

文章编号:1001-1609(2006)04-0307-03

基于单片机和 CPLD 架构的高压直流发生器的研制

徐青龙¹, 曾奕², 江秀臣²

(1. 苏州供电公司, 江苏 苏州 215004; 2. 上海交通大学电气工程系, 上海 200030)

Development of High Voltage DC Generator Based on MCU and CPLD

XU Qing-long¹, ZENG yi², JIANG xiu-chen²

(1. Jiangsu Suzhou Power Supply Company, Suzhou 215004, China; 2. Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China)

摘要: 采用 Soc 型单片机 C8051F 和复杂可编程逻辑器件 EPM7032AE 对直流高压发生器进行了研制。其中, CPLD 主要实现功率电路驱动波形的产生; 单片机则完成相关控制算法, 人机接口等功能。所研制的设备体积小、效率高, 适用于电力设备的现场试验。

关键词: 高压发生器; 单片机; 复杂可编程逻辑器件; 脉宽调制

中图分类号: TM893

文献标识码: A

Abstract: A high-voltage generator is designed based on C8051F and EPM7032AE. EPM7032AE is used to generate PWM for power circuit. C8051F is used to accomplish human-computer interaction and to fulfill real-time control algorithm. The new equipment is characterized as "portable and high-efficiency" and it is quite suitable for the field test of the electric equipment.

Key words: high-voltage generator; MCU; CPLD; PWM

0 引言

随着高压直流输电工程的发展, 需要对电力设备进行各种直流高电压试验, 如绝缘材料、结构在直流高电压作用下的性能等。一些高电压试验设备, 如冲击电压发生器、冲击电流发生器等也需要高压直流发生器作为设备的充电电源。另外, 在其它科学技术领域, 如高能物理、医用 X 射线、静电除尘等, 高压直流发生器也有着广泛的应用^[1]。传统的高压发生器一般安装在实验室或户外试验场, 整套设备比较笨重。在对电力系统电气设备进行现场试验时, 所需高压发生器的电流一般不大, 通常为毫安数量级, 但希望发生器小而轻, 以便于运输和携带^[2]。目前, 小型化直流高压发生器主功率电路部分主要采用硬开关或软开关这两种技术方案, 由于硬开关控制技术成熟可靠, 所以本文提出以 MCU+CPLD 架构为控制核心的硬开关

控制技术对小型化直流高压发生器进行研制。所研制样机输出电压为 0~200 kV, 负极性, 连续可调, 输出电流为 0~5 mA, 最大输出功率 1 kW。

1 系统方案

系统方案见图 1。市电 220 V 首先经 EMI 电源滤波电路滤除掉工频电源上的差模和共模干扰, 然后经单相固结桥式整流电路及滤波电路得到约 300 V 的直流电压, 300 V 直流电压经由复杂可编程逻辑器件 (CPLD) 控制的第一级半桥电路和滤波电路得到 0~150 V 连续可调的直流电压, 0~150 V 直流电压再经由 CPLD 控制的第 2 级全桥逆变电路得到幅值为 0~150 V, 频率为 40 kHz 的中频电源, 然后经中频变压器放大约 100 倍后送入直流高压串级电路, 最终通过调节 CPLD 发出的 PWM 波的占空比得到 0~200 kV 连续可调的直流高压。主单片机部分负责发出占空比可调的脉宽调制波 (PWM) 以及与人机接口部分的数据交换。辅助电源由市电整流滤波而得, 主要供给单片机部分和 CPLD 部分作为工作电源。

