

混合式限流断路器的研究与发展

梅 军¹, 郑建勇¹, 胡敏强¹, 柴继涛², 吴恒荣²

(1. 东南大学电气系, 江苏 南京 210096; 2. 江苏华夏电气集团, 江苏 扬中 212200)

摘要: 电力电子技术的进步与新型器件的出现为电力系统的发展提供了新的机会。概括了目前混合式限流断路器(HCLCB)的基本工作原理及其在国内外发展状况,详细介绍了基于不同器件的HCLCB的拓扑结构,诸如自然换流式及强迫换流式HCLCB,并分析了相应的技术特点,同时还从机械结构及故障电流检测的角度阐述了HCLCB设计要点,希望能为HCLCB的设计提供参考。

关键词: 混合式断路器; 混合式限流器; 电流快速检测

中图分类号: TM561 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2004)20-0072-06

0 引言

现代社会的发展对电力系统及输电技术提出了更高的要求,如何进一步提高电网的稳定性、向用户提供高质量电能成为电力行业的发展方向。断路器作为输电线路中一个重要的环节,它的性能直接影响着电网的正常运行,而目前交流输电中大量采用的机械式断路器,尽管它的优点很明显,导通稳定、带负载能力强。但它的缺点随着对电能质量要求的提高也越来越突出,因不能实时、灵活、连续和快速地动作,易使事故扩大,破坏系统稳定性;在断开负载时往往有电弧产生,触头易烧损,开断时间长,难以满足一些电力用户对故障电流开断的速动性要求;在运行过程中有噪声,机械电气寿命受到限制等。因此,运用现代电力电子技术设计、研制和改造新型断路器成为当前断路器发展的目标。

随着电力电子器件功率的增大,在上世纪70年代开始出现完全由晶闸管实现通断的固态断路器(SSCB),因其没有运动部件,也被称为静止型断路器(Static CB)。由于晶闸管固有的过零关断特性,使它的动作延时较大。近年来,新型可关断器件(如GTO、IGBT及IGCT等)的出现,为精确控制断路器的通断提供了可能。与传统断路器相比,静止型断路器具有开断时间短、无声响、无弧光、无关断死区、寿命长及工作可靠性高等特点,但是它同时也存在因设备过压与过流、器件损耗过大而必须加上较大的冷却系统及相对于机械式断路器价格高等缺点。

针对静止型断路器的缺点,有人提出利用

真空断路器良好的静态特性,结合电力电子回路的动态特性而构成混合型断路器(Hybrid CB)。即在机械式开关的基础上,利用电力电子器件作为无触头开关与机械式开关的触头并联,构成一种综合两者共同优点的新型断路器,其基本拓扑结构如图1所示。

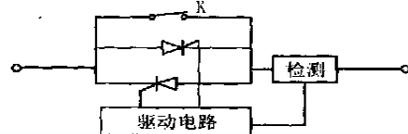


图1 混合型断路器的拓扑结构

Fig. 1 Topology of hybrid circuit breaker

其工作原理是:主开关K作为正常工作时的电流通路,固态开关部份只负责断路器通断切换时的动态换流。与静止型断路器相比较,由于电力电子器件只在开关开断的瞬间导通,平时几乎没有损耗,所以省却了笨重的冷却设备。

1 混合式限流断路器换流方案选择

混合式限流断路器(HCLCB)根据动态换流原理的不同,大致又可分为自然换流及强制换流两种。具体原理分别如图2所示。

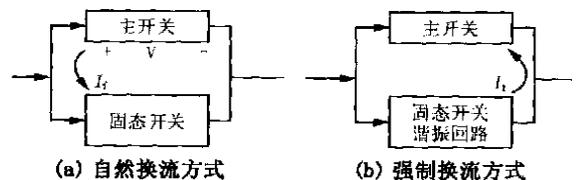


图2 换流原理

Fig. 2 Commutation theory

基金项目: 江苏省科技攻关项目(BE2003043)

表 1 与换流有关的参数比较

Tab. 1 Comparison of parameters with current commutation

	接触电阻	导通电压	电弧电压	反应时间	过载承受
机械开关	微欧级	100 mV 以下	10~100 V	毫秒级	较大
固态开关 (IGBT)	毫欧级	1 V 以上	无	微秒级	受 I^2t 限制

