

# 高压直流工程换流站交流开关场最后开关/线路保护运行分析

李兴<sup>1,2</sup>, 陈世元<sup>1</sup>, 张鹏<sup>2</sup>, 江一<sup>2</sup>, 夏拥<sup>2</sup>, 罗敬华<sup>2</sup>

(1. 华南理工大学电力学院, 广东 广州 510640; 2. 中国南方电网超高压输电公司广州局, 广东 广州 510405)

**摘要:** 结合贵广直流输电工程 500 kV 交流开关场的 3/2 接线方式, 介绍了高压直流输电系统中所特有的交流开关场最后开关/线路保护逻辑。并同时结合实际工程竣工验收过程中出现的 500 kV 母差保护动作异常情况, 对最后开关逻辑进行了深入的分析。

**关键词:** 高压直流输电系统; 最后开关/线路逻辑; 母差保护; 3/2 接线方式

**中图分类号:** TM77 **文献标识码:** B **文章编号:** 1003-4897(2005)04-0066-05

## 1 最后开关/线路保护简介

3/2 接线方式交流开关场, 每回线路通过两条回路与母线联结。就每回线路而言, 当只有一条回路与母线相联时, 该回路运行开关即成为此回路最后开关, 此时, 相关保护也就成为最后开关保护。最后开关保护有换流变、线路、大组交流滤波器最后开关保护。

500 kV 交流场出线一般有多回, 当只有一回交流线路运行时, 该回路成为最后线路, 相关保护也就成为最后线路保护。

最后开关/线路保护通过交流站控系统实现逻辑判断后, 信号送至相应间隔控制单元 6MD664 以确认对应最后开关/线路的出口逻辑。相关保护动作跳开所对应交流场最后开关的同时, 执行直流系统所特有的一系列动作顺序。

最后开关逻辑判断仅仅基于 500 kV 交流开关场每串的状态, 不涉及其它串; 而最后线路逻辑判断则基于整个 500 kV 交流开关场, 包括备用线路间隔在内所有线路间隔的状态。肇庆换流站 500 kV 交流开关场接线如图 1 所示。

