

故障电流限制器

故障电流限制器是一种国际上已经广泛使用的经济的先进的解决方案，其可以在第一个大半波内限制流经它的短路电流。使用故障电流限制器，即使预期的短路电流超过其额定峰值和短时耐受电流，设备仍可继续使用；对于断路器，其额定短路断开电流也是如此。这样就可以避免用户将所有的开关、母线、互感器等进行升级改造，或者至少将改造升级推迟到以后方便的时间。对于新建的系统，故障电流限制器可以允许用户使用额定值较低的设备，这样会节省大量成本。

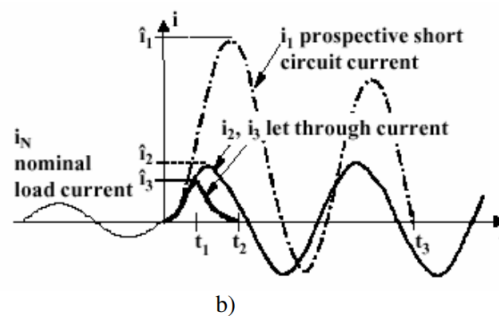


图 1：短路电流限制典型波形图

如上篇《短路电流限制的原理》所述，限制短路电流的最简单方法是使用适当高值的阻抗 Z_s 。狭义上的故障电流限制器是最佳的解决方案，不仅可以充分发挥系统的效能的同时，可以提高系统的可靠性。

故障电流限制器为了能够限制短路电流 i_1 的第一个峰值 \hat{i}_1 ，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。

故障电流限制器的限流特征参数

在下面的特征参数中，定义了故障电流限制器的短路电流限制行为。这些特性和关系涵盖了现有故障限流装置（例如，限流电抗器，高压限流熔断器，快速限流器 (Is-limiter 或 UFCL-limiter)）以及仍在开发中的故障限流装置（例如超导故障限流器，固态故障限流器）。并适用于以下定义（请参见图 2）：

- 额定电流的峰值 (I_r) -1
- 最小启动电流 (\hat{i}_{min}) -2
- 被限制后最大的短路电流 (\hat{i}_{max}) -3
- 预期短路电流峰值 (\hat{i}_p) -4
- 跟随电流的峰值 (\hat{i}_{fol}) -5

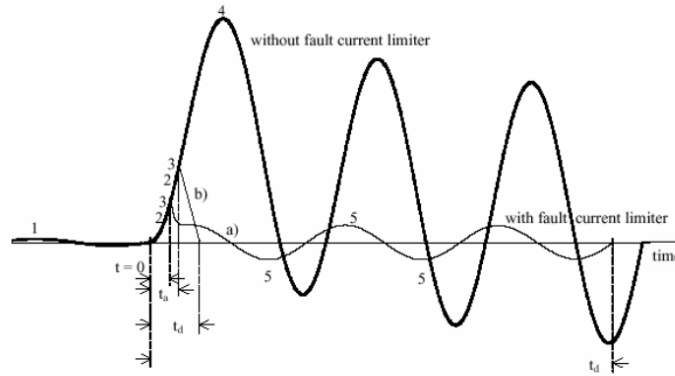


图 2：有关于故障电流限制器参数定义的波形图

- a) 只有限流功能的限流装置
- b) 具有开断功能的限流装置

然后可以使用下面给出的关系来描述故障电流限制器的性能特征：

η_0 ：跟随电流限制比

限制后电流的峰值 (5) 与额定电流的峰值 (1) 之比，也称为固定电流限制比 η_s

η_1 ：峰值电流限制比

被限制后最大的短路电流 (3) 与预期短路电流峰值 (4) 之比

η_2 ：限流比

限制后电流的峰值 (5) 与预期短路电流峰值 (4) 之比

t_a ：动作时间

从 $t = 0$ 出现故障到被限制后最大的短路电流 (3) 所需的时间

t_d ：故障持续时间

从故障在 $t = 0$ 开始到故障电流中断的时间

t_r ：恢复时间

从电流中断到故障电流限制器以低阻抗返回到其初始操作状态之间的时间

目前在全球市场，之于基于火工技术的快速限流器，由于其具备开断的功能，市场及制造商对动作时间的定义或有不同，在设备招标采购的过程中，导致技术评估困难，所以迫切需要制造商及用户对快速限流器有关时间参数的要求进行规范和统一。根据英诺威电气长期的实践经验，故障持续时间 t_d (亦可称为全开断时间) 从应用角度是统一技术要求的最佳参数，即， $t_d < 10ms$ 。