

基于嵌入式系统直流高压发生器的研究

张彦

(江苏省电力公司检修分公司南通分部, 江苏 南通 226006)

摘要:传统的直流高压发生器是采用工频倍压整流方法实现, 虽然电路简单, 但是具有纹波系数大、体积大、重量大、不便使用等缺点。随着微电子技术和电力电子技术的发展, 基于高频逆变技术的高压直流发生器逐渐成熟。本文设计了基于ARM7嵌入式系统的数字化高压直流发生器, 系统主要由主电路以及控制、保护、驱动电路组成。此外, 针对220kV不拆引线避雷器的直流泄漏电流试验中出现的下节避雷器过流的问题, 提出了自动投入限流电阻的方案。该方案可限制流过下节避雷器的泄漏电流, 具有较好的效果。

关键词: 直流高压发生器; ARM; 限流电阻变压器

0 引言

避雷器是一种过电压保护装置, 当电网电压升高达到避雷器规定的动作电压时, 避雷器动作, 释放过电压负荷, 将电网电压升高的幅值限制在一定水平之内, 从而保护设备绝缘不受损坏。金属氧化锌避雷器是一种新型避雷器, 已在电力系统中得到广泛应用。其优势是非线性特性极其优异^[1]。

在日常检修过程中, 需要对氧化锌避雷器进行直流泄漏试验, 该试验主要测量以下两个数值: 一是 U_{1mA} , 即避雷器通过1mA直流电流下的电压值。二是75% U_{1mA} 电压下的泄漏电流值。这两个参数对检查氧化锌避雷器的非线性特性和绝缘性能, 对确定阀片数, 判断额定电压选择是否合理及老化状态都有十分重要的作用。

通常对220kV氧化锌避雷器进行直流泄漏试验时, 需要拆除高压端引线, 试验完毕后再接上引线。但拆除引线存在诸多弊端: 比如感应电压对作业人员的安全威胁, 对避雷器端部造成应力损伤, 停电时间长, 工作效率低等等。在进行该试验时采用的传统直流高压发生器采用工频倍压整流方法实现, 虽然电路简单, 但具有纹波系数大、体积大、重量大、不便使用等缺点。

本文对220kV氧化锌避雷器直流泄漏试验方法进行了探讨, 提出了不拆引试验方法; 并对传统的直流高压发生器进行了改进, 增加了单片机电路及相关软件设计, 并进行了仿真, 实现了仪器的数字化改造^[2]。

1 不拆引线试验方法的提出

220kV 氧化锌避雷器由两节叠装而成, 器身相对较高。不拆引线试验是通过在两节避雷器的连接处施加试验电压, 分别测量两节避雷器的直流1mA电压 U_{1mA} 和75% U_{1mA} 直流电压下的泄漏电流。在试验中, 两节避雷器组成并联回路, 承受相同的试验电压。试验接线图如图1所示。

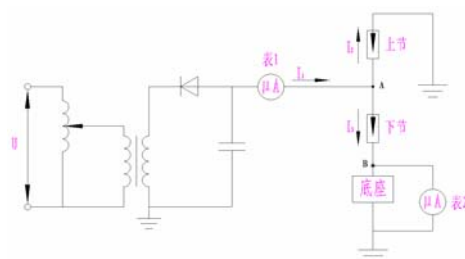


图1 不拆引线测量接线图

但由于上下两节避雷器的性能不是完全一致的, 常出现在进行上节避雷器的直流试验时, 与之并联的下节避雷器先行达到直流1mA参考电流。因此必须继续加压才能使上节也达到直流1mA参考电流, 最终完成上节避雷器测试时, 下节避雷器中流过的直流泄漏电流远高于1mA直流参考电流, 甚至达到两倍的直流1mA参考电流。避雷器本体长时间通过高于1mA的直流电流对其电气性能可能造成老化等不利影响, 同时对试验设备也会产生一定影响。因此需对不拆引线试验方法进行适当的改进: 利用限流电阻装置串入下节避雷器低压回路, 并通过微安表接地。如图2所示。

