

# 新型磁控式故障限流器

李晓明<sup>1</sup>, 梁军<sup>1</sup>, 王葵<sup>1</sup>, 王雷<sup>1</sup>, 陈晓<sup>2</sup>

(1. 山东大学 电气工程学院, 山东 济南 250061; 2. 国核电力规划设计研究院, 北京 100032)

**摘要:** 提出一种新型磁控式故障限流器, 它由电流源提供直流电流, 并采用晶闸管导通切断直流电流。阐述了新型磁控式故障限流器的基本工作原理与基本结构。设计了一台 220 V 的新型磁控式故障限流器实验样机, 对样机的性能进行了测试。测试结果表明: 电力系统正常运行时, 磁控式故障限流器对电力系统正常输电能力影响较小; 电力系统发生短路故障时, 磁控式故障限流器可以用 20 ms 左右的时间把短路电流减小至危害较小的程度。

**关键词:** 故障限流器; 饱和电抗器; 开关特性; 短路电流; 继电保护; 电力系统

**中图分类号:** TM 51

**文献标识码:** A

**DOI:** 10.3969/j.issn.1006-6047.2013.06.008

## 0 引言

电力系统短路故障的危害很大, 尽快切除短路电流是电力系统继电保护的任务。由于切除短路电流任务是由继电保护装置和断路器共同完成的, 而断路器从接收到跳闸指令到熄灭电弧需要 60 ms 左右的时间, 继电保护动作速度加快到一定程度以后所带来的效益逐渐饱和。所以, 超高速的继电保护必须配合超高速的开关才有意义。

短路故障限流器(也称故障电流限制器)是另一种减小短路电流对电力系统的危害的措施。近年来, 短路故障限流器的研究受到很大关注<sup>[1]</sup>, 出现了众多不同原理的短路故障限流器, 例如磁控式故障限流器(也称饱和电抗型故障限流器)、串联谐振型故障限流器、桥路型故障限流器、超导材料构成的故障限流器等<sup>[2-3]</sup>。目前, 各种故障限流器限流状态的短路电流仍然比较大, 对电力系统仍然有较大危害。如果把故障限流器的限流状态进一步减小, 达到励磁电流数量级, 使导通状态与限流状态的差距得到进一步加大, 短路故障限流器就可以作为一种柔性开关使用。如果故障限流器减小短路电流的速度快于基于机械原理的断路器, 则其与超高速保护配合, 可超高速减小短路电流的危害。

磁控式故障限流器的工作原理可追溯到磁放大器, 其优点与缺点都很明显<sup>[4-5]</sup>。由于磁控式故障限流器的某些优点是其他类型故障限流器不可替代的, 所以, 本文对传统磁控式故障限流器扬长避短, 研究一种新型磁控式故障限流器, 并初步探讨其特性与指标。

## 1 基本原理与基本结构

### 1.1 基本原理

变压器铁芯具有非线性特性, 如图 1 所示。在铁

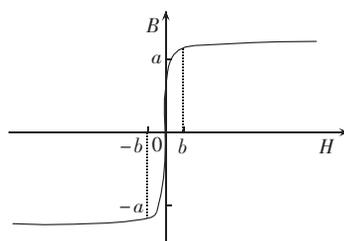


图1 变压器  $B-H$  特性曲线  
Fig.1  $B-H$  curve of transformer

芯不饱和的情况下, 变压器工作在区域  $[-a, a]$ , 一次线圈流过很小的励磁电流, 如果把变压器一次线圈串入输电回路, 交流电流几乎处于关断状态; 在铁芯深度饱和的情况下, 变压器工作在区域  $(-\infty, -b) \cup (b, +\infty)$ , 一次线圈可以流过很大的电流, 如果把变压器一次线圈串联接入输电回路, 变压器一次线圈对于交流电具有开关特性。新型磁控式故障限流器是变压器参数与饱和电抗器性能结合的产物<sup>[6]</sup>。

磁控式故障限流器铁芯的饱和与不饱和可通过改变铁芯上控制线圈(或称为直流线圈)中的直流电流的大小来实现。当电力系统正常运行时, 如果直流线圈中有足够大的直流电流通过, 铁芯深度饱和, 磁控式故障限流器的交流线圈呈现小电抗, 不影响输电回路正常送电; 当电力系统发生短路时, 直流线圈中的直流电流快速减小, 磁控式故障限流器的交流线圈呈现很大电抗, 可把短路电流减小至励磁电流数量级。

