

合成试验数字化同步控制方法的研究

蔡志远, 戈阳阳, 马少华

(沈阳工业大学电气工程学院, 辽宁 沈阳 110178)

摘要: 为提高合成试验的控制水平, 笔者提出了一种数字化同步控制方法。该系统以单片机为核心, 能自动根据用户设定的试验参数计算出电压源回路及延弧回路的投入时间常数, 通过在线调整 D/A 转换器的输出来控制电压源回路及延弧回路的投入时刻, 系统还具有自动调零和误差在线修正等功能, 提高了控制精度。笔者给出了系统的硬件电路, 并编写和调试了软件。试验表明, 所提出的合成试验同步控制方法实时性好、精度高, 能有效地保证合成试验的成功率。

关键词: 合成试验; 单片机; D/A 转换器; 控制精度

中图分类号: TM835.1

文献标志码: A

文章编号: 1001-1609(2008)06-0521-03

Digitized Synchronous Control Method for Synthetic Test

CAI Zhi-yuan, GE Yang-yang, MA Shao-hua

(School of Electric Engineering, Shenyang University of Technology, Shenyang 110178, China)

Abstract: In order to improve the reliability and accuracy of synthetic test, a digitized synchronous control method is presented. The system, taking the single chip processor as its core, can calculate automatically the operation time of voltage source circuit and prolong arc circuit according to the testing parameter set by users, and adjust the injecting time through adjusting the output of D/A converter on line. The system has such functions as automatic zero adjustment and on line error modification to improve the control accuracy. The hardware circuit is designed and the corresponding program is coded and debugged. The experimental result indicates that the digitized synchronous control method is of better real time and high precision, which ensure the success rate of synthetic test.

Key words: synthetic test; single chip processor; D/A converter; control accuracy

0 引言

合成试验是考核高压断路器开断能力的一种重要方法, 也是考核特大容量高压断路器开断能力的唯一可行方法。

合成试验回路用两套独立的小容量电源代替一套单独的大容量电源^[1-3]。电弧熄灭之前, 主要由电流源回路提供短路电流; 电流过零及电弧熄灭之后, 由电压源回路提供瞬态和工频恢复电压。试验回路中的被试断路器、陪试断路器、电压源回路及延弧回路的动作顺序、投入时刻及作用时间均需符合要求。如果配合不当, 试验即告失败。

目前国内大多采用并联电流引入合成回路, 为使电压源回路和延弧回路恰好能在短路电流过零前某一时刻投入, 采用电压比较器或阻容移相电路取得同步控制信号^[4]。当进行非对称短路试验时, 比较

器的参考电压不能在线调整, 阻容移相器的输出不能及时跟踪短路电流的变化, 各个半波的同步控制信号不一致, 由此会产生控制偏差^[5-7]。

为提高合成试验的成功率, 笔者提出以单片机为核心的数字化合成试验同步控制方法, 操作人员输入试验参数后, 单片机自动计算出电压源回路和延弧回路投入时刻短路电流的瞬时值, 据此实时在线调整 D/A 转换器的输出, 以改变比较器的参考电压, 从而保证在对称和非对称短路试验方式下, 都能取得近乎相同的同步控制信号。

1 同步控制装置工作原理及硬件设计

图 1 所示为数字化合成试验同步控制方法的原理框图。单片机为数字化同步控制电路的核心, 操作人员通过按键和 LCD 显示器设定、查询和修改试验电流、试验方式、电压源回路和延弧回路的投入时间等试验参数, 单片机根据试验参数自动计算出电压源回路和延弧回路投入时短路电流的瞬时值, 当进

