

# 一种机载电压浪涌发生器的设计与实现

吴林<sup>1</sup>, 宋金华<sup>1</sup>, 谢启少<sup>1</sup>, 王霞<sup>2</sup>

(1. 同方电子科技有限公司, 江西九江 332002; 2. 九江市双峰小学, 江西九江 332000)

**摘要:** 针对研制机载(飞机装载)用电设备中需要对其电源耐压特性进行测试, 其耐压特性要求满足 GJB181—飞机供电特性, 设计了电压浪涌发生器, 其优点是: 第一, 同时满足 GJB181—86(老版)和 GJB181—2003(新版)的测试平台的要求; 第二, 既能产生过压浪涌, 又能产生欠压浪涌; 第三, 由于采用 8051f330, 能满足后期的软件升级与功能扩展要求; 第四, 具有智能, 安全, 可靠的特点; 针对 GJB181—86 要求, 实现的主要参数为: 即产生连续 5 次、过压 80 V/欠压 8 V、脉宽 50 ms 浪涌电压; 或针对 GJB181A—2003, 实现的主要参数为: 即产生连续 5 次、过压 50 V/欠压 18 V、脉宽 50 ms 浪涌电压; 采用单片机对按键信号与各路电压电流的信号检测, 并控制继电器及各路电子开关, 实现要求的浪涌电压输出; 对于 AC/DC 电路采用高效移相芯片 UC3875 控制, 每路输出通过单片机控制开关切换分压电阻实现浪涌电压输出; 并通过单片机控制指示灯显示工作状态, 若浪涌发生器检测到异常时会自动关闭输入输出, 保护浪涌发生器和测试的机载用电设备; 还通过 proteus 仿真软件对浪涌发生器的电路和程序进行了仿真与验证, 最后对浪涌发生器样机加电和调试, 并通过测试的电压波形也验证了方案可行性, 同时也验证了产生浪涌电压能够同时满足 GJB181—86 和 GJB181A—2003 电压特性要求。

**关键词:** 过压浪涌; 欠压浪涌; GJB181—86; GJB181A—2003; AC/DC; 8051F330; 进程指示

## Design and Implementation of an Airborne Voltage Surge Generator

Wu Lin<sup>1</sup>, Song Jinhua<sup>1</sup>, Xie Qishao<sup>1</sup>, Wang Xia<sup>2</sup>

(1. Tongfang Electronic Science and Technology Co., Ltd., Jiujiang 332002, China;

2. Jiujiang Shuangfeng Primary School, Ltd., Jiujiang 332000, China)

**Abstract:** For the development of airborne (aircraft loading) electrical equipment, it is required to test its power withstand voltage characteristics. Its voltage withstand characteristics are required to meet the GJB181—aircraft power supply characteristics, and a voltage surge generator is designed. The advantages are: first, at the same time meet the requirements of GJB181—86 (old version) and GJB181—2003 (new version) test platform; second, it can generate overvoltage surges and generate undervoltage surges; third, due to the use of 8051f330, can meet the late stage software upgrades and functional expansion requirements; fourth, with intelligent, secure and reliable features. For the requirements of GJB181—86, the main parameters are: 5 consecutive times, overvoltage 80 V/undervoltage 8 V, pulse width 50 ms surge voltage; or for GJB181A—2003, the main parameters are: 5 consecutive times Overvoltage 50 V/undervoltage 18 V, pulse width 50ms surge voltage. The single-chip microcomputer detects the signal of the button signal and the voltage and current of each channel, and controls the relay and each electronic switch to realize the required surge voltage output. For the AC/DC circuit, the high-efficiency phase shifting chip UC3875 is used for control, and each output is controlled by a single-chip microcomputer to switch the voltage dividing resistor to realize the surge voltage output. And through the MCU control indicator to display the working state, if the surge generator detects an abnormality, it will automatically close the input and output, protect the surge generator and the tested on-board electrical equipment. The circuit and program of the surge generator were simulated and verified by Proteus simulation software. Finally, the surge generator prototype was powered and debugged, and the voltage waveform of the test was also verified by the test voltage waveform. The surge voltage can meet the voltage characteristics of GJB181—86 and GJB181A—2003 at the same time.

