



新疆大学

Xinjiang University

电力系统暂态分析

课题组

电气工程学院

电气工程及其自动化专业



新疆大学

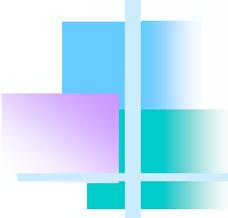
Xinjiang University

第一章

电力系统故障分析的基本知识

电气工程学院

电气工程及其自动化专业

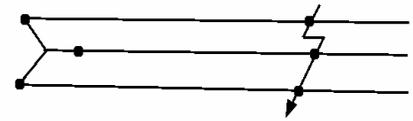
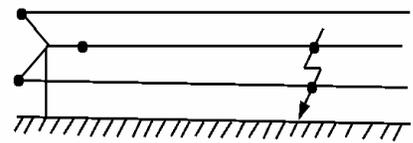
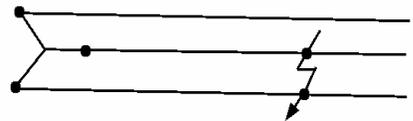
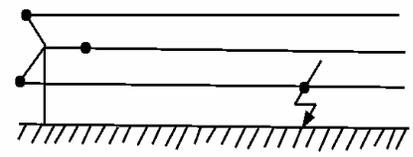


1-1 故障概述

- **故障:**一般指短路和断线,分为简单故障和复杂故障
- **简单故障:**电力系统中的单一故障
- **复杂故障:**同时发生两个或两个以上故障
- **短路:**指一切**不正常**的相与相之间或相与地之间（对于中性点接地的系统）发生通路的情况。

一、短路的类型

表1-1 各种短路的示意图和代表符号

短路种类	示意图	代表符号
三相短路		$f^{(3)}$
两相短路接地		$f^{(1,1)}$
两相短路		$f^{(2)}$
单相短路		$f^{(1)}$

二、短路的主要原因

- ①绝缘材料的自然老化，设计、安装及维护不良所带来的设备缺陷发展成短路。
- ②恶劣天气：雷击造成的闪络放电或避雷器动作，架空线路由于大风或导线覆冰引起电杆倒塌等。
- ③人为误操作，如运行人员带负荷拉刀闸，线路或设备检修后未拆除地线就加上电压引起短路。
- ④挖沟损伤电缆，鸟兽跨接在裸露的载流部分等。

三、短路的危害

- (1) **电流**剧增：设备发热增加，若短路持续时间较长，可能使设备过热甚至损坏；由于短路电流的**电动力**效应，导体间还将产生很大的机械应力，致使导体变形甚至损坏。
- (2) **电压**大幅度下降，对用户影响很大。
- (3) 当短路发生地点离电源不远而持续时间又较长时，并列运行的**发电机可能失去同步**，破坏系统运行的稳定性，造成大面积停电，这是短路最严重的后果。
- (4) 发生不对称短路时，**三相不平衡电流**会在相邻的通讯线路感应出电动势，影响通讯。

四、计算短路电流的目的

短路电流计算结果

- 是选择电气设备（断路器、互感器、瓷瓶、母线、电缆等）的依据；
- 是电力系统继电保护设计和整定的基础；
- 是比较和选择发电厂和电力系统电气主接线图的依据，根据它可以确定限制短路电流的措施。

