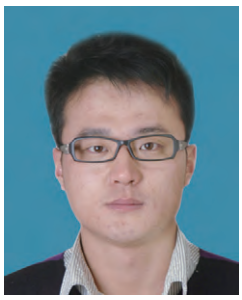
基于瞬变脉冲发生器的直流高压电源的设计分析

在高压发生器工作原理的基础上，根据IEC 61000-4-4的要求，对高压直流电源的关键技术进行深入研究。采用交流升压和直流升压相结合的方法，本文设计了一种用于瞬变脉冲发生器的直流高压电源。实验表明该发生器的输出电压范围为0.1~5.0 kV，且可达5 kV，线性准确度为5%，电源功率达到250 W，满足电快速瞬变脉冲群发生器高压电源的要求。

任志刚[1] 李森[2] 桂媛[1] 刘若溪[1] 任健聪[1] 齐伟强[1]/1、国网北京市电力公司北京电力科学研究院 2、国网北京市电力公司城区供电公司



任志刚/工程师

关键词/Keywords

脉冲群发生器·
高压电源·
直流升压·
逆变·

0 引言

电快速瞬变脉冲群发生器可模拟脉冲干扰信号，是检验电子产品抗瞬变脉冲的重要设备，因此在电子工业中，电快速瞬变脉冲群发生器得到了广泛地应用[1-3]。由于产生脉冲干扰频率的提高，国际电工委员会对IEC 61000－4－4的标准进行修改，其主要目的在于提高脉冲干扰的频率和能量密度，增强电快速瞬变脉冲群抗扰度试验的重复性和可比性，满足用户模拟脉冲干扰的客观性和真实性。随着脉冲群频率的提高，很难保证脉冲群发生器产生脉冲群前后的一致性，且不容易产生高频脉冲幅度衰减[4-5]。因此，研究高性能的直流电源对克服脉冲幅度的衰减具有非常重要的意义。

1 高压直流电源的设计方案

高压直流电源采用SM5964单片机作为系统的主控制器，其原理如图1所示。220 V的交流电压输入电源模块产生24 V直流电压，随后高频变压器将24 V直流电压逆变升压成幅值增大65倍的高频电压，对高频电压进行直流升压，此时的直流高压输入脉冲群主回路；电压控制电路采样输出电压，调整高频逆变升压器一次侧的大小，与系统设置的电压比较；根据系统设置要求主控制器输出输出脉冲信号，脉冲信号经过光电隔离后启动高压开关，产生脉冲群；键盘接口电路可根据需求设置脉冲群的工作时间，频率和电压的大小；显示电路显示系统设置参数和系统运行状态等。系统产生电压范围为0.1~5 kV、连续可调的高稳定性直流程控电源。

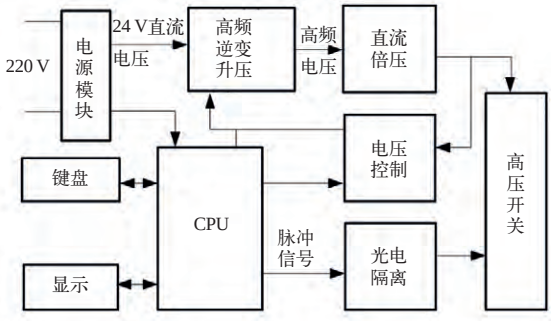


图1 直流高压电源设计原理图

2 高压直流电源硬件设计

本系统中高压直流稳压电源设计如图2所示。此设计采用了高频高压逆变器和直流线性稳压电源相结合的结构。首先，高频高压逆变器经正倍压整流或负倍压整流输出后送到直流线性稳压电源；其次，直流线性稳压电源的采样电路根据输出电压的极性，控制切换开关动作，达到稳定闭环控制的目的。