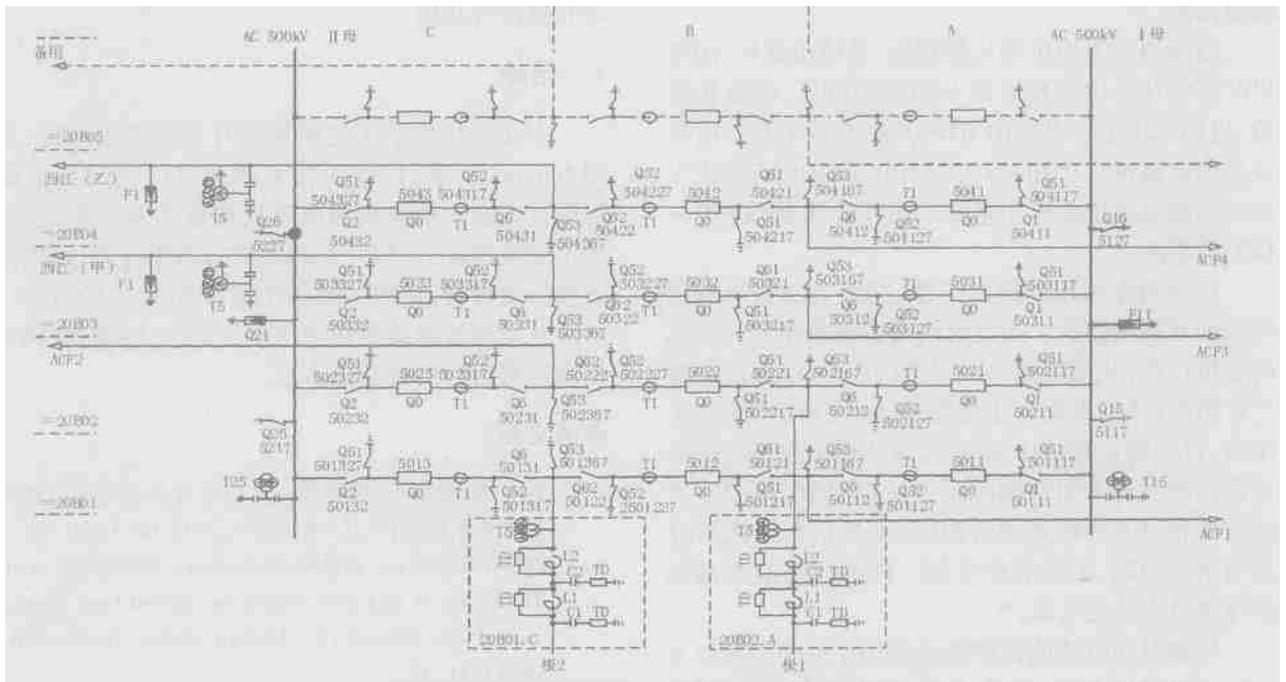


图 1 肇庆换流站 500 kV 交流场主接线图

Fig. 1 Main electrical connection of 500 kV AC yard in Zhaoqing converter substation

### 1.1 换流变最后开关保护

如图 1 所示,第 1 串和第 2 串开关涉及换流变最后开关保护。以极 2 换流变为例,其最后开关判断逻辑见表 1,若当交流站控系统逻辑判断 5013 开关为极 2 换流变最后开关,则如图 2 所示,5013 开关间隔交流就地控制接口屏内 6MD664 的 BQ24 接点将闭合。当换流变保护动作跳开 5013 开关,中间继电器 - K251 的 21、24 接点将闭合,极 2 ESOF 顺序将同时启动,极 2 退至停运状态。

表 1 极 2 换流变最后开关判断逻辑

Tab. 1 The last breaker logic of converting transformer pole 2

最后开关	判断逻辑
5011	50131 5013 50132
5012	50131 5013 50132
5013	(50111 5011 50112) (50121 5012 50122)

注: 无下划线代表开关/刀闸/地刀在合位; 有下划线代表开关/刀闸/地刀在分位; “ ”代表“与”逻辑; “ ”代表“或”逻辑。

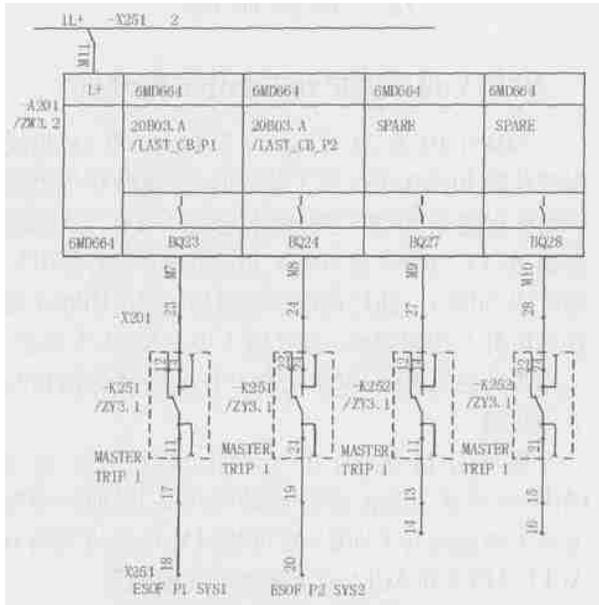


图 2 换流变最后开关逻辑

Fig. 2 The last breaker logic of converting transformer

### 1.2 线路最后开关保护

如图 1 所示,第 3、4 串开关涉及线路最后开关保护。以肇西甲线为例,线路最后开关判断逻辑见表 2,当交流站控系统逻辑判断 5033 开关为肇西甲线最后开关,则 5033 开关间隔交流就地控制接口屏内 6MD664 的相应接点将闭合,正电源送出。随着相应肇西甲线线路保护动作跳开 5033 开关的同时,由于线路双回供电回路全部断开将导致直流系统减功率运行。