### 1.2 基本结构

开关特性饱和电抗器的结构与连接方式如图 2 所示。日字型铁芯上有 4 个线圈,  $L_1, L_3$  为交流线圈,  $L_2, L_4$  为直流线圈。两侧铁芯的截面积相等, 中间铁芯的截面积等于两侧铁芯的截面积之和; 交流线圈  $L_1$  与  $L_3$  的匝数相等, 直流线圈  $L_2$  与  $L_4$  的匝数相等。交流线圈  $L_1$  产生的磁通  $\Phi_1$  与交流线圈  $L_3$  产生的磁通  $\Phi_3$  大小相等, 方向都向上, 都经过中间铁芯形成

收稿日期: 2012-03-19; 修回日期: 2013-04-16

基金项目: 山东省自然科学基金资助项目(ZR2009FM024)

Project supported by the Natural Science Foundation of Shandong Province(ZR2009FM024)

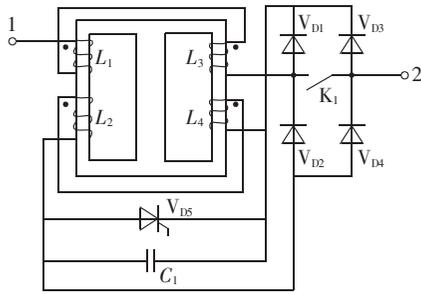


图 2 开关特性饱和电抗器的结构与连接方式

Fig.2 Configuration of saturated reactor with switching characteristic and its connection mode

闭合回路; 直流线圈  $L_2$  产生的磁通  $\Phi_2$  与直流线圈  $L_4$  产生的磁通  $\Phi_4$  大小相等, 方向相反, 直流磁通在两侧铁芯形成的磁通回路流动。

当开关  $K_1$  断开时, 交流电流从端子 1 输入, 经交流线圈  $L_1、L_3$  输入全桥整流电路; 输电回路的交流电流经全桥整流电路整流后给直流线圈  $L_2、L_4$  提供直流电流, 交流与直流电流呈串联状态。交流线圈匝数为  $N_1$ , 直流线圈匝数为  $N_2$ , 且  $N_2=2N_1$ , 保证  $I_d N_2 > I_m N_1$  ( $I_d$  为输入直流线圈的直流电流值,  $I_m$  为交流线圈交流电流的峰值)。不论输电回路的电流大小, 饱和电抗器铁芯的工作区域为  $(-\infty, -b) \cup (b, +\infty)$ ; 铁芯两侧处于饱和状态, 交流线圈  $L_1、L_3$  对输电回路的阻抗很小, 呈导通状态。

当开关  $K_1$  闭合时, 直流线圈  $L_2、L_4$  失去电压, 直流线圈中的直流电流下降为零。设计交流线圈  $L_1、L_3$  的匝数, 在交流线圈  $L_1、L_3$  两端加额定交流电压时, 铁芯工作在  $(-a, a)$ ; 流过交流线圈  $L_1、L_3$  的电流为励磁电流, 输电回路几乎切断。

当  $K_1$  断开时, 饱和电抗器导通输电回路; 当  $K_1$  闭合时, 饱和电抗器几乎截止输电回路。饱和电抗器工作在开关状态。

当  $K_1$  断开时,  $K_1$  两端的电压很小, 为直流电流在直流线圈电阻上的电压降。当  $K_1$  闭合时,  $K_1$  中只流过很小的励磁电流。所以,  $K_1$  从闭合状态跳开时, 只切断很小的励磁电流, 产生的电弧很小。由于  $K_1$  触点的工作电流和工作电压都很小, 可以选用工作可靠性较高的交流接触器的触点。

开关特性的饱和电抗器通过控制低电压、小功率的  $K_1$  触点, 实现对高压输电回路的开关控制。

二极管  $V_{D1}、V_{D2}、V_{D3}、V_{D4}$  的容量按最大负荷电流设计。输电回路如果发生短路, 快速闭合  $K_1$ , 短路电流不流过二极管  $V_{D1}、V_{D2}、V_{D3}、V_{D4}$ , 不会造成二极管过流损坏。