1-2 恒定电势源电路的三相短路

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

一、三相短路的暂态过程

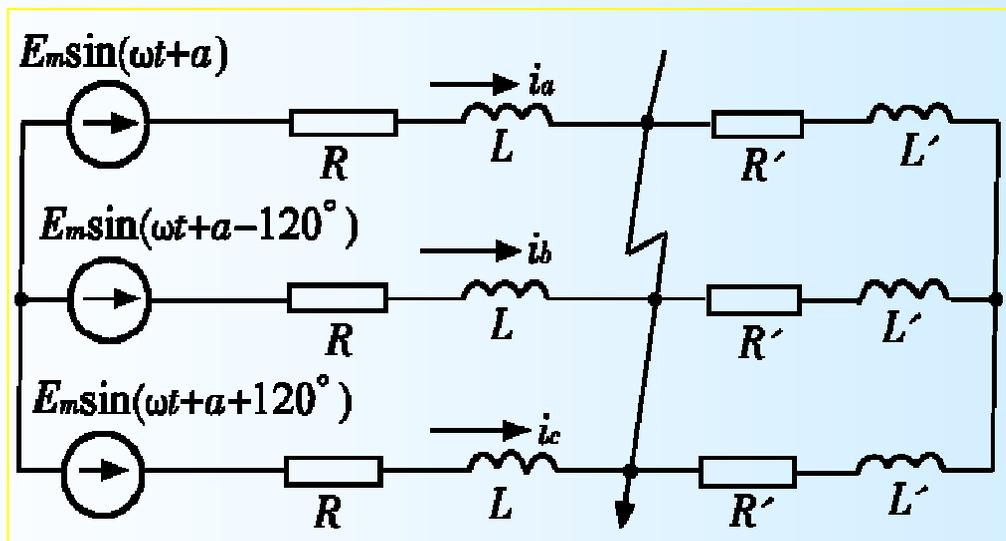


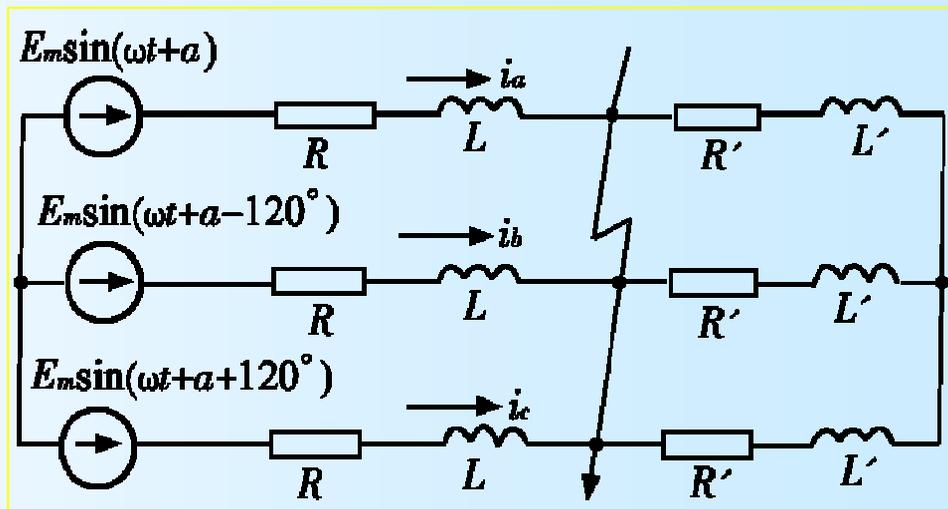
图1-1 简单三相电路短路

•短路前电路处于稳态:

$$\left. \begin{aligned} e &= E_m \sin(\omega t + \alpha) \\ i &= I_m \sin(\omega t + \alpha - \varphi') \end{aligned} \right\}$$

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

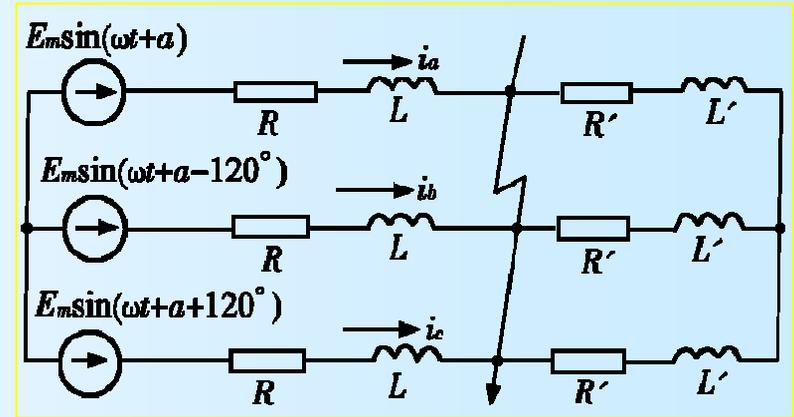
$$\varphi' = \operatorname{tg}^{-1} \frac{\omega(L + L')}{R + R'}$$



