

基于 IGBT 的混合式自动转换开关研究

刘顺炮¹, 郑建勇¹, 顾东亮², 梅 军¹

(1. 东南大学 电气工程系, 江苏 南京 210096;

2. 中国电子科技集团公司 28 所, 江苏 南京 210007)

摘要: 对目前国内外自动转换开关的发展情况以及性能进行了分析和比较, 在深入研究新型混合式断路器的基础上, 阐述了一种基于 IGBT 混合式自动转换开关(HATS)的结构和工作原理, 重点研究了该 HATS 的开关部分的合闸、分闸及限压特性, 针对其动作特性, 搭建实验平台模拟了该 HATS 的并联切换和串联切换方式, 并具体分析和比较了 2 种不同切换方式的性能, 实验结果表明: 该 HATS 在保持机械转换开关静态特性的同时, 其合闸和分闸动作的快速性、一致性及动作时的限压性能均得到改善。

关键词: 固态开关; IGBT; 混合式转换开关; 切换方式

中图分类号: TM 564

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2006)11-0032-03

自动转换开关电器 ATSE (Automatic Transfer Switching Equipment) 主要用于紧急供电系统, 将负载电路从一个电源自动换接至另一个电源(备用)的开关电器, 以确保重要负荷连续的可靠运行。

国内市场上已经有 3 种双电源切换开关: CB 级 ATSE、PC 级 ATSE 和电动式刀开关^[1], 其中 ATSE 一般由开关电器本体和控制器 2 部分组成, 传统的 ATSE 的开关电器本体主要由 2 台机械联合的断路器组成, 所以存在速度慢、可控性差等问题, 而新型的自动切换开关则完全用固态开关替代机械式开关^[2], 虽然提高了开关的转换速度和可控性, 但由于其带负载能力差, 自身损耗大也限制了其应用。为此, 可以利用机械开关的静态特性和固态开关的快速动作特性而研究一种符合自动转换开关的特点和工作要求, 基于 DSP 控制器的混合式双电源切换开关, 本文重点研究了一种基于 IGBT 混合式自动转换开关 HATS (Hybrid Automatic Transfer Switching) 的本体结构、工作原理及动作特性。

1 自动转换开关的特点和工作要求

ATSE 一般由开关电器本体和控制器 2 部分组成, 其中控制器部分主要有 2 种形式: 一种是由传统的电磁式继电器构成; 另一种是数字化智能产品。后者具有性能好、参数可调及精度高、可靠性高和使用方便等优点, 所以目前大部分的 ATSE 都是 PC 级, 它的主要功能是介于正常市电与应急电源间的电源自动切换装置, 其工作原理一般是指当主电源故障或压降过大时能自动将负载供电线路切换至应急电源(另一路市电或发电机), 当主电源恢复时, 经过一定的延时(通常几分钟), 再由应急电源切换回主电源, 2 路电源的切换都在带负荷的状态下进行, 所以

要求自动转换开关带负载能力要强, 另一方面为了实现自动转换开关切换的快速性、投切的成功率以及保持主、备电源相位的一致性, 而需要提高控制部分和开关电器本体的响应速度, 因此, 需要研制出符合带负载能力强和动作特性快的控制部分和开关电器本体的装置。