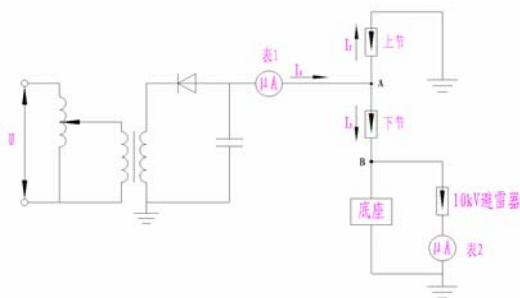


图2 不拆引线测量接线的改进

2 传统直流高压发生器的原理

直流电压的获得：半波整流电路，测量接线如图3所示。试验回路一般是由自耦调压器、升压变压器、高压二极管和测量表计组成。

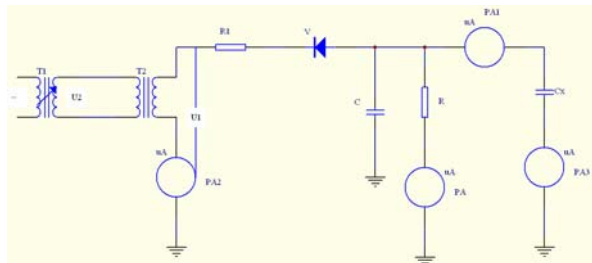
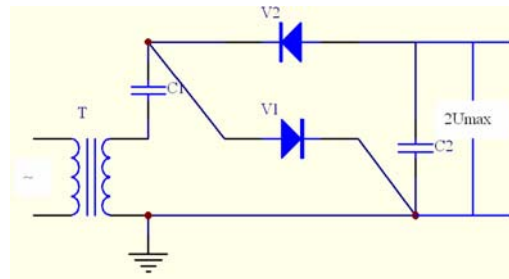


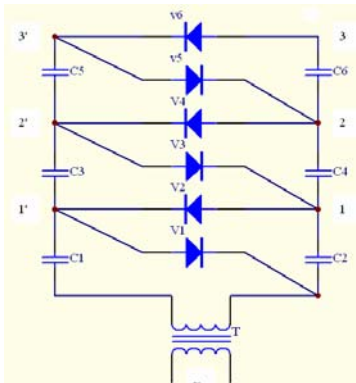
图3 半波整流电路接线图

直流高压的获得：就要采用倍压整流及三级串接整流，其接线如图4所示。

倍压整流如图4(a)所示，可以输出对地为 $2U_{max}$ 的直流高压。其原理为：当电源电压为正半波时（变压器接地端为负），变压器经硅堆V1导通，对C1充电到 U_{max} ；负半波时，变压器与电容C1的电压叠加，经硅堆V2对电容C2充电，如果 $C1=C2$ ，则C2经过一个周波充到 $2U_{max}$ ；一般 $C1=C2$ ，所以C2经若干周波后充到 $2U_{max}$ ，即为变压器输出电压峰值的2倍。串接式整流装置也是根据以上原理制成的，其接线如图4(b)所示。理想情况下，图中1、2、3点的对地电压值可分别达到 $2U_{max}$ 、 $4U_{max}$ 、 $8U_{max}$ ^[3]。



(a)



(b)

(a)—倍压整流；(b)—三级串接整流

图4 倍压整流及三级串接整流接线图

3 系统硬件设计

随着微电子技术和电力电子技术的发展，高频逆变技术逐渐成熟，使高压开关直流电源的出现成为了可能。该类型电源具有效率高、体积小、重量轻、储能少等特点，逐渐取代传统的高压线性直流电源。

本文在理论研究的基础上，采用高频逆变技术，设计了一个高压直流发生器实验样机。系统主要由主电路以及控制、保护、驱动电路组成。主电路用于直流电压的发生，控制、保护电路用于功率主电路的电压给定值计算、过流过压监控，以及人机交互。主控单元以ARM为核心构成，它的任务是根据反馈电压、电流值，计算电压给定，并进行软件层面的保护。驱动电路根据输出的PWM控制信号，对MOS管逆变桥进行控制。

