

冲击式内燃螺栓扳手电源电路研究与设计

唐定华 秦刚 陈忠孝 安欢欢 路荣坤

(西安工业大学电子信息工程学院 西安 710021)

摘要:为实现冲击式内燃螺栓扳手控制器的稳定工作,通过测试发现在汽油发电机和控制器之间会有浪涌出现。并且在实际应用中,电路浪涌干扰会导致控制装置频繁进入保护状态,这严重影响了内燃螺栓扳手的使用。针对以上问题,利用二极管、功率电阻和TVS管等非线性元器件设计了两种电源浪涌软启动抑制电路。通过电路仿真和结合冲击式内燃螺栓扳手做松紧螺栓实验,结果表明,该电路能有效抑制浪涌,而且能够为内燃螺栓扳手提供稳定工作电源。

关键词: 内燃机; 电源电路; 电源保护; 浪涌抑制

中图分类号: TN29 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.1010

Research and design of power circuit for impact bolt wrench

Tang Dinghua Qin Gang Chen Zhongxiao An Huanhuan Lu Rongkun

(Xi'an Technological University Electronic Information Engineering College, Xi'an 710021, China)

Abstract: In order to achieve the stability of the internal combustion bolt wrench controller, this paper found that there was a surge between the gasoline generator and the controller. And in practical applications, the circuit surge interference will lead to frequent access control device into the protection state, which seriously affected the use of internal combustion bolt wrench. In view of the above problems, this paper designs two kinds of power surge soft start suppression circuits by using non-linear components such as diodes, power resistors and TVS tubes. The simulation results show that the circuit can effectively suppress the surge and provide a stable working power for the internal combustion bolt wrench by circuit simulation and the combination of the internal combustion bolt wrench.

Keywords: internal combustion engine; power supply circuit; power protection; surge suppression

0 引言

随着高铁和城市交通等迅速发展,轨道交通的建设和维护要求越来越高。为了实现自动化的冲击式内燃螺栓扳手稳定工作,本文设计了两种抑制浪涌^[1]的软启动电路,目的在于提供一个清晰简单的设计思路,可以作为浪涌抑制电路的有益参考。浪涌存在生活的各个领域,例如雷击和电气设备启停和故障等。在这些领域中,防止浪涌的技术都相当的成熟,但是在一些低压设备中,浪涌防护技术还不是应用很广,比如冲击式内燃螺栓扳手。本文也以此为设计抑制浪涌的电路,由于瞬态高压作用于电路中才产生瞬态大电流,所以首先从抑制瞬态高压出发,选取一些钳位元器件;其次设计泄流电路抑制浪涌电流。本文通过搭建硬件电路,运用电路仿真来分析和实验来验证电路是否满足要求。预期实验结果能达到设计目标。

1 方法和实验

在内燃螺栓扳手的电源电路中造成的浪涌原因有以下几种:电源频繁切换开关;电路中的元器件的焊接不良,造成电路偶尔通断;电子元器件参数^[2]突变引起的电压突变;内燃螺栓扳手上的汽油发电机开机瞬间造成电压突变。针对以上产生浪涌的原因,本文提出对应的浪涌抑制设计方案。方案利用非线性元器件抑制瞬态浪涌电压,再对瞬态电流泄流处理来抑制浪涌电流。研究方案分为两部分,分别是浪涌电压抑制和浪涌电流抑制。从电源电路的可靠性和稳定性的设计角度出发,利用二极管、功率电阻和TVS管等非线性元器件设计了两种电源浪涌软启动抑制电路。