输电回路如果发生短路, 突然增大的电流使直流线圈  $L_2、L_4$  两端电压增大, 此时快速闭合  $K_1$ , 短路电流不会流入直流线圈  $L_2、L_4$ , 直流线圈  $L_2、L_4$  两端不会产生过电压。

饱和电抗器处于导通状态时, 交流线圈的电流没有畸变, 直流线圈  $L_2、L_4$  两端不会产生不平衡交流过电压; 饱和电抗器处于截止状态时, 交流线圈的电流也没有畸变, 直流线圈  $L_2、L_4$  两端不会产生不平衡交流过电压。短路的暂态期间, 铁芯在饱和与非饱和之间交替变化, 交流线圈的电流产生畸变, 直流线圈  $L_2、L_4$  两端将产生不平衡交流过电压。大功率稳压管  $V_{D5}$  与全桥整流电路都保证负半波电压接近于零, 直流线圈出口负半波不会过电压。正半波期间, 由  $V_{D5}$  保证正半波电压不超过  $V_{D5}$  的稳定电压, 直流线圈出口正半波也不会过电压。

开关特性饱和电抗器的开关  $K_1$  用晶闸管电路代替<sup>[7]</sup>, 构成新型磁控式故障限流器如图 3 所示。为了表述方便, 交流线圈  $L_1、L_3$  的组合用  $L_7$  表示, 直流线圈  $L_2、L_4$  的组合用  $L_8$  表示。如果控制电路(或继电器保护)发出第 1 个触发脉冲, 晶闸管  $V_{T6}、V_{T7}$  立即导通, 且在电压第 1 个过零点关断。如果继电器保护没有发出第 2 个脉冲,  $V_{T6}、V_{T7}$  将不再导通;  $V_{T6}、V_{T7}$  只旁路不到半个周期的电流, 磁控式故障限流器仍然保持原有的导通状态。如果继电器保护发出序列触发脉冲, 使  $V_{T6}、V_{T7}$  始终导通, 磁控式故障限流器就会进入截止状态。开关  $K_1$  用晶闸管电路代替以后, 动作速度更快, 更利于限制  $V_{D1}、V_{D2}、V_{D3}、V_{D4}$  过电流和直流线圈过电压。只要  $V_{T6}、V_{T7}$  的浪涌电流  $I_{TSM}$  参数大于实际值, 就能保证晶闸管  $V_{T6}、V_{T7}$  不被损坏。晶闸管的浪涌电流值一般是额定电流值的 10 倍, 选择晶闸管的额定电流值等于输电回路最大负荷电流的峰值, 能够保证磁控式故障限流器在限制短路电流的同时, 保护晶闸管  $V_{T6}、V_{T7}$  不被损坏。

控制模块有 2 个输入端子连接晶闸管  $V_{T6}、V_{T7}$  的两端, 获得  $V_{T6}、V_{T7}$  正极与负极之间的电压; 控制模块另外 2 个输入端子通过电压互感器(TV)与交流线圈的 2 个端子连接, 获得交流线圈 2 个端子之间的电压; 控制模块有 2 个输出端子分别控制  $V_{T6}、V_{T7}$  的导通状态。

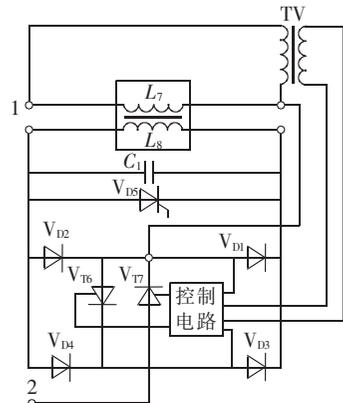


图 3 新型磁控式故障限流器结构

Fig.3 Structure of magnetic-control-type FCL

电力系统结构示意图如图 4 所示。磁控式故障限流器输入端子 1 连接电力系统输电回路电源侧, 输出端子 2 接电力系统输电回路负荷侧。



图 4 电力系统结构

Fig.4 Structure of power system

当磁控式故障限流器投入正常运行的电力系统时, 负荷电流与直流电流呈串联状态; 输电回路的负荷电流小, 给直流线圈  $L_8$  提供的直流电流就小; 反之, 所提供的直流电流就大。由于直流线圈  $L_8$  的直流电流有自我调节能力, 可减小电力系统正常运行时的损耗。

