

基于SG3525的大电流低电压开关电源设计

牟翔永, 张晓春, 林刚, 孙秀斌

(成都信息工程学院 电子工程学院, 成都 610225)

摘要:介绍了以脉宽调制控制电路SG3525为控制核心的大电流低电压开关电源的设计。该电源主电路采用DC/DC全桥变换器, SG3525输出信号经光电隔离、功率放大后驱动主电路开关管IGBT, 应用反馈技术和PWM调制技术实现电源稳定输出和输出电流连续可调。文中给出了主电路和控制及驱动电路的具体设计及主要电路参数。试验结果表明, 该电源工作稳定, 实现了输出直流电流从45A到90A连续可调。

关键词:开关电源; 大电流; SG3525; PWM

中图分类号: TM46

文献标识码: A

文章编号: 1001-1390(2013)04-0120-05

Design of the Switching Power Supply with Large Current and Low Voltage Based on SG3525

MOU Xiang-yong, ZHANG Xiao-chun, LIN Gang, SUN Xiu-bin

(School of Electronic Engineering, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China)

Abstract: A design for the switching power supply with large current and low voltage is presented, which is based on the Pulse Width Modulator control circuit named SG3525. The DC/DC full-bridge converter is used for the main circuit of the switching power supply. The output signals of SG3525 drive IGBTs of the main circuit after photoelectric isolation and power amplifier. In order to achieve the stable output and the continuously adjustable current, the technologies of feedback and PWM are applied to the switching power supply. This paper introduces the specific design and the primary circuit parameters of the main circuit, the control circuit and the drive circuit. The experimental results show that the switching power supply can steadily operate and continuously regulate the output current from 45A to 90A.

Key words: switching power supply, large current, SG3525, PWM

0 引言

节能环保已列入国家“十二五”战略性新兴产业规划, 是国家经济转型和可持续发展的基础, 而利用电力电子技术的高频开关电源是实现节能环保的关键技术之一, 因其可节省原材料, 减少占地面积, 是当今特种电源行业研究的热门课题^[1]。高频开关电源以其电能转换效率高、重量轻、体积小、稳定可靠等优点已取代传统的晶体管线性电源, 广泛应用于生产、科研、教学等诸多领域。随着开关电源技术的发展, 大电流低电压开关电源因其技术含量高、应用领域广^[2], 越来越受到生产企业、科研院所和开关电源设计开发人员的重视。本文介绍了以SG3525为控制核心、全桥变换器为主电路、输出直流电流45~90A可调的大电流

低电压直流开关电源的设计, 其输出电压可在5~15V自动调整以适应负载变化, 从而保持恒定的输出电流。

1 电源总体设计

电源为恒流源工作方式, 其输出电流可在45~90A连续可调, 并稳定工作, 最大输出功率1.35kW, 采用PWM控制, 开关频率30kHz。

图1是电源框架图, 图中未画出保护电路框图。单相220V交流输入经工频整流、滤波后向DC/DC全桥变换器供电。在电源合闸接入电源电压瞬间, 由于电容器上的初始电压为零, 电容器初始充电会形成很大的瞬间冲击电流^[3], 软启动电路用于防止该瞬间冲击电流, 改善电源启动性能, 保护EMI滤波器、工频整流器件及电容器等, 以保证开关电源正常而可靠运行。DC/

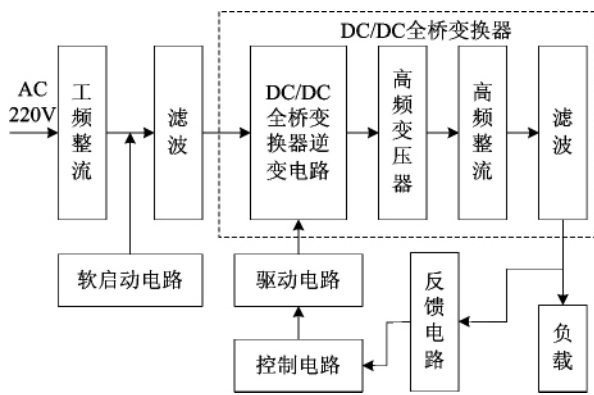


图1 电源框架图

Fig.1 The diagrammatic sketch of the switching power supply

DC全桥变换器主要由四个开关管组成的桥式逆变电路、高频变压器、输出高频整流及滤波电路组成。桥式逆变电路在控制及驱动电路作用下，将直流转换成高频方波交流，再经高频变压器降压以及副边高频整流、滤波后输出直流。电源控制电路由专用集成芯片SG3525及其外围电路构成PWM调制，经光电隔离、功率放大后直接驱动全桥变换器开关管，由于电源工作在恒流方式，且电流较大，所以应用电流传感器采样输出直流电流作为控制信号，反馈到控制电路，以实现PWM调制，达到稳定输出电流的目的。