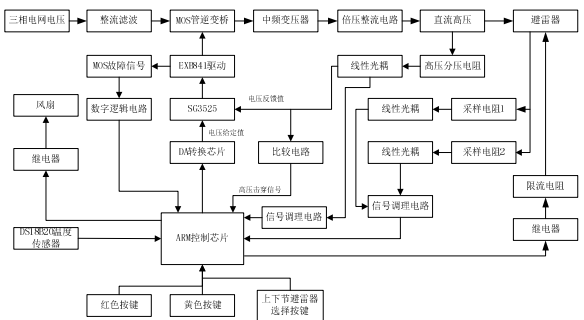


图5 系统硬件电路结构框图

如图5所示，系统硬件电路主要包括整流滤波电路、MOS管逆变桥、中频变压器、倍压整流电路、PWM产生电路、驱动电路、反馈电路、继电器驱动

电路、保护电路等。

三相市电经二极管全波整流及大电容滤波后，形成直流电压；经MOS管逆变桥逆变为中频信号，经中频变压器升压后，由倍压整流电路升压至100-150kV直流高压，供避雷器测试所用。高压直流电压经电阻分压后、光耦隔离后，形成反馈信号；与ARM生成的电压给定信号一同输入电流控制型PWM控制器SG3525芯片，所形成的PWM波经EXB841驱动电路的隔离和功率放大，对主电路进行控制。若MOS管被击穿，EXB841发出过流保护信号，一方面闭锁MOS桥，另一方面作为故障信号，送入ARM芯片。避雷器回路上串入采样电阻以检测泄漏电流，经光耦隔离、信号调理后，送入ARM芯片。此外，反馈电压信号与高压直流电压整定值通过数字逻辑电路后，产生高压击穿信号，送入ARM芯片。ARM芯片送出的开关量用于驱动继电器，以投切限流电阻。由于MOSFET等器件在运行过程中发热严重，为防止电路元器件损坏，设计了过温保护电路。利用数字式温度传感器DS18B20采集机箱环境温度，定时传送至ARM控制芯片；若超过设定温度阈值，则启动风扇进行冷却通风。此外，设计了三个按键，用于实现人机交互。

4 系统软件设计

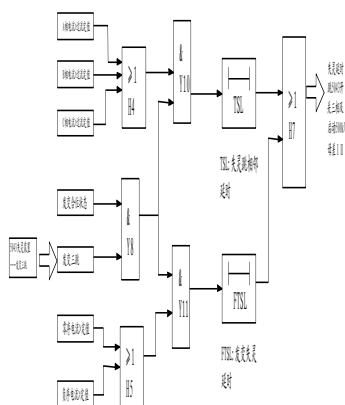


图6 直流发生器总软件流程图

如图6所示，直流发生器的系统软件用于控制装置的运行，并提供相应的保护及人机接口部分。上电初始化以后，软件等待用户按下红色按键；当

红色按键被按下后，开始进入升压状态；此时，软件定时判断升压状态，及监测功率电路的故障信号，以提供软件保护。

软件中使用了三个中断，外部中断0，定时器0中断和定时器1中断。

外部中断0的功能是监视高压回路击穿信号，若高压侧被击穿，则快速停机保护。

定时器0中断的功能是监视MOSFET是否击穿，若击穿，则快速停机保护。

定时器1中断的功能是定时发送电压指升降令，以控制电压的上升；并保证限流电阻的投入及过温保护的正确动作。

外部中断0的优先级最高，其次是定时器0中断，定时器1中断优先级最低。

当升压至预定值后，程序等待用户按下黄色按键。该按键按下以后，直流侧输出电压降为出厂设定值的75%，等待20秒后降压至0，软件退出运行，用户按绿色按键，切断电源。

5 仿真结果及其分析

确定了直流高压发生器的主电路结构以后，用仿真软件Simplorer研究其工作原理，验证理论分析的正确性。

建立如图7所示的仿真模型，负反馈的误差信号是电压给定值和分压后的直流高压的差值，经过PI调节，并限幅于0-1后；与10kHz的三角载波比较，得到PWM波；对变压器的漏感和主电感值进行了调试。

