

## 浅析零损耗深度限流装置

近年来，在国内市场上出现了一种“国际首创”的，叫做“零损耗深度限流装置”的设备，以下简称“深度限流”，该设备采用一种高速真空断路器旁路限流电抗器而成，该断路器可在电流第一次过零时实现首开相开断，正常情况下电流流经断路器，发生严重短路时断路器开断投入电抗器以限制短路电流，避免了正常运行情况下限流电抗器的巨大的损耗，故而曰之为“零损耗”，由于断路器开断之后能重新闭合继续投运，从而形成了比较好的卖点。



某钢厂深度限流装置的应用

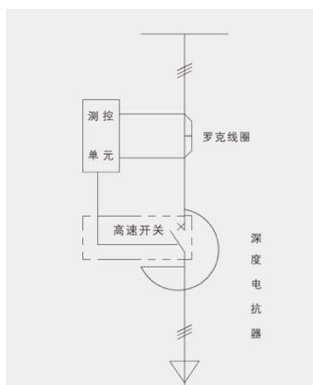


深度限流装置的控制面板

近年来该种设备在国内钢铁、冶金、化工、发电等一些行业进行了应用，那么这种设备到底是什么样的工作原理？能否有效的限制系统短路电流？它与系统之间的相互影响是什么？英诺威电气在做了大量的研究以及实际调查后，对此设备做一浅析如下，望对了解该设备有所帮助：

### 1. “深度限流”的工作原理：

深度限流是由一个具有高速分断能力的改进型永磁机构的断路器并联一个限流电抗器形成主回路，正常的情况下电流从断路器流过，短路电流水平达到设定值时，测控单元发出跳闸指令，断路器高速分闸，首开相在电流第一次过零时实现分断，电流被迫导入到限流电抗器，限流电抗器限制短路电流，故障回路的断路器遮断短路电流，隔离故障点，然后深度限流断路器合闸，设备又回到原来的初始状态。其原理图如下：



某深度限流厂家产品资料中，详细描述如下：

### 工作原理

本装置通过罗克线圈，监视系统电流，当短路电流大于设定的幅值，高速DCP通过专用算法，快速精确的预测出三相电流过零点的精确时间，分别在每相电流过零之前发出信号。

高速开关在电流接近过零点时三相分别准确分闸开断，短路电流换流进入深限流电抗器中，限制短路电流，短路电流幅值大大降低。

测控单元向后台发出动作指示信号。

本装置可在 **7~15毫秒内** 可将短路电流限制在原幅值 **50%** 以下，使系统所受到的短路冲击大大降低，保护系统内变压器发电机等电气设备，同时提高了短路点负载真空断路器使用寿命，保证了系统的安全运行。

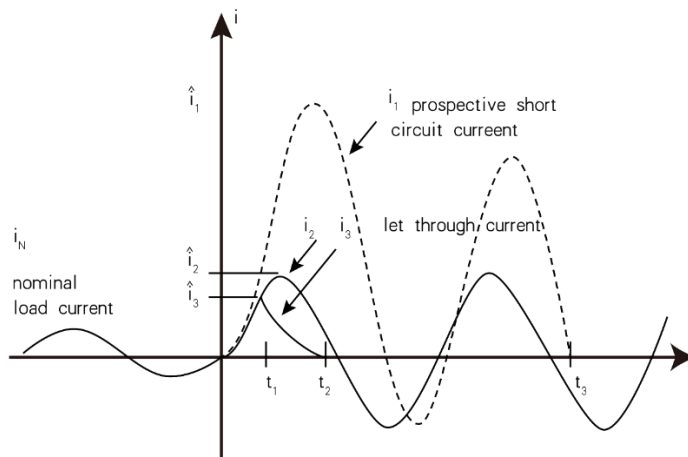
短路故障切除后，测控单元自动检测母线电压回升立即给高速开关发出合闸命令，深限流电抗器退出，系统即可恢复正常运行。

图 2

## 2. “深度限流”到底是不是一个有效的限流装置？

这似乎是一个几近完美的方案。那么该设备到底是不是一个有效的限流装置呢？如前文所介绍，故障电流限制器（限流装置）是一个系统性的设备，其关系到整个系统的安全，意义重大，所以要评估该设备，最为重要的是要看该设备能否有效限制系统预期短路电流。

根据短路电流破坏系统的机理，以及国际大电网会议组织 [CIGRE](#) 的定义，一个故障电流限制器（限流装置）有两种，其功能见如下波形图：



也就是说，不论是什么类型的故障电流限制器，比如超导故障电流限制器、限流电抗器、基于火工爆破技术的快速限流器等等，都应具备限制预期短路电流第一个大半波的能力（the first cycle），具体详见章节《故障电流限制器》或浏览 CIGRE 官网如下网址《Fault Current Limiters Report on the Activities of CIGRE WG A3.10》

下面我们来分析下“深度限流”的限流特性如何：

- 从原理的角度，根据交流断路器的开断机理<sup>[1]</sup>，所有交流断路器都需要电流零点来实现分断，也就是说

断路器最快也要在故障电流的第一个零点才能实现分断，这个时间是通常在 20ms 左右，在此之后限流电抗器才能投入到电路中限制短路电流。这就意味着短路电流在 10ms 左右已经达到最大的瞬时值，即第一峰值。那么我们就根据其原理可以得出结论其不具备限制预期短路电流第一个大半波的能力，不是一个真正的“故障电流限制器”。

- 任何原理或设备，其实是否有效、科学都需要通过试验来验证，即便是爱因斯坦的相对论。通过我们的调查了解，该类设备的试验报告中的数据 and 波形图，是以上原理预期是一致的，读者可以求证。

那么我们就可以得出一个结论：“深度限流”这种设备不是真正意义上的故障电流限制器。

### 3. 更深层次的问题

作为一种故障电流限制器，此设备应能在各种工况下解决限流的问题，然而如果我们进一步延伸思考的话，还存在以下更深层次的问题：

A. “深度限流”应用于直流分量较高的系统时，会存在两种风险：

- 系统预期短路电流的直流分量超过了该设备中“高速开关”的直流分量开断能力的时，“高速开关”将无法分闸，也就意味着限流器电抗器不能投入到电路中以限制短路电流。
- 在一些发电系统存在“无电流零点的短路电流”的短路故障现象，短路电流在多个周波之后才过零，如果采用“深度限流”，该设备中的“高速开关”将在多个周波之后才能分断，这就意味着系统故障回路及故障回路的断路器将承受多个周波的超出自己额定值的短路电流。系统的动、热稳定均将遭到破坏。

B. “深度限流”中的“深度”，有待商榷。

经过调查研究，此“深度”对应的是指这个限流电抗器的限流比，但是在实际的工程应用中这些厂家所采用的该数值却又是电抗率，这里就出现问题了，电抗率和限流比是两个完全不同的概念，数值上也是不相等的。我们在市场上见到 40%电抗率的电抗器，这个是不严谨的，具体有关限流电抗器的电抗率的选型请参见章节《限流电抗器及高阻抗变压器》。

综合上述内容，“深度限流”不是真正意义上的故障电流限制器。如果该设备应用到系统中，当发生异常高的短路故障时，它将无法保护系统，在 10ms 左右系统故障回路的断路器的动稳定将遭到破坏，如果持续的话热稳定也会遭到破坏，甚至还会造成“火烧连营”似的故障扩大化。

#### [参考文献]

[1] [高压断路器-理论、设计与试验方法\[M\] \(波黑\)米尔萨德·卡普塔诺维克\(Mirsad Kapetanovic\)著, 建华、闫静 译](#)