2 主电路设计

本电源主电路拓扑结构如图2所示，由于该电源具有大电流低电压的特点，对高频干扰信号以及合闸瞬间的浪涌电流非常敏感^[4]，因此220VAC/50Hz交流

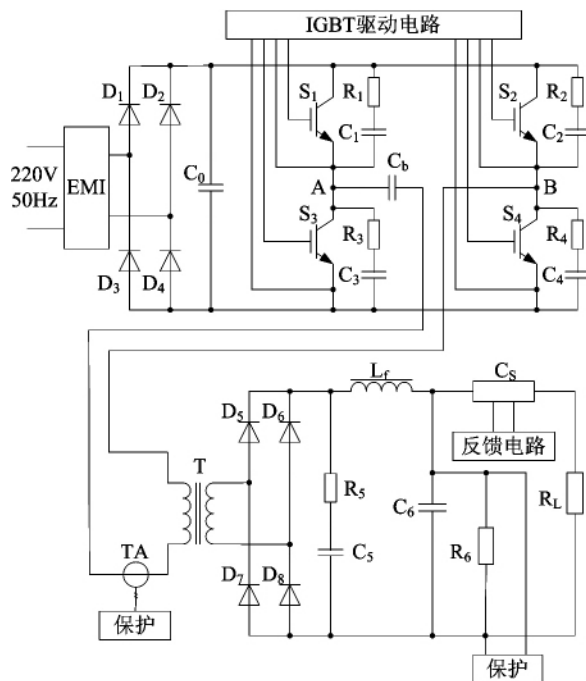


图2 主电路拓扑结构图

Fig.2 The topology structure of the main circuit

电整流前先经EMI滤波器滤波，大大减小了交流电源输入的电磁干扰，同时防止开关电源产生的谐波串扰到输入电源端^[5]。

220VAC经 $D_1 \sim D_4$ 工频桥式整流及 C_0 滤波后变成比较平滑的直流电，施加在DC/DC全桥变换器的输入端，考虑到变换器工作频率为30kHz，四只开关管 $S_1 \sim S_4$ 采用IXYS公司的中速系列集成快恢复二极管的单管IGBT（可适用于15kHz~40kHz的硬开关），型号为IXGH16N60B2D1，其最大集射极间电压 V_{ces} 为600V，25℃时集电极可通过的最大电流为40A，90℃时集电极可通过的最大电流为16A，满足本电源要求。为了避免IGBT因关断过电压损坏和减小关断损耗，每个管子均设置有RC吸收电路。

高频变压器是DC/DC全桥变换器的核心磁性元件，许多其它主电路元器件的参数设计都依赖于变压器的参数，对其进行合理优化设计非常重要^[6]。本电源的高频变压器设计采用AP法，AP就是指磁芯有效截面积和线圈有效窗口面积的乘积^[7]。磁芯选用一对E型软磁铁氧体，考虑到变换器工作频率，磁芯工作磁感应强度 B_w 设计为0.16T，根据电源主电路拓扑结构，高频变压器的计算功率为：

$$P_T = P_0 \left(1 + \frac{1}{\eta_T} \right) \approx 2771 \text{ W} \quad (1)$$

式中 P_0 为最大输出功率1.35kW，高频变压器效率 η_T 取为0.95。

高频变压器AP值计算结果如下：

$$AP = A_w A_e = \frac{P_T \times 10^4}{K_0 K_f f_s B_w J} = 9.02 \text{ cm}^4 = 0.0902 \times 10^{-6} \text{ m}^4 \quad (2)$$

式中 A_w 为磁芯窗口面积， A_e 为磁芯有效截面积， K_0 为窗口使用系数，一般典型值取0.4， K_f 为波形系数，本变压器原副边绕组波形为方波，取 $K_f=4$ ， f_s 为变压器工作频率(Hz)， J 为绕组导线电流密度，设计为400A/cm²。选用的EE磁芯AP值应大于计算值，由于副边电流较大，并绕的漆包线根数多，占用窗口面积大，最终选用磁芯为TDK的PC40EE70型磁芯。绕制工艺采用原副边交叉绕（两段式全包），以实现变压器原副边绕组的紧密耦合，减小漏感^[8]，实验结果表明满足设计要求。