中国知网 https://www.cnki.net

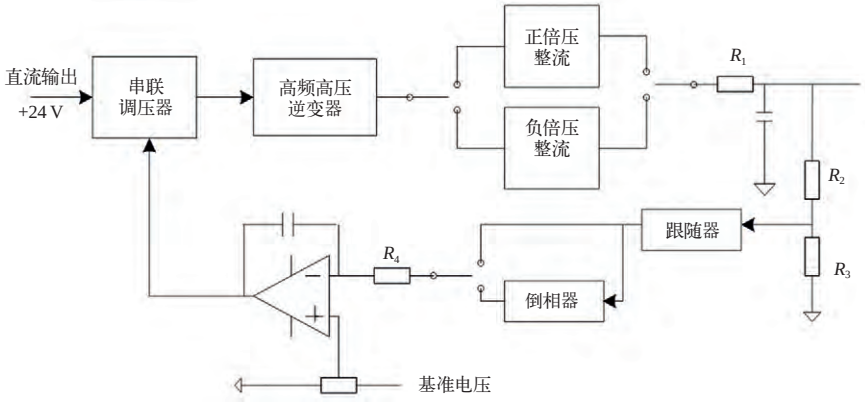


图2 高压直流稳压电源结构图

2.1 高压电源的保护电路和逆变升压的实现

本系统中高压电源的保护电路和逆变升压的电路设计如图3所示。在此电路中，电容C_2，两电阻R_6、R_7和一个反相器构成振荡器，此振荡器产生脉冲驱动场效应管V_1、V_2。

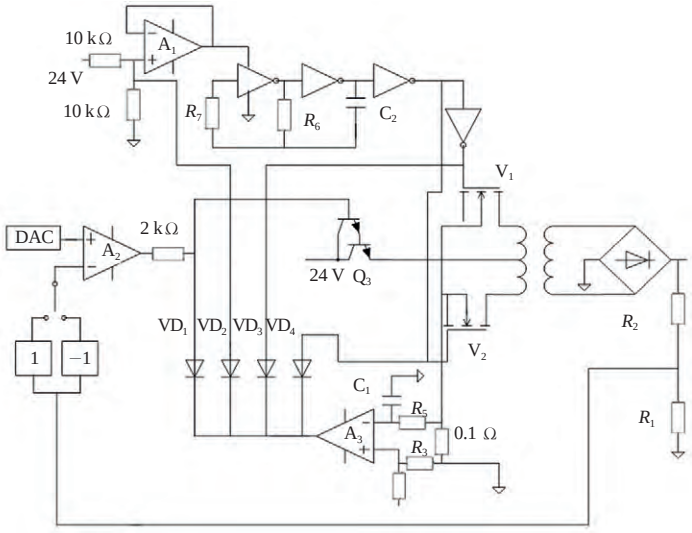


图3 高压直流稳压电源结构图

其振荡频率由下式确定：

$$f=\frac{1}{2R_6C_2[0.405R_7/(R_6+R_7)+0.693]} \quad (1)$$

首先，调压管V_3将24 V电压调压后供变压器供电，放大器A_1将24 V电压转换成12 V供振荡电路供电；其次，高压输出电压和系统输出电压通过放大器A_2比较，当检测出两者不相等时，A_2输出伺服控制调压管V_3，改变变压器一次电压的大小，控制输出电压，使其与系统设定的电压值相等。

在此电路中，4个二极管VD_1~VD_4保护高压逆变器。场效应管V_1、V_2将输出的电流通过采样小电阻转换为电压信号，经电阻R_5、电容C_1组成的滤波电路后进入放大器A_3的反相端，同时与同相端设定的负载值比较。

（1）当负载不超载时，放大器A_3的反相端电压小于同相端电压，放大器输出接近正电源电压，二极管VD_1~VD_4不导通，系统正常工作。

（2）当负载超载时，A_3的同相端电压小于反相端电压，A_3输出端为零，4个二极管处于导通状态。二极管VD_1导通，调压管 V_3截止，变压器一次电压为零；二极管VD_2导通，导致放大器A_1同相端电压为0.7V，同时A_1供电的振荡电路停止工作；二极管 VD_3和VD_4导通，导致调压管V_1、V_2的栅极电压为0.7 V，从而调压管V_1、V_2截止，因此保护高压电源。

高压电源的电压反馈处理电路如图4所示。若高压电源输出为正电压，CPU控制MAX319的6脚，使MAX319的输出端直接与8脚相连，电源输出的反馈电压直接送入比较器；若高压电源电压输出为负电压，CPU控制MAX319输出端与2脚相连，电源输出的反馈电压通过反相后送入比较器。反馈电压与设定值进行比较，通过比较器的输出对调压管V_3进行伺服控制，使其与输出达到设定值。