2 HATS 本体部分的工作原理及性能

2.1 工作原理

HATS 基本结构如图 1 所示。

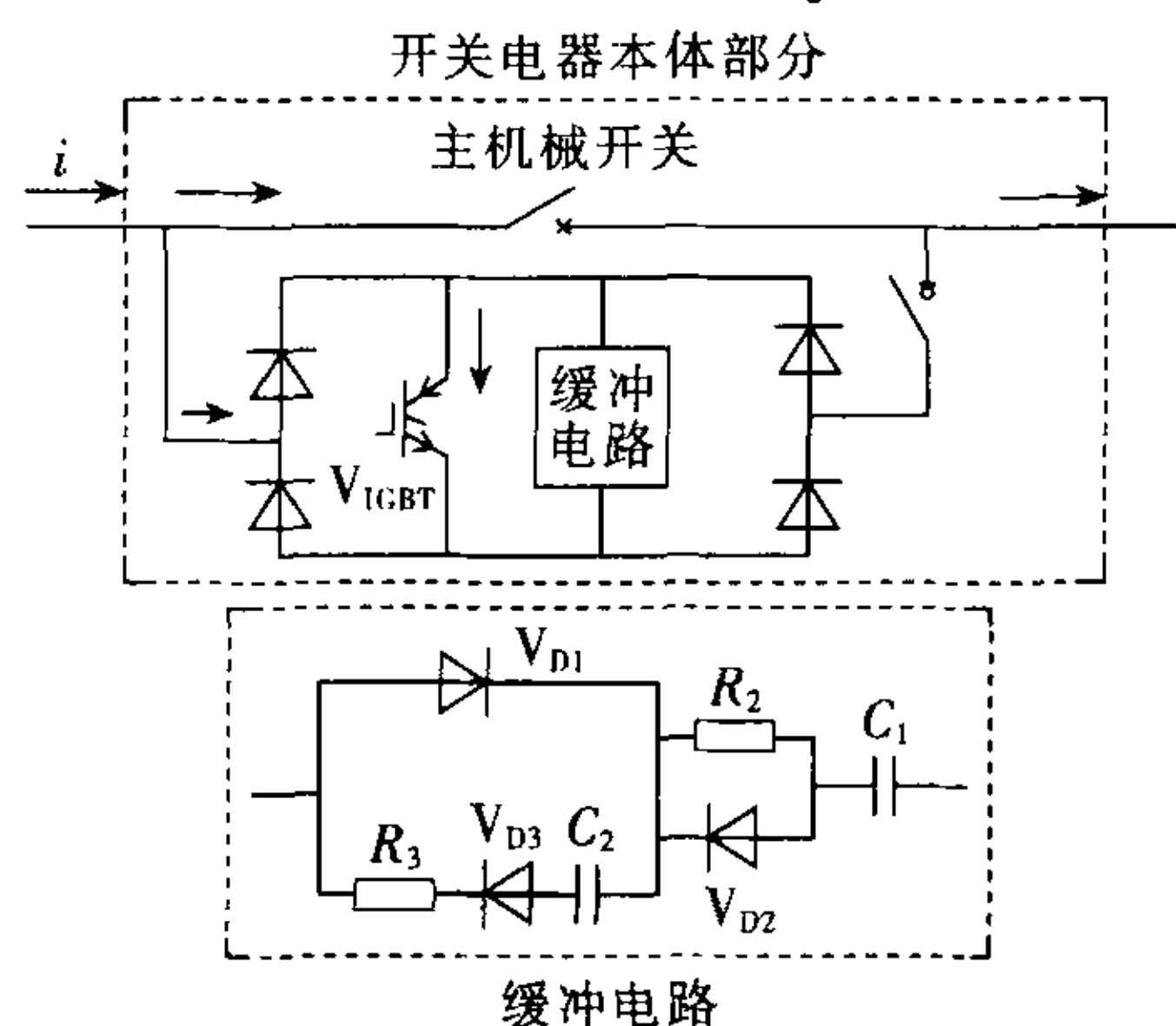


图 1 混合式自动转换开关基本结构

Fig.1 The basic structure of HATS

其每个混合式开关都采用固态开关 IGBT^[3-5]与主机械开关并联的结构(如图 1 中的本体开关部分), 它是由 IGBT 和整流桥组成固态开关换流电路, 在机械开关动作前动作, 可以提高混合式开关的动作速度, 并有效限制电弧的产生。其工作原理是: 合闸前主机械开关和固态开关 IGBT 处于断开状态, 合闸时通过 DSP 测控装置控制主机械开关和固态开关 IGBT 同时动作。由于 IGBT 动作时间为微秒级, 而机械开关为毫秒级, 因此合闸时 IGBT 首先导通, 负载电流在 IGBT 回路上建立, 过后一段时间机械开关

闭合时,由于机械开关的阻抗远小于 IGBT 回路阻抗,因此负载电流从固态开关 IGBT 换流至主机械开关,分闸前,主机械开关处于合闸状态,固态开关处于断开状态,负载电流从主开关上流过;分闸时通过 DSP 测控装置同时给固态开关 IGBT 闭合和主机械开关断开命令,由于主开关有几十毫秒的机械延时,在这段时间内主机械开关仍然处于合闸状态,固态开关 IGBT 两端电压也被钳位为 0 V,保持断开状态,机械延时过后,根据自然换流原理,主机械开关分断时主触点两端产生的电弧电压使 IGBT 导通,负载电流换流至 IGBT。同时,由于主机械开关分闸过程中,其两端电压始终被 IGBT 钳位在 5 V 以内,限制了过电压,根据电弧原理,主开关的机械触头也不会产生电弧^[5-7]。

2.2 动作特性

分别对机械式和混合式开关的合闸特性、分闸特性以及限压特性进行对比实验^[9],表 1 为实验结果。

表 1 机械式和混合式本体开关动作特性对比
Tab.1 Action characteristic comparison between mechanical and hybrid switching