表 2 肇西甲线最后开关判断逻辑

Tab. 2 The last breaker logic of Zhaoxijia line

最后开关	判断逻辑
5031	50331 5033 50332
5032	50331 5033 50332
5033	(50311 5031 50312) (50321 5032 50322)

### 1.3 大组交流滤波器最后开关保护

如图 1 所示,交流开关场所有 4 串开关均涉及到大组交流滤波器最后开关保护。由于必须与每组交流滤波器的开关动作情况相配合,因此大组交流滤波器最后开关保护相对复杂。以第 3 大组交流滤波器为例,大组交流滤波器最后开关判断逻辑见表 3,当交流站控系统逻辑判断确认 5031 开关为 ACF3 最后开关后,如图 3 所示 5031 开关间隔交流就地控制接口屏内 6MD664 相应接点 BQ44 将闭合,以下两种动作情况将进一步完成 5031 开关的跳闸。

1) 当非交流滤波器连线保护,如开关失灵、母差、线路等保护动作时,交流就地控制接口屏内 6MD664 相应接点的闭合将导致 - KF2 继电器励磁,如图 4 所示继而断开该大组开关直接跳闸回路,必须将跳闸命令转送至交流滤波器连线保护,由连线保护在完成该大组交流滤波器开关的跳闸过程中跳开 5031 最后开关。

2) 当交流滤波器连线保护动作时,将不考虑最后开关逻辑判断,而是先跳开该大组所有小组交流滤波器开关后,延时 5 ms 再跳开大组交流滤波器 5031 和 5032 开关(详见第 2 节)。

表 3 第 3 大组交流滤波器最后开关判断逻辑

Tab. 3 The last breaker logic of ACF in bank 3

最后开关	判断逻辑
5011	[(50132 5013 50131) (50122 5012 50121)]
	(5011 - MT1 5011 - MT2)
5012	[(50111 5011 50112) [(5013 - MT1 5013 - MT2)
	(5012 - MT1 5012 - MT2)]

备注: MT 代表:主跳闸继电器动作; 代表:由间隔控制单元 6MD66 实现的最后开关判断逻辑。

### 1.4 最后线路保护

最后线路逻辑基于整个 500 kV 交流开关场所有交流出线实现。如图 1 所示,交流开关场第 3、4 串开关及备用的第 5 串开关将涉及最后线路保护。例如当交流站控系统逻辑判断肇西甲线为最后线路(最后线路判断逻辑见表 4),即仅此一回交流出线,此时如图 5 所示 5033 开关间隔(=20B03.C)交流就地控制接口屏内 6MD664 相应接点 BQ27 和 BQ28 将闭合。当 5033 和 5032 开关保护皆跳闸时,如图 5 所示 =20B03.C 和 =20B03.B 间隔各自对应的

