

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2016.02.006

# 恒流二极管分压的悬浮脉冲单臂桥驱动器研制

胡正国, 屈子琦

(湖南工业大学 电气与信息工程学院, 湖南 株洲 412007)

**摘要:** 设计了一种恒流二极管分压的悬浮脉冲单臂桥驱动器。先介绍了悬浮脉冲驱动模块电路结构和工作原理, 以及恒流模块中恒流二极管的特性、恒流二极管串联均压计算方法; 再利用该原理设计了验证电路, 并应用在半桥式拓扑结构的开关电源中。验证电路的测试结果表明: 恒流二极管分压的悬浮脉冲单臂桥驱动器的性能完全满足设计要求, 值得推广。

**关键词:** 恒流二极管; 单臂桥; 悬浮脉冲; 驱动器

**中图分类号:** TN31

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1673-9833(2016)02-0032-05

## Research of Suspension Pulse Single Arm Bridge Driver with Constant Current Diode Partial Pressure for Driving

HU Zhengguo, QU Ziqi

(School of Electrical and Information Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

**Abstract:** A constant current diode voltage pulse circuit structure of single arm suspension bridge driver was designed. Firstly introduced the circuit structure and working principle of suspension pulse driving module, the constant current diode characteristics of constant current module and the partial pressure calculation method of constant current diode in series. Then applied the principle to design the testing circuit, and used the circuit in half bridge topology switching power supply. The test result indicated that the driver performance fully met with design requirements, and it was worth spreading.

**Keywords:** constant current diode; single arm bridge; suspension pulse; driver

## 0 引言

随着电子技术的快速发展以及人们对悬浮脉冲单臂桥驱动器的需求不断增大, 对其尺寸、效率、可靠性、寿命及舒适性方面的要求越来越高。悬浮脉冲单臂桥驱动器多用于低压之间的转换, 且该技术比较成熟。由于受器件特性和电路的耐压性能较差的限制, 悬浮脉冲单臂桥驱动器直接应用于高压电路中, 会存在结构复杂、制作成本高、通用性差的缺陷。

恒流二极管 (current regulative diode, CRD) 是电子设备和装置中的一种常用元件, 属于两端结型场

效应的恒流器件, 能在很宽的电压范围内输出恒定电流, 具有很高的动态阻抗<sup>[1-2]</sup>。由恒流二极管和均压电阻组成的恒流模块具有恒流性能好、价格较低、使用简便的优点。