U/V	$\varphi/(^{\circ})$	t_{jh}/ms	t_{hh}/ms	t_{jf}/ms	t_{hf}/ms	U_{jf}/V	U_{hf}/V
50	0	36.0	0.3	3.7	0.6	-62.6	-0.5
	60	36.2	0.3	5.4	0.2	79.2	4.7
	90	36.0	0.4	3.6	0.6	61.1	5.4
	150	37.8	0.2	4.1	0.4	69.4	5.5
60	0	35.8	0.3	4.1	0.4	64.4	-1.0
	60	43.0	0.4	5.8	0.2	75.7	5.0
	90	36.0	0.3	4.0	0.4	61.7	5.6
	150	41.4	0.4	4.6	0.4	68.6	5.5

注: U 为电压; φ 为相位; t_{jh} 、 t_{hh} 分别为机械式和混合式合闸动作时间; t_{jf} 、 t_{hf} 分别为机械式和混合式主触点分闸时间; U_{jf} 、 U_{hf} 分别为机械式和混合式分闸两端电压。

根据实测结果可看出:采用 IGBT 固态开关与传统的机械式断路器进行并联,在机械开关合闸、分闸时可优化开关的工作特性;而过去常用的转换开关大多只有主机械开关,故而会影响整个转换开关的动作速度,尤其是当发生过压故障时转换开关的转换速度较慢,往往不能满足敏感性负载对电能质量的要求。与此相对应的是:由 IGBT 构成的转换开关具有极其快速的通断特性,克服了传统转换开关的缺陷。为验证 IGBT 转换开关的快速特性,通过搭建转换开关的实验电路验证其开关的优越性。