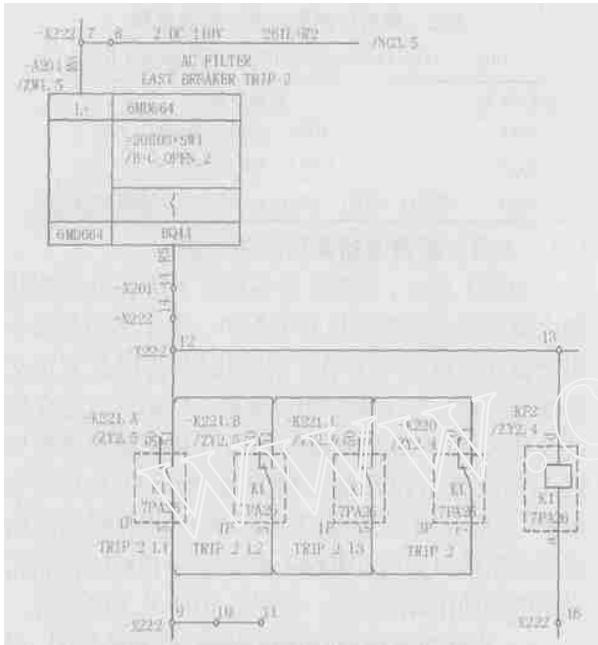


图3 大组交流滤波器最后开关逻辑

Fig. 3 The last breaker logic of ACF unit

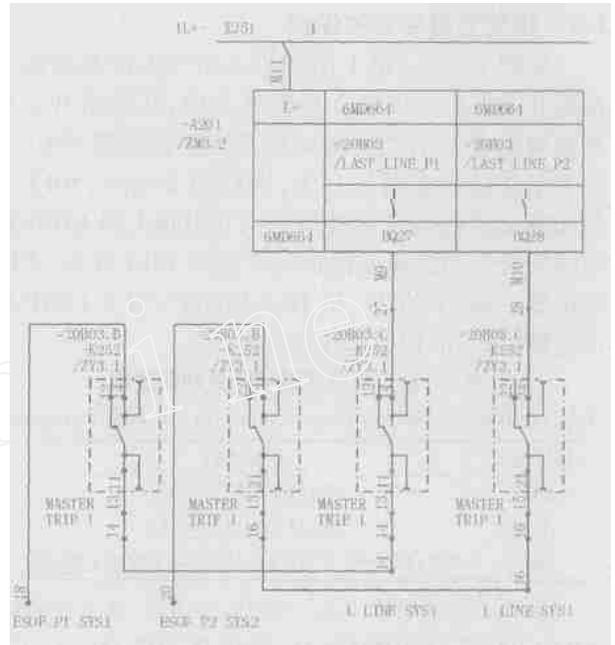


图5 最后线路逻辑

Fig. 5 The last line logic

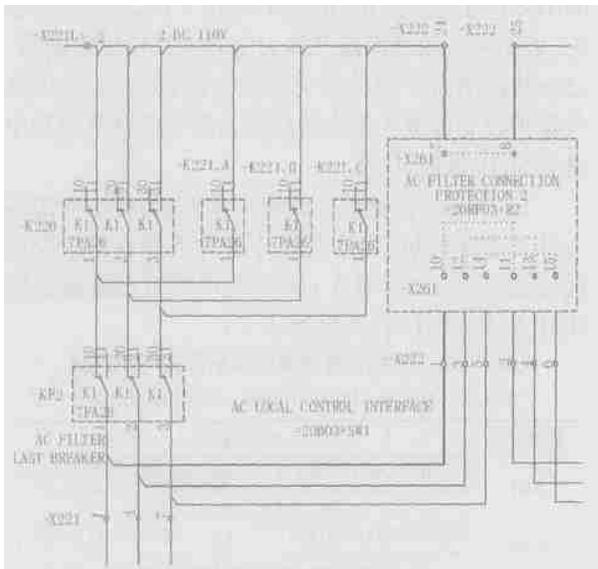


图4 最后开关直接/间接跳闸回路

Fig. 4 Direct/ indirect tripping circuit of the last breaker

- K252 继电器中(11,14)和(21,24)接点的闭合将启动双极 ESOF 顺序进而导致双极停运。由图 5 中 5033 和 5032 开关间隔各自 - K252 接点的串接可知,最后线路也将遵循线路最后开关逻辑,即最后线路其中一个开关跳开并不会启动双极 ESOF 顺序。

表 4 最后线路判断逻辑

Tab. 4 The last line judging logic

最后线路	判断逻辑
肇西甲线	(50431 5043 50432) [(50411 5041 50412) (50421 5042 50422)] 预留线路未投入运行