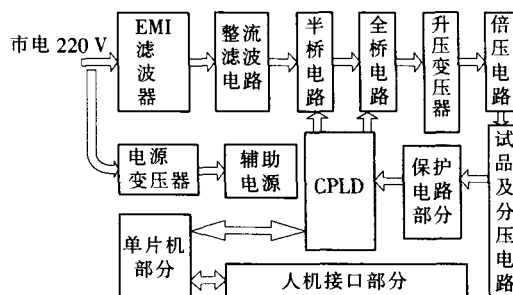


图 1 系统方案框图

2 CPLD 部分设计

CPLD 采用 EPM7032AE, 该器件的可用资源有

收稿日期: 2005-12-23; 修回日期: 2006-03-15

作者简介: 徐青龙 (1978-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为电力设备在线监测。

600个门,32个宏单元,2个逻辑阵列块,36个供用户配置引脚,所需电源供电电压为3.3 V^[3]。

CPLD完成的功能的是根据单片机给出的数字信号,产生两路相角差180°的PWM信号去驱动半桥电路的开关管,同时由CPLD自身产生两路相角差为180°的定频(40 kHz)定占空比(45%)的PWM信号去驱动全桥电路的开关管。为防止半桥电路或全桥电路出现同一桥臂上下两个开关管直通短路,需在同一桥臂的两路PWM驱动波形中增加死区时间控制,这就要求上臂控制信号在下臂控制信号变高之前变低(假定所有控制信号高有效)。另外,在电路检测到半桥电路过流、全桥电路过流、输出高压侧过电压时,CPLD将封锁全部输出波形。

根据上述原理,运用VHDL语言对四路PWM驱动信号的产生进行编程设计。使用VHDL语言的优点主要有可移植性强、编程方便、可阅读性强^[4]。图2为产生全桥驱动PWM波形的流程图,图3为产生半桥驱动PWM波形的流程图。

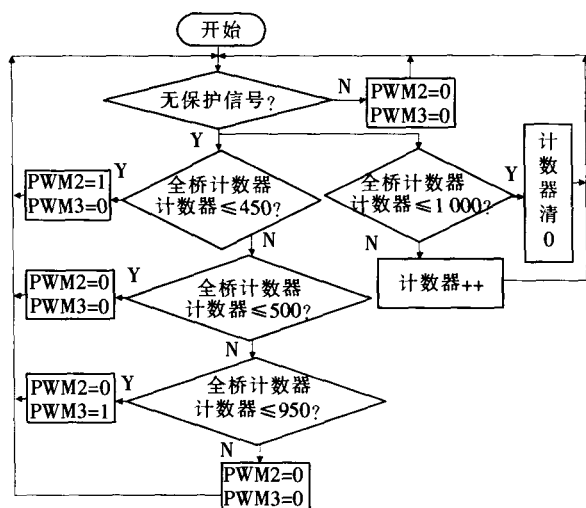


图2 全桥 PWM 流程图

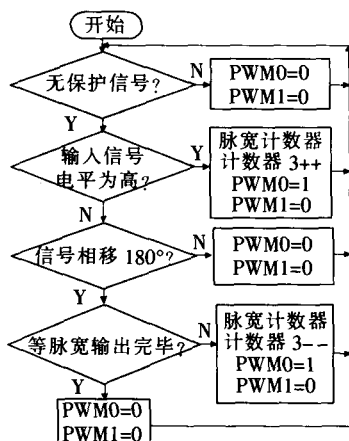


图3 半桥 PWM 流程图

采用开发软件自带的波形仿真工具,对所设计的CPLD电路进行仿真,仿真结果见图4。

图中pwmmin是由单片机输入的频率一定、占空

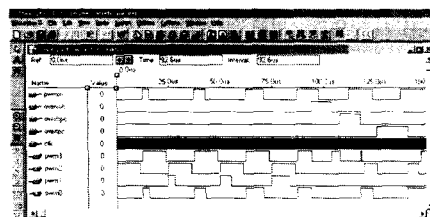


图4 PWM 仿真波形图

比可调的PWM波,overvoltage,overhpc,overfpc分别是高压侧过电压保护信号、半桥过电流保护信号和全桥过电流保护信号。clk为CPLD的时钟信号。pwm3和pwm2是驱动全桥的PWM信号,pwm1和pwm0是驱动半桥的PWM信号。从仿真结果看出,pwm0信号是对单片机输入信号pwmmin的复制和微分,pwm1实现了对pwm0的精确移相180°。pwm3与pwm2,pwm1与pwm0之间都留有死区时间。当外部保护信号动作时,输出脉冲全部被封锁。通过仿真,验证了CPLD部分电路设计的正确性。