**Keywords:** overvoltage surge; undervoltage surge; GJB181—86; GJB181A—2003; AC/DC; 8051F330; process indication

## 0 引言

机载电压浪涌发生器是用于机载用电设备进行电压浪涌测试的平台, 针对 GJB181—86<sup>[1]</sup>或 GJB181A—2003<sup>[2]</sup>两种浪涌电压指标的测试<sup>[3]</sup>, 在 GJB181—86 中要求机载用电设备在输入直流 28 V 正常工作时, 承受过压浪涌为 80 V、脉宽 50 ms、时间间隔为 1 min, 连续 5 次; 欠压浪涌为 8 V、脉宽 50 ms、时间间隔为 1 min, 连续 5 次; 在

GJB181A—2003 中要求机载用电设备在输入直流 28 V 正常工作时, 承受的过压浪涌为 50 V、脉宽 50 ms、时间间隔为 1 min, 连续 5 次; 欠压浪涌为 18 V、脉宽 50 ms、时间间隔为 1 min, 连续 5 次; 设计的机载电压浪涌发生器, 采用两路 AC/DC 电路和继电器的灵活切换实现 80 V、8 V、50 V、18 V 种电压浪涌输出, 同时通过 8051f330 实现浪涌电压的脉冲宽及脉冲间隔等控制、实现工作状态及试验进程的显示、输入输出异常的保护。

## 1 原理框图

图 1 为机载电压浪涌发生器的原理框图, 在机载电压

收稿日期: 2019-09-16; 修回日期: 2019-10-21。

作者简介: 吴林(1985-), 男, 江西湖口人, 硕士, 工程师, 主要从事电力电子技术方向的研究。

浪涌发生器内，主要包含两路 AC/DC 模块，EMI 滤波器，辅助电源，微机单元，前面板（按键和指示灯）单元，脉冲输出控制继电器，串接并接控制电子开关。

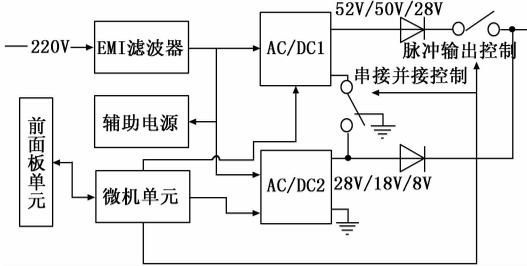


图 1 机载电压浪涌发生器内部结构框图

图 2 为机载电压浪涌发生器的前面板图，通过前面板的按键，以及微机单元的程序控制，实现 GJB181-86<sup>[1]</sup> 或 GJB181A-2003<sup>[2]</sup> 两种规格的浪涌电压，并通过相应指示灯显示其工作状态。

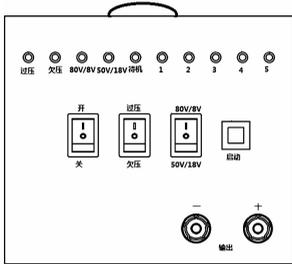


图 2 机载电压浪涌发生器前面板图

## 2 硬件设计

### 2.1 性能指标

- 1) 电源适应性：交流 176~264 V，频率：50±3 Hz。
- 2) 电源输出：28 V。
- 3) 浪涌输出：过压浪涌 80 V/50 ms、50 V/50 ms；欠压浪涌 8 V/50 ms、18 V/50 ms。
- 4) 电流输出：最大 20 A。
- 5) 保护：输入过压、欠压保护；输出过流、短路保护。

### 2.2 AC/DC 电路设计

两路 AC/DC 电源模块都采用了相同的全桥移相软开关电源电路，就是通过增加的一个谐振网络，使开关器件在零电压时打开，在零电流状态时关断，从而实现软开关，大大降低开关损耗，提高电源转换效率吧。这样就可降低开关损耗，从而提高电源效率。

