



石家莊鐵道大學
SHIJIAZHUANG TIEDAO UNIVERSITY

在线开放课程

电力系统故障分析的基本知识

无穷大功率电源供电的
三相短路电流分析

主讲：田行军

7.3 无穷大功率电源供电的三相短路电流分析

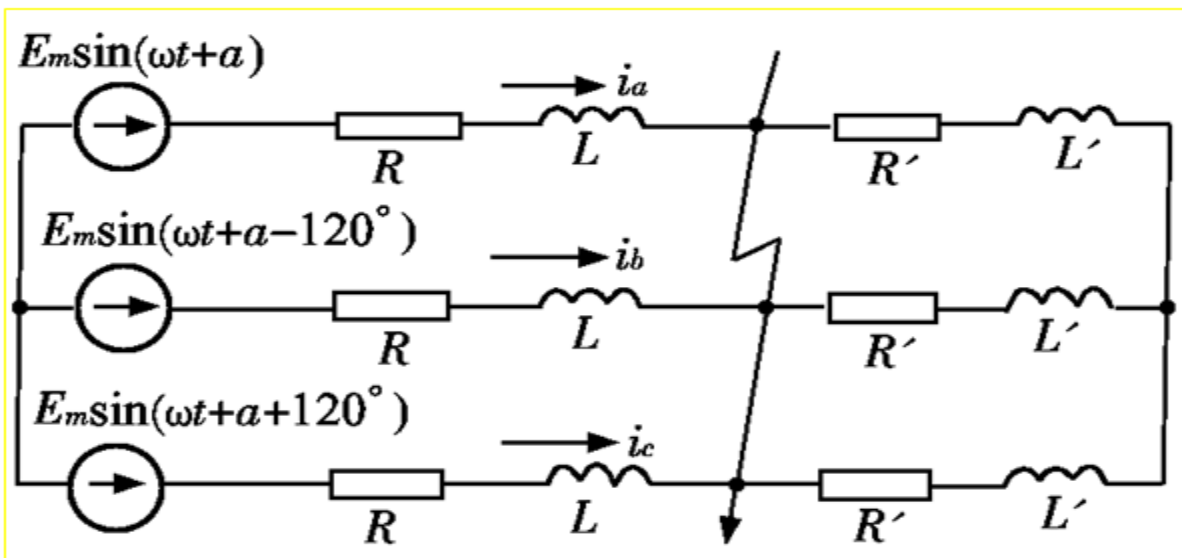


在线开放课程

恒定电势源（又称**无限大功率电源**：指端电压幅值和频率都保持恒定的电源，其内阻抗为零。

7.3 无穷大功率电源供电的三相短路电流分析

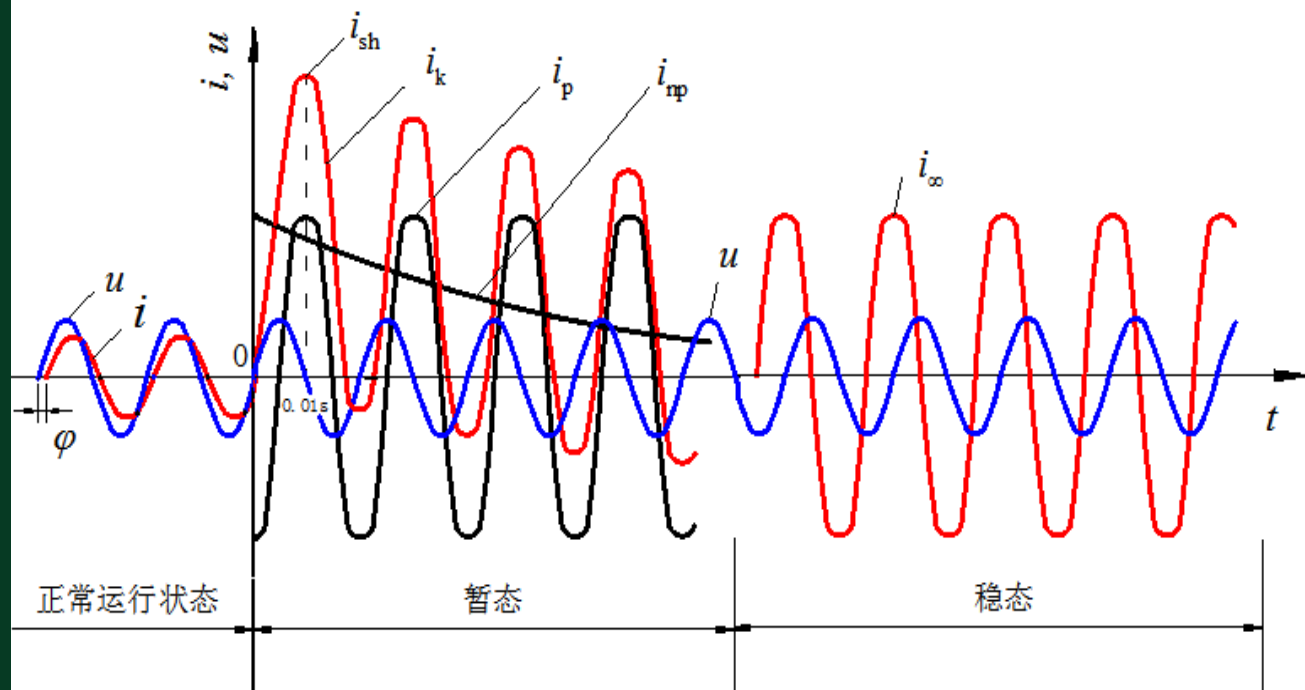
一、三相短路的暂态过程



简单三相电路短路

7.3 无穷大功率电源供电的三相短路电流分析

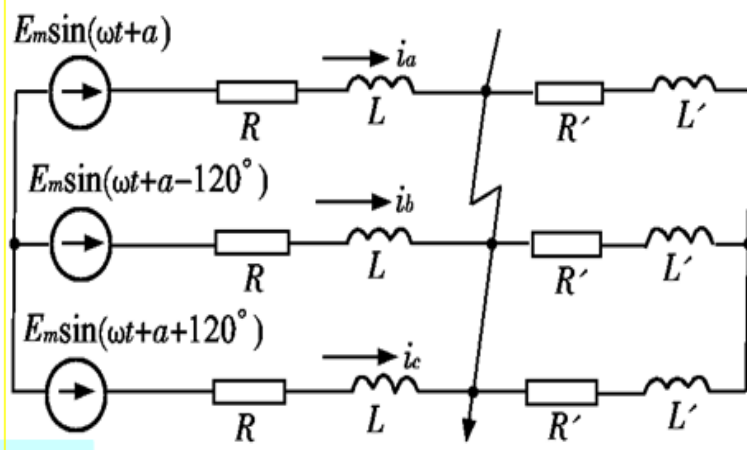
无限大容量系统发生三相短路时的电压、电流曲线如下图：



7.3 无穷大功率电源供电的三相短路电流分析

短路前电路处于稳态：其a相的表达式为