自然换流的原理是主开关与固态开关同时通断,利用主开关触点间电弧电压的反电势作用将电流切换到固态开关部分,为避免两者工作的不同步,固态开关也可以稍早于主开关的动作而导通,因为主开关触点导通电阻是微欧级,而固态开关的导通电阻在毫欧级,在实际换流前,电流仍大多从机械开关走。当需要加大混合式断路器的工作电压时,往往将固态开关部分进行串联。但利用这种原理进行换流,将受制于电弧电压的大小,当电弧电压大于固态开关导通电压时,才可以迅速实现换流。

而强制换流的方法则是基于电感电容串并联谐振,利用谐振电流与主开关上的电流相抵消并降为零后再断开,从而达到快速通断并消弧的目的。这种方案的特点是需要随时检测线路上的电流方向,以利用谐振回路产生与主回路方向相反的电流。

以上两种方式在混合式断路器设计中都得到了应用。受电弧电压及固态开关导通压降匹配的影响,自然换流方式,多用于中低压的断路器,且固态开关的器件也要选用导通压降较小的器件。相对而言,强制换流方式利用谐振回路创造电流过零点,利于在电压较高场合的运用。但这种方式也有缺点,它对控制时序及主开关动作速度要求较高。

2 混合式限流断路器研究与应

2.1 自然换流

1994年, Takamu 提出,可以在 400 V 二次电网系统中使用由 GIO 与真空断路器构成的混合式限流断路器^[1]。其结构如图 3(a)所示。其操作过程是当过流中间继电器发出信号时,切断真空开关并同时接通 GIO 装置。根据自然换流原理,在真空开关的触头之间形成的电弧产生一个将电流转换到 GIO 装置中的电弧电压,当电流转换到 GIO 装置后,且真空开关达到其绝缘强度时,再将 GIO 装置关断,剩余能量由装置两端压敏电阻吸收。

这个结构的分断时间从短路开始到 GIO 装置关断大约可控制在 1 ms 以内, 60 kA 的预期短路电流可以降至 10 kA,可见,限流效果是十分明显的。同时,这个速度也是很快的,因此需要以最快的速度检测短路电流与电压的突变。为避免此问题,1995年 C. W. Brice 在此结构基础上进行了改进^[2],其结

构如图 3(b)所示。

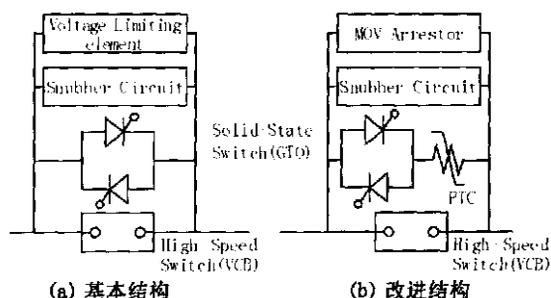


图 3 基本结构与改进

Fig. 3 Basic configuration and its improved one

其原理是利用在换流的同时将正温度系数热敏电阻 (PTC) 投入,由导电聚合物材料构成的 PTC 热敏电阻限制通过固态开关的电流,这就避免了使用超高速故障检测短路电路。以上两种结构均使用 GIO 作为换流器件, GIO 具有较高的导通电流与关断电压,但是受器件性质影响,其控制电流较大,尤其是在判断比较大的短路故障电流时,其负向关断电流将非常大,这加大了系统控制回路的复杂程度。因此,随着受电压控制的全控型器件 IGBT 的推广使用,在低压场合, IGBT 更多地用于换流回路^[3],结构如图 4 所示。