## 2 500 kV 母差保护开关动作异常分析

2004 年 03 月 23 日运行单位在对 500 kV 母线保护装置 BP-2B 进行竣工验收时,发现 # 1M 母差保护动作仅跳开 5021 开关,而不能跳开所有与交流滤波器 ACF1、ACF3 及 ACF4 相关的边开关(5011、5031 及 5041)。随后现场手动退出相关 6MD664 装置最后开关逻辑判断(甩开图 3 中 - X222:7 端子, - KF2 失磁),5011、5031、5041 开关受自保持信号立即跳闸。

现场分析认为:由于以上开关已经通过 6MD664 确认为交流滤波器最后开关,因而只要断开极 1 换流变开关 5021 便可将 # 1M 母线以及所有 ACF1、ACF3 和 ACF4 交流滤波器完成隔离。

但是,当需要断开负荷开关时,应遵循“先分后总”的原则,即先断开所有分支负荷开关,再断开总的负荷开关;合开关时顺序则相反。运用于交流滤波器则应先断开各小组交流滤波器开关,再断开总的交流滤波器母线开关。若按照上述分析,即使是将 ACF1、ACF3 和 ACF4 交流滤波器隔离后,在投入每大组交流滤波器之前,也必须先手动断开各小组交流滤波器开关,因为不可能同时投入 3~4 小组交流滤波器。因而这一程序的设计显得很不完善。围绕这一问题,我们进行了深入的分析。

以 ACF3 为例分析如下:

如图4所示,当母差保护动作,5031开关交流就地控制接口屏=20B03+SW1内-K220接点将闭合。这时,如果5031开关不是交流滤波器ACF3的最后开关,则跳闸信号将经过-KF2的K1接点出口至交流总端子箱=20B03+V1的主跳闸继电器跳开5031开关;如果5031开关是交流滤波器ACF3的最后开关,如图3所示,5031开关间隔交流就地控制接口屏内6MD664装置的BQ44接点将闭合,由于-KF2继电器-X222:16端与负电位直接相连(见图4),因此该继电器动作,图4中-KF2的K1接点变位,因此-K220接点的跳闸信号无法出口。这也是上述母差保护动作异常情况发生的原因。

但是从图4中可见-KF2接点K1的下端还有来自交流滤波器大组保护=20RF03+R2的信号,也即交流滤波器大组保护的跳闸信号可不受交流滤波器最后开关逻辑闭锁,直接出口跳闸。查阅交流滤波器大组保护图纸,如图6所示大组保护中间跳闸继电器-K21、-K22、-K23将接受来自7UT612的分相差动跳闸、7SJ610的过流跳闸及=20B03+SW1/SW2的跳闸信号,先由-K21和-K22跳开ACF3各小组交流滤波器,再由-K24经-K23延时5ms后不受交流滤波器最后开关逻辑闭锁跳开5031和5032开关(图3即是图6中虚线框内部分)。