1.1 元器件选型

内燃螺栓扳手电源电路中输入的瞬变高电压持续时间短,功率能量小。利用能量吸收法来抑制浪涌^[3]。能量吸

收法设计时,多采用 MOSFET 管、达林顿管、瞬态电压抑制二极管等。如图 1 所示。

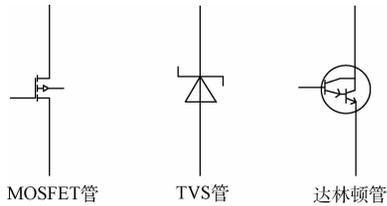


图 1 电子元件电气符号

1) 场效应管选取

场效应管^[4]是能量吸收电路中的核心器件,将它的参数进行最优匹配可以提高浪涌抑制的可靠性。MOSFET 管中的特性参数包含极限值、热阻、静态特性、动态特性、反向二极管极限值及特性、雪崩极限值和图形数据八大类别。浪涌抑制电路设计中,场效应管类型的选取规则有以下几点:

(1) 电压应力

在浪涌抑制电路中,漏源电压 UDS 选择的基本原则是实际工作环境中的最大峰值漏源极间电压 UDS-peak 在器件规格书中标称漏源击穿电压 U(BR)DSS 的 80% 以内。场效应管能承受的最大电压会随温度而变化,且 U(BR)DSS 具有正温度系数,故应取设备最低工作温度条件下的 U(BR)DSS 值作为参考。GJB 181-86 规定的过压浪涌电压为 80 V/50 ms,为确保过压浪涌保护电路的安全性,场效应管的 U(BR)DSS 应不小于 100 V。由于 MOSFET 管的耗散功率受限制,当 MOSFET 管的 U(BR)DSS 增大,漏源电流在浪涌抑制电路中的安全工作范围内的可能性减小。工程经验上,U(BR)DSS 应当不大于 200 V。

(2) 漏源电流

当场效应管导通时,它的漏源电流值约为 1 A。在场效应管的规格书中表明漏源电流在功率最大、漏源电压不受限制的的情况下取最大值而在实际使用时,场效应管漏源电流大于 1 A 的指标,应是在受耗散功率、漏源电压和导通电阻等参数限制条件下的值^[5]。满足要求的场效应管漏源电流的取值通常都会远大于 1 A,在浪涌抑制电路设计时,场效应管的漏源电流在 5 A 内的都可以排除。

(3) 导通电阻

场效应管不是理想器件,场效应管的漏源电流满足要求,但是它在通电之后,会有相应的损耗,导通电阻在 500 mΩ 以内。同时,过压浪涌抑制电路正常导通期间,输入输出电压差越小越好,尽量控制在 0.5 V 以内,以免造成过多的损耗。

(4) 栅源电压

提高场效应管栅源电压 UGS,就会降低它的导通电阻,降低电路功耗^[6]。场效应管规格书标明的栅源电压极限值 UGSS 分为连续和瞬态两种状态值,常见的场效应管 UGSS

有 ±20、±25、±30 V 三种规格。选型时应当以连续状态时的 UGSS 为参考,栅源电压极限值 UGSS 越大越好。

2) TVS 管选取

在选择瞬态电压抑制器(transient voltage suppressor, TVS)^[7]的时候,需要考虑两个重要参数:截止电压和钳位电压。当 TVS 的电压小于等于截止电压时,TVS 管处于截止状态。在电路中输入脉冲峰值电流时,脉冲电压的上升时间和峰值大小都是不确定的,在一个范围内波动。这里以 12 V TVS 管为例,一般控制器的电压输入可达 35 V,若按照 10% 的安全余量,当突然断开负载时,在主控板上电源芯片的最大耐压值大于钳位电压。当钳位电压在 30.5 V 左右时,无法满足输入电压保护,TVS 管会发生雪崩击穿。由于 IN4742 的脉冲峰值功率较小,试验时出现了击穿现象。因此一般 12 V 系列推荐选择 IN4739。TVS 参数如表 1 所示。

表 1 TVS 管参数

	IN4739	IN4742
漏电流/A	10	5
1 mA 时最小电压/V	8.645	12.6
最大钳位电压/V, $I_{pp}=5$ A		12.6
最大钳位电压 V, $I_{pp}=10$ A	9.555	
齐纳阻抗/Ω	700	700
阻抗电流/mA	0.5	0.25