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**。

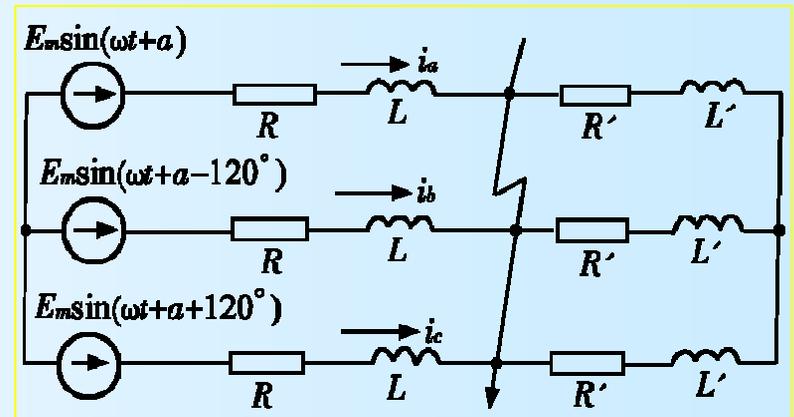
周期分量:

短路电流的强制分量, 并记为 i_P

$$i_P = I_{Pm} \sin(\omega t + \alpha - \varphi)$$

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

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



非周期电流：

短路电流的自由分量, 记为

$$i_{aP} = Ce^{pt} = Ce^{-\frac{t}{T_a}} \quad (\text{C为由初始条件决定的积分常数})$$

p — 特征方程 $R + pL = 0$ 的根。

$$p = -\frac{R}{L}$$

T_a — 非周期分量电流衰减的时间常数

$$T_a = -\frac{1}{p} = \frac{L}{R}$$