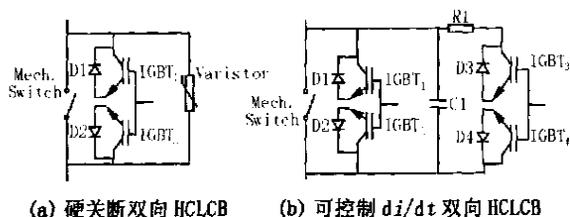


图 4 基于 IGBT 的 HCLCB

Fig. 4 HCLCB based on IGBT

图 4(a) 直接由 IGBT 反串联形成换流回路,然后由变阻器完成最后的能量吸收工作,由于没有使用缓冲电路,这是一种完全基于器件自身的硬关断。图 4(b) 则是一种利用电容充电效应来实现主换流回路的软关断,从而避免了硬关断对于装置器件可能造成的损坏。但受感性负载的影响,在固态开关关断后,将只有电容导通,因此,电容的容量需要根据开关最大承受值进行选择。

目前,较成熟的中压混合式限流断路器是文献[4]所提的结构,该电路的换流回路采用桥式结构,可以节省器件,同时也将原来交流控制系统改成了直流控制模式,极大简化了对系统的控制,其结构如图 5 所示。

在电流转换至主换流回路 B 后,打开快速主开

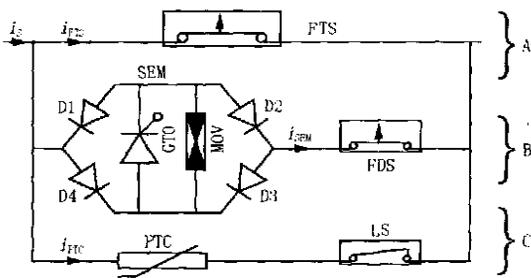


图5 桥式结构 HCLCB
Fig.5 HCLCB based on bridge

关 A。等主开关触点恢复绝缘强度后,再硬关断主换流回路,打开 B 的隔离开关,实现无弧开断。此时所有电流全部流至由 PTC 构成的换流回路 C,由 PTC 最后实现装置的关断任务后,再切断 C 回路上的隔离开关。两个隔离开关同时可以提供视觉上的断开效果,仿真波形表明,预期 30 kA 的故障电流被限流在 10 kA,且整个过程可控制在 4 ~ 5 ms 内完成。因为换流回路为实现无弧断开,其电力电子器件采用了硬关断,所以,此种结构尤其适用于新型的 IGCT 等(关断时无需缓冲回路)器件。

2.2 强迫换流

从原理上来讲,强迫换流的关键是要在主开关上创造一个人工电流过零点,然后在这个过零瞬间打开主开关,从而实现无弧断开。在文献[7]中,详细介绍了整个强迫换流的过程,其电路拓扑结构如图 6(a)所示。

整个装置可在 1 ms 内实现断开,其过程可以不需要依靠外界条件来实现换流,但为了实现串联谐振,电容上要事先充上电荷,因此需要在系统中加入电容充电回路,这极大地加大了系统的复杂性,这也是它的缺点之一。别外,此电路用了两个单独的谐振回路,实际换流过程中往往只需一个谐振臂导通,因此设计显得不够简化。为此,文献[8,9]中提出了一种新的拓扑结构,其结构见图 6(b)所示。

在由两个晶闸管与两个二极管构成的桥式电路中,由电感与电容构成单向导通电路。在实际工作中,根据主开关中电流方向,分别选择导通晶闸管 T₁ 或 T₂,经过电感电容串联回路与对应的二极管及主开关构成整个谐振回路。

2.3 其它一些实现故障限流的方法^[5,6]

图 7 中的控制动作与图 5 基本相同,区别在于:此电路没有采用电力电子回路作为换流回路,其换流回路由若干串联的小型分断路器组成。在主开关成功换流至回路 B 并断开后,回路 B 的各分断路器

同时打开,在回路 B 两端因分断路器电弧的累加形成较高的电弧电压,强迫电流加快换流至回路 C,由 PTC 完成最终关断。这种结构要求所有分断路器保持同步动作,因此系统的机械部分要作较大改动,为推广使用带来不便。