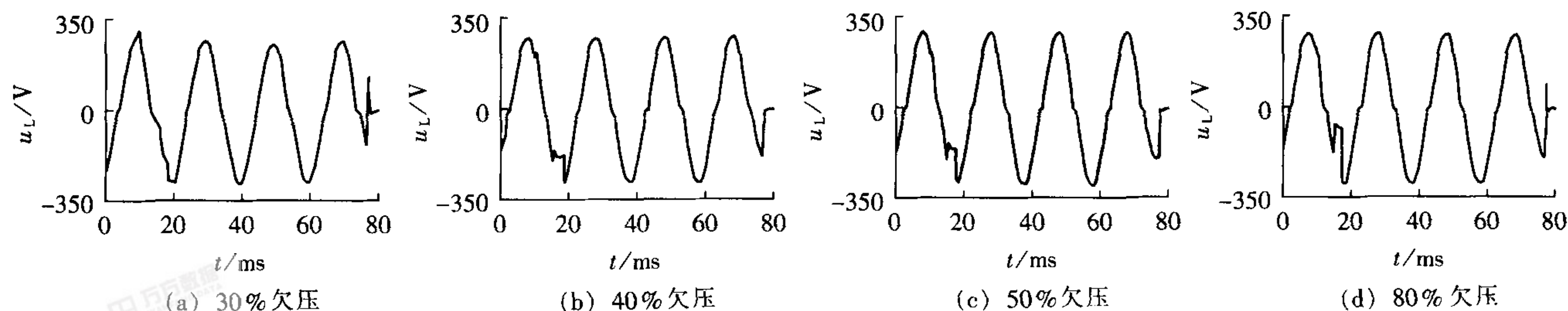


图 3 欠压比的变化与负载电压波形

Fig.3 Waveforms of load voltage with different under-voltage ratios

3 HATS 实验研究结果

3.1 实验主电路

实验主电路如图 2 所示,图中, R_1 、 R_2 为限流电阻, R_i 为不同欠压比调节电阻。

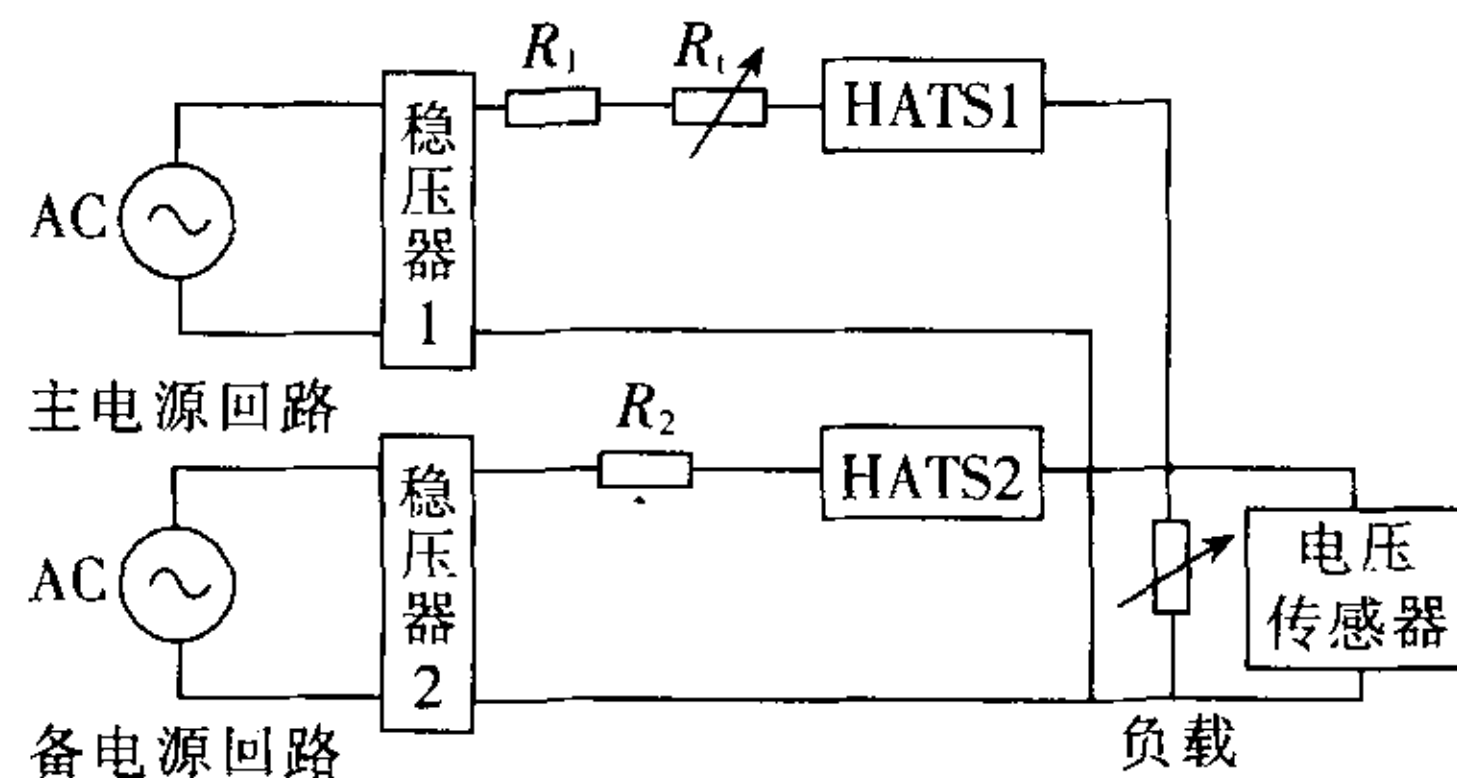


图 2 实验主电路

Fig.2 The main experimental circuit

3.2 切换方式比较

a. 并联方式:同时发主电源分断和备用电源闭合命令,具体控制过程是检测到主电源的主机械开关分断,再分断主电源的固态开关 IGBT,检测到备用电源主机械开关合上,分断备用电源固态开关 IGBT,该控制方式的优点是速度快,缺点是 2 个 IGBT 同时导通,存在电源短接情况,通常用于正常情况的切换方式。

b. 串联方式:先分断主电源,检测到主电源主机械开关分断后,分断主电源固态开关 IGBT,同时发备用电源闭合命令,检测到备用电源主机械开关分断后,分断备用电源固态开关 IGBT,该切换方式虽然速度不快,但可以防止 2 个电源短接,一般用于故障切换。

3.3 实验数据

通过搭建实验电路,测量 HATS 在不同欠压比、不同切换相位下的切换时负载两端的电压,从电压波形可以得出 HATS 的切换时间,而验证了 HATS 开关本体部分的动作特性。

3.4 实验数据分析

实验结果如图 3~7 所示。图 3 为电源发生低压瞬变时在不同欠压百分比时所对应的负载电压 u_L 波形。由波形可见,随着欠压百分比的增大,HATS 完成切换动作的时间越长(这主要是受控制器电压检测算法对电压幅度下降的敏感度的影响),欠压的比例越大,检测时间越长,而 IGBT 固态开关的导通