$$\left. \begin{aligned} e_a &= E_m \sin(\omega t + \alpha) \\ i_a &= I_{m|0|} \sin(\omega t + \alpha - \varphi_{|0|}) \end{aligned} \right\}$$



$$I_{m|0|} = \frac{E_m}{\sqrt{(R+R')^2 + \omega^2(L+L')^2}}$$

$$\varphi_{|0|} = \tan^{-1} \frac{\omega(L+L')}{R+R'}$$

7.3 无穷大功率电源供电的三相短路电流分析

假定 $t=0$ 时刻发生短路

a相的微分方程式如下：

$$Ri + L \frac{di}{dt} = E_m \sin(\omega t + \alpha)$$

其解就是短路的全电流，它由两部分组成：

周期分量和非周期分量。

$$i = i_{pa} + i_{oa} = I_m \sin(\omega t + \alpha - j) + Ce^{-t/T_a}$$

7.3 无穷大功率电源供电的三相短路电流分析

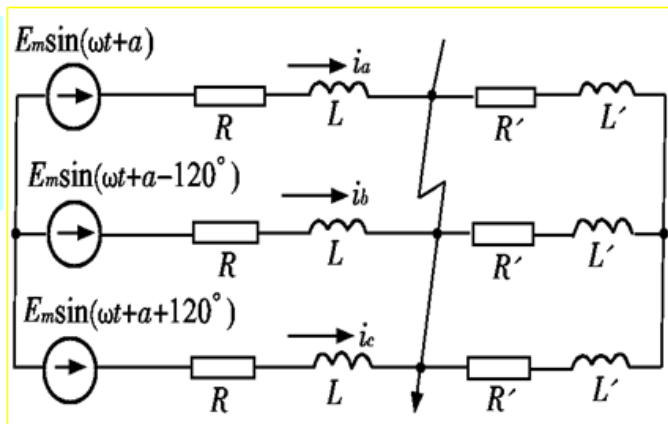
周期分量:

短路电流的强制分量，并记为 i_{pa}

$$i_{pa} = I_m \sin(\omega t + \alpha - \varphi)$$

$$I_m = \frac{E_m}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}}$$

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{\omega L}{R}$$



7.3 无穷大功率电源供电的三相短路电流分析

非周期电流：

短路电流的自由分量, 记为

$$i_{oa} = C e^{pt} = C e^{-\frac{t}{T_a}}$$

C — 为由初始条件决定的积分常数

T_a — 非周期分量电流衰减的时间常数

$$T_a = \frac{L}{R}$$

7.3 无穷大功率电源供电的三相短路电流分析

积分常数的求解

短路的全电流可表示为：

短路前电流

$$i_a = i_{pa} + i_{oa} = I_m \sin(\omega t + \alpha - \varphi) + C e^{-t/T_a}$$

$$i_a = I_{m|0|} \sin(\omega t + \alpha - \varphi_{|0|})$$

短路电流不突变

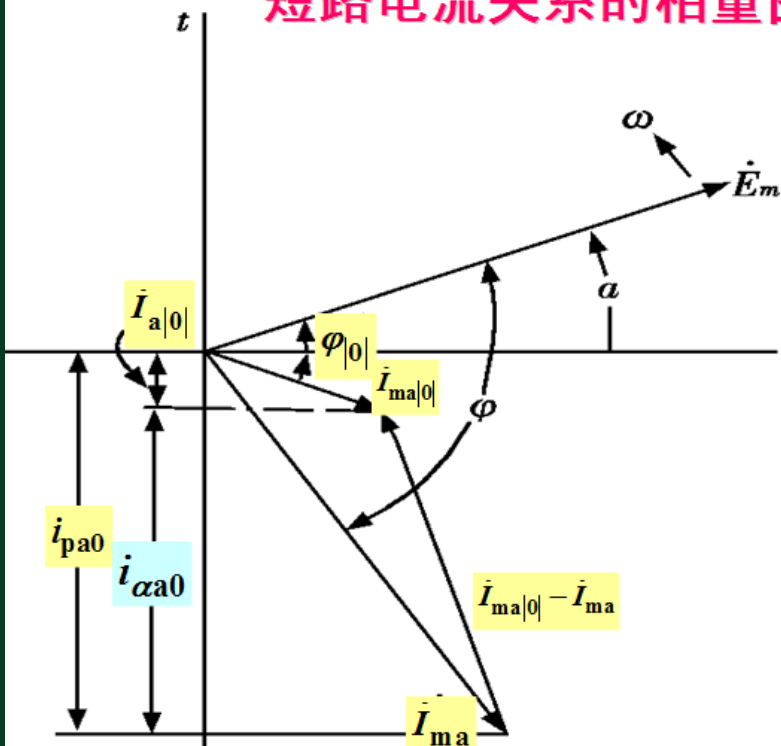
$$I_{m|0|} \sin(\alpha - \varphi_{|0|}) = I_m \sin(\alpha - \varphi) + C$$

$$C = I_{m|0|} \sin(\alpha - \varphi_{|0|}) - I_m \sin(\alpha - \varphi)$$

$$i_a = I_m \sin(\omega t + \alpha - \varphi) + [I_{m|0|} \sin(\alpha - \varphi_{|0|}) - I_m \sin(\alpha - \varphi)] e^{-t/T_a}$$

7.3 无穷大功率电源供电的三相短路电流分析

短路电流关系的相量图表示



在时间轴上的投影
代表各量的瞬时值

$$I_{ma|0|} \sin(\alpha - \varphi_{|0|}) = i_{a|0|}$$

$$\circ I_{ma} \sin(\alpha - \varphi) = i_{pa0} \circ$$

$$i_{pa0} \neq i_{a|0|}$$

二、短路冲击电流

指短路电流最大可能的瞬时值，用 i_M 表示。
其主要作用是校验电气设备的电动力稳定度。

非周期电流有最大初值的条件应为：

- (1) 相量差 $\dot{I}_{m|0} - \dot{I}_m$ 有最大可能值；
- (2) 相量差 $\dot{I}_{m|0} - \dot{I}_m$ 在 $t = 0$ 时与时间轴平行。