3) 达林顿管选取

达林顿三极管是将两个三极管等效组成新的三极管。它的放大倍数是两个三极管的放大倍数的乘积。它在电路中可以比作直接耦合的放大器。两个三极管在不接入其他耦合元件的情况下直接串联^[8]。

它有两种连接方式,分别是 NPN 和 PNP,选择哪种连接方式是根据输出方式,如果需要 C 级电位高就选择 NPN,否则选择 PNP。此外就是注意它们的耐压值以及耐流值。这样的晶体管串接型式最大的作用是提供高电流放大增益。它的性能特点如下:

- (1) 放大倍数大(可达数百、数千倍);
- (2) 功率较大,驱动能力强;
- (3) 开关速度快;
- (4) 可做为功率放大模块;
- (5) 易于集成化。

1.2 浪涌抑制电路研究与设计

1) 有源浪涌的电路设计

在一般电路中,输入电容中浪涌电流需要在一定的范围内。唯一的方法就是在这些电容前面串联一些组件。图 2 所示为一个简单的浪涌抑制电路^[9]。串联电阻 R_1 抑制制输入电流,输入电容充满为止。随后 S_1 闭合,使电流全部流向下一级。

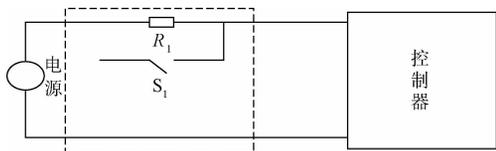


图 2 简单浪涌抑制电路

然而一个电感器件也可以用来控制浪涌电流^[10]。电感输出电流时功耗很低,所以不用再加其他旁路。此外电感值越大,对浪涌的抑制就会越有效。

另一个有效电路如图 3 所示。电源电路中的输出端使用一个 MOSFET 场效应管 Q_1 , R_2 可以拉低 Q_1 的 UGS 的电压,一般情况下它是断开状态。当电源接入时,电压作用于 R_1 给 Q_1 充电。因为并联了一个 C_1 ,其充电时间和打开时间会减慢。为了给输入电容缓慢充电,选用 R_2 和 C_1 并联来抑制瞬变电流^[11]。 C_1 完全充好电后,进而 Q_1 的栅极充电直到稳压二极管把电位钳住,接着 Q_1 就会维持开启状态。此外电路中瞬态电压抑制器和 R_1 、 C_1 并联,当浪涌电压很高幅值时,保护元器件不被击穿,达到一致电压的目的。

除此之外,还有一些有效浪涌抑制电路。基本上都是在电源输入端添加相关组件来实现对浪涌的抑制^[12],此外更重要的是当电容只要被充电,其他的元器件都应该被旁路或者形成通路来降低功耗。

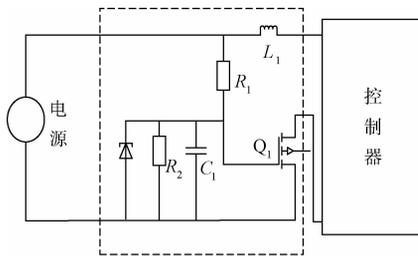


图 3 抑制浪涌电流的场效应管电路

2) 软启动电路的设计

由于控制器的供电设备是汽油发电机,汽油发电机发出的电又是交流电^[13],所以需要整流桥整流。在发电机启动瞬间,电容电压很小,此刻的电容就会生成很大浪涌电流,容量较大的超级电容,可以让浪涌电流达到十几甚至上百安培^[14]。这种情况下会造成浪涌抑制电路损坏,以至于内燃螺栓扳手控制器无法正常工作。

由超级电容和其他非线性元器件组成防浪涌电流电路^[15]。如图 4 所示,在发电机发动瞬间,电压经过整流桥对超级电容进行充电,正因为超级电容的大容量使得浪涌电流几乎都进入超级电容内部,来达到抑制浪涌电流的目的。当 TVS 管两端的电压低于晶体管的导通电压,输出端的功率为 0;当瞬态高压施加在 TVS 管两端,TVS 管钳住尖峰电压,使电压保持稳定状态,从而保护了电路。