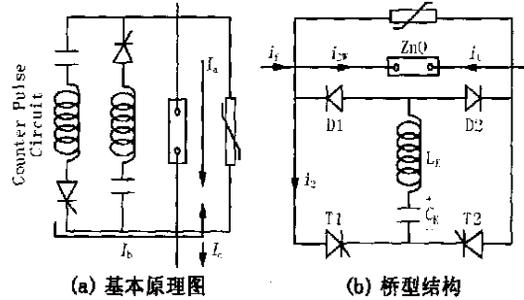


图6 强迫换流电路原理图

Fig.6 Schematic circuit diagram of forced commutation

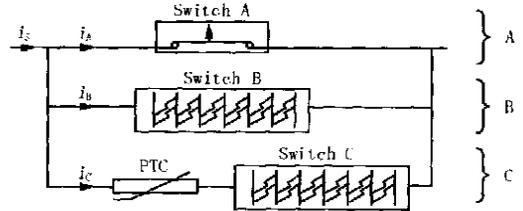


图7 基于小型断路器串联的换流方法

Fig.7 Commutating method based on small series of breakers

图 8 则提出另一种思路,它也没有采用电力电子回路,而只是在换流前一刻,通过变压器的次相向电荷存储二极管(CSD)充上正向电荷,换流时,利用电荷存储二极管短时反向工作特性,为主开关争取足够长的断开时间,从而实现主开关的无弧断开。这项设计的关键是高压电荷存储二极管的研制,目前常用的存储电荷二极管耐压为 100 V 左右,耐压超过 1 000 V 的器件也已研制成功,但离实际大规模使用距离尚远。

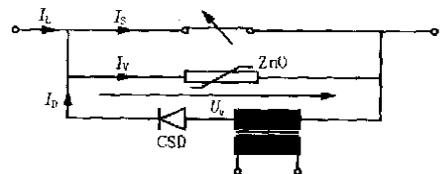


图8 利用 CSD 的换流方法

Fig.8 Commutating method using CSD

3 驱动结构改进

HCLCB 成功的关键除了其合理的换流回路,另一个重要的因素是机械开关的速度提高。普通的机械式断路器的断开时间是 10 ms 左右,比较快的也

在 1 ms 以上,这个速度显然与固态开关的微秒级通断速度不相匹配。为实现 HCLCB 快速无弧限流,就要求机械式断路器触点断开速度也同样要达到微秒级,因此需要采取必要措施加速机械式断路器的断开过程。

在文献[5,8,11]中,均提到了利用如图 9 所示电路来加速断路器触点加快动作。其原理是:利用 Thomson 效应,由充电的电容通过线圈瞬时放电,在共轴的固定与可移动线圈上流过方向相反的电流,这样,在线圈中就产生冲击电流磁场和形成涡流,从而在动、静两个触头上产生较大的斥力,保证了断路器触点的快速断开,其动作甚至可达到 100 μ s。

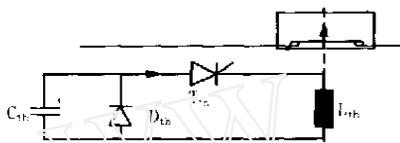


图 9 快速开关驱动电路

Fig. 9 Driving circuit of fast speed switch

4 电流快速检测

为实现 HCLCB 的快速动作,除了以上的改进,还需要能够快速检测出故障电流,从而使故障电流来不及上升到峰值就将它断开,限流效果的好坏,直接与电流检测方法有关。

随着新型数据处理方法如傅氏变换、模糊算法、神经元理论、小波变换理论等的出现,各种新型的故障检测算法不断出现,文献[14,15,26]就是利用小波变换的理论来在线检测电压突变。而这些方法的使用往往需要根据实际情况而定。以下仅针对电流快速检测介绍几种方法。

在文献[12]中提到了三种常用的电流检测方法,第一种基于平衡三相平方和为常数,第二种方法因为需要进行延时 90°,所以有较大延时。第三种方法则基于半波的连续 6 点采样的绝对值之和为常数,此方法较快,可在故障发生后的 1.667 ms 时测得畸变点。

针对上面方法较慢的特点,文献[1]中介绍了利用电流变化率来检测故障的实用电路,如图 10 所示,它是将输入波形与存贮波形在 C 点叠加,其差值就可反映出 di/dt 的变化情况,再经过由放大器构成的电平检测电路,输出最终检测信号。检测时间与相位的变化率有关,在 0~90°内对故障电流的检测时间小于 0.1 ms,配合对电压的测量保证系统安全正确动作。