如图 3 所示，4 个开关管（IRFP460）构成全桥电路结构；驱动芯片 TC4427 与驱动变压器构成隔离驱动电路。

如图 4 所示，为全桥移向控制芯片 UC3875 电路，芯片的 8、9 脚及 13、14 脚输出开关管控制信号。根据芯片 3 脚所接的反馈电压来控制开关管方波信号的移相角来实现稳压输出（如 5 所示）。通过其 5、6 脚所接的比较器及整流电路来实现过流或短路保护，当有过流或其他故障时 6 脚电压被拉低，电源输出降低进行保护，当输出有短路或其他

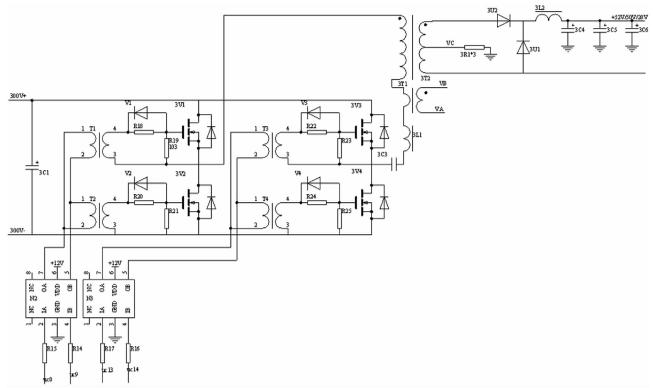


图 3 全桥移相功率开关部分电路图

故障时，比较器输出一个高电平至 UC3875 的 5 脚，电源输出关闭锁死进行保护。

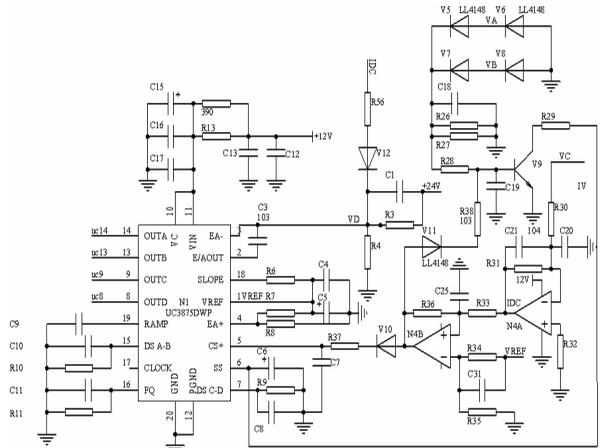


图 4 控制芯片 UC3875 电路

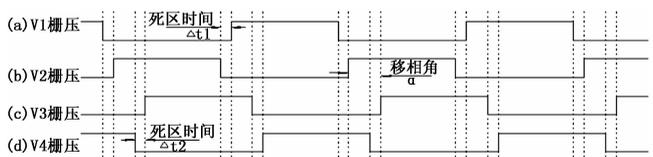


图 5 移相控制时序图

AC/DC 变换电路输出端整流滤波电路如图 6 所示。

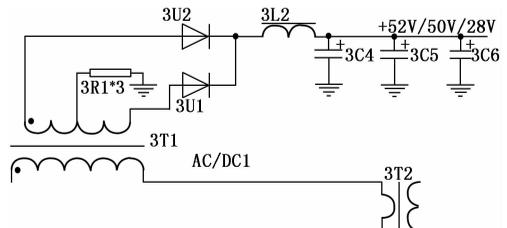


图 6 输出整流滤波电路

输出整流管采用肖特基二极管，肖特基二极管有较小的管压降，可以进一步提高电源转换效率。储能电感值的计算式为： $L = (V_L \times \Delta t) / \Delta i$ ； $L$  为电感值， $V_L$  为电感电压值， $\Delta t$  为导通时间， $\Delta i$  为导通时间内电流的变化。滤波电容值的计算式为： $C = (\Delta I \times t_{on}) / \Delta V$ ， $C$  为电容值， $\Delta I$