有鉴于此, 本文设计了一种由悬浮脉冲驱动模块和恒流模块组成的恒流二极管分压的悬浮脉冲单臂桥驱动器。该设计获得了国家专利<sup>[3-4]</sup>。

## 1 电路原理介绍

恒流二极管分压的悬浮脉冲单臂桥驱动器的主

收稿日期: 2016-01-24

作者简介: 胡正国 (1989-), 男, 江西上饶人, 湖南工业大学硕士生, 主要研究方向为现代电力电子技术及系统,

E-mail: 313071533@qq.com

电路原理图如图1所示。

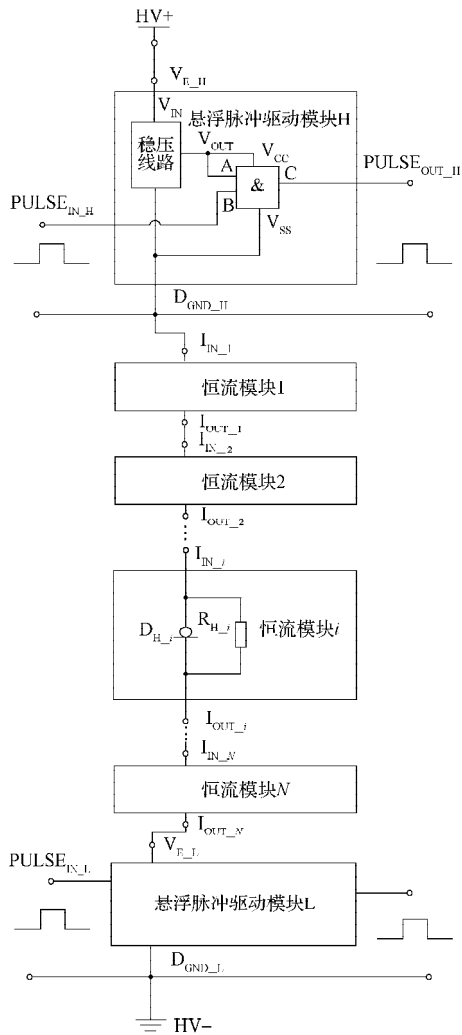


图1 主电路原理图

Fig. 1 The main circuit principle diagram

恒流二极管分压的悬浮脉冲单臂桥驱动器主要由2个悬浮脉冲驱动模块(悬浮脉冲驱动模块H与悬浮脉冲驱动模块L)和N个恒流模块(恒流模块1, 恒流模块2, ..., 恒流模块N)依次串联组成, 其首端和尾端分别接直流电源的正端HV+和直流电源负端HV-。由于悬浮脉冲驱动模块有稳压范围, 每个恒流模块都有工作电压范围, 故恒流模块的数量也会有一个动态范围, 即悬浮脉冲驱动模块和N个恒流模块的累计电压差不能超过直流电源正端HV+与直流电源负端HV-的电压差<sup>[5-8]</sup>。

### 1.1 悬浮脉冲驱动模块

悬浮脉冲驱动模块有悬浮脉冲驱动模块H与悬浮脉冲驱动模块L, 且它们的电路结构相同。本文仅以悬浮脉冲驱动模块H为例加以说明, 其电路结构如图2所示。悬浮脉冲驱动模块H外部端口包含电源输入端V<sub>E,H</sub>、脉冲输入端PULSE<sub>IN,H</sub>、脉冲输出端

PULSE<sub>OUT,H</sub>和D<sub>GND,H</sub>工作地端, 内部包含一个稳压电路和一个与门电路。

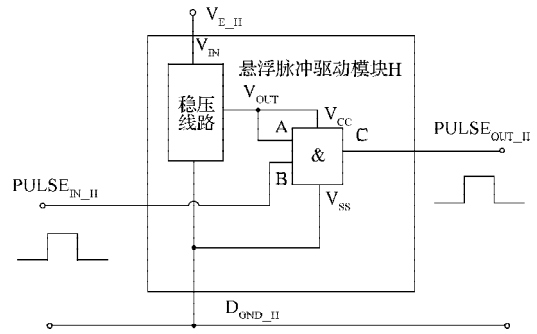


图2 悬浮脉冲驱动模块H电路结构图

Fig. 2 The circuit diagram of suspension pulse driver module H

与门电路的逻辑关系为

$$A \& B = C, \quad (1)$$

式中: A和B分别为逻辑门输入端A,B的值; C为输出端C的值。稳压电路与与门电路的关系如表1所示, 与门电路中输入端A对应稳压电路的输出端V<sub>OUT</sub>, 输入端B对应脉冲输入端PULSE<sub>IN,H</sub>, 输出端C对应脉冲输出端PULSE<sub>OUT,H</sub>。

表1 与门电路的真值表

Table 1 The truth value of gate circuit

A(V <sub>OUT</sub> )	B(PULSE <sub>IN,H</sub> )	C(PULSE <sub>OUT,H</sub> )
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

由表1可以看出, 当与门电路输入端A为1时, 即整个驱动器处于通电状态。由于逻辑门输入端A与逻辑门输入端B为与的逻辑关系, 输出端C的输出状态取决于逻辑门输入端B<sup>[9]</sup>。具体表现如下。

1) 当输入端A为1, 输入端B为1时, 输出端C为1。

2) 当输入端A为1, 输入端B为0时, 输出端C的输出状态为0。

### 1.2 恒流模块

恒流二极管是一种硅材料制作的基础电子器件, 相当于一个恒流源或最大峰值电流的限制电路, 即当出现电源电压供电不稳定或是负载电阻变化很大的情况时, 其都能确保供电电流稳定。恒流二极管是实现各种电子设备的恒流源、稳压源及保护电路的重要器件之一。

每个恒流模块的电路结构均相同。以恒流模块i为例, 其电路结构如图3所示。恒流模块i的外部端口包含输入端I<sub>IN,i</sub>和输出端I<sub>OUT,i</sub>, 内部由恒流二极管D<sub>H,i</sub>和均压电阻R<sub>H,i</sub>并联组成。