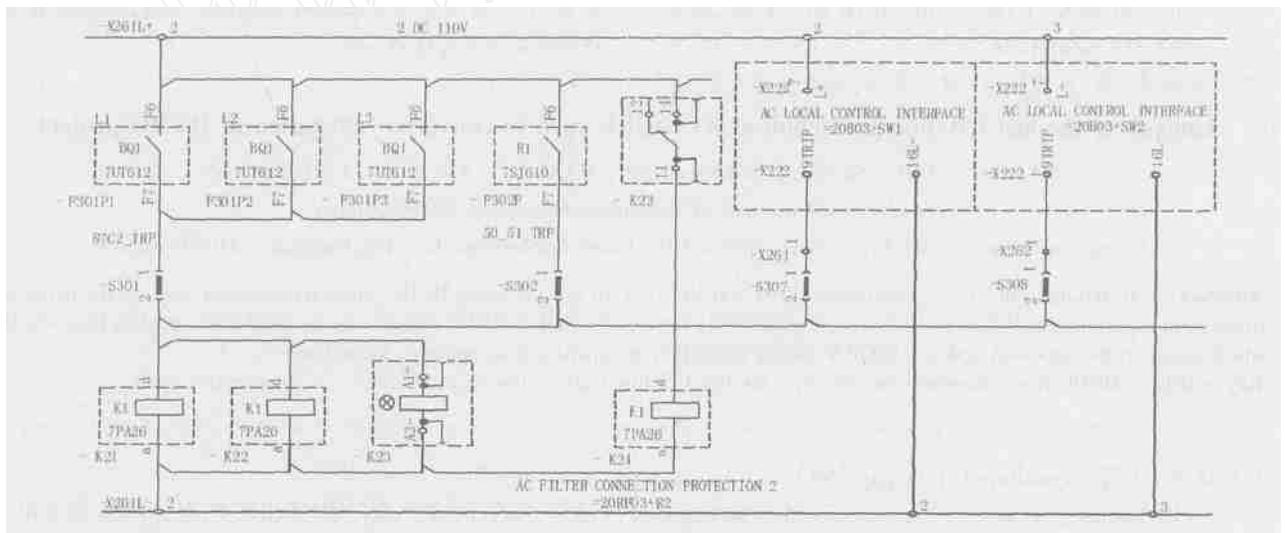


图6 交流滤波器大组保护

Fig. 6 Protection of ACF in large units

综上所述,母差保护出口跳开与交流滤波器相关的边开关时有两条跳闸回路:

1) 若5031开关不是交流滤波器的最后开关,则跳闸信号将经过-KF2的K1接点直接出口至交流总端子箱的主跳闸继电器跳开5031开关;

2) 若5031开关是交流滤波器的最后开关,则上述跳闸信号将受6MD664装置内交流滤波器最后开关逻辑闭锁,无法直接出口至交流总端子箱。此时只能如图6结合图3所示,-K220受母差保护跳闸励磁后送信号至交流滤波器大组保护=20RF03+R2,由大组保护动作先跳开ACF3小组滤波器,再由-K24经-K23延时5ms后不受交流滤波器最后开关逻辑闭锁跳开5031和5032开关。

根据现场试验现象判断:图6交流滤波器大组保护=20RF03+R2内的-K21、-K22、-K23继电器未收到图3中经6MD664装置BQ44接点和

-K220的(7,71)接点送出的跳闸信号励磁导致异常情况出现。经检查发现交流滤波器大组保护屏=20RF03+R2与交流就地控制接口屏=20B03+SW1/SW2相连的压板-S307和-S308(见图6)未投入。因此当边开关是交流滤波器的最后开关时,母差保护出口跳开与滤波器相关边开关的两条回路皆被闭锁。在压板-S307和-S308投入之后,#1M母差保护动作正常出口,跳开与#1M相关所有边开关(5011,5021,5031和5041)。

### 3 结论

1) 500 kV交流开关场3/2接线方式有着较高的供电可靠性、运行灵活性等诸多优点,但是复杂而冗余的接线方式不仅使投资大大增加,同时更使得其控制保护系统相当复杂繁琐。特别当应用于直流输电工程后,其高度的可靠性要求以及与直流系统

间的正确配合显得尤为重要。

2) 通过第 2 节对母差保护开关动作异常的分析验证了贵广直流肇庆换流站 500 kV 交流开关场所涉及的保护动作都必须服从于最后开关/线路保护逻辑。

3) 最后开关/线路保护逻辑通过天广直流工程的不断完善后,在贵广直流工程进一步发挥作用,将会更加可靠地保障高压直流输电系统安全可靠运行。

#### 参考文献:

- [1] Matern. AC Station Control System Information Manual [K]. SIEMENS Technical Report ID. 03 AT 53, 2003, EB2. 371. AZ0:1- 46.
- [2] 戴熙杰,等. 直流输电 [M]. 北京:电力工业出版社,

1982.