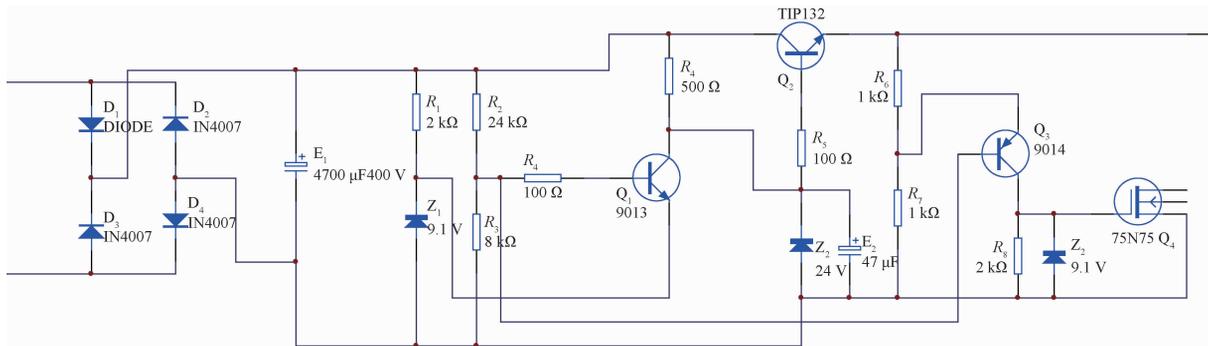


图 4 超级电容的浪涌电流抑制电路

图 4 中抑制浪涌电流电路的工作原理是大容量的超级电容随着汽油发电机启动,发电机发出的电流经过整流输出,此时大电容进行充电,吸收了大部分电流。输入电压 U 由 R_1 和 R_2 分压,此时 R_2 上的电压为 $U_1 = U \cdot R_3 / (R_2 + R_3)$,若 $U_1 > 9.8 \text{ V}$,则 Q_1 导通,其输出电压被钳位至 9.1 V ,同时 Q_2 (TIP132) 的基级电压由 30 V 拉低至 9.1 V ,处于导通状态。若 R_7 的电压 $U_2 = (U - 2) \cdot R_6 / (R_6 + R_7) > U_1$,则 Q_3 导通, R_7 的电压经稳压管 Z_3 钳位,最终通过电容充电实现浪涌电流的抑制。此时 MOS 管的 U_{gs} 大于导通电压后直接给负载输出。这样达到整个电路的泄流和稳压的作用。

后期由于控制器本身大小的限制和电路优化^[6]的需要,此外图 4 中的大电感可能会与电路中的滤波器等产生相互影响,导致系统不稳定,因此设计了一种优化的浪涌的抑制电路^[6]如图 5 所示。

图 5 工作原理:以上电路分为两端,整流桥左边是抑制浪涌电流电路,右边则是控制器输入端。汽油发电机启动,电压经过整流桥给大电容 E_1 快速充电,整流输出电压为 $U \cdot R_{12} / (R_{11} + R_{12})$,若其值大于 10.5 V 时,则 Q_{11} 导通,此时大电流经过泄流电阻(大功率)形成两个回路,一个是整流桥, R_{14} 和 Q_{11} ;另一个是 E_1 、 R_{14} 和 Q_{11} 。他们的作用基本相同,就是当浪涌的峰值电压作用于防浪涌