实际绕制的高频变压器原副边变比 k 为12:1，原边36匝，绕组采用6根 $\phi 0.71$ 的绝缘漆包线并绕，副边3匝，绕组采用72根 $\phi 0.71$ 的绝缘漆包线并绕。变压器原边电感1388 μH ，原边漏感79 μH ，副边电感9.9 μH 。此

外,主电路中变压器原边设计了隔直电容 C_b ,用以防止变压器直流偏磁^[9]。

DC/DC全桥变换器的高频整流采用全桥整流,因为输出电压比较低而电流比较大,二极管采用200A/60V的肖特基二极管MBRP20060CT,每只二极管均设置有RC吸收电路。输出滤波采用LC滤波,其滤波电感 L_f 采用AP法设计,最终绕制的 L_f 电感值为24.8 μ H、ESR为0.001 Ω 。

3 控制及驱动电路设计

电压控制模式集成芯片SG3525是美国半导体公司生产的一种功能齐全、通用性强的单片集成PWM芯片,采用恒频脉宽调制(PWM)方案,适用于多种开关电源的控制^[10]。本文设计的大电流开关电源的控制电路以SG3525为核心,采用PWM控制方式,电路如图3所示。SG3525的振荡频率 f 设定为60kHz, f 取决于5脚外接的定时电容 C_T 、6脚外接的定时电阻 R_T 以及7脚与5脚之间的放电电阻 R_D 的大小,它们之间的关系满足下式^[11]:

$$f = \frac{1}{C_T(0.67R_T + 1.3R_D)} \quad (3)$$

式中 C_T 、 R_T 、 R_D 取值分别为4700pF、4.7k Ω 、200 Ω ,振荡频率为62kHz,11脚和14脚输出的PWM驱动脉冲信号频率为31kHz。11脚和14脚输出脉冲之间的死区时间 t_D 不仅与7脚与5脚之间放电电阻 R_D 的大小有关,还与定时电阻 R_T 有关,本电路中死区时间约3 μ s。

8脚通过外接对地电容 C_{SS} 来实现SG3525输出脉

冲的软启动, C_{SS} 的容值决定了芯片的软启动时间,该电容由芯片内部5.1V基准电压源供电的50 μ A恒流源充电,使输出脉冲占空比由小到大变化,减小了开机时对主电路IGBT的冲击^[12]。本电路中软启动电容 C_{SS} 取值10 μ F,实测软启动时间约0.5s。

电源输出直流电流经霍尔电流传感器 C_S (图2中所示)采样后转换成直流电压作为反馈信号 u_f ,再经集成运放比例放大后输入到SG3525误差放大器的反相输入端1脚,芯片内部5.1V基准电压源 V_{ref} 经电阻 R_{10} 、 R_{V1} 、 R_{11} 分压后输入到误差放大器的同相输入端2脚,形成差分输入,误差放大器的输出端即芯片内部PWM比较器的输入端9脚经 R_8 、 C_7 反馈到1脚,构成PI调节,以此来调整IGBT驱动信号占空比,从而达到稳定输出电流的目的。此外,输出过压、过流、过热等故障经电路处理后形成保护信号 u_p ,输入到SG3525的外部控制端10脚,一旦 u_p 为高电平,芯片内部工作被关断,11脚和14脚输出的PWM驱动信号被关闭,主电路IGBT关断,从而实现主电路保护功能。

IGBT是场控型器件,栅极输入阻抗很高,且输入电容较大,要求栅极驱动电路有足够大的正向电压和驱动能力。为了提高控制电路的抗干扰能力,还需使用高速光耦或高频变压器将控制电路与驱动电路隔离。IGBT栅极与发射极的引线应尽量短,且引线应绞合,以减小栅极电感和干扰信号的进入。此外,为使IGBT能稳定可靠地关断,并减小关断时间,关断时需要给栅极施加负偏压^[13],该负偏压还能防止IGBT在过大的 du_{CE}/dt 下误触发。

