的变化关系为

$$Q_D = Q_{DN}[1 + k_{Qf}\frac{f - f_N}{f_N}]$$

- 同时考虑电压幅值和频率的变化

$$P_D = P_{DN}[a_P(\frac{U}{U_N})^2 + b_P\frac{U}{U_N} + c_P](1 + k_{Pf}\frac{f - f_N}{f_N})$$

$$Q_D = Q_{DN}[a_Q(\frac{U}{U_N})^2 + b_Q\frac{U}{U_N} + c_Q](1 + k_{Qf}\frac{f - f_N}{f_N})$$



End
谢谢