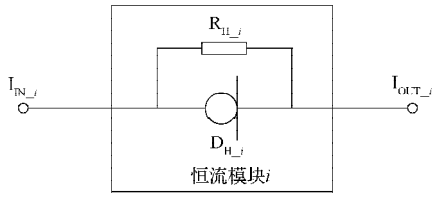


图3 恒流模块*i*电路结构图

Fig. 3 Constant current module *i*

本设计采用2H1002A恒流二极管，其典型V-I特性和温度特性如图4所示。

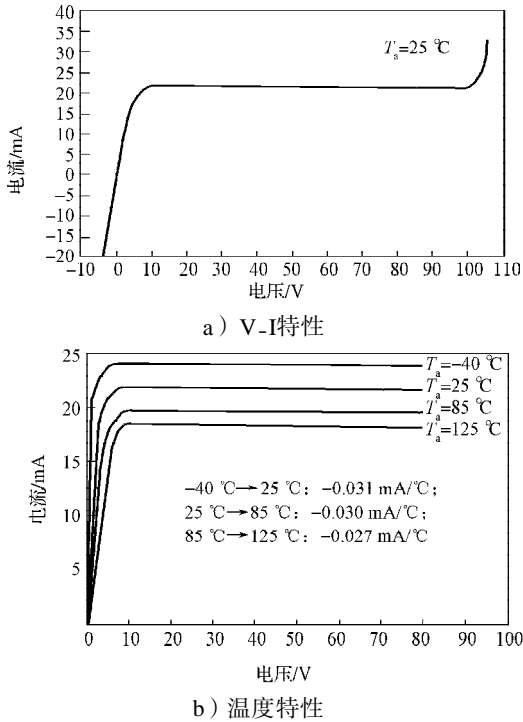


图4 恒流二极管的典型特性图

Fig. 4 Typical characteristics of constant current diode

由图4可知：1) 恒流二极管两端所加电压在10~100 V之间时，其恒定输出22 mA左右电流；2) 当环境温度发生变化时，恒流二极管的恒定电流也会随之发生变化，但2H1002A温漂小，热稳定性较好，恒流二极管是非常理想的恒流元件。

## 2 均压计算

恒流二极管的工作电压范围是一定的，若超过其工作电压范围，就需要串联两个或两个以上的恒流二极管。每个恒流二极管具有一定的离散性，故本文在此基础上使用均压电阻。在工程应用中，均压电阻的计算分为2种情况，恒流二极管未导通状态和恒流二极管导通状态<sup>[10-16]</sup>。

1) 当恒流二极管未导通时，在两端施加正向电压，则串联的多个恒流二极管将共同承担电压，并进行电压的分配。漏电阻越大，承受的电压越大<sup>[17]</sup>。

为解决恒流二极管静态时的均压问题，需在其两端并联远小于漏电阻的均压电阻 $R_{H,i}$ ，即

$$R_{H,i} \leq \frac{U_{RED}}{I_{DER}} \quad (2)$$

式中： $U_{RED}$ 为恒流二极管导通电压； $I_{DER}$ 为静态重复平均电流，即

$$I_{DER} = \pi I_{DR} \quad (3)$$

其中 $I_{DR}$ 近似为漏电流峰值。

2) 恒流二极管导通时，因各自串联的恒流二极管导通阻抗不同，进而造成其导通压降不同。压降大的恒流二极管输出电压有可能超出其恒流输出的电压工作极限范围，导致电压分配不均匀。一般，在恒流二极管两端并联由均压电阻 $R_{H,i}$ 构成的均压电路来实现动态均压。均压电阻值一般取10~30 kΩ，本设计取18 kΩ。