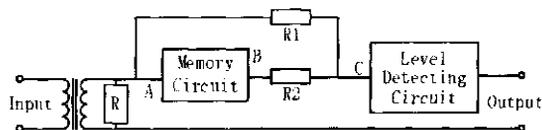


图 10 故障检测系统原理框图

Fig. 10 Configuration of the fault detecting system

文献[29]针对以上电路原理在 Pspice 下作了仿真研究,结果表明该电路在不同相位角下的检测电网故障的反应时间均可控制在 5 ms 内,且根据仿真结果,在干扰较小的情况下,该电路仍可正常工作。

文献[9]针对强迫式换流电路的特点,也提出通过测量上升率而不是幅度的方法来检测故障电流,同时要求根据 di/dt 的值加入必要的工作时间延时,以保证快速机械开关速度与主开关电流过零点之间的匹配,从而满足了设备主开关正确无弧断开的要求。

文献[14]介绍了另一种短路电流的检测算法,这种方法判断的依据同样是电流突变。不同之处是,它首先是根据断路器的实际使用中正常与故障情况下的电流数据,经过计算相应的 di/dt 并形成有关数据的轨迹曲线,因为故障情况下短路电流的 di/dt 往往比正常电流大,因此利用坐标变换,就可在正常数据与故障数据之间得到分界线,只要电路电流的 di/dt 超过了分界线,就可判为发生短路故障。这种方法检测速度极快,在 IEC60947-2 短路测试情况下,最快可达 200 μ s。

国内也有多篇文献对于快速电流检测进行了研究,文献[16]对国内外多种快速算法进行了比较与研究,其中较快的算法包括:Mann - Morrison 算法、Prodar - 70 算法、两点采样与三点采样值算法等。以上算法的出发点都是基于正弦信号,但实际电网中的信号多少会有失真,尤其是发生短路故障时。为此文献[17]中提出事先按照 $\sum I^2$ 计算出短路保护电流的阈值,然后在进行电流采样时与该阈值进行比较,一旦达到该阈值即可判断为短路。当过载电流越大,达到阈值的采样点数越少,跳闸时间越短。同时,这种算法还可以避免因为干扰使某一次采样值过大而造成误跳闸的情况,因此有较大的可靠性。

5 结语

目前国际上 HCLCB 的研究由于开展较早,已得到较大发展,并有多个实用产品面世,而国内这方面的研究则刚刚起步不久,大量的工作要做,包括针对不同的负荷和短路故障情况进行开关特性分析和

方案论证,比较与传统断路器及静态断路器的特性区别,找出 HCLCB 的工作规律;在理论分析的基础上,针对不同的功率器件(GTO、IGBT、IGCT等)进行仿真及实验研究等。同时,为提高设备开断容量,还要进行相应的电力电子器件串并联研究,解决因器件开关特性的分散性、驱动电路的信号传递延迟所造成时间的不同步等因素,防止各功率器件开通与关断时电压或电流分配不均匀,导致器件或装置的损坏。

HCLCB 克服了静态型开关的较高导通损耗,保留了机械式开关的稳态特性,又具有固态开关动作迅速的特点,但是由于结构比静止型开关复杂,成本也较高,造成其目前使用范围比较有限。但随着新型器件的不断出现与使用以及电力电子器件性能提高的同时价格的降低,HCLCB 的研制必将得到突破性的发展。

参考文献:

