

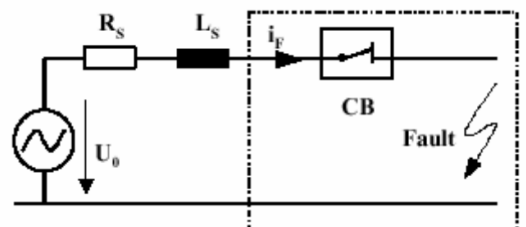
## 短路电流限制的原理

电力系统中的短路故障是不可避免的。除了故障点附近的损坏，例如，由于强烈的电弧的影响，流经故障回路的短路电流会对架空线、电缆、变压器和开关设备等设备施加较高的电动力和热应力。系统中的断路器还必须能够（选择性地）遮断和隔离故障点。

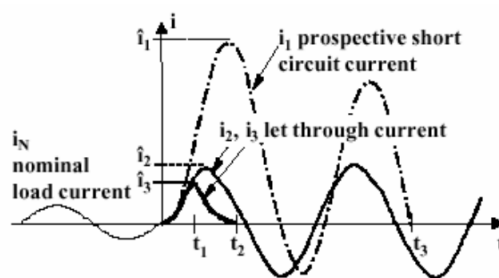
然而随着全球对电力能源需求不断增长，用户需要更大容量的变压器或者新增的发电接入现有系统，以满足负荷的增长，同时越来越多的系统进行互联，这就会导致客户电力系统短路电流水平升高，导致电力系统在短路电流承受能力方面接近甚至超过其极限。因此，短路电流限制成为行业所面临的挑战，这个挑战主要的难度在于：

- 如何在确保系统可靠性、供电连续性的前提下，有效地限制短路电流
- 在有效限制短路电流的前提下如何尽可能提高系统效能减低损耗
- 如何尽可能降低工程投资造价

图 1a) 显示了一个简化的等效电路，用于讨论与电力系统中短路电流限制相关的问题[5]。与故障之前流动的负荷电流无关，短路电流在故障 0 秒后从 0 kA 开始以一定的上升速率迅速增大，具体取决于电路的参数（电源电压  $U_0$  和电源阻抗  $Z_s$  以及故障初始相位角。当短路电流未被限制时，其波形如图 1b) 中波形为  $i_1$ ，也就是系统的预期的短路电流。如果其短路电流水平处于 CB 的遮断能力之内，则该短路电流将在  $t_3$  处由 CB 遮断。



a)



b)

图 1：短路电流限制

a) 短路故障等效电路图 b) 短路电流典型波形图

由于

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

R 是包括故障部分在内的电路中电阻的总和 L 是电路中全部电感

所以限制短路电流的最简单方法是使用适当高值的阻抗  $Z_s$ ，即：

- 实时的在系统内增加网络阻抗，如电网分层分区、母线分段、提升电压等级等电网拓扑结构级手段，此解决方案是最为常用的解决办法，该方法的弊端是降低了系统的可靠性、增大了复杂性，降低了系统的效能，例如：母线分段。
- 采用限流电抗器或者高阻抗变压器等，以限制短路电流的上升。该解决方案的缺点在于，它显然会在正常运行期间影响系统，降低系统的效能，而且在高负载电流下会导致相当大的电压降。
- 采用狭义上的故障电流限制器，在正常的情况下，阻抗非常小，不影响系统的正常运行，一旦系统发生预期短路电流超过开关设备额定值这样的短路故障时，该设备在短路电流上升的初期 5ms 左右，迅速在电路中投入阻抗变换部件，以限制短路电流的上升。该解决方案优点是可以充分发挥系统的效能的同时，可以提高系统的可靠性。

如图 b)所示，为了能够限制短路电流  $i_1$  的第一个峰值  $\hat{i}_1$ ，故障电流限制设备必须在时间间隔  $t_1$  内运行，并导致电流的上升速率为零或负，这可以通过在电路中在短路电流上升的初期迅速投入足够高的电压或阻抗来实现，这样的动作需要使用非线性元件并且分别导致形状为  $i_2$  或  $i_3$  的电流，这取决于电流是仅被限制 ( $i_2$ ) 还是被限制并被开断 ( $i_3$ )，与此电流限制相关的是产生了与叠加的  $di/dt$  成正比的过电压。