为导通时间内电流的变化,  $\Delta t$  为导通时间,  $\Delta V$  纹波电压。

### 2.3 单片机 8051F330 电路设计

C8051F330 是完全集成的混合信号系统级 MCU 芯片, 片内有上电复位、VDD 监视器、时钟振荡器、可编程数字 I/O 和交叉开关 (Crossbar)、可编程计数器/ 定时器阵列 (PCA)、10 位高速 ADC/ DAC、8 kB 可编程 FLASH 存储器, 768B 片内 RAM, 具有高速度 (MIPS)、微型封装 (4 mm \* 4 mm), 且内置温度传感器 ( $\pm 3^{\circ}\text{C}$ ), 且 C8051F330 是一个与 8051 全兼容的内核, 其工作电压为 2.7~3.6 V。

如图 7 所示, 单片机 8051F330 的 1 脚悬空, 2 脚接地 GND, 3 脚与 3.3 V 电源连接, 4 脚和 5 脚与 JTAG 口连接, 6~10 脚与前面板 6 个指示灯连接, 11 脚与前面板待机按键连接, 12 脚与前面板过/欠压连接, 13 脚与前面板 86/03 标准按键连接, 14 脚与与前面板启动按键连接, 18 脚与 19 脚分别与两路 AC/DC 输出连接, 16 脚与 17 脚可作串口调试用。

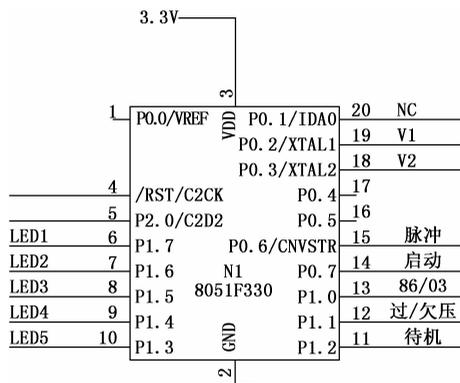


图 7 单片机电路及管脚配置

## 3 软件设计

### 3.1 程序流程图

图 8 为机载电压浪涌发生器的程序流程图, 在程序框图内, 微机单元首先判断是 GJB181-86 还是 GJB181A-

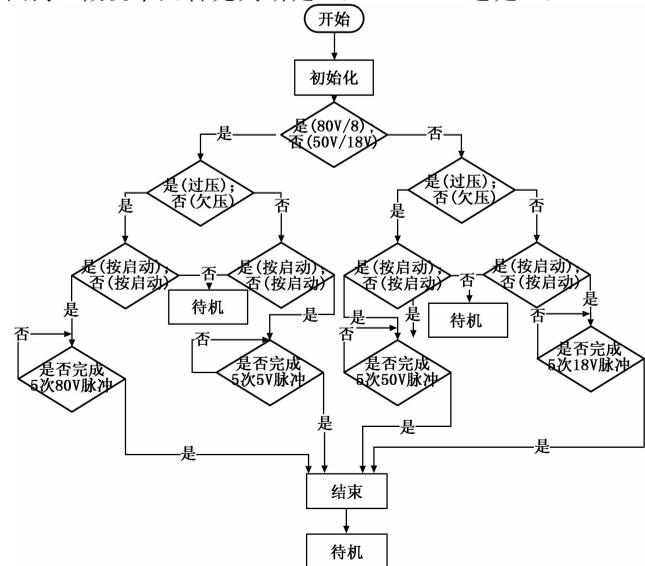


图 8 程序流程图

2003 测试标准, 其次判断是过压还是欠压测试, 然后微机单元根据接受到的启动按键命令信号, 实现输出对应规格的脉冲电压, 并连续 5 次输出 50 ms 脉宽的脉冲电压, 最后当微机单元检测到底 5 次脉冲电压输出完毕, 程序自动关闭浪涌发生器工作, 转为待机状态, 整个工作进程中均以相应的指示灯显示其状态。