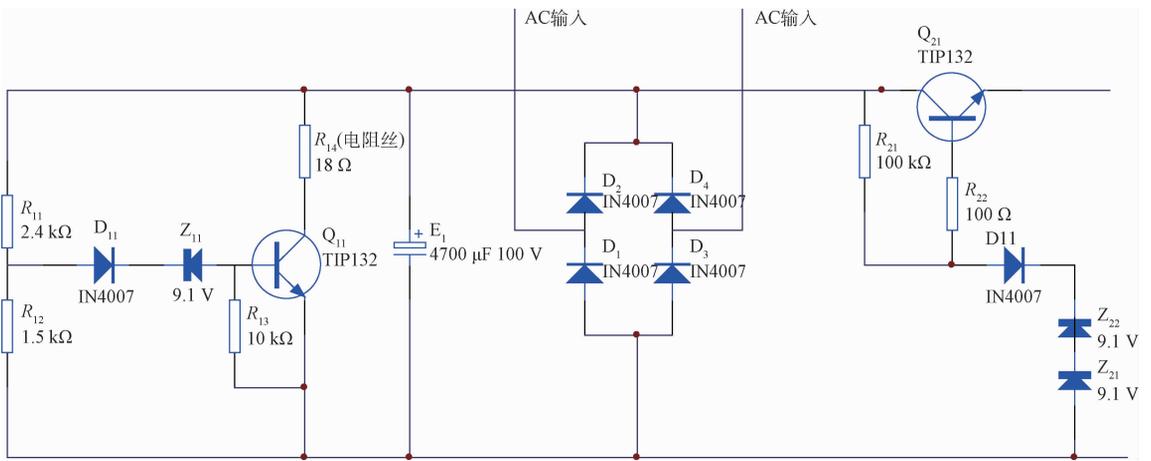


图 5 优化的防浪涌电流电路

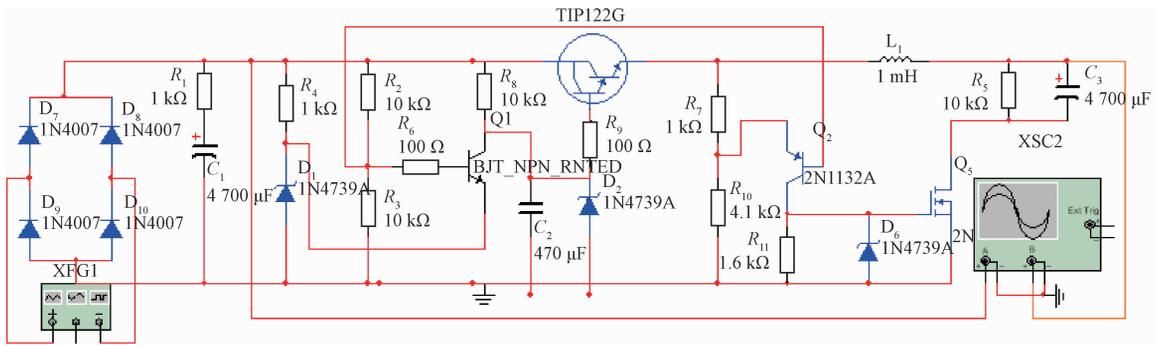
电路时,导致 Q_{11} 导通,从而形成两个回路,浪涌电流通过大功率电阻给限流,另外就是给大电容充电限制一部分电流,这样也达到双重限流的目的。在这当中 D_{11} 二极管加在稳压管支路上为了防止反向电压击穿 Q_{11} 。TVS 是浪涌抑制中很重要的元器件,它可以钳住过高的浪涌电压,其中 R_{12} 和 Q_{11} 的功率匹配是泄流电路中的关键。