2.2 高频变压器的选择

本系统中选用铁心型号为E20型的铁氧体，截面积为32 mm^2，饱和磁密为0.5 T。工作磁密取0.25 T。变压器一次绕组匝数为

$$n_1=\frac{U_1}{4B_mA_cf} \quad (2)$$

中国知网 https://www.cnki.net

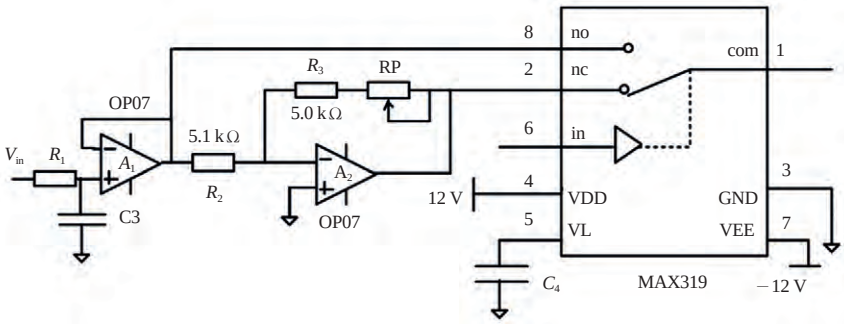


图4　反馈电压处理电路

式中，U_1为变压器一次电压，本系统选取20 V；B_m为工作磁密，取0.25 T；工作频率f=40 kHz；高频变压器的参数取为一次为8匝，二次为520匝。

2.3 直流倍压整流电路设计

基于瞬变脉冲发生器输出的电压高、电流小的特点，设计了倍压整流电路，简化了系统的设计，节约了成本。倍压整流电路原理图如图5所示。通过逆变设计将直流高压电源转化成0~1 300 V可调的高频电压，随后经过直流4倍压，产生5 000 V的直流电压。

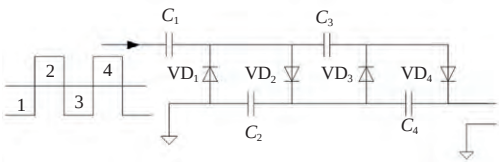


图5　直流倍压整流原理图

3　电源输出电压的设定电路

高压程控电源的最大输出电压约为5 000 V，采用0~5 V的直流电压控制。本文通过MAX531实现对高压电源模块输出电压的设置。MAX531为12位串行D-A转换器，数字串行输入，单片机通过SPI接口对其进行控制，输出电压信号经OP07缓冲器输出。电路如图6所示。

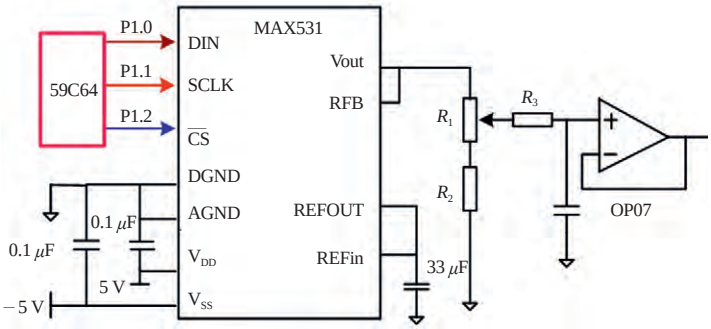


图6 输出电压设置电路

当芯片选择高电平 $\overline{CS}$ 时， VOUT处于高阻状态；当选低电平 $\overline{CS}$ 时，由于同步时钟SCLK的控制，DIN输入数据顺序为高有效位在前，低有效位在后。输入时钟SCLK的上升沿，串行输入数据被移入内部移位寄存器，随后SCLK的下降沿输出串行数据DOUT，片选$\overline{CS}$的上升沿把数据传送至DAC寄存器。其时序图如图7所示。

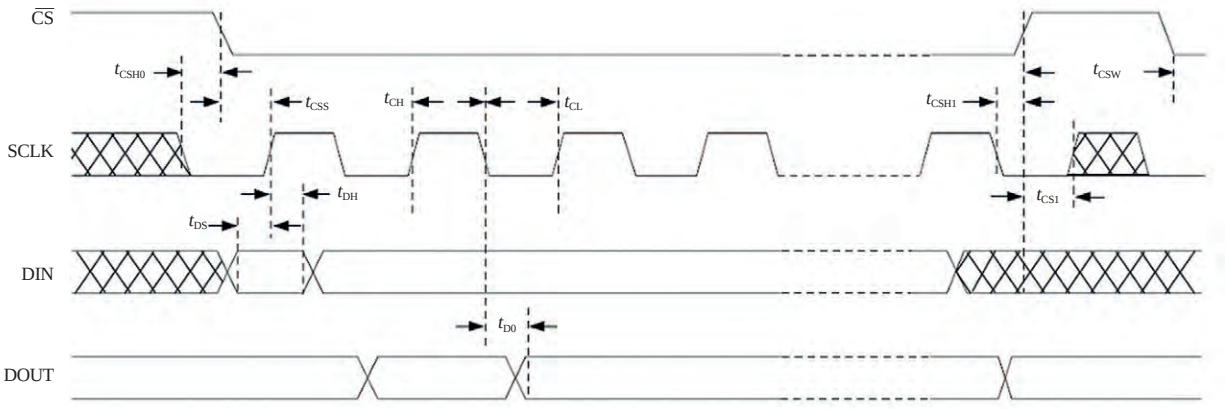


图7　MAX531接口时序图

中国知网　https://www.cnki.net

高压电源输出高电压，驱动大电容负载，在输出电压时对电源造成较大的冲击，为了减小对电源的冲击，单片机通过对MAX531的输出值进行控制，逐步改变MAX531的输出值的大小直到设定值为止，减小电源输出电压的变化率。