## 3 实例分析

### 3.1 实例电路介绍

一种典型的实例示意图如图5所示。

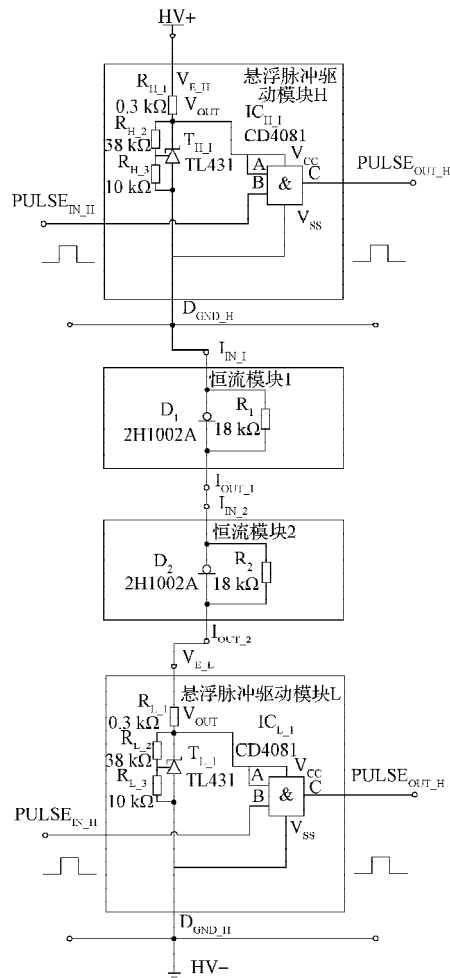


图5 典型的实例示意图

Fig. 5 Schematic diagram of a typical example

悬浮脉冲驱动模块H与悬浮脉冲驱动模块L的电路结构和参数均相同,在此仅以悬浮脉冲驱动模块H为例加以说明。悬浮脉冲驱动模块H中的稳压电路由三端稳压器 $T_{H-1}$ 、分压电阻 $R_{H-1}$ 、偏置电阻 $R_{H-2}$ 和偏置电阻 $R_{H-3}$ 组成。其中,三端稳压器 $T_{H-1}$ 的型号为TL431, $R_{H-1}$ 阻值为 $0.3\text{ k}\Omega$ , $R_{H-2}$ 阻值为 $38\text{ k}\Omega$ , $R_{H-3}$ 阻值为 $10\text{ k}\Omega$ 。与门逻辑芯片 $I_{CH-1}$ 的型号为CD4081。

恒流模块1和恒流模块2中的恒流二极管分别为 $D_1$ 和 $D_2$ ,其型号均为2H1002A;均压电阻分别为 $R_1$ 和 $R_2$ ,阻值均为 $18\text{ k}\Omega$ 。

### 3.2 实验结果与分析

根据电路的工作原理和参数设计值,本文设计了实际电路。测试时,输入交流电压为 $1\ 000\text{ V}$ ,输出接额定负载后,再上电。通过固纬GDS-2104示波器的CH1,CH2通道,得到恒流二极管分压的悬浮脉冲单臂桥驱动器输出端的电压波形<sup>[18]</sup>,如图6所示。通道CH1显示的是上桥臂波形,通道CH2显示的是下桥臂波形。从波形图可以看出,上桥臂工作的时候,下桥臂关断;下桥臂工作的时候,上桥臂关断;且有一段时间为上桥臂和下桥臂都关断,为死区时间。由图可知,上桥臂和下桥臂的输出电压为 $15\text{ V}$ 左右,基本达到预期效果。

通过对样机进行实测,结果表明该变换器符合软开关的要求,也能够稳定输出电压,达到了预期效果。

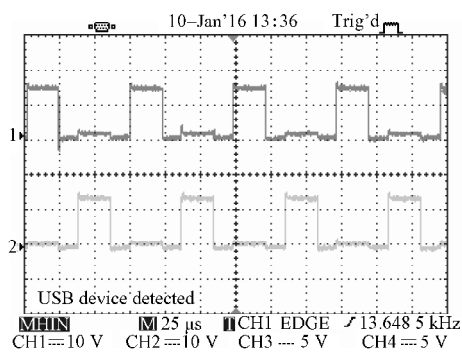


图6 电路输出电压波形

Fig. 6 Circuit output voltage waveform

## 4 结语

本文设计了一种恒流二极管分压的悬浮脉冲单臂桥驱动器。该单臂桥驱动器设计简单、结构合理、构建方便、通用性好,不但能克服现有的单臂桥脉冲驱动器高压适应性的不足,而且能有效地实现隔离和悬浮的电平转换。在实际运用中,该驱动器运行稳定可靠,具有良好的动态特性、较强的抗干扰能力,值得推广和使用。