DAI Xi-jie, et al. DC Power Transmission[M]. Beijing: China Electric Power Press, 1982.

收稿日期: 2004-06-07; 修回日期: 2004-11-02

#### 作者简介:

李兴(1975-),男,工程师,硕士研究生,研究方向为高压直流输电,从事高压直流输电系统生产管理工作;

E-mail:lx-husi@126.com

陈世元(1954-),男,教授,主要从事特种电机及电机的交流绕组理论、电磁场、热交换、CAD、电力系统等方面的研究与教学工作;

张鹏(1954-),男,高级工程师,主要从事电站自动控制,直流输电系统管理的研究与教学工作,并担任 IPMP 评估师及项目管理的工作。

### Analysis of the last CB/line protection at AC switch yard in converter substation of HVDC project

LI Xing<sup>1,2</sup>, CHEN Shi-yuan<sup>1</sup>, ZHANG Peng<sup>2</sup>, JIANG Yi<sup>2</sup>, XIA Yong<sup>2</sup>, LUO Jing-hua<sup>2</sup>

(1. South China University of Technology, Guangzhou 510640, China;

2. Guangzhou Branch, South China Power Grid of EHV Power Transmission Co., Ltd, Guangzhou 510405, China)

**Abstract:** According to the 3/2 connection mode in 500 kV AC yard of Gui Guang HVDC power transmission project, the paper introduces the special last CB/line protection logic about 500 kV AC switch yard of HVDC project. At the same time, the last logic of CB, which based on the abnormal action of 500 kV busbar protection in experiment acceptance, is analysed.

**Key words:** HVDC power transmission system; the last CB/line logic; busbar protection; 3/2 connection mode

(上接第 59 页 continued from page 59)

- LIU Ya-zhou, LI Wei, JI Yan-chao, et al. The Digital Realization of IEC's Fickermeter[J]. Relay, 2000, 28(3): 18-21.
- [2] 胡广书. 数字信号处理——理论、算法与实现(第一版) [M]. 北京:清华大学出版社, 1997.
- HU Guang-shu. The Digital Signal Process——Theory, Algorithm and Realization, First Edition[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1997.
- [3] 林海雪,孙树勤. 电压的波动与闪变(第二版) [M]. 北京:中国电力出版社, 1998.
- LIN Hai-xue, SUN Shu-qin. The Voltage Fluctuation and Flicker, Second Edition[M]. Beijing: China Electric Power

Press, 1998.

- [4] 苏涛,蔺丽华,等. DSP 实用技术 [M]. 西安:西安电子科技大学出版社, 2002.
- SU Tao, LIN Li-hua, et al. DSP Application Technology [M]. Xi'an: Xidian University Press, 2002.

收稿日期: 2004-05-28; 修回日期: 2004-06-30

#### 作者简介:

袁世英(1973-),女,硕士,主要从事 DSP 教学和技术开发研究工作;

曹晖(1972-),男,硕士,主要从事 DSP 应用开发工作。E-mail: caohui2000@hotmail.com

### Development of a voltage flickermeter based on DSP

YUAN Shi-ying, CAO Hui

(East China Jiaotong University, Nanchang 330006, China)

**Abstract:** Voltage flicker is an important parameter to evaluate the power quality. As the measurement of voltage flicker is very complicated, IEC has put forward a model to solve this problem. With the analysis of this flicker model, a digital method to measure the voltage flicker is proposed. Using DSP chip of TMS320 series and multi-channel data-acquisition system, a flickermeter which can simultaneously measure eight channels voltage is designed. This flickermeter fully uses the advantages of this DSP chip such as fast calculation and special instructions, to calculate voltage flicker. The results of simulation and test show that this digital voltage flicker measurement is feasible.

**Key words:** voltage flicker; digitalization; DSP; digital filter