控制模块通过检测晶闸管  $V_{16}$ 、 $V_{17}$  两端正向电压瞬时值的大小来判断电力系统是否发生短路。当输电回路发生短路故障时, 晶闸管  $V_{16}$ 、 $V_{17}$  两端正向电压瞬时值超过整定值, 控制模块立即给  $V_{16}$ 、 $V_{17}$  发出导通命令。该结构简单、方便、可靠, 节省了电流互感器, 且可实现半导体器件的保护功能。

为了进一步提高磁控式故障限流器的综合效果和动作的可靠性, 增加一个动作判据。控制模块通过 TV 检测交流线圈两端子之间的电压, 当其大于设定值时, 使  $V_{15}$ 、 $V_{16}$  在交流线圈两端子电压大于设定值期间全导通。

## 2 磁控式故障限流器设计与实验

为了验证磁控式故障限流器工作原理, 设计制造了一套电压等级为 220 V、电流为 5 A 的磁控式故障限流器。

饱和电抗器参数: 线圈  $L_1$ 、 $L_4$  的额定工作电压为 110 V, 额定工作电流为 5 A; 线圈  $L_2$ 、 $L_5$  的额定工作电压为 220 V, 额定工作电流为 5 A。为了研究方便和测试更多特性, 线圈  $L_2$ 、 $L_5$  是由 2 个 110 V 线圈串联构成; 饱和电抗器中间铁芯还增加了 2 个线圈。饱和电抗器铁芯长 240 mm, 高 200 mm, 厚 80 mm, 侧柱截面积 3 200 mm<sup>2</sup>。对线圈  $L_2$  进行伏安特性试验测量, 试验数据如表 1 所示。

在实验室构建单相试验电路, 电源电压 220 V, 负载为空心电抗器。不同负荷电流下, 测得磁控式故障限流器端子 1 与 2 之间的电压有效值如表 2 所示。从表中可以看出, 电力系统正常运行时, 磁控式故障限流器有感性电压降, 大约为额定电压的 10%。

系统阻抗为  $j0.3 \Omega$ , 故障前负荷电流为 4 A。电力系统出口短路, 测得磁控式故障限流器两端电压  $u_1$  和电流 (已转化为电压  $u_2$ ) 如图 5 所示。由于电压、

表 1 饱和电抗器伏安特性数据

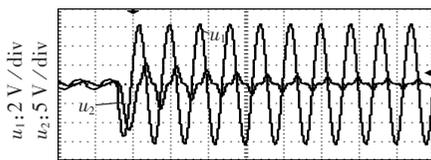
Tab.1 V-A characteristic data of saturated reactor

电流/A	电压/V	电流/A	电压/V
0.020	2.40	0.500	203
0.050	9.70	0.750	220
0.070	23.8	1.000	230
0.100	61.2	2.000	249
0.150	116	3.000	260
0.200	145	5.000	276
0.300	174	7.500	292
0.400	191		

表 2 正常运行时磁控式故障限流器两端电压降

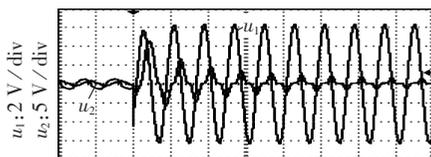
Tab.2 Voltage drop between two ends of FCL under normal operating condition