- [1] Genji T, et al. 400 V Class High speed Current Limiting Circuit Breaker for Electric on Power System[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1994, 9(3):1428-1435.
- [2] Hudgins L, Brice C W, Dougal R A. Review of Technologies for Current-limiting Low-voltage Circuit Breakers[A]. 1995 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Technical Conference, IEEE NY(USA):1995. 41-47.
- [3] Gelder P, Ferreira J A. Zero Volt Switching Hybrid DC Circuit Breakers[A]. IEEE IAS Conference. 2000.
- [4] Steurer M, Frohlich K, Halaus W, et al. A Novel Hybrid Current-limiting Circuit Breaker for Medium Voltage: Principle and Test Results[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2003:460-467.
- [5] Halaus W, Frohlich K. Ultra-Fast Switches—A New Element for Medium Voltage Fault Current Limiting Switchgear[A]. Power Engineering Society Winter Meeting. 2002. 1:299-304.
- [6] Jungblut R, et al. Hybrid High-speed DC Circuit Breaker Using a Charge-storage Diode[A]. Industrial and Commercial Power Systems Technical Conference. 1998.
- [7] Kishida Y, et al. Development of the High Speed Switch and Its Application[A]. Industry Applications Conference, 33rd IAS Annual Meeting. 1998. 3:12-15.
- [8] Zyborski J, et al. Hybrid Arcless Low voltage AC/DC Current Limiting Interrupting Device[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2000, 15(4):1182-1187.
- [9] Zyborski J, et al. A New Fault Current Detection Technique for the AC Hybrid Circuit Breaker[J]. Electric Power Systems Research, 1999:133-138.
- [10] Atmadji A M S, et al. Hybrid Switching: A Review of Current Literature[A]. Proceedings of EMPD, 1998. 2:3-5.
- [11] Meyer J M, et al. A DC Hybrid Circuit Breaker with Ultra Fast Contact Opening and Integrated Gate-Commutated Thyristors (IGCT) [Z].
- [12] Ise T, Takami M. Hybrid Transfer Switch with Fault Current Limiting Function [A]. Ninth International Conference on Harmonics and Quality of Power, 2000, 1:1-4.
- [13] Gandomenico R, et al. Smart Low-voltage Circuit-breakers [J]. ABB Review, 1997, (4).
- [14] Mokhtari H, et al. Experimental Performance Evaluation of a Wavelet-based On-line Voltage Detection Method for Power Quality Applications [J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2002, 17(1).
- [15] Karimi M, et al. Wavelet Based On-line Disturbance Detection for Power Quality Applications[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2000, 15(4).
- [16] 何立志 (HE Li-zhi). 工频量快速测量方法的研究 (The Research of the Fast measuring Methods for Main Frequency Parameters) [J]. 电测与仪表 (Electrical Measurement & Instrumentation), 2001, 4:16-17.
- [17] 王富东,王家善 (WANG Fu-dong, WANG Jia-shan). 智能断路器的电量测量与过载保护算法 (Electrical Parameter Measurement and Overload Protection for an Intelligent Breaker) [J]. 仪器仪表学报 (Journal of Instruments), 2002, 23(3):380-382.
- [18] 李岱,李晓霞 (LI Dai, LI Xiao-xia). 灵活交流输电和电力电子学 (Flexible AC Transmission and Power Electronic) [J]. 电力电子技术 (Power Electronics), 1998, 3:102-105.
- [19] 林周布 (LIN Zhou-bu). 柔性电气开关技术及其应用 (Technology of Flexible Electrical Switches and Its Applications) [J]. 电工电能新技术 (Advanced Technology of Electrical Engineering and Energy), 2001, 3:68-72.
- [20] 林周布 (LIN Zhou-bu). 高频电力电子开关与电磁开关的互补使用 (High Frequency Power Electronic Switch Complemented with the Electromagnetic Switch) [J]. 低压电器 (Low Voltage Apparatus), 2000, 6:3-7.
- [21] 陈刚,江道灼,吴兆麟 (CHEN Gang, JIANG Dao-zhuo, WU Zhao-lin). 固态短路限流器的研究与发展 (Research and Development of Solid State Fault Current Limiter) [J]. 电力系统自动化 (Automation of Electric Power Systems), 2003, 27(10):89-93.
- [22] 许志红,张培铭 (XU Zhi-hong, ZHANG Pei-ming). 断路器新型限流电路的探讨 (Research on a Current Limiting Circuit in Circuit Breaker) [J]. 继电器 (Relay), 2001, 29(6):23-25.
- [23] 严干贵,姜齐荣,黄民聪 (YAN Gan-gui, JIANG Qi-Rong, HUANG Min-cong). 未来的用户电力技术 (Custom Power Technologies in the Future) [J]. 电力系统自动化 (Automat-