收稿日期: 2008-01-23; 修回日期: 2008-07-05

作者简介: 蔡志远(1962-), 男, 教授, 主要从事高电压试验测试与控制设备的研究。

行非对称短路试验时,需连续计算若干个半波的短路电流瞬时值。

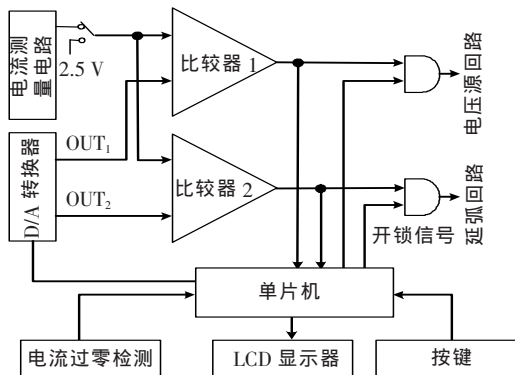


图1 合成试验同步控制数字化硬件电路原理框图

试验开始后,单片机按计算好的电压源回路和延弧回路投入时刻的短路电流瞬时值,依次在线调整 D/A 转换器的输出,改变比较器参考电压,从而在短路电流过零前取得同步脉冲信号。该脉冲信号与开锁信号相与后产生触发信号,击穿点火球隙。

为提高同步控制精度,设计了图2所示的短路电流过零检测电路。试验过程中,单片机实时检测短路电流的过零点,根据短路电流的过零点和同步脉冲信号之差测量出电压源回路和延弧回路的实际零前投入时间,并与预先设定好的时间常数相比较,根据偏差对 D/A 的输出值进行微调,进而保证同步控制精度。

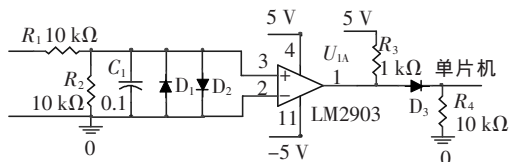


图2 短路电流过零检测电路

D/A 转换器为带有缓冲基准输入(高阻抗)的双路 12 位电压输出数字模拟转换器 TLC5618,其基准电压为 2.5 V,输出电压范围为基准电压的两倍,即 0~5 V。TLC5618 通过 3 线串行总线接收来自单片机的 16 位输入字,产生两路模拟输出,分别送入比较器 1 和比较器 2 的参考输入端,以改变其参考电压。16 位输入字的高 4 位为可编程控制位,低 12 位为被转换的数字量,数据从串行数据输入端 DIN 按从高位到低位的顺序依次输入^[8-11]。

电流测量电路见图3,一次电流传感器为空心电流互感器,测量范围为 0~100 kA;二次电流互感器为瑞士莱姆公司的 LA28-NP 型霍尔电流互感器,测量范围为 0~25 A,精度为 0.5%,响应时间为 1 μs。被测试验电流 i_1 经一次电流互感器(空心电流互感器)后转换成与之成比例的电流信号 i_2 ,再经二次电流互感器(LA28-NP)后转换成 i_3 , i_3 经电阻 R_7 、运放 A_1 转换成 0~2 V 的交流电压信号 U_1 , U_1 经运

放 A_2 提升为直流电压信号 U_2 (0.5~4.5 V),该信号被分别送入比较器 1 和比较器 2 的输入端,与来自 D/A 转换器的模拟输出电压相比较,从而产生电压源回路和延弧回路的同步控制脉冲信号。

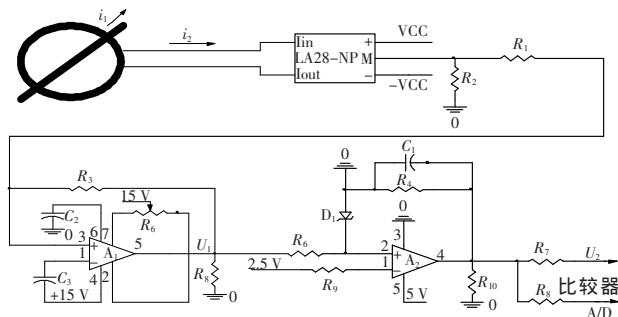


图3 短路电流测量电路

为消除短路电流测量电路的零漂,设计了调零电路。试验前,操作人员将电流测量电路的输入接地,按下调零键后,单片机逐位调整图3中 R_6 的阻值(R_6 为 12 bit 可编程数字电阻),使电流测量电路的输出为零。

电压比较器的零点漂移同样会对同步控制精度产生影响,为消除该影响,设计了零点检测电路。先将比较器 1 和比较器 2 的输入接至基准电压(2.5 V)。随后,单片机逐位改变 D/A 转换器,读取比较器 1 和比较器 2 的状态,进而测量出比较器 1 和比较器 2 的零点漂移量,以便进行零点补偿。