积分常数的求解

短路的全电流可表示为：

短路前电流

$$i = i_P + i_{aP} = I_{Pm} \sin(\omega t + \alpha - \varphi) + C e^{-t/T_a}$$

$$i = I_m \sin(\omega t + \alpha - \varphi')$$

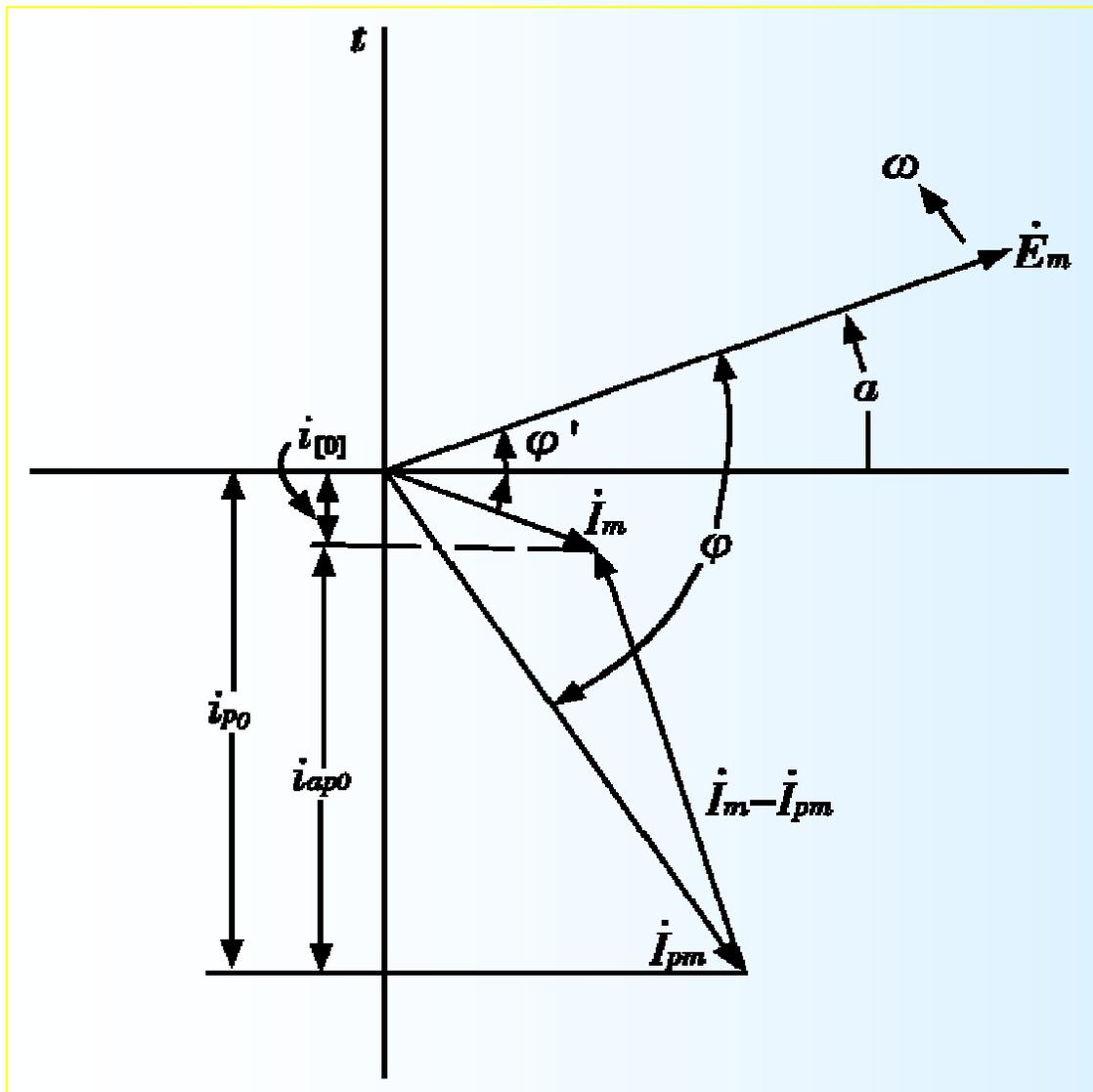
短路电流
不突变

$$I_m \sin(\alpha - \varphi') = I_{Pm} \sin(\alpha - \varphi) + C$$

$$C = i_{aP0} = I_m \sin(\alpha - \varphi') - I_{Pm} \sin(\alpha - \varphi)$$

$$i = I_{Pm} \sin(\omega t + \alpha - \varphi) + [I_m \sin(\alpha - \varphi') - I_{Pm} \sin(\alpha - \varphi)] e^{-t/T_a}$$