电流/A	电压/V	电流/A	电压/V
0.2	15	3.0	15
0.4	19	4.0	19
1.0	16	5.0	21
2.0	15		



t: 25 ms/div

(a) 直流分量负偏移实验结果



t: 25 ms/div

(b) 直流分量正偏移实验结果

图 5 短路过程的电压与电流曲线

Fig.5 Voltage curve and current curve during short circuit fault

电流一个周期为 20 ms, 所以, 从图 5 波形可以直观地看出电压、电流幅值变化与时间的对应关系。可以看出, 电压与电流幅值较小的开始部分 (40 ms), 为正常输电时的电压、电流波形, 此时磁控式故障限流器两端电压很小, 有效值约 19 V。40 ms 时, 短路发生, 电流突然增大, 电流第 1 个半波较大, 第 2 个半波迅速减小。短路发生 100 ms (5 个周期) 以后, 短路电流有效值接近负荷电流 (峰值略大于负荷电流峰值)。随着时间的推移, 短路电流最后减小至励磁电流。虽然到达励磁电流的时间比较长, 但是到达负荷电流的时间较短。特别是电压的暂态波形很短。短路发生后, 磁控式故障限流器两端电压在第 1 个半周期 (10 ms) 小于额定电压的峰值, 第 2 个半周期电压幅值基本等于额定值。电压第 1 个峰值约等于额定电压的 75%, 这表明, 短路发生后的前 10 ms, 接入磁控式故障限流器时的短路电流小于没有接入

时的短路电流,约等于原有短路电流的  $1/3$ 。短路发生  $10\text{ ms}$  以后,电压幅值基本等于额定值,磁控式故障限流器两端承接系统额定电压,短路点对故障限流器的非故障侧的电压影响很小;故障限流器的非故障侧的母线电压基本恢复正常,不受短路电流的影响。

图 5 是大量测量数据中挑选出的最严重情况。短路电流第 1 个半波的幅值大小与短路发生时刻电压的初始角度有关。图 5 表明,短路发生  $100\text{ ms}$  以后,短路电流接近负荷电流。在短路实验过程中,实验室电源的  $10\text{ A}$  熔断器与带保护的空气开关都没有发生跳闸。可见,安装了磁控式故障限流器后,不必跳开断路器即可避免短路电流对电力系统的危害。

正常负荷电流为  $4\text{ A}$  的条件下,模拟电力系统断路器 QF 合闸对输电回路送电过程,测得磁控式故障限流器两端电压和电流如图 6 所示。从图中的电流曲线可以看出,断路器 QF 对输电回路进行送电,磁控式故障限流器阻止电流突然变化,电流幅值逐渐上升至负荷电流;从图中的电压曲线可以看出,断路器合闸初始阶段,电力系统的电压大部分加在磁控式故障限流器两侧,小部分加在输电线路;然后磁控式故障限流器两侧电压逐渐减小,线路电压逐渐上升。暂态过程约  $100\text{ ms}$ 。

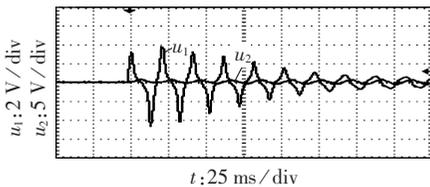


图 6 合闸过程电压与电流曲线

Fig.6 Voltage curve and current curve during closing operation

### 3 定性分析

磁控式故障限流器的半导体元件的安全性是十分重要的。除了采取上述方法外,采用增加短路线圈的方法也可抵消直流线圈端口的不平衡过电压<sup>[8]</sup>。实际上,图 3 既是输电回路的故障限流器,又是  $V_{D1}$ 、 $V_{D2}$ 、 $V_{D3}$ 、 $V_{D4}$ 、 $V_{D5}$ 、 $V_{T6}$ 、 $V_{T7}$  的自我保护电路。 $V_{D1}$ 、 $V_{D2}$ 、 $V_{D3}$ 、 $V_{D4}$  的过电流由  $V_{T6}$ 、 $V_{T7}$  的快速导通来保护, $V_{T6}$ 、 $V_{T7}$  的过电流由交流线圈  $L_7$  的快速限流来保护。

电力系统发生短路故障,新型磁控式故障限流器在  $20\text{ ms}$  左右的时间内将短路电流减小至危害较小的程度,这是其他类型故障限流器不具备的。

传统磁控式故障限流器从变电站的站用变压器取直流电源,结构复杂,故障限流器的投入与退出操作不方便。新型磁控式故障限流器结构简单,运行管理方便。实验样机直接使用测量信号的能量作为

自身的直流电源,即  $V_{D5}$ 、 $V_{T6}$  两端的电压既是控制电路模块的测量信号,又为控制电路模块提供电源。这样,整个磁控式故障限流器相当一个二端口元件,使用非常方便。

传统磁控式故障限流器从变电站的站用变压器取直流电源,外部故障使变电站母线电压下降,将造成非故障线路故障限流器工作不正常。新型磁控式故障限流器的特性与变电站母线电压无关。