2 同步控制装置软件设计

软件采用模块化结构,图4所示为软件总体框图。软件的主要功能为根据设定试验参数自动计算电压源回路和延弧回路的投入时间,在试验过程中动态测量每个短路电流半波过零点投入时刻的误差并进行修正,这样可以保证在预先设定好的电流过零点处的电压源回路和延弧回路的投入时间偏差为最小。

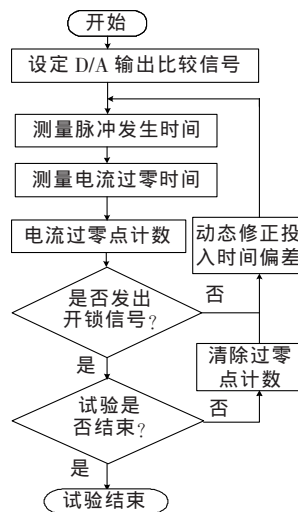


图4 软件流程图

3 同步控制装置抗干扰设计

同步控制装置使用在有强电磁干扰的高电压大容量实验运行条件下,为保证同步控制装置能可靠稳定地运行,采用了下列抗干扰的措施。

(1)在交流电源的入线端,即电源变压器的初级串联一个电源滤波器来抑制电磁干扰。

(2)印刷电路板进行了抗干扰设计。将电路板实行了“铺地”并将地线与同步控制装置的外壳相连,同时将电源线全部布在线路板的顶层,有效降低了线路上地噪声和电源噪声。在电路板的各个芯片的电源端和地线间并联了 $0.1 \mu\text{F}$ 的高频瓷片电容来抑制集成芯片与线路信号的相互干扰。

(3)在同步控制装置的外壳和电路板之间加上了用 3 mm 厚的钢板制作的屏蔽盒,在屏蔽盒上开了若干小孔,线路板通过双绞线与外部相连,最大限度的减小了电磁干扰。

4 同步控制装置应用

该同步控制装置于 2007 年初正式投入工业运行,各项功能指标均达到了预期的设计要求。不仅在对称短路试验方式下能发出理想的同步控制信号,在非对称短路试验方式下,同步控制精度也非常理想。图 5 为非对称短路方式下(T100a)的试验示波图。从图 5 可以看出,在 T100a 方式下,电压回路实际投入时刻为电流过零前 $1336 \mu\text{s}$ (设定值为 $1300 \mu\text{s}$),误差仅为 $36 \mu\text{s}$ 。

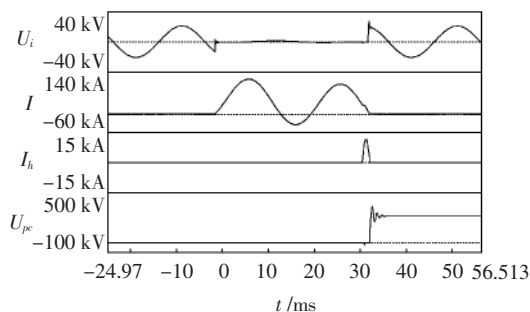


图 5 非对称短路试验示波图

5 结语

(1)笔者提出了以单片机为核心的合成试验同步控制方法,能够根据用户设定的试验参数自动发出同步控制信号,减少人工操作所带来的误差,提高了同步控制的自动化程度。

(2)通过调整 D/A 输出值改变比较器的参考电压,实时调整电压源回路和延弧回路的投入时间,在对称和非对称试验方式下都能取得理想的同步控制信号。

(3)系统能在试验前自动调整电流测量电路和电压比较器的零漂,有效地提高了同步控制精度。

参考文献:

- [1] GB/T 4473-1996. 交流高压断路器的合成试验[S].
- [2] IEC 60427 (2000). Synthetic Testing of High-voltage Alternating Current Circuit-breaker[S].
- [3] DUFOURNET D, MONTILLET G. Three-phase Short Circuit Testing of High-voltage Circuit Breakers Using Synthetic Circuits [J]. IEEE Trans. on Power Delivery, 2000, 15(1): 142-147.
- [4] 陈慈萱, 马志瀛. 高压电器 [M]. 北京: 水利电力出版社, 1987.
- [5] 岩井弘美. 大容量断路器的合成试验技术 [J]. 富士时报, 1993(6): 5-8.
- [6] SLUIS L, LINDEN W A. Three Phase Synthetic Test-circuit for Metal-enclosed Circuit-breakers [J]. IEEE Trans. on Power Delivery, 1987, PWRD-2(3): 765-771.
- [7] BRAUN A, HUBER H. Testing Circuit-breakers by Synthetic Methods[J]. Brown Boveri Review, 1973, 60(4): 185-190.
- [8] 孙广生, 王永荣, 冯荣琼, 等. 高压直流开断合成试验回路的研究[J]. 电工电能新技术, 1993(3): 13-17.
- [9] 杨海芳, 李 炜, 吴盛刚. 合成试验的同步控制及其误差分析[J]. 高压电器, 2005, 41(4): 273-275.
- [10] 薛 晔. 适用于合成试验的数字化测试系统 [J]. 高压电器, 1997, 33(3): 26-30.
- [11] 黄 涛, 王汝文, 修士新. 基于 PLC 的高压合成回路控制系统设计[J]. 低压电器, 2003(6): 26-29.
- [12] 刘钟阳, 吴 彦, 王宁会, 等. DBD 中高频臭氧发生器的动态负载特性[J]. 中国电机工程学报, 2002, 22(5): 61-64.
- [13] 孟志强, 唐雄民, 彭永进, 等. 中低频正弦电压供电 DBD 型臭氧发生器基波等效电路与动态特性研究[J]. 电工技术学报, 2004, 19(7): 21-25.
- [14] 陆涛涛. DBD 介质阻挡放电电源工程化研究 [D]. 浙江大学硕士学位论文, 2006.
- [15] 黄玉水. DBD 型臭氧发生器负载特性及高频放电电源的研究 [D]. 浙江大学博士学位论文, 2005.
- [16] 唐雄民, 孟志强, 彭永进, 等. 串联谐振式 DBD 臭氧发生器的电源的基波分析法 [J]. 中国电机工程学报, 2007, 27(7): 38-41.
- [17] 吴振兴, 何正浩, 朱 翔, 等. 串联谐振高频臭氧发生器特性研究[J]. 高电压技术, 2007, 33(2): 56-58.
- [18] 王跃球, 唐 杰, 罗庆跃, 等. 介质阻挡放电型臭氧发生器等效电路研究[J]. 高电压技术, 2001, 27(12): 109-114.
- [19] 李 轶, 孟志强, 彭永进. 正弦波电流源供电的介质阻挡放电电路分析[J]. 电源世界, 2005(3): 35-38.
- [20] 夏胜国, 刘克富, 何俊佳, 等. 介质阻挡放电中过零放电特性研究[J]. 高电压技术, 2007, 33(2): 14-17.
- [21] 邵建设, 严 萍. 大气压空气中同轴介质阻挡放电微放电特性分析[J]. 高电压技术, 2006, 32(10): 65-68.
- [22] 邵建设, 严 萍. 介质阻挡放电负载调功原理分析 [J]. 高压电器, 2006, 42(6): 432-434.

(上接第 520 页) 2004, 30(9): 53-54.

- [9] 刘钟阳, 吴 彦, 王宁会, 等. DBD 中高频臭氧发生器的动态负载特性[J]. 中国电机工程学报, 2002, 22(5): 61-64.
- [10] 孟志强, 唐雄民, 彭永进, 等. 中低频正弦电压供电 DBD 型臭氧发生器基波等效电路与动态特性研究[J]. 电工技术学报, 2004, 19(7): 21-25.
- [11] 陆涛涛. DBD 介质阻挡放电电源工程化研究 [D]. 浙江大学硕士学位论文, 2006.
- [12] 黄玉水. DBD 型臭氧发生器负载特性及高频放电电源的研究 [D]. 浙江大学博士学位论文, 2005.
- [13] 唐雄民, 孟志强, 彭永进, 等. 串联谐振式 DBD 臭氧发生器的电源的基波分析法 [J]. 中国电机工程学报, 2007, 27(7): 38-41.