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

$$I_m \sin(\alpha - \varphi') = i_{[0]}$$

$$I_{Pm} \sin(\alpha - \varphi) = i_{P0}$$

$$i_{P0} \neq i_{[0]}$$

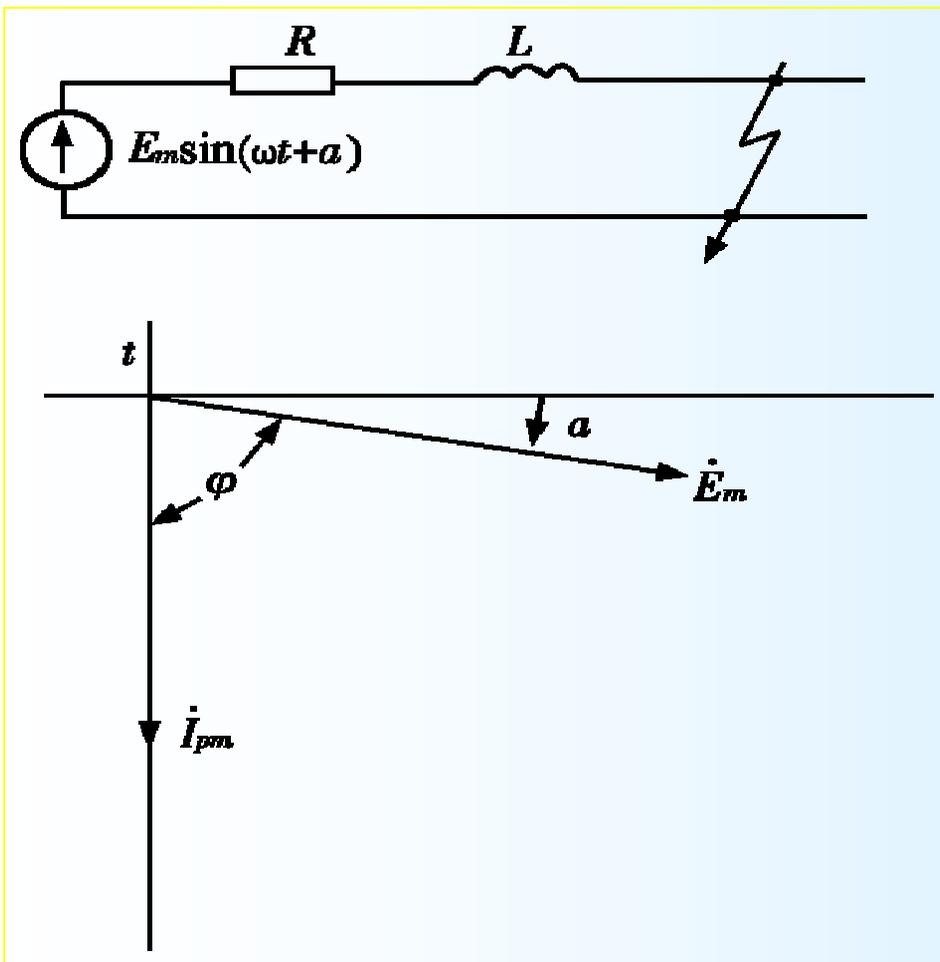
二、短路冲击电流

- 指短路电流最大可能的瞬时值，用 i_{im} 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 $\dot{I}_m - \dot{I}_{Pm}$ 有最大可能值；
- (2) 相量差 $\dot{I}_m - \dot{I}_{Pm}$ 在 $t=0$ 时与时间轴平行。

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 ($I_m=0$)，并且短路发生时，电源电势过零 ($\alpha=0$)。



非周期电流有最大值的条件为

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

图1-3 短路电流非周期分量有最大可能值的条件图

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

$$i = -I_{Pm} \cos \omega t + I_{Pm} e^{-t/T_a}$$

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6-4）。若 $f = 50$ Hz，这个时间约为0.01秒，将其代入式（6-8），可得短路冲击电流：

$$i_{im} = I_{Pm} + I_{Pm} e^{-0.01/T_a} = (1 + e^{-0.01/T_a}) I_{pm} = k_{im} I_{Pm} \quad k_{im} = 1 + e^{-0.01/T_a}$$

k_{im} 为冲击系数，实用计算时，短路发生在发电机电压母线时 $k_{im} = 1.9$ ；短路发生在发电厂高压母线时 $k_{im} = 1.85$ ；在其它地点短路 $k_{im} = 1.8$ 。