普通变压器的短路电压值一般等于  $6\%$  的额定电压。新型磁控式故障限流器的正常运行感性压降约为普通变压器短路电压值的  $2$  倍,因此不适合安装在电抗值被严格控制的输电回路,可应用于高阻变压器回路,或采取串补电容方式来抵消磁控式故障限流器的正常运行电抗值。这方面,今后需要做更深入的研究。

新型磁控式故障限流器应用于高压或超高压系统时,半导体元件的耐压等级可取  $4000\text{ V}$ ,电流取输电线路额定电流,可达  $2000\text{ A}$ 。

饱和电抗器的电压等级则必须随着电力系统电压的增大而增加,主要成本和困难在饱和电抗器。电压等级增大,饱和电抗器线圈增多,铁芯增大,电磁暂态过程增长;需要采取措施减小暂态过程:采用磁损较大的铁芯减小饱和电抗器暂态过程,饱和电抗器正常运行时,处于饱和状态,磁损较大的铁芯不会增加太多损耗;采用超导材料制作线圈,饱和电抗器正常运行时,超导材料制作的线圈的铜损为零;电力系统短路时,超导材料失超,电阻增大,减小饱和电抗器的暂态过程。饱和电抗器交流线圈的电抗快速增大,又反过来保护了超导材料,使其不会过热损坏。

### 4 结论

新型磁控式故障限流器工作原理可行,设计制造的  $220\text{ V}$  电压等级的实验样机的实验表明:电力系统正常运行时,磁控式故障限流器对正常输电影响较小;电力系统发生短路故障时,磁控式故障限流器可以在  $20\text{ ms}$  左右使短路电流减小至危害较小的程度;装置结构简单、操作方便。

### 参考文献:

- [1] 石晶,邹积岩,何俊佳,等. 故障电流限制技术及研究进展[J]. 电网技术,1999,23(12):63-66.  
SHI Jing,Zou Jiyang,HE Junjia,et al. Development of fault current limiting technique and its progress[J]. Power System Technology,1999,23(12):63-66.
- [2] 赵彩宏,田立军,江世芳. 一种新型故障限流器的拓扑结构及仿真[J]. 电力系统自动化,2001,25(2):40-44.  
ZHAO Caihong,TIAN Lijun,JIANG Shifang. Topology of a new fault current limiter and its simulation[J]. Automation of Electric Power Systems,2001,25(2):40-44.