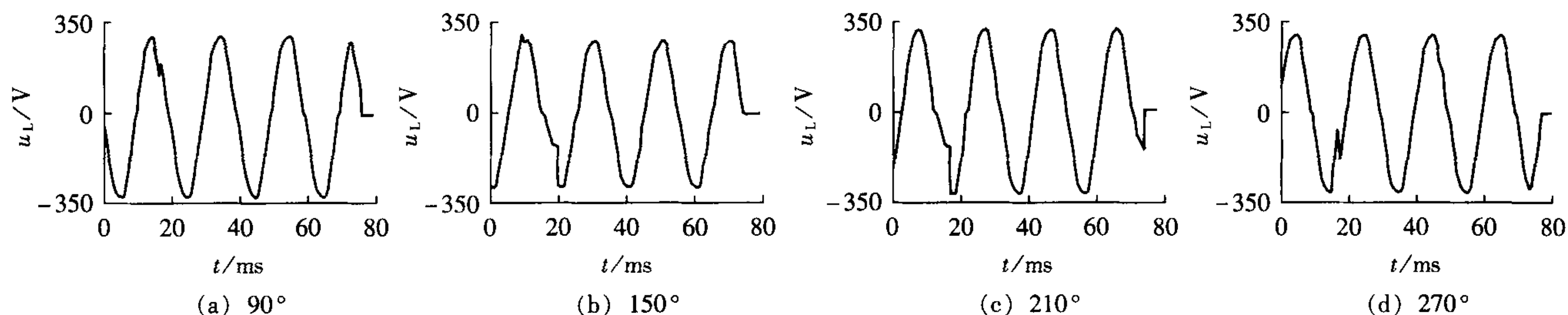


图 4 切换相位与负载电压波形

Fig.4 Waveforms of load voltage with different switching phases

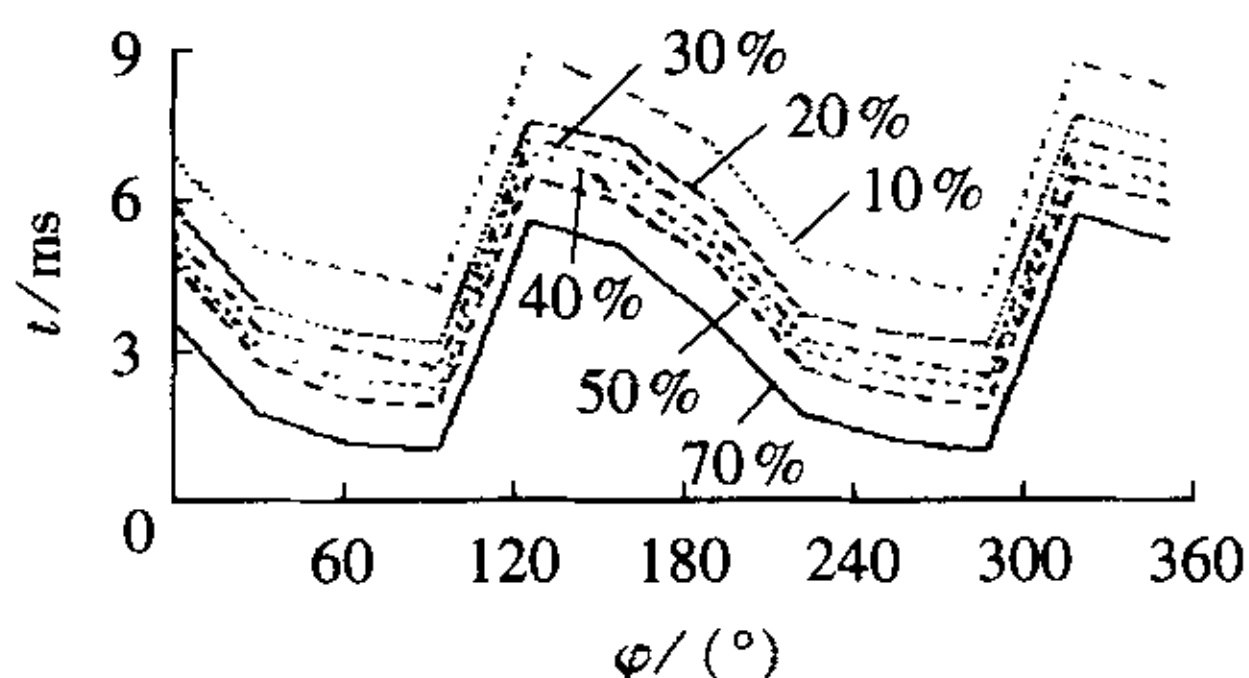


图 5 不同相位及欠压条件下的切换时间

Fig.5 Switching time for different switching phases and under-voltages

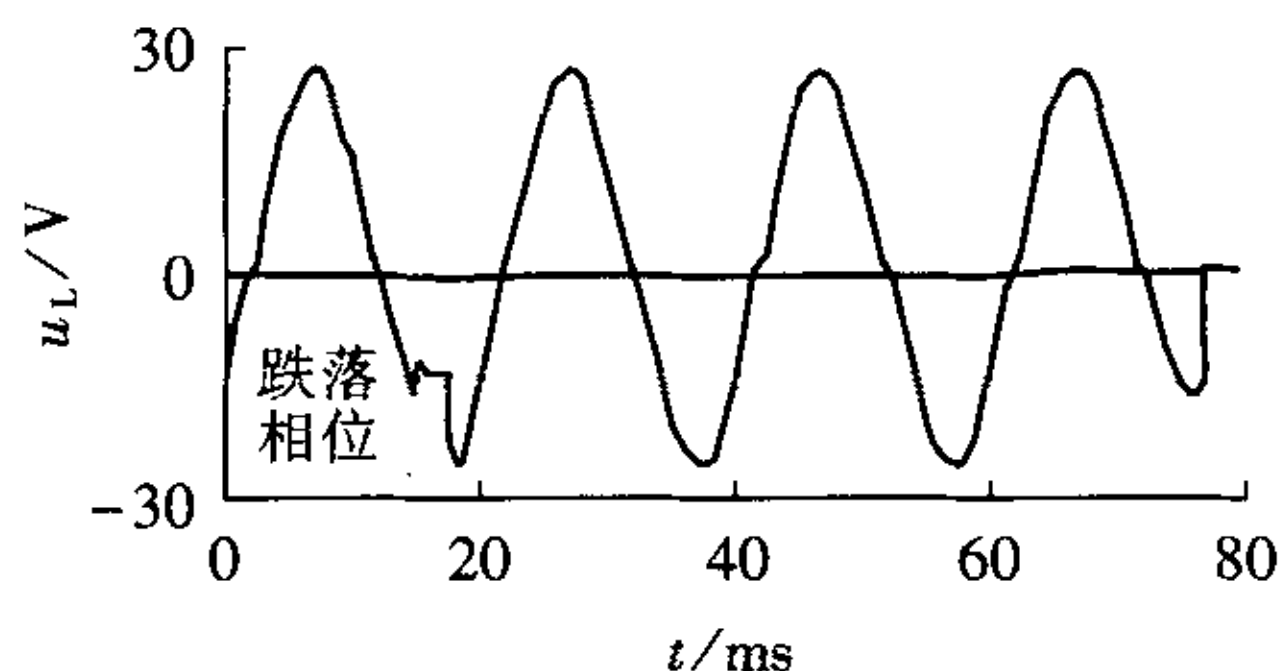


图 6 电压跌落实验波形

Fig.6 The test waveform of voltage sag

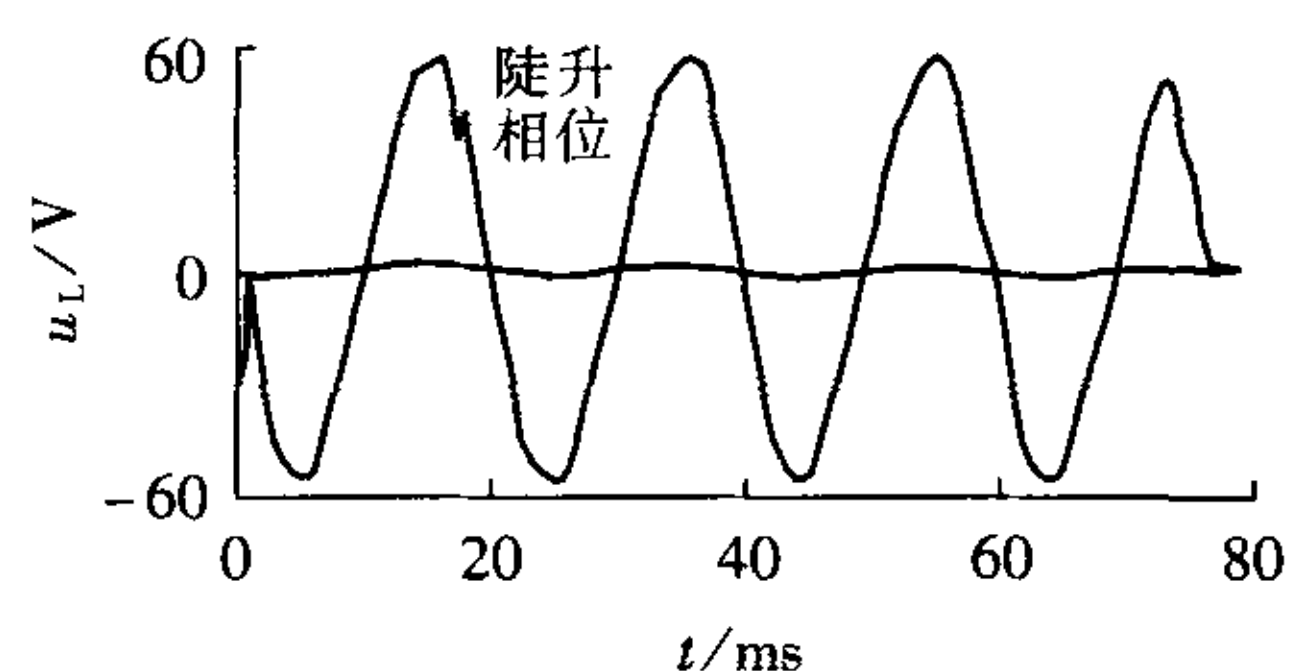


图 7 电压陡升实验波形

Fig.7 The test waveform of voltage swell

速度是可以忽略的,所以自动转换开关完成切换动作的时间越长。图 4 为在不同相位(90° 、 150° 、 210° 、 270°)切换时负载两端的电压波形。

从图 5(图中 t 为响应时间、 φ 为相位)可以得出:该 HATS 在不同欠压比、不同相位条件下能实现快速切换,主、备双电源的切换,切换时间最大只有 6.5ms,该切换时间明显比传统的自动转换开关快(传统一般为秒级),通过单电源实验可验证 HATS 的优越性,在实验中也模拟了双电源切换过程中出现的电压跌落、电压陡升现象,如图 6、7 所示。

4 结语

通过分析混合式自动转换开关基本结构和基本工作原理可以得出,该自动转换开关在保持了机械开关静态特性的同时,其合闸和分闸动作的快速性和一致性以及动作时的限压性能均明显优于传统自动切换开关。尤其是动作的快速性和一致性,使得自动切换开关的可控性进一步提高,这些优越特性使其在电力系统中的快速切换领域有着非常重要的意义,是快速切换的前提,并通过实验对混合式自动切换开关的动作特性及快速切换性能进行了验证。

参考文献:

- [1] 曲德刚. 自动转换开关电器(ATSE)的选择与应用[J]. 低压电器, 2003(1): 56-58.
QU De-gang. Choice and application of automatic transfer switching equipment(ATSE)[J]. Low Voltage Apparatus, 2003(1): 56-58.
- [2] 陈刚, 江道灼, 吴兆麟. 固态短路限流器的研究与发展[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(10): 89-94.
CHEN Gang, JIANG Dao-zhuo, WU Zhao-lin. Research and development of solid state fault current limiter[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(10): 89-94.

- [3] 梅军, 郑建勇, 胡敏强, 等. 基于 IGBT 软关断的混合式限流断路器结构与分析[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(18): 59-62, 75.
MEI Jun, ZHENG Jian-yong, HU Min-qiang, et al. Structure and analysis of a hybrid current limiting circuit breaker based on IGBT soft switching[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(18): 59-62, 75.
- [4] STEURER M, FROHLICH K, HOLAUS W, et al. A novel hybrid current-limiting circuit breaker for medium voltage: principle and test results [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2003, 18(2): 460-467.
- [5] 钱杞, 张培铭. 低压交流断路器的限流技术[J]. 低压电器, 2000(3): 3-8.
QIAN Qi, ZHANG Pei-ming. Current limiting technologies for AC low voltage circuit breakers[J]. Low Voltage Apparatus, 2000(3): 3-8.
- [6] 刘福斌, 唐勇, 陈珩, 等. IGBT 动态电力电子开关的研制[J]. 电力系统及其自动化学报, 2000, 12(3): 21-25.
LIU Fu-bin, TANG Yong, CHEN Heng, et al. IGBT dynamic power electronical switch's development[J]. Proceedings of the EPSA, 2000, 12(3): 21-25.
- [7] ZYBORSKI J, LIPSKI T, CZUCHA J, et al. 无弧限流式混合断路器[J]. 低压电器, 1998(1): 7-12.
ZYBORSKI J, LIPSKI T, CZUCHA J, et al. Arcless current limiting and interrupting hybrid device for disturbance arc and other protection[J]. Low Voltage Apparatus, 1998(1): 7-12.
- [8] 弗卢夏姆 C H. 断路器的理论与设计[M]. 李建基, 译. 北京: 机械工业出版社, 1984.
- [9] 陈明清, 温家伶. IGBT 驱动模块 M57962AL 的应用研究[J]. 电子技术应用, 2002, 28(11): 52-53.
CHEN Ming-qing, WEN Jia-ling. Application research of IGBT driver M57962AL[J]. Application of Electron Technology, 2002, 28(11): 52-53.