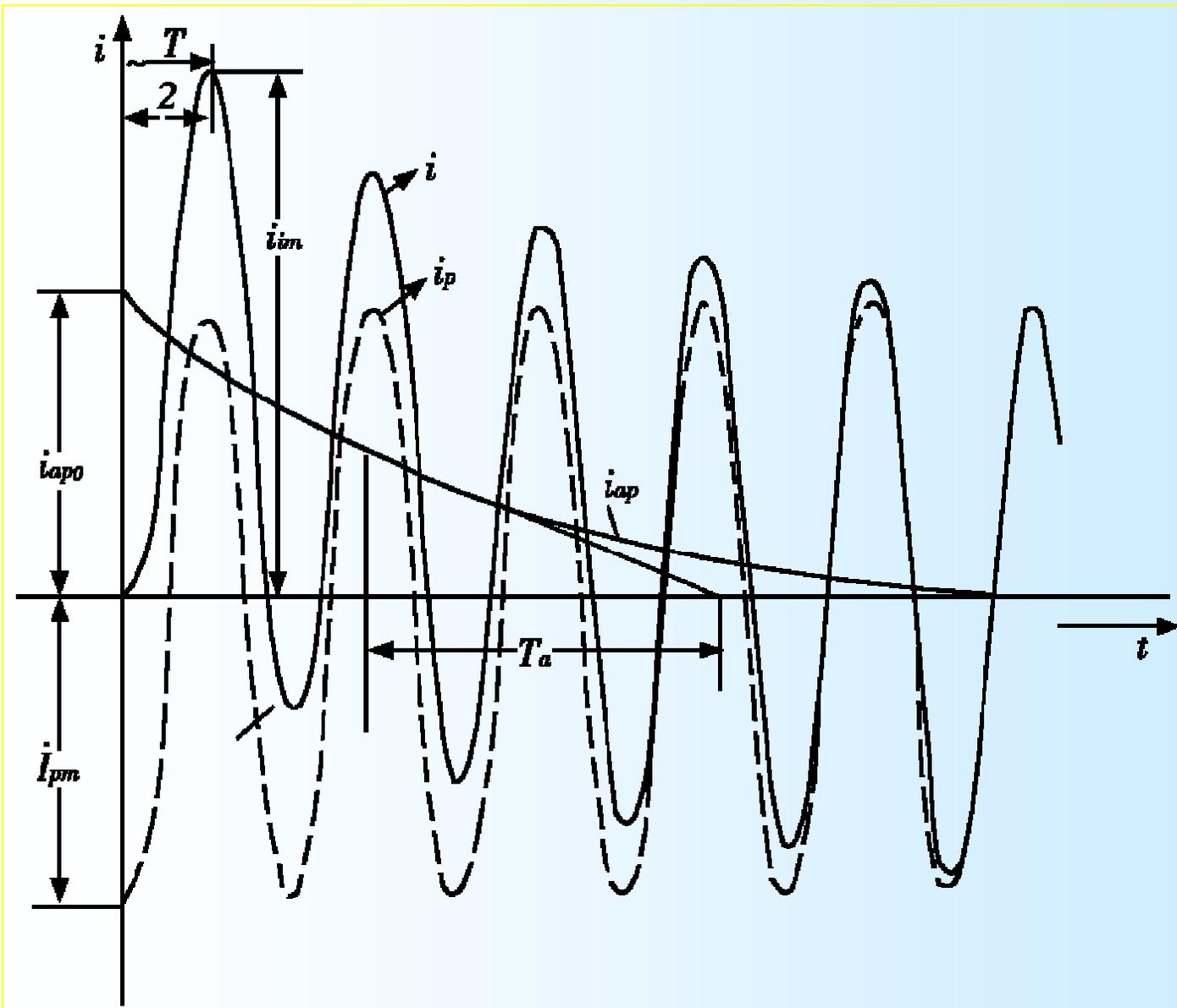


图1-4 非周期分量有最大可能值时的短路电流波形图

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

$$I_t = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t-T/2}^{t+T/2} i_t^2 dt} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t-T/2}^{t+T/2} (i_{pt} + i_{apt})^2 dt}$$