3 单片机部分设计

选用的C8051F单片机是新一代Soc型单片机^[5],它是完全集成了混合信号的系统级芯片,内核与8051完全兼容,并集成了常用的模拟部件和数字外设,通过交叉开关灵活配置外设,流水线结构使芯片处理能力大大提高,flash存储功能使用户板能实现ISP功能,缩短了开发周期并降低了成本。单片机拓扑结构为一主两从的模式。其物理布置见图5。

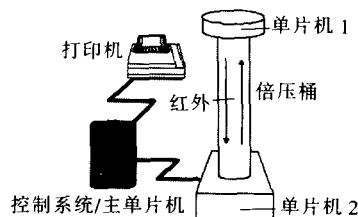


图5 单片机拓扑图

单片机1选用的是C8051F330,它的主要任务是完成对试品泄漏电流的测量,并将所测得的数据通过红外方式传送给单片机2。对于试品泄漏电流的测量和显示,以前的做法是在倍压桶上安装微安表,试验时有专人从远处观察。这种方案既不方便,也不能实现试品过电流时控制系统迅速切断控制脉冲。笔者采用的红外通讯方式^[6]则很好的解决了这个问题。不但处理了主控单元与高端电压的隔离问题,而且过电流保护迅速可靠。在控制面板上既可观察输出高压的数值,也可观察到试品泄漏电流的数值。在微小泄漏电流测量方面,为了提高测量精度,用仪用运放AD623进行量程切换,将微小电流信号放大送至单片机1进行处理。

单片机2也选用C8051F330,它的主要功能是将接收到的泄漏电流测量值通过串口转发给主单片

机,同时完成对输出直流高压的测量。单片机2与单片机1之间的通讯协议则是工业环境中使用较广泛的 Modbus 协议^[7]。Modbus 采用典型的主从结构模式。协议规定总线上有一个主机、多个从机、主机可单独和从机通讯,也能以广播方式和所有从机通讯。Modbus 协议有两种传输方式:ASCII 模式和 RTU 模式。为了保证数据的实时性,本文采用 Modbus RTU 作为传输协议。

主单片机选用的是 C8051F020, 它实现的功能有:①与人机接口部分交换数据,读入相关设定值并作相应显示;②读取时钟芯片 PCF8563 的时间数据,供显示和打印;③与单片机2进行数据交换,获取输出直流高压和泄漏电流的值;④输出一路 PWM 控制信号给 CPLD, 以产生驱动半桥电路和全桥电路的4路 PWM 波;⑤将试验数据和时间信息发给打印机,以打印试验报告;⑥完成特定的算法等。实现上述功能的主程序流程图见图6。