(责任编辑: 柏英武)

作者简介:

刘顺炮(1981-), 男, 福建莆田人, 硕士研究生, 研究方向为电力电子与电力传动(E-mail: liushunpao@163.com);

郑建勇(1966-), 男, 江苏南京人, 副主任, 教授, 研究方向为电力电子与电力传动。

非恒定电压输入对带饱和电感移相 全桥 ZVS-PWM 变换器的影响

童正军,张俊洪

(海军工程大学 电气与信息工程学院,湖北 武汉 430033)

摘要: 蓄电池的输出电压在使用过程中是从高到低宽幅变化的,这对以蓄电池作为电源的电流变换器、特别是运用软开关技术的电流变换器产生了很多影响。以带饱和电感的移相全桥零电压开关 ZVS-PWM 直流变换器为研究对象,在对其 7 种工作模式进行具体分析的基础上,研究了输入电压幅值变化对其软开关条件实现、变压器副边占空比丢失及其整个直流变换系统变换效率的影响,并进行了仿真实验;对不同输入电压下的仿真实验数据进行对比和分析。结果表明,输入电压升高会严重影响滞后桥臂 ZVS 的实现,增大环流时间和环流电流;而输入电压下降则会增大占空比丢失,影响输出电压。

关键词: 非恒定电压; 移相控制; 软开关; 饱和电感; 全桥变换器

中图分类号: TM 464

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2006)11-0035-04

0 引言^[1]

传统的移相全桥零电压开关 ZVS-PWM 变换器结合了零电压开关准谐振技术和传统 PWM 技术两者的优点,工作频率固定,在高频大容量直流变换领域很有竞争力。但它的零电压开关实现是利用谐振电感的能量对功率开关的输出电容放电,实现零电压开关的负载范围很大程度上依赖谐振电感值。在对轻载效率敏感的应用情况下,必须采用很大的谐振电感以实现轻载时功率开关的零电压开关。但谐振电感值越大,变换器运行时的循环能量越大,这就加大了接触损耗和开关的电流、电压应力。另外,谐振电感与二极管结电容作用产生严重的寄生振荡,增大了开关损耗和开关噪声。饱和电感代替线性电感作谐振电感,电路其他部分保持不变,控制方式还是移相控制,这样该带饱和电感的变换器具有更宽的零电压开关负载范围,更小的循环能量损

失,特别适用对轻载效率敏感的应用场合。

串联电池组构成的逆变用直流电压源,广泛用于电动汽车和不间断电源(UPS)等一些大功率场合,特别在海军潜艇电网中,得到更广泛应用。电池组在充满电和使用过程中存在着输出电压幅值变化,而且电池的储存容量有限,因此研究非恒定电压输入条件下的软开关实现和变换效率问题就有其必要性。

1 ZVS PWM 变换器工作原理^[1-5]

图 1 为带饱和电感的移相全桥 ZVS PWM 变换器电路原理图。图中, $V_{D1} \sim V_{D4}$ 分别是 $V_{T1} \sim V_{T4}$ 的内部寄生二极管, $C_1 \sim C_4$ 分别是 $V_{T1} \sim V_{T4}$ 的寄生电容或外接电容。 L_s 为饱和电感值为 I_c 的可饱和电感。每个桥臂的 2 个功率管互补导通, 2 个桥臂的导通角相差 1 个相位, 即移相角 $\delta = \omega t$, 通过调节移相角的大小调节输出电压。 V_{T1} 、 V_{T3} 分别超前于 V_{T4} 、 V_{T2} 1 个相位, 称 V_{T1} 和 V_{T3} 组成的桥臂为超前桥臂, V_{T4} 和 V_{T2} 组成的桥臂为滞后桥臂。

收稿日期:2005-12-12;修回日期:2006-01-26

Research on hybrid automatic transfer switching based on IGBT

LIU Shun-pao¹, ZHENG Jian-yong¹, GU Dong-liang², MEI Jun¹

(1. Southeast University, Nanjing 210096, China; 2.28 Department of CETC, Nanjing 210007, China)

Abstract: The development and performance of current ATS (Automatic Transfer Switching) are analyzed. With the deep study of the new hybrid circuit breaker, the structure and working principle of HATS (Hybrid Automatic Transfer Switching) equipment based on IGBT are introduced, emphasizing on action characteristics of the noumenal switching part, such as switching on/off and voltage-limitation. Both shunt and serial switching modes of HATS are simulated and their performances are compared. Experimental results show that, HATS equipment improves its switching speed and consistency and the voltage-limitation performance, while its static characteristics of mechanical transfer switching are kept.

Key words: solid state switching; IGBT; hybrid transfer switching; switching mode