### 3.2 浪涌输出控制

在不同标准及不同浪涌输出情况下, 两路 AC/DC 电源电压输出不同的电压值。

如表 1 及图 9 所示, 单片机通过控制 V1、V2 及 K1、K2 继电器来实现不同的脉冲输出。

表 1 两路 AC/DC 输出电压真值表

	过压		欠压	
	B1	B2	B1	B2
86	V1+ 52V	V1+ 28V	V1- 28V	V1- 8V
03	V1- 50V	V1+ 28V	V1- 28V	V1- 18V

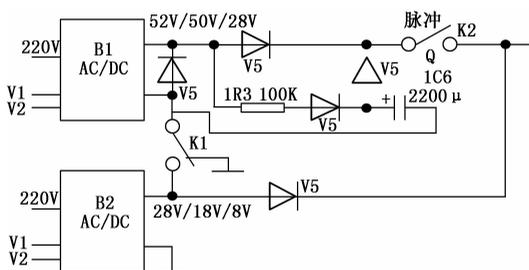


图 9 浪涌脉冲输出控制电路

1) 当按 86 标准输出过压脉冲时, K1 继电器吸合, B1、B2 电源模块处于串联输出模式。B1 输出电压为 52V, B2 电源模块输出电压为 28 V。过压浪涌试验时设备输出正常的 28 V 电压 (K2 断开, B2 模块供电), 当单片机输出 50 ms 的浪涌脉冲时, 该脉冲信号控制 K2 导通, 则设备输出相应的幅度为 80 V 脉宽为 50 ms 的过压浪涌。

2) 当按 03 标准输出过压脉冲时, K1 继电器断开, B1 模块的负极通过该继电器接地, B1、B2 电源模块处于并出模式。B1 输出电压为 50 V, B2 电源模块输出电压为 28 V。过压浪涌试验时设备输出正常的 28 V 电压 (K2 断开, B2 模块供电), 当单片机输出 50 ms 的浪涌脉冲时, 该脉冲信号控制 K2 导通, 则设备输出相应的幅度为 50 V 脉宽为 50 ms 的过压浪涌。

3) 当按 86 标准输出过压脉冲时, K1 继电器断开, B1 模块的负极通过该继电器接地, B1、B2 电源模块处于并出模式。B1 输出电压为 28 V, B2 电源模块输出电压为 8 V。欠压浪涌试验时设备输出正常的 28 V 电压 (K2 吸合, B1 模块供电), 当单片机输出 50 ms 的浪涌脉冲时, 该脉冲信号控制 K2 断开, 则设备输出相应的幅度为 8 V 脉宽为 50

ms 的欠压浪涌。

4) 当按 O3 标准输出过压脉冲时, K1 继电器断开, B1 模块的负极通过该继电器接地, B1、B2 电源模块处于并网模式。B1 输出电压为 28 V, B2 电源模块输出电压为 18 V。欠压浪涌试验时设备输出正常的 28 V 电压 (K2 吸合, B1 模块供电), 当单片机输出 50 ms 的浪涌脉冲时, 该脉冲信号控制 K2 断开, 则设备输出相应的幅度为 18 V 脉宽为 50 ms 的欠压浪涌。

### 3.3 AC/DC 输出电压控制

如表 1 所示, 通过控制信号 V1、V2 来控制 B1、B2 的不同输出电压。器输出电压控制电路如图 10 所示。

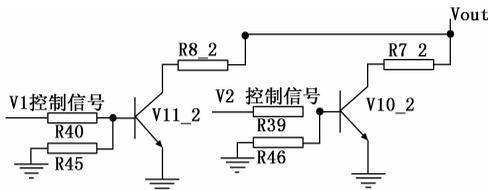


图 10 B1 模块输出电压控制电路图

如图 10、图 11 所示, 为 B1 和 B2 模块的部分电压反馈网络电阻电路, 通过单片机输出的控制信号 V1、V2 的组合来改变相应模块的电压反馈电阻的对地阻值得到需要的输出电压。分压电阻的取值依据公式:  $V_{out} = V_{REF} \times (R_3 + R_{并}) / R_{并}$  (其中  $V_{REF} = 5\text{ V}$ ,  $R_{并} = R_4 // R_{控制}$ )。