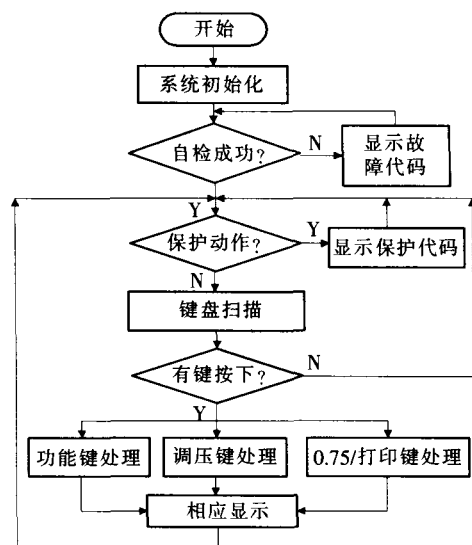


图6 主程序流程图

4 功率电路部分设计

功率电路部分采取半桥电路和全桥电路相级联的电路连线形式。采用半桥变换器拓扑形式的优点是可减小电路中开关管的电压应力^[8]。图7为半桥变换电路,图中 U_i 为市电经前级整流滤波电路得到的大约300V直流电压,电容 C_1 和 C_2 组成半桥电路的一个桥臂,开关管 S_1 和 S_2 则组成另一桥臂,桥臂中点E的电压为 $U_i/2$,即大约150V的直流电压。由CPLD控制的两路PWM驱动波形经光电隔离和电平转换后分别接入开关管 S_1 和 S_2 的驱动极。由于这两路驱动波形频率固定(40kHz)占空比可调(0~0.45),于是开关管 S_1 和 S_2 的轮流导通在变压器 T_1 原边产生了占空比可调、频率固定、幅值大约为150V的交流矩形方波。这一矩形波经变压器 T_1 传递,再经全波整流电路和LC滤波电路后得到0~

150V连续可调的直流电压。电容 C_3 的作用是防止变压器 T_1 产生直流偏磁。

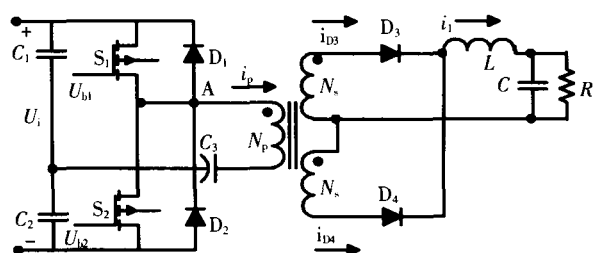


图7 半桥变换电路

为了利用升压变压器和倍压整流电路实现输出高电压,必需将0~150V连续可调的直流电压逆变成交流电压。实现该功能的全桥变换电路见图8。图中 U_m 为0~150V的连续可调直流电压,开关管的驱动信号仍然来自CPLD并经光电隔离和电平转换。桥对角的两个开关管作为一组,每组同时开通或关闭,于是在变压器 T_2 原边产生了频率为40kHz,幅值可调的交流矩形方波。将这一矩形波经升压变压器 T_2 和倍压整流电路后即可获得直流高压。

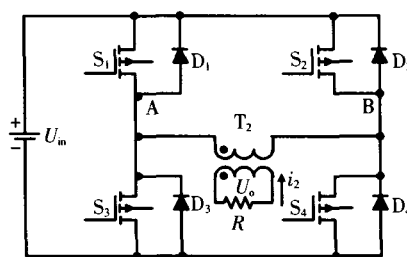


图8 全桥变换电路

5 系统调试及结果分析

由于功率传送的关键部分是半桥电路,所以对这部分电路进行了重点调试。系统设计目标是1000W,故取25Ω线绕大功率电阻模拟半桥电路的输出负载。半桥电路的输入是市电通过整流滤波电路而得的大约300V直流电压。为保障人身和设备安全,在市电输入和整流滤波电路之间串联了隔离变压器。通过控制面板调节单片机输出PWM占空比从0~0.45变化,半桥输出电压0~150V连续可调。用示波器观察得全程脉动电压的相对脉动系数 $S<1\%$,符合设计要求。调试好半桥电路后,相继级联全桥电路、倍压整流电路进行调试。整机调试时,当试品被击穿瞬间,保护动作迅速可靠,控制系统功能完好。图9为直流高压输出电压波形图,在0~ t_1 时段内手动升压至试品击穿电压 U_c 的80%。 t_1 ~ t_2 时段内试品尚未击穿,输出电压保持恒定。继续升压至 t_3 时刻,试品击穿,保护电路动作,输出负高压降为零。高压侧输出电压指示精度为:

$$a_o\% = \frac{\Delta U_m}{U_m} \cdot 100\% < 1 \text{ 级}$$

(下转第312页)

表面不允许发黄、存在镍杂及窝气。

3 长寿命灭弧室的装配

3.1 由原来的两次进炉改为一次进炉

波纹管原来是随动管芯钎焊的,在封排时波纹管再次进炉承受 800℃左右的高温,使材料晶粒进一步长大;同时波纹管多次进炉也会增大其表面氧化程度,影响波纹管的疲劳寿命。