- tion of Electric Power Systems), 2003, 26(1):62-69.
- [24] 钱杞,张培铭(QIAN Qi, ZHANG Pei-ming). 低压交流断路器的限流技术(Current Limiting Technologies for AC Low Voltage Circuit Breakers) [J]. 低压电器(Low Voltage Apparatus), 2000, 3:3-8.
- [25] 钱杞,张培铭(QIAN Qi, ZHANG Pei-ming). 低压直流断路器的限流技术(Current Limiting Technologies for DC Low Voltage Circuit Breakers) [J]. 电气开关(Electric Switcher), 2000, 1:14-17.
- [26] 杨纪明,马志瀛,金立军(YANG Ji-ming, MA Zhi-ying, JIN Li-jun). 基于小波变换的短路电流各分量的计算(The Numerical Calculation for Components of Short-circuit Current Based on Wavelet Transform) [J]. 电工技术杂志(Transactions of China Electrotechnical Society), 1999, 6:13-15.
- [27] 王久和,滕国仁,朱小龙,等(WANG Jiu-he, TENG Guo-ren, ZHU Xiao-long, et al). 井下短路电流快速检测的研究(Study on Fast Detection of Short Circuit Current in Underground Mine Pit) [J]. 电工技术杂志(Transactions of China Electrotechnical Society), 2002, 6:22-23.
- [28] 王久和,田忠友,孙廷海(WANG Jiu-he, TIAN Zhong-you, SUN Ting-hai). 试论煤矿井下快速断电安全技术(Probe into Safety Technique of Speedy Interruption in Underground Coal Mine Pit) [J]. 中国安全科学学报(Journal of China Safety Science), 1998, 8:42-46.
- [29] 郑清水,马志瀛,钱华(ZHENG Qing-shui, MA Zhi-ying, QIAN Hua). 短路电流快速检测电路及其 Pspice 仿真研究(Fast Detection Circuit of Short-circuit Current and Its Pspice Simulation Research) [J]. 现代电力(Modern Electric Power), 2003, 20(5):35-39.
- [30] 王启章,姚月娥(WANG Qi-zhang, YAO Yue-e). 从 FCL 看开关技术发展的新增长点——混合式开关设备(Hybrid Switchgear——The New Growing Point of Switchgear as viewed from FCL) [J]. 高压电器(High Voltage Apparatus), 2003, 39(2):23-25.

收稿日期: 2004-01-13; 修回日期: 2004-03-30

作者简介:

梅 军(1971 -),男,博士研究生,主要研究方向为电力电子技术在电力系统中的应用; E-mail: mei-jun@sina.com

郑建勇(1966 -),男,教授,硕士生导师,主要研究方向为电力电子技术在电力系统中的应用;

胡敏强(1961 -),男,教授,博士生导师,主要研究方向为电机与电器。

Research and development of the hybrid current limiting circuit breaker

MEI Jun¹, ZHENG Jian-yong¹, HU Min-qiang¹, CHAI Ji-tao², WU Heng-rong²

(1. Electrical Engineering Department, Southeast University, Nanjing 210096, China;

2. Jiangsu Huasha Electrical Group Corporation, Yangzhong 212200, China)

Abstract: The progress of the power electronics technology and electronic components provides a new opportunity to the development of power systems, and brings the hybrid current limiting circuit breaker (HCLCB). This paper discusses the theory of the HCLCB and its development at home and abroad, then introduces the topologies of the HCLCB based on the different parts like natural and forced current commutations with their technical characteristics. Finally, the paper demonstrates the key points in the design of HCLCB with the mechanical structure and the fault current fast detecting method. All these are supposed to be useful to the HCLCB design.

This project is supported by Jiangsu Province Technologies R & D Programme(BE2003043).

Key words: hybrid circuit breaker; hybrid current limiting device; fast current detecting

(上接第 71 页 continued from page 71)

Abstract: According to the present complicated network configuration and the bad influence of electric facilities on power quality, a flexible, reliable and intelligent power delivery system——FRIENDS is proposed in this paper. Customized multi-menu services are produced for this flexible delivery system. In the quality control center, this delivery system can select various levels of quality freely. Meanwhile energy storage systems are installed in demand side, which is able to enhance the information services and energy managements to customers and supply electrical power without interruption. So the stabilization of power system is improved and network operation with high quality and reliability is ensured. The delivery system combined with distribution automation, information management techniques and electronic techniques will become one necessary part of power system.

Key words: power quality; power delivery system; quality control center; network optimization