为了简化计算，通常**假定**：**非周期电流**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

$$I_{apt} = i_{apt}$$

对于**周期电流**，认为它在所计算的周期内是幅值恒定的，其数值即等于由周期电流包络线所确定的 t 时刻的幅值。因此， t 时刻的周期电流有效值应为

$$I_{Pt} = \frac{I_{Pmt}}{\sqrt{2}}$$

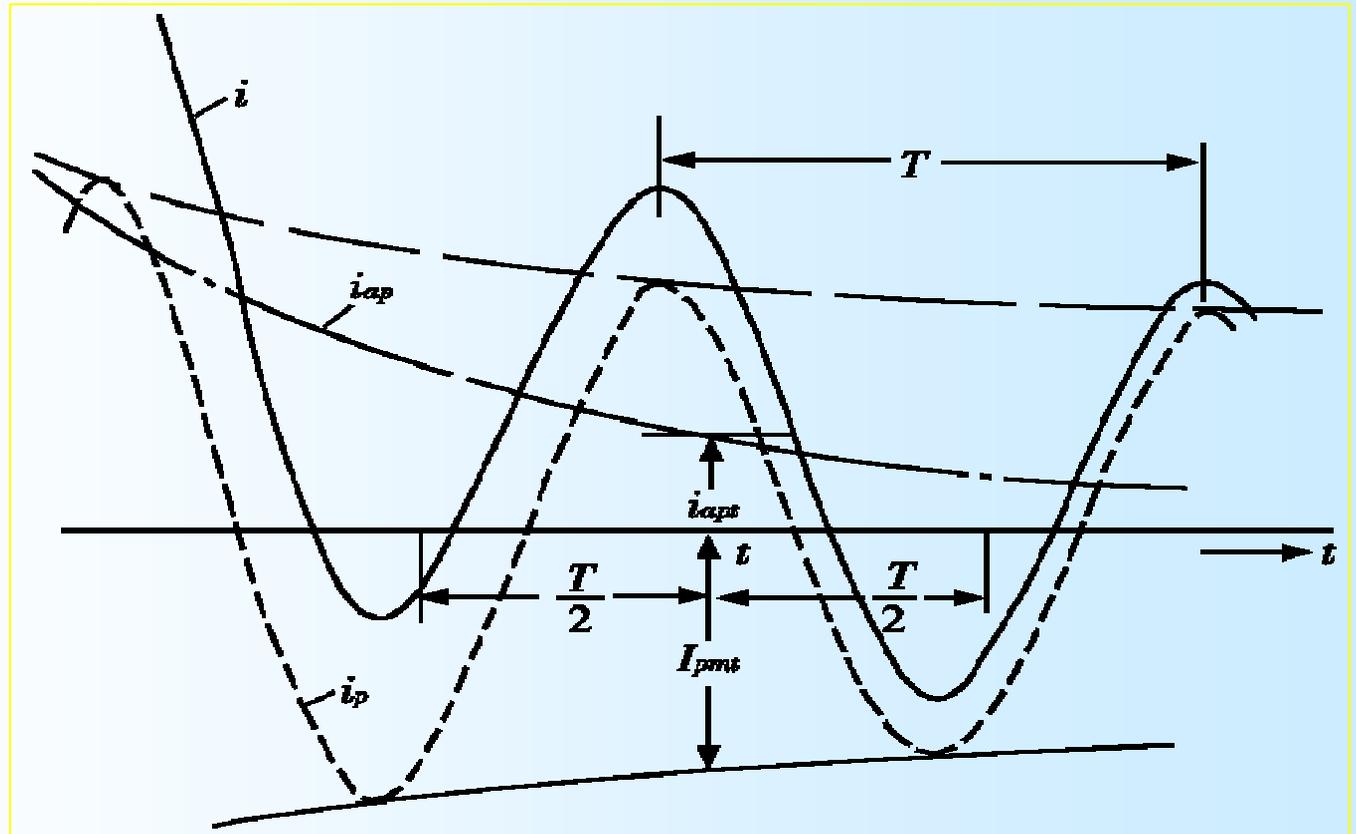


图1-5 短路电流有效值的确定

根据上述假定条件，公式(6-10)就可以简化为：

$$I_t = \sqrt{I_{pt}^2 + I_{apt}^2}$$

短路电流最大有效值出现在第一周期，其中心为： $t=0.01s$

$$I_{ap} = I_{Pm} e^{-0.01/T_a} = (k_{im} - 1) I_{Pm} \quad k_{im} = 1 + e^{-0.01/T_a}$$

短路电流的最大有效值：

$$I_{im} = \sqrt{I_p^2 + [(k_{im} - 1)\sqrt{2}I_p]^2} = I_p \sqrt{1 + 2(k_{im} - 1)^2}$$

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。

四、短路容量

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

$$S_t = \sqrt{3}V_{av}I_t$$

用标么值表示时

$$S_{t*} = \frac{\sqrt{3}V_{av}I_t}{\sqrt{3}V_B I_B} = \frac{I_t}{I_B} = I_{t*}$$

短路容量主要用来校验开关的切断能力。