3.2 用模具将动端拉开焊接。

将动管芯拉开焊接,使得波纹管端口在受力状态下钎焊,确保焊接质量;同时保证动触头不会将静触头压偏;另外还易于保证动管芯与动端导向套固定环端面垂直,有利于保证灭弧室自身的形位公差,如果灭弧室形位公差较差时,断路器机械运动往往将波纹管拉得歪斜,使其端口局部严重受力,从而影响波纹管寿命。因此采用合理的装配模具和装配工艺非常重要。

4 结语

(1)按照新的灭弧室设计结构,采用合理的加工工艺生产的 TD14A-12/1600-31.5C 真空灭弧

室,配合 ZN28-12K/T1250-31.5 断路器顺利完成了 10 万次的机械寿命试验(注:每一万次机械寿命试验更换一台弹簧机构)。

(2)波纹管设计为标准的“S”型结构,增大波谷处的 r , 确保波纹管的单波具有足够的抗疲劳能力;选择合适的波纹管壁厚和波数等,对提高波纹管的抗疲劳强度非常重要。

(3)采用合理的波纹管制造工艺,是提高波纹管机械寿命的保证。

(4)合理的真空灭弧室装配工艺是保证真空灭弧室可靠性的关键。同时也有效地保证了各零件焊接的可靠性、气密性,以及部件、整管的形位公差等。

(5)断路器本身的性能对灭弧室机械寿命的影响也至关重要,关于这一点还需要进一步研究。

参考文献:

- [1] 孙国玉. 真空开关管中波纹管使用寿命影响因素的分析 [J]. 真空电器技术, 1992(2): 15-16.
- [2] 王季梅. 真空灭弧室设计、制造及其应用[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1986.

(上接第 309 页)

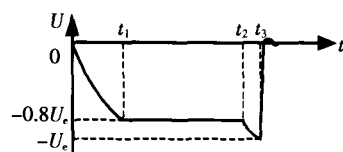


图9 高压输出电压波形

式中: ΔU_m 为电压测量最大绝对误差; U_m 为电压指示量程。输出电流指示精度为:

$$a_i\% = \frac{\Delta I_m}{I_m} \cdot 100\% < 1 \text{ 级}$$

式中: ΔI_m 为电流测量最大绝对误差, I_m 为电流指示量程。纹波系数为:

$$\gamma = \frac{U_{\sim(\max)}}{U_0} \leq 0.5\%$$

式中: $U_{\sim(\max)}$ 为输出最大纹波电压; U_0 为额定输出直流电压。由于采用了半导体冷却技术,样机在 -10~40℃ 环境温度中可连续工作。

6 结语

运用单片机加 CPLD 的架构对高压直流发生器进行了研制。得出如下结论:①单片机和 CPLD 具有很强的互补性,基于单片机和 CPLD 架构的开关电源

模式代表了电源技术的发展方向。②采用计算机仿真技术,对方案的可行性作出指导,可节约开发周期。③小型化直流高压发生器体积小、重量轻、无噪音,非常适合现场电力设备的直流耐压试验。所研制的样机完全符合设计要求,性能稳定可靠,目前运行良好。

参考文献:

- [1] 黄镜明, 姚宗干. 高电压试验技术 [M]. 北京: 水利电力出版社, 1993.
- [2] 张仁豫, 陈昌渔, 王昌长. 高电压试验技术 (第2版) [M]. 北京: 清华大学出版社, 2002.
- [3] 卢毅, 赖杰. VHDL 与数字电路设计 [M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [4] 姜立东. VHDL 语言程序设计及应用 [M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2001.
- [5] 潘琢金. C8051F 高速单片机原理及应用 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2002.
- [6] 高新华. 智能直流高压发生器 [J]. 电力设备, 2005, 6(3): 56-58.
- [7] 曹祁. Modbus 协议在数据采集仪中的实现 [J]. 机电工程, 2004, 21(6): 49-50.
- [8] 阮新波, 严仰光. 直流开关电源的软开关技术 [M]. 北京: 科学出版社, 2000.