仿真的参数设置如下：

电网电压：有效值 $U_s = 380V$ ，频率 $f = 50Hz$ ；

PWM载波频率：10kHz；

中频变压器变比：50；

倍压级数：8；

倍压电容：0.1 μF ；

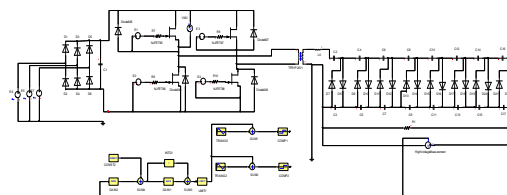


图7 直流高压发生器仿真模型

选取较小的倍压电容 C_x ，可使升压过程较快完成；但若容值过小，会出现电压振荡的现象，是需

要极力避免的；此外，电容容值过小，会使直流电压波动过大，亦需注意。

此外，我们注意到，直流高压的数值并非恰好是中频变压器二次侧电压的8倍，这是由于电容存在充放电过程，不同电容的相位并非完全一致所造成的。

中频变压器的漏感若过大，会严重影响其二次侧电压的波形；而主电感参数若设置过小，二次侧电压明显偏低；这从另一方面证明了脉冲变压器与工频变压器的不同之处。

在仿真中发现，由于C-D倍压电路中大量电容的作用，中频变压器二次侧电压波形出现了严重的变形，故在中频变压器二次侧串入小电感，以隔离两个电压源的相互影响。

在开环情况下，PWM波的占空比是一个常数；在闭环情况下，PWM波的占空比随着直流电压的逐渐建立而减小，可从仿真结果中得到验证。

PI调节器的参数影响着调节的效果，比例环节参数 K_p 增大，有助于稳态误差的减小和调节速度的加快，但容易引发振荡；积分环节可以消除稳态误差，达到所谓无差调节的效果^[4]。

三相输入220V交流电，经过整流滤波后，经全桥逆变，得到PWM波，如图8所示。由于后级电容的作用，波形不再是方波。

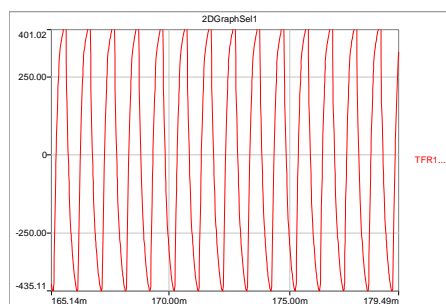


图8 直流高压发生器PWM波波形

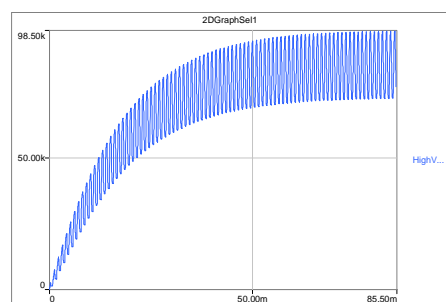


图9 直流高压发生器直流高压波形

电压设定值为100kV，由于电容充电作用，在高压端子上测得的电压波形呈缓缓上升的趋势，最后稳定在约98.5kV，如图9所示；但电压波动值过大，这是今后值得改进的地方。

6 结论

论文主要研究了不拆引线避雷器直流高压发生器的改进。主要取得了如下研究成果：

- 1) 详细分析了220kV避雷器不拆引线试验的可行性，并说明了其相对于传统方法的优越性；
- 2) 针对现场试验中出现的下节避雷器过流的问题，提出了增加限流电阻的改进方案，并绘制了相关电路原理图；
- 3) 利用嵌入式系统LPC2131，给出了数字化直流高压发生器的详细设计过程，包括ARM硬件电路设计及相关的程序开发。

论文需要进一步研究的地方有：

- 1) 完善相关的通信电路，为装置的网络化提供相应基础；
- 2) 研制工程样机，并进行现场试用；
- 3) 提高装置的可靠性和可扩展性。

参考文献：

- [1] 徐青龙. 便携直流高压发生器的研制[J]. 电工技术, 2005(10): 48-50.
- [2] 江秀臣, 周录波, 曾奕, 等. 直流高压发生器设计中的四个关键问题[J]. 高电压技术, 2007(6): 85-88.
- [3] 胡国根, 王战铎. 高电压试验技术[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 1996.
- [4] 周录波. 智能直流高压发生器[J]. 中国电力, 2010(6): 66-68.

作者简介：

张彦(1985-), 女, 江苏海安人, 助理工程师, 工程硕士, 江苏省电力公司检修分公司南通检修分部。