- [3] XIN Y, GONG W, NIU X, et al. Development of saturated iron core HTS fault current limiters[J]. IEEE Trans on Appl Superconduct, 2007, 17(2):1760.
- [4] 刘洪顺, 王伟, 邹亮, 等. 磁饱和型故障限流器的研究与发展[J]. 山东大学学报:工学版, 2008, 38(1):18-23.  
LIU Hongshun, WANG Wei, ZOU Liang, et al. Advances of saturated iron core fault current limiters[J]. Journal of Shandong University:Engineering Science, 2008, 38(1):18-23.
- [5] CVORIC D, de HAAN S W H, FERREIRA J A. Improved configuration of the inductive core-saturation fault current limiter with the magnetic decoupling[C]//Industry Applications Society Annual Meeting, 2008. IAS'08. Edmonton, Alberta, Canada:IEEE, 2008:1-7.
- [6] 李晓明. 一种具有柔性开关特性的电流限制装置及方法:中国, ZL2010105753926[P]. 2011-04-06.
- [7] 李晓明. 一种晶闸管控制的短路电流限制器:中国, ZL201110073-1361[P]. 2011-07-20.
- [8] 蔡宣三, 高越农. 可控饱和电抗器——原理、设计与应用[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2008.
- [9] 赵彩宏, 田立军. FCL 对电力系统暂态稳定性影响的机理分析与仿真[J]. 电力自动化设备, 2001, 21(2):14-17.  
ZHAO Caihong, TIAN Lijun. Mechanism analysis and simulation of FCL's influence on power system[J]. Electric Power Automation Equipment, 2001, 21(2):14-17.
- [10] 王晨, 张晓锋, 庄劲武, 等. 基于 YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7</sub> 薄膜的超导故障限流器设计与试验分析[J]. 电力自动化设备, 2008, 28(4):103-107.  
WANG Chen, ZHANG Xiaofeng, ZHUANG Jinwu, et al. Design and test of superconducting fault current limiter based on YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7</sub> thin film[J]. Electric Power Automation Equipment, 2008, 28(4):103-107.
- [11] 刘洪顺, 李庆民, 徐亮, 等. 氧化锌避雷器式故障限流器对电力系统暂态稳定的影响[J]. 电力自动化设备, 2007, 27(8):51-54.  
LIU Hongshun, LI Qingmin, XU Liang, et al. Influence of MOA-based FCL on power system transient stability[J]. Electric Power Automation Equipment, 2007, 27(8):51-54.
- [12] 张艳莉, 费万民, 姜宁秋, 等. 基于半控桥的三相接地系统短路限流器及其控制方法[J]. 电力自动化设备, 2007, 27(6):51-55.  
ZHANG Yanli, FEI Wanmin, JIANG Ningqiu, et al. Research of fault current limiter based on half-controlled rectifier bridge for three-phase four-wire power system[J]. Electric Power Automation Equipment, 2007, 27(6):51-55.
- [13] 赛会明, 蔡旭, 金之俭. 三相偏磁桥路型限流器控制系统研制[J]. 电力自动化设备, 2007, 27(5):91-95.  
DOU Huiming, CAI Xu, JIN Zhijian. Study on control system of three-phase bridge type current limiter with magnetic bias[J]. Electric Power Automation Equipment, 2007, 27(5):91-95.
- [14] 费万民, 张艳莉, 孟照娟, 等. 基于自关断器件的新型桥式短路限流器拓扑与控制策略[J]. 中国电机工程学报, 2008, 28(18):23-29.  
FEI Wanmin, ZHANG Yanli, MENG Zhaojuan, et al. Topology and control strategy of novel bridge type FCL based on self-turn-off devices[J]. Proceedings of the CSEE, 2008, 28(18):23-29.
- [15] 费万民, 张艳莉, 吕征宇. 基于 IGCT 的新型固态桥式短路故障限流器[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(7):60-64.  
FEI Wanmin, ZHANG Yanli, LÜ Zhengyu. IGCT-based novel solid state bridge type fault current limiter[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(7):60-64.
- [16] 吴峰, 郑建勇, 梅军, 等. 基于可控串补的故障限流器[J]. 电网技术, 2012, 36(2):53-57.  
WU Feng, ZHENG Jianyong, MEI Jun, et al. Theoretical study and simulation of TCSC based fault current limiter[J]. Power System Technology, 2012, 36(2):53-57.

#### 作者简介:

李晓明(1956-), 男, 山东淄博人, 副教授, 主要从事电力系统继电保护、电力系统控制和单片机应用的研究工作(E-mail: lixm@sdu.edu.cn);

梁军(1956-), 男, 山东烟台人, 教授, 博士, 主要从事电力系统分析与控制、电力系统自动化装置等领域的教学、科研与开发工作;

王葵(1966-), 女, 上海人, 副教授, 博士, 主要从事电力系统继电保护及安全自动控制等方面的研究工作;

王雷(1960-), 男, 山东潍坊人, 高级实验师, 主要从事电力电子技术、微机应用工作;

陈晓(1962-), 男, 广东南海人, 高级工程师, 主要从事电力系统继电保护工程设计工作。

### Magnetic-control-type fault current limiter

LI Xiaoming<sup>1</sup>, LIANG Jun<sup>1</sup>, WANG Kui<sup>1</sup>, WANG Lei<sup>1</sup>, CHEN Xiao<sup>2</sup>

(1. School of Electrical Engineering, Shandong University, Ji'nan 250061, China;

2. State Nuclear Electric Power Planning Design & Research Institute, Beijing 100032, China)

**Abstract:** A magnetic-control-type FCL (Fault Current Limiter) is proposed, which supplies DC from the current source and cuts off it by switching on the thyristor. Its basic operational principle and configuration are introduced. A 220 V prototype is designed and its performance is tested. The test results show that, it has little influence on the transmission capacity of power grid in normal operating conditions while it diminishes the fault current to a less harmful level within about 20 ms during the short circuit fault of power grid.

**Key words:** fault current limiter; saturated reactor; switching characteristic; short circuit currents; relay protection; electric power systems