

## 短路电流

### 开关开合与暂态过程 3

#### 1. 非对称电流的有效值和峰值

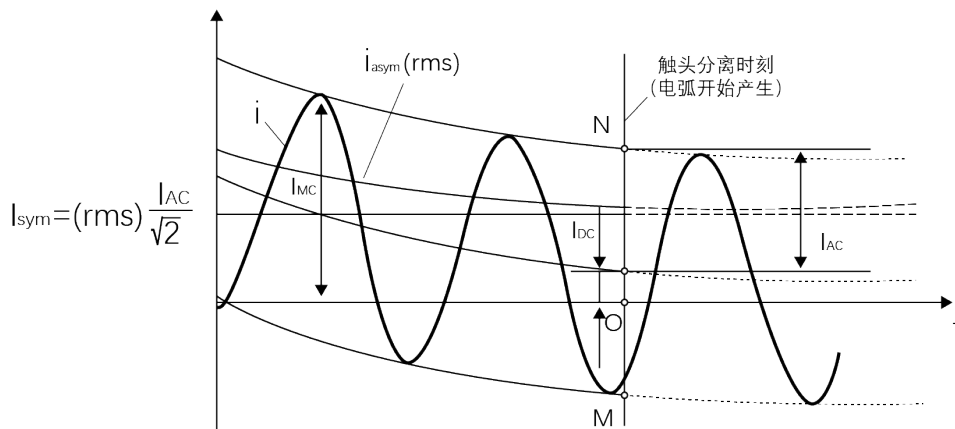
在由短路引起的暂态条件下，电路中通常会发生电流开断。因此，根据 IEC62271-100，额定短路开断电流由两个值表征：

对称分量的有效值；

导致触头分离时刻直流分量百分数的额定短路开断电流的直流时间常数。

短路电流起始后任意时刻的对称分量和直流分量百分数如图 4 所示。

触头分离时刻的直流分量由下式确定：



短路关合与开断电流以及直流分量百分数的确定

$$I_{DC} = I_{AC} e^{-\frac{T_r + T_0}{\tau}} \quad (6-8)$$

式中  $T_0$ ——由制造商声明的最短分闸时间；

$T_r$ ——继电器保护时间（0.5 个周波；50Hz 时为 10ms，60Hz 时为 8.3ms）；

$\tau$ ——额定短路电流的直流时间常数（45ms、60ms、75ms、120ms）

$I_{AC}$ ——对称分量的峰值

非对称电流的有效值可以用电流的对称分量有效值和直流分量来表示：

$$I_{asym} = \sqrt{I_{sym}^2 + I_{DC}^2} = I_{sym} \sqrt{1 + 2p^2} \quad (6-9)$$

触头分离时刻的直流分量百分数可以依照图 6-12 来确定：

$$p = \frac{I_{DC}}{I_{AC}} 100\% = 2 \frac{\overline{ON} - \overline{OM}}{\overline{MN}} 100\% \quad (6-10)$$

该图也给出了全电流的有效值  $I_{asym}$  随时间的变化关系。IEEE 标准是在触头分离时刻包含直流分量的全电流的基础上确定开断额定值。

短路电流的表达式可以写成以下形式：

$$i = -I_m e^{-\frac{Rt}{L}} \sin \left[ \psi - \arctan \left( \frac{\omega L}{R} \right) \right] + I_m \sin \left[ \omega t + \psi - \arctan \left( \frac{\omega L}{R} \right) \right] \quad (6-11)$$

其中，

$$I_m = \frac{U_m}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} \quad (6-12)$$

$\psi$  表示短路发生时刻相对电压零点的电源电压相位角。

在该表达式中， $u(t) = U_m \sin(\omega t + \psi)$  是系统电压， $R$  是包括故障部分在内的电路中电阻的总和， $L$  则是电路的全部电感。通过该表达式可以看出比值  $\tau$  就是直流分量的时间常数。对于大多数的电路来说，可以假定  $R \ll \omega L$ ，表达式(6-11)简化为：

$$i = I_m e^{-\frac{t}{\tau}} \cos \psi - I_m \cos(\omega t + \psi) \quad (6-13)$$

式(6-13)的第一部分按照指数规律衰减，称为直流分量。对于  $\psi = \pi/2$ ，此时在电压峰值发生短路，直流分量为零，电流立即进入稳定的对称电流状态。换句话说，不存在暂态过程。对于  $\psi = 0$  或  $\pi$  的整数倍，此时短路发生时刻的电压为零，短路电流将达到最大值，其峰值取决于电网的直流时间常数  $\tau$ ，接近对称电流的两倍。这种情况发生的可能性很小，但需要考虑。也就是说，由系统电压自身引起的短路并不是在任意时刻发生，通常当受到破坏或污染的绝缘系统失效后在电压峰值附近发生。雷电击穿是随机发生的，因此会在系统电压过零时发生短路。

对于 50Hz 的额定频率和直流时间常数为 45ms 的电路来说，短路电流在短路发生后约 10ms，即半个周期时，达到峰值  $I_{MC}$ ：

$$I_{MC} = \sqrt{2} I_{sym} \left[ 1 + e^{-\frac{10}{45}} \right] = 2.55 I_{sym} \quad (6-14)$$

在 60Hz 时，其值会略高：

$$I_{MC} = \sqrt{2} I_{sym} \left[ 1 + e^{-\frac{8.33}{45}} \right] = 2.69 I_{sym} \quad (6-15)$$

系统中的电阻损耗使短路电流峰值出现的略早，并且具有较小的幅值，这取决 $R/\omega L$ 的比值。

伴随关合操作的暂态过程中电流第一个大半波的峰值通常称为关合电流。

IEC62271-100 根据额定短路开断电流对称分量有效值的倍数来规定额定短路关合电流：

- 1) 对于 50Hz 的额定频率和 45ms 的时间常数标准值，其值为 2.5；
- 2) 对于 60Hz 的额定频率和 45ms 的时间常数标准值，其值为 2.6；
- 3) 对于时间常数大于 45ms 的特殊工况，与额定频率无关，其值均为 2.7。

而 IEEE/ANSI 则规定了 2.6 的系数。

与其他设备一样，处于合闸位置的断路器在机械上必须承受额定关合电流产生的电动力。电动力与瞬时电流值的二次方成正比，在非对称电流的峰值达到最大。另外，即使在合闸时断路器自身发生短路的情况下，**断路器也必须承受该峰值电流，因此，断路器的额定峰值耐受电流与额定短路关合电流相等。**

处于合闸位置的断路器，还必须在额定短路持续时间内承载与其额定短时耐受电流相等的电流。这是因为持续时间而产生的热负荷，或者更精确地说是电流通过期间 $i^2 dt$ 的积分值。额定短时耐受电流与额定短路开断电流相等。额定短路持续时间的标准值是 1s(IEC)和 2s(IEEE)。也可以选择小于或大于 1s 的数值，IEC 推荐值为 0.5s、2s 和 3s。

为了防止导体和电连接过热，规定的额定短路持续时间是非常短的。最高温度不应造成对邻近部件的显著损坏。

#### 延伸阅读

《高压断路器-理论、设计与试验方法》 米尔萨德\*卡普塔诺维克 (Mirsad Kapetanovic)