2 结果

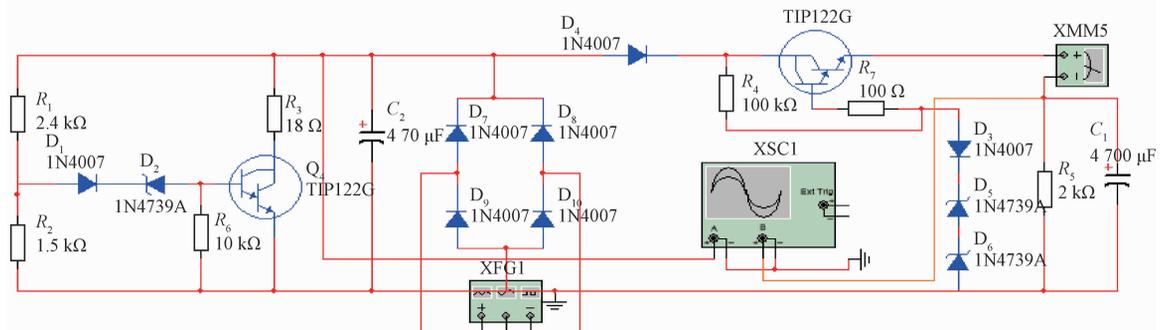
以上对输入浪涌抑制电流和电压电路的工作原理和

器件选型都做了介绍。为了对本文所设计的浪涌抑制电路进行实用性验证,这里将设计好的电路接在内燃机的输出端,内燃机发出的交流电经过浪涌抑制电路给控制器供电,然后观察浪涌电压输出端是否达到设计要求。通过实验仿真并调试及实验,获得最终实验结论。

整流电源设计输入为尖峰信号发生器,整流桥进行整流,然后经浪涌电流抑制电路,再通过电容器滤波便得到整流电源的输出。应用的元器件分别有二极管、超级电容、功率电阻、稳压管、三极管、电感和 MOS 管等,浪涌仿真电路和仿真结果如图 6 所示。



(a) 采用晶体管的浪涌抑制电路



(b) 优化的浪涌抑制电路

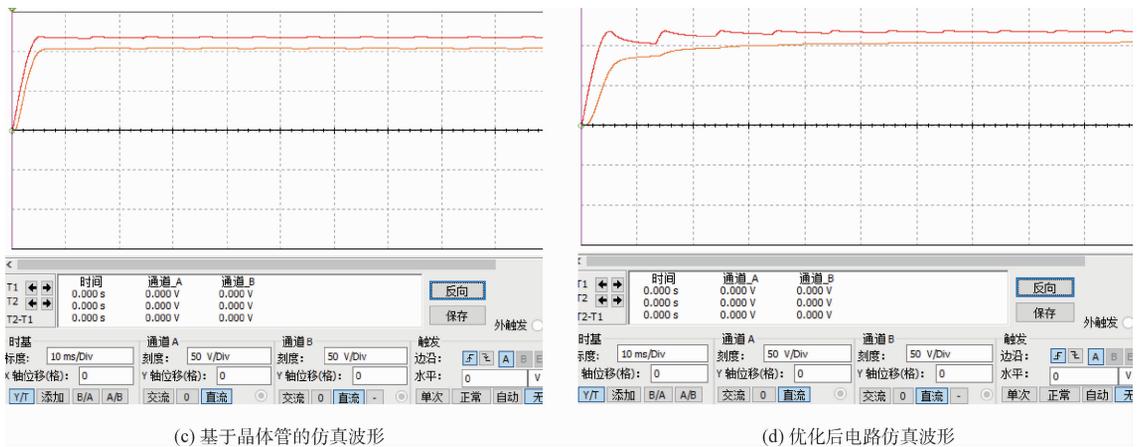
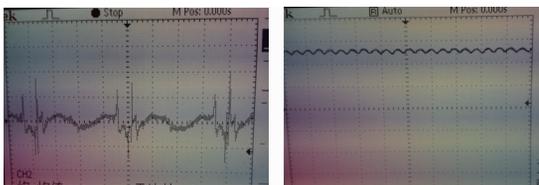


图 6 仿真电路和仿真波形

按照图 6 所示电路设计,电源模块采用发电机的发电作为电源,按图 6(a) 所示连接方式连接,其中示波器一个测试点在整流桥后以便测试浪涌电流,另一个测点则在整个电路的输出端,图 6(a) 的结果如图 6(c) 所示,高曲线和低曲线分别为整流桥后和输出端的波形,结果显示两者都对浪涌电流起到了抑制作用。同理,优化的电路也达到了设计目标,但由图形显示,上面的曲线第一个波峰达到之后马上向下,这说明前端泄流电路打开,对浪涌电流泄流。后端电路的下面的曲线平滑,浪涌已经得到和好的抑制。