4 实验测试数据

高压电源经过老化后，在不同负载条件下对电源进行测试，高压电源的输出通过100:1高压分压器后由数字电压表测量电压输出。正电压输出的测试结果如图8所示，其中，曲线*C*为理想输出电压，曲线*B*为负载电阻为500 kΩ条件下的输出电压，曲线*D*为负载电阻为100 kΩ条件下的输出电压。负电压输出的测试结果如图9所示，其中，曲线*C*为理想输出电压，曲线*B*为负载电阻为500 kΩ条件下的输出电压，曲线*D*为负载电阻为100 kΩ条件下的输出电压。实验结果表明，高压电源的输出电源的准确度达到5%，满足脉冲群发生器的电压要求。

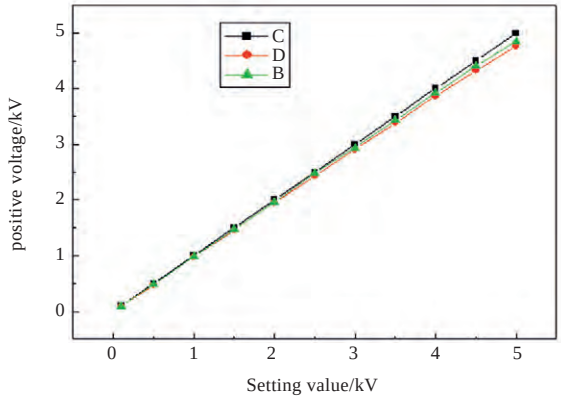


图8 正电压测试结果

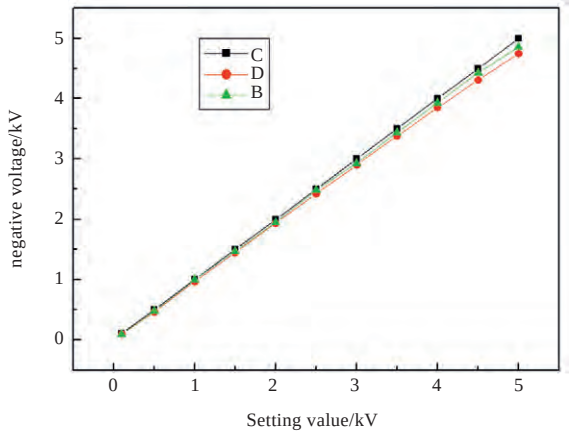


图9 负电压测试结果

5 结束语

根据实验测试数据可知，直流高压电源输出电压达到5 kV，且正负电压对称度良好，稳定性高，电源功率达到250 W，并且线性度优于5%。

参考文献

[1] Yen Chengcheng, Ker Mingdou, Chen Yungyang. Transient-induced latchup in CMOS ics under electrical tast-transient test[J]. IEEE Transactions on Device and Materrials Reliability.2009, 9(2):255-264.

[2] Xu Le, Wang Shujuan, Zhai Guofu, etal.Study on EMS of DC SSR under interference of EFT burst[C].2011 6th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications. 2011:1938-1942.

[3] Wang Yufeng, Li Shiwei, Zou Jiyan. Nanosecond-risetime high-voltage electrical fast transient/burst generator[J]. AutomationofElectricPowerSystems, 2006, 11(22):96-100.

[4] Zhu Wu，Ding Qi，Ma Weiya,et al. Research on high frequency amplitude attenuation of electric fast transient generator.Telkomnika,2013,11(1):97-102.

[5] Zhu Wu, Zhang Jiamin, Zhang Yuan,et al. The design of signal generator of electrical fast transients burst[C]. Applied Mechanics and Materials Vols,2013:27-32.

（收稿日期：2015-03-30）EA

作者简介

任志刚（1983-），男，硕士，工程师，主要研究方向为电力设备故障分析、电力电子技术、电力系统分析与控制。

李森（1982-），男，硕士，工程师，主要研究方向为电力设备故障分析、电力电子技术、电力系统分析与控制。

中国知网 https://www.cnki.net