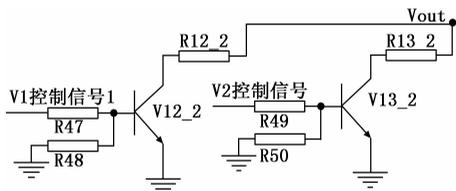


图 11 B2 模块输出电压控制电路图

### 3.4 脉冲输出控制

浪涌电压是由单片机输出的相应脉冲信号控制输出继电器 K2 得到, 脉冲信号时序如图 12 所示。

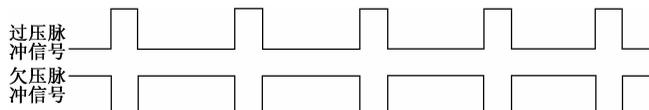


图 12 脉冲信号时序图

如图 12 所示, 过压浪涌脉冲信号时一个正脉冲信号, 脉宽为 50 ms, 每两个脉冲的时间间隔为 1 min; 欠压浪涌脉冲信号时一个负脉冲信号, 脉宽为 50 ms, 每两个脉冲的时间间隔为 1 分钟。

### 3.5 指示控制

当选择好过压或欠压试验项目时, 对应的过压/欠压指示灯亮; 当选择好 80 V/8 V 或 50 V/18 V 标准时, 由对应的指示灯进行指示。

在设备开机后单片机控制待机指示灯闪烁, 表示设备下待机状态下, 试验时按一下浪涌启动按键; 待机指示灯

熄灭, 同时第一个进程指示灯闪烁, 表示即将输出第一个浪涌脉冲; 第一个浪涌脉冲输出后, 第一个进程指示灯常亮, 同时第二个进程指示灯闪烁, 表示即将输出第二个浪涌脉冲, 如此依次指示完 5 个浪涌脉冲输出后再转为待机状态, 5 个进程指示灯熄灭, 待机指示灯闪烁。

## 4 仿真与实验

机载浪涌发生器 proteus 仿真电路如图 13 所示, 通过仿真可以验证程序实现的功能, 主要有工作状态显示、按键检测与控制输出电压及工作异常的保护。

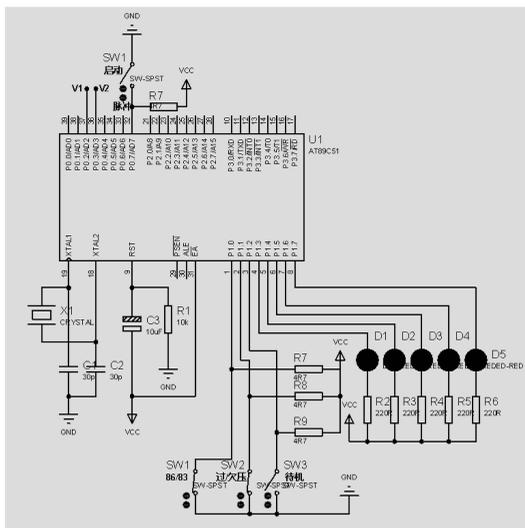


图 13 机载浪涌发生器控制程序 proteus 仿真图

根据上述设计思想制作出的电压浪涌发生器, 可以对机载设备进行浪涌试验, 两个 AC/DC 模块的转换效率分别约 93%、92%, 具有操作简单, 体积小重量轻等优点。被测设备 (500 W 设备) 的供电电源线接至浪涌发生器的输出接线端, 启动测试, 通过输出波形分析, 表明了浪涌发生器能够满足机载用电设备的浪涌电压测试要求。其输出电压浪涌波形如图 14 所示。