IGBT驱动电路如图4所示。SG3525输出的驱动信号经高速光耦 U_3 隔离后,输入到两只三极管 Q_1 、 Q_2 构成的功放电路进行功率放大,以提高驱动信号的驱动能力,保证IGBT可靠导通,功放的输出经IGBT栅极电阻 R_c 接到栅极。栅极负偏压电路由限流电阻 R_{17} 、9.1V稳压二极管 D_2 以及滤波电容 C_{11} 构成,可在IGBT关断时提供给栅极9.1V的负偏压。另外,为了防止IGBT栅极与发射极之间开路而意外损坏IGBT,在其栅极和发射极之间并接有电阻 R_{18} ,其阻值为39k Ω 。实际应用中,IGBT的栅极驱动电压 V_{CE} 通常推荐使用+15V^[14],本设计中 V_{CE} 取值为+15V。当SG3525输出脉冲为高电平时,光耦输出三极管集电极为高电平,功放电路中三极管 Q_1 导通、 Q_2 截止,施加在IGBT栅极与发射极之

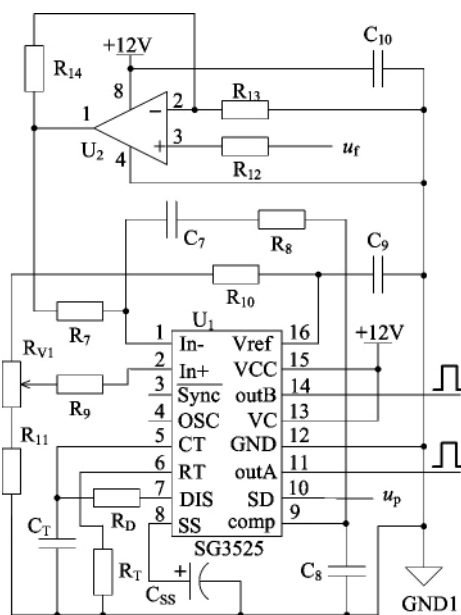


图3 基于SG3525的控制电路

Fig.3 The control circuit based on SG3525

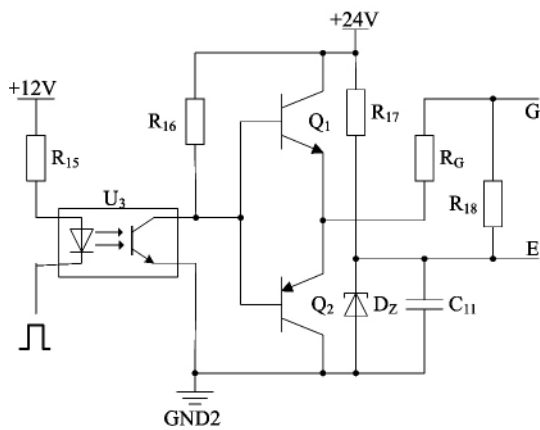


图4 IGBT驱动电路

Fig.4 The drive circuit of IGBT

间电压为+15V IGBT导通 ;当SG3525输出脉冲为低电平时 ,光耦输出三极管集电极为低电平 ,功放电路中三极管 Q_1 截止、 Q_2 导通 ,施加在IGBT栅极与发射极之间电压为-9V IGBT关断。

4 电源试验

本电源输出电流较大、电压较低 ,试验负载的选择比较困难 ,出于经济成本的考虑 ,最终试验采用两块 $30 \times 40 \text{cm}$ 的铁板、固定间距 2cm 作为两个电极 ,置入放有大量盐的水中作为试验负载。

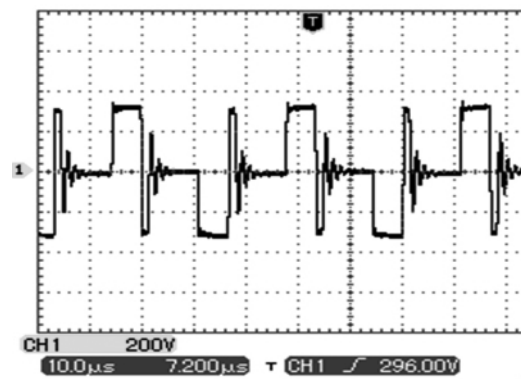
图5(a)、(b)分别是输出电流45A时全桥变换器两个桥臂中点A与B之间的电压 u_{AB} 波形、霍尔电流传感器输出的反馈信号 u_f 波形。图5(a)表明电源的全桥变换器实际工作情况与理论相符 