## 参考文献:

- [1] 冯晓敏. 硅基恒流二极管的设计[D]. 大连: 大连理工大学, 2012.  
FENG Xiaomin. The Design of Silicon-Based Constant Regulative Diode[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2012.
- [2] 赵圣哲, 马万里, 赵文魁. 硅基恒流二极管研究现状及展望[J]. 半导体器件, 2015, 40(10): 764-779.  
ZHAO Shengzhe, MA Wanli, ZHAO Wenkui. Research Status and Prospects of the Silicon-Based Current Regulative Diode[J]. Semiconductor Devices, 2015, 40(10): 764-779.
- [3] 廖无限, 肖强晖, 胡正国. 恒流二极管分压的悬浮脉冲单臂桥驱动器: 中国, 201510613877.2[P]. 2016-02-24.  
LIAO Wuxian, XIAO Qianghui, HU Zhengguo. Suspension Pulse Single Arm Bridge Driver with Constant Current Diode Partial Pressure: China, 201510613877.2 [P]. 2016-02-24.
- [4] 廖无限, 肖强晖, 胡正国. 恒流二极管分压的悬浮脉冲多臂桥驱动器: 中国, 201510626830.X[P]. 2016-02-24.  
LIAO Wuxian, XIAO Qianghui, HU Zhengguo. Suspension Pulse Multi Arm Bridge Driver with Constant Current Diode Partial Pressure: China, 201510626830.X [P]. 2016-02-24.
- [5] 杨磊, 吴晓光, 羊彦. LLC谐振半桥DC-DC电路设计[J]. 电子设计工程, 2013, 21(8): 138-140.  
YANG Lei, WU Xiaoguang, YANG Yan. LLC Resonant Half-Bridge Circuit Design with DC-DC[J]. Electronic Design Engineering, 2013, 21(8): 138-140.
- [6] GARCIA F S, POMILIO J A, DEAECTO G S, et al. Analysis and Control of DC-DC Converters Based on Lyapunov Stability Theory[C]//2009 Energy Conversion Congress and Exposition(ECCE 2009). San Jose: IEEE, 2009: 2920-2927.
- [7] 石合地. 电流自动可调低功耗LED驱动电路的研究与设计[D]. 湘潭: 湘潭大学, 2013.  
SHI Hedi. The Research and Design of LED Drive Circuit with Automatically Adjustable Current and Low-Power[D]. Xiangtan: Xiangtan University, 2013.
- [8] 李文静, 丁金华. LED矿灯恒流稳压电源电路设计[J]. 照明工程学报, 2013, 24(2): 62-65.  
LI Wenjing, DING Jinhua. Design of Constant Current Power Supply Circuit for LED Miner's Lamp[J]. China Illuminating Engineering Journal, 2013, 24(2): 62-65.
- [9] KOTB A. AND Gate Based on Two-Photon Absorption in Semiconductor Optical Amplifier[J]. Optoelectronics Letters, 2013, 3(9): 181-184.
- [10] 许阳月, 张剑家, 辛德胜, 等. 线阵列半导体激光器高效激励源研究[J]. 长春理工大学学报(自然科学版), 2014, 37(1): 14-17.

- XU Yangyue, ZHANG Jianjia, XIN Desheng, et al. Research on High-Efficient Driver Used in Line Array Semiconductor Laser[J]. Journal of Changchun University of Science and Technology(Natural Science Edition), 2014, 37(1): 14-17.
- [11] 王旭光. 动力电池组均衡研究与设计[D]. 杭州: 杭州电子科技大学, 2011.
- WANG Xuguang. The Research and Design of Equilibrium in Power Batteries[D]. Hangzhou: Hangzhou Dianzi University, 2011.
- [12] 杜炳政. 基于虚拟仪器的车辙试验采集系统的研究 [D]. 西安: 长安大学, 2011.
- DU Bingzheng. Research of Rutting Test Data Acquisition System Based on Virtual Instrument[D]. Xi'an: Chang'an University, 2011.
- [13] PARDESHI H, PATR S K, RAJ G, et al. Effect of Underlap and Gate Length on Device Performance of an AlInN/GaN Underlap MOSFET[J]. Journal of Semiconductors, 2012, 12(33): 16-22.
- [14] 杨春雷, 刘志远. 一种电动汽车动力电池均衡控制方法的设计[J]. 上海交通大学学报, 2011, 45(8): 1186-1190.
- YANG Chunlei, LIU Zhiyuan. Equalization Control Method Design for Power Batteries in an Electric Vehicle [J]. Journal of Shanghai Jiaotong University, 2011, 45(8): 1186-1190.
- [15] 王 磊. 航天用小功率多路输出电源的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2014.
- WANG Lei. Research on Multi-Output Low Power Supply for Aerospace Applications[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2014.
- [16] 周玉华, 周长省, 鞠玉涛. 压电驱动器非线性模型研究 [J]. 振动工程学报, 2013, 6(26): 840-845.
- ZHOU Yuhua, ZHOU Changsheng, JU Yutao. A Nonlinear Model of Piezoelectric Actuator[J]. Journal of Vibration Engineering, 2013, 6(26): 840-845.
- [17] 周 骅. 基于恒流二极管的LED驱动电路设计[J]. 电源技术, 2011, 35(9): 1157-1159.
- ZHOU Hua. Design of LED Driver Based on Current Regulative Diode[J]. Chinese Journal of Power Sources, 2011, 35(9): 1157-1159.
- [18] 周 骅, 刘 桥. 基于恒流二极管的LED照明驱动电路设计[C]//海峡两岸第十八届照明科技与营销研讨会. 贵阳: 中国照明学会, 2011: 130-137.
- ZHOU Hua, LIU Qiao. Design of LED Driver Based on Current Regulative Diode[C]//The 18th Lighting Technology and Marketing Seminar on Both Sides of the Taiwan Strait. Guiyang: China Illuminating Engineering Society, 2011: 130-137.

(责任编辑: 邓 彬)