综上所述,由于两者都能够达到抑制浪涌电流作用,但是采用电感和晶体管等搭建的电路,由于谐振的存在,降低了电路的稳定性和可靠性;此外,由于冲击式内燃螺栓扳手控制器的尺寸和控制板模块化、结构化以及电路简洁化的特点,因此本文拟采用第二种优化电路设计方案。但是在大量实验中发现,MOS 管很容易被烧穿或者熔断,在实际试验中发现熔断的情况下很难被查出来,最后通过大量实验分析,电阻和 MOS 管的匹配必须恰当才能使内燃螺栓扳手正常工作。

当发电机启动向控制装置供电,经过整流后测得的波形如图 7(a) 所示,许多尖峰存在,即是浪涌电流。然后又加上浪涌抑制电路,实际输出波形如图 7(b) 所示,由此可以看出本文所述浪涌抑制电路具有很好的浪涌抑制效果。



(a) 未加浪涌抑制实际波形 (b) 浪涌抑制实际波形

图 7 实验波形

3 结 论

本文针对冲击式内燃螺栓扳手控制器电源电路上的

浪涌电流,提出利用二极管、电阻和 TVS 管等非线性元件的电源浪涌抑制电路,从简单的浪涌抑制机理出发,研究设计出了两种抑制浪涌软启动电路。分别介绍了电路的基本工作原理以及一些参数的选择,根据整体系统设备要求,负载特性的特点,结合实际设计出了内燃螺栓扳手控制装置浪涌抑制电源电路。经过试验验证,并开展了相应的仿真试验和实物试验,该电路在内燃螺栓扳手控制装置上是有效可行的,瞬态浪涌抑制效果明显,可作为浪涌电路设计的有益参考。

参考文献

- [1] 王洪涛,张红霞,李威. 车辆电源瞬态传导干扰抑制电路的设计与验证[J]. 电子设计工程,2015,23(14): 109-111.
- [2] 周成龙,李子森,郭艳辉,等. 大功率机载电子设备瞬态电压保护电路设计[J]. 电磁干扰抑制技术,2016,2(3):78-81.
- [3] 陈嵩,武建刚. 电源浪涌保护电路的正确运用[J]. 电磁干扰抑制技术,2011,6(11):49-51.
- [4] 梁君,杨友超,赵岩. 总体电路瞬态浪涌抑制[J]. 计算机测量与控制,2015,23(4):1394-1400.
- [5] NOACK F, POSPIECH J, RETAL B. Reliable overvoltage protection of electronic devices in low-voltage power systems[C]. International Symposium on Electromagnetic Compatibility,2013.
- [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(1):141-148.
- [7] 莫付江,阮江军,陈允平. 浪涌抑制与电磁兼容[J]. 电网技术,2004,28(5):69-72.
- [8] 张国荣,邹扬,张桓,等. 电压分层控制的 H 桥级联有源滤波器研究[J]. 电子测量与仪器学报,2015,29(6):844-852.
- [9] 黄海宏,韦伟,沈洽萍,等. 并联型有源电力滤波器电

- 压环优化设计[J]. 电子测量与仪器学报, 2015, 29(10):1529-1535.
- [10] 龙英,何怡刚,张镇,等. 基于小波变换和 ICA 特征提取的开关电流电路故障诊断[J]. 仪器仪表学报, 2015, 36(10):2389-2400.
- [11] 陈涛,彭政达. 高性能升压型 DC-DC 电源变换器的设计与实现[J]. 国外电子测量技术, 2016, 35(6):55-58,66.
- [12] 周成龙,李子森,刘强,等. 一种简易瞬态过压浪涌抑制电路的设计[J]. 安全与电磁兼容, 2016, 10(5):73-75.
- [13] 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, 24(11):265-269.
- [14] 王益军. 一种卫星用浪涌电流抑制电路的设计与分析[J]. 航天器环境工程, 2016, 33(1):86-88.
- [15] 吕宏伟,覃波,付益. 直流电源浪涌电流抑制电路研究[J]. 广东通信技术, 2016, 3(1):77-79.

作者简介

唐定华,1991 年出生,硕士生,主要研究方向为计算机控制系统。

E-mail:898838692@qq.com