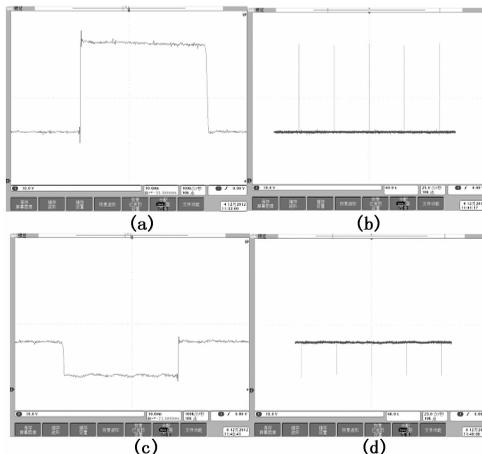


图 14 GJB 181-86 标准测试过压/欠压浪涌波形图

图 14 是机载浪涌发生器按 GJB 181-86 标准测试的过压/欠压输出浪涌波形图, 其中图 (a) 是过压浪涌波形图,

从图中可以读出浪涌电压脉宽为 50 ms,幅值为 80 V;图(b)是 5 次过压浪涌实验的整波形图,从图中可以读出一,一次试验有 5 次过压浪涌电压发生,每相邻两次浪涌电压间隔 1 min,当第 5 次浪涌电压发生完成后,浪涌发生器自动进入待机状态,并以待机指示灯显示。

图 14 (c) 是欠压浪涌波形图,从图中可以读出浪涌电压脉宽为 50 ms,幅值为 8 V;图 (d) 是 5 次欠压浪涌实验的波形图,从图中可以读出一,一次试验有 5 次过压浪涌电压发生,每相邻两次浪涌电压间隔 1 min。当第 5 次浪涌电压发生完成后,浪涌发生器自动进入待机状态,并以待机指示灯显示。

图 15 是机载浪涌发生器按 GJB 181-86 标准测试的过压/欠压输出浪涌波形图,其中图 (a) 是过压浪涌波形图,从图中可以读出浪涌电压脉宽为 50 ms,幅值为 50 V;图 (b) 是 5 次过压浪涌实验的整波形图,从图中可以读出一,一次试验有五次过压浪涌电压发生,每相邻两次浪涌电压间隔 1 分钟,当第五次浪涌电压发生完成后,浪涌发生器自动进入待机状态,并以待机指示灯显示。

图 15 (c) 是欠压浪涌波形图,从图中可以读出浪涌电压脉宽为 50 ms,幅值为 18 V;图 (d) 是 5 次欠压浪涌实验的波形图,从图中可以读出一,一次试验有 5 次过压浪涌电压发生,每相邻两次浪涌电压间隔 1 min。当第 5 次浪涌电压发生完成后,浪涌发生器自动进入待机状态,并以待机指示灯显示。

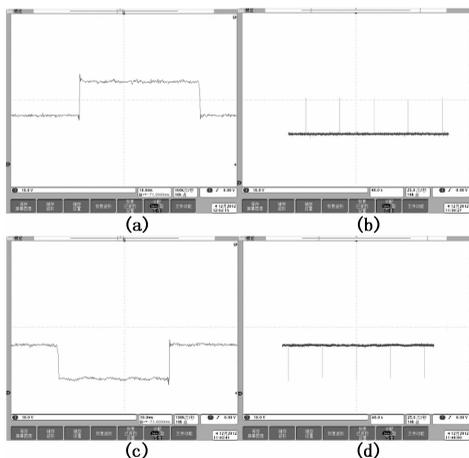


图 15 GJB181A-2003 标准测试过压/欠压浪涌波形图

## 5 结论

围绕机载浪涌发生器硬件和软件的工作原理进行介绍,首先对其硬件电路进行了设计,为了满足 GJB 181-86 和 GJB 181A-2003 的标准,设计了两路高效移相 AC/DC 变换电路,可以同时输出两种规格电压,然后通过烧录到微单元中 C8051f330 的程序,能够检测到按键信号并通过 I/O 口输出相应的控制信号,实现两路 AC/DC 变换电路的串联/并联,并通过脉冲输出控制继电器的闭合实现输出所要求的脉冲电压。通过 proteus 软件对机载浪涌发生器的控制程序进行了仿真,对电路和程序的设计、调试等有重要参