7.3 无穷大功率电源供电的三相短路电流分析

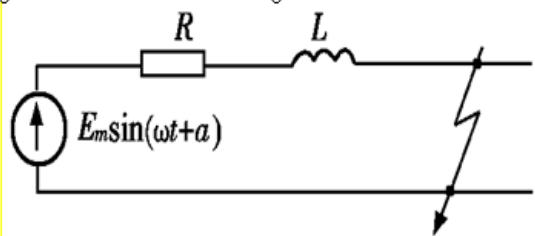


在线开放课程

二、短路冲击电流

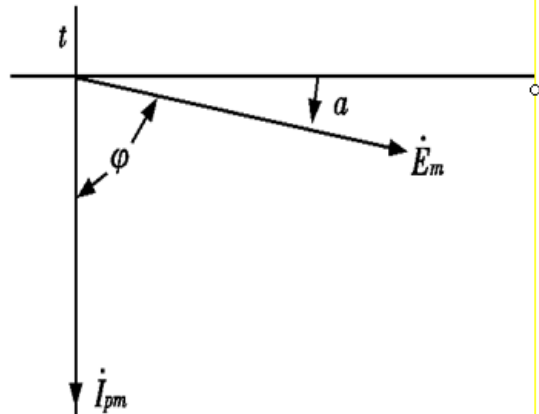
一般电力系统中，短路回路的感抗比电阻大得多，即 $\omega L \gg R$ ，故可近似认为 $\varphi \approx 90^\circ$ 。因此，非周期电流有最大值的条件为：短路前电路空载 ($I_{m0}=0$)，并且短路发生时，电源电势过零 ($\alpha = 0$)。

7.3 无穷大功率电源供电的三相短路电流分析



非周期电流有最大值的条件为:

- 1、短路前电路空载 ($I_{m0}=0$);
- 2、短路发生时, 电源电势过零 ($\alpha = 0$)。



短路电流非周期分量有最大可能值的条件图

7.3 无穷大功率电源供电的三相短路电流分析

将 $I_{m|0|} = 0$, $\varphi \approx 90^\circ$ 和 $\alpha = 0$ 代入式短路全电流表达式:

$$i_a = -I_m \cos \omega t + I_m e^{-t/T_a}$$

短路电流的最大瞬时值在短路发生后, 约半个周期时出现 ([如图1-5](#))。

7.3 无穷大功率电源供电的三相短路电流分析

若 $f=50\text{Hz}$ ，这个时间约为 0.01s ，由此可得短路冲击电流：

$$i_M = I_m + I_m e^{-0.01/T_a} = (1 + e^{-0.01/T_a}) I_m = K_M I_m = \sqrt{2} K_M I_t$$

$$K_M = 1 + e^{-0.01/T_a}$$

K_M 为冲击系数，实用计算时，短路发生在

发电机电压母线时 $K_M = 1.9$ ；

发电厂高压母线时 $K_M = 1.85$ ；

其它地点时短路 $K_M = 1.8$ 。

7.3 无穷大功率电源供电的三相短路电流分析

三、短路电流的有效值

在短路过程中，任意时刻 t 的**短路电流有效值**，是指以时刻 t 为中心的一个周期内瞬时电流的均方根值，即

$$\begin{aligned} I_t &= \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t-T/2}^{t+T/2} i_t^2 dt} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t-T/2}^{t+T/2} (i_{pt} + i_{\alpha t})^2 dt} \\ &= \sqrt{\left(\frac{I_m}{\sqrt{2}}\right)^2 + i_{\alpha t}^2} \end{aligned}$$

7.3 无穷大功率电源供电的三相短路电流分析

续

为了简化计算，通常假定：非周期电流 i_{at} 在以时间 t 为中心的一个周期内恒定不变，因而它在时间 t 的有效值就等于它的瞬时值，即

$$I_{at} = i_{at}$$

7.3 无穷大功率电源供电的三相短路电流分析

短路电流最大有效值出现在第一周期，其中心为： $t=0.01$

所以短路电流的最大有效值为

$$\begin{aligned} I_M &= \sqrt{I_{pt}^2 + i_a^2(t=0.01)} = \sqrt{\left(\frac{I_m}{\sqrt{2}}\right)^2 + (i_M - I_m)^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{I_m}{\sqrt{2}}\right)^2 + I_m^2(K_M - 1)^2} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \sqrt{1 + 2(K_M - 1)^2} \end{aligned}$$

短路电流的最大有效值常用于校验某些电气设备的断流能力或耐力强度。

7.3 无穷大功率电源供电的三相短路电流分析

四、短路容量

也称为短路功率，它等于短路电流有效值同短路处的正常工作电压（一般用平均额定电压）的乘积，即

$$S_d = \sqrt{3}U_{av}I_t$$

短路电流
有效值

用标么值表示时

$$S_{t*} = \frac{\sqrt{3}U_{av}I_t}{\sqrt{3}U_B I_B} = \frac{I_t}{I_B} = I_{t*} = \frac{1}{X_{\Sigma*}}$$

短路容量**主要用来**校验开关的切断能力。

小结

- 👉 介绍了三相短路的暂态过程；
- 👉 介绍了短路冲击电流；
- 👉 介绍了短路电流的有效值计算；
- 👉 介绍了短路容量计算。