考价值。同时也根据浪涌发生器的设计原理制作了样机,最后通过样机加电调试,并测输出波形,验证了浪涌发生器能够可以输出满足满足 GJB 181-86 和 GJB 181A-2003 标准的电压浪涌,即满足机载用电设备对耐浪涌电压的测试要求。

## 参考文献:

- [1] 王宏霞. GJB181-86 飞机供电特性及对用电 [S]. 北京: 国际科学技术工业委员会, 1986.
- [2] 王宏霞. GJB181A-2003 飞机供电特性及对用电 [S]. 北京: 中国人民解放军总装备部, 2003.
- [3] 刘增波, 刘宗玉, 张强, 等. 一种浪涌抑制电路过程分析与验证 [J]. 计算机测量与控制, 2016 (11): 265-268, 272.
- [4] 吴林, 杨国为, 刘斌. 光伏微型逆变器辅助电源的变压器设计 [J]. 电子设计工程, 2015 (17): 115-117.
- [5] 宋金华, 吴林, 谢启少. 3.6 V/7.2 V 锂离子电池智能充电器设计 [J]. 物联网技术, 2019 (9): 105-106, 110.
- [6] 张亚聪, 管继富, 张天一, 等. 车载控制器浪涌抑制技术研究 [J]. 计算机测量与控制, 2017 (1): 141-143, 148.
- [7] 周蕊. 浪涌信号发生器的校准方法 [J]. 现代电子技术, 2014 (5): 87-89.
- [8] 赵雷, 王磊, 董仲博, 等. 星载电子设备浪涌电流抑制以及浪涌电流的测试方法 [J]. 计算机测量与控制, 2014 (9): 2730-2732.
- [9] 付裕, 李刚. GR-1089-CORE 对雷击浪涌测试及波形发生器的要求 [J]. 安全与电磁兼容, 2008 (3): 29-32.
- [10] 韦绍明, 张丽艳. 飞行模拟器电源浪涌抑制问题与改进 [J]. 安全与电磁兼容, 2017 (2): 70-72.
- [11] 王凯, 韩力立. 基于 LT8705 的机载设备抗浪涌电源 [J]. 电子世界, 2014 (7): 109-110.
- [12] 钟辉. 某机载设备电磁兼容性改进设计 [J]. 安全与电磁兼容, 2018 (2): 73-76.
- [13] 魏志强, 林兰修, 陈炳榛. 基于某型车载电台的电磁辐射研究及整改 [J]. 电子测试, 2018, 403 (22): 44-45.
- [14] 张占松, 蔡宣三. 开关电源的原理与设计 [M]. 北京: 电子工业出版社, 1999.
- [15] C8051F33x Data Sheet [Z]. Silicon Labs, 2010.
- [16] 罗朝霞, 张高记. 通信局(站)用浪涌保护器的选择 [J]. 西安邮电大学学报, 2013 (3): 25-28.
- [17] 袁江, 李娟, 邱自学, 等. 基于 C8051F330 的机动车速度监测及无线传输系统 [J]. 计算机测量与控制, 2010 (9): 2026-2028, 2031.
- [18] 王姣, 谭立龙. 基于 C8051F330 的光电瞄准系统设计 [J]. 电子设计工程, 2013 (19): 123-125.
- [19] 马瑞卿, 任先进. 一种基于 TOP224Y 的单片开关电源设计 [J]. 计算机测量与控制, 2007 (2): 235-237, 240.
- [20] 黄鲁晨. 电火花机床电源供给系统专用辅助电源的研制 [D]. 北京: 北京交通大学, 2019 (1).
- [21] 吴迪. 基于 UC3875 的 30V/2500A 开关电源设计与仿真 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2017 (5).
- [22] 陈明理, 毕睿华, 陈昊, 等. 基于 UC3875 的移相式 PWM 直流电源设计 [J]. 机电信息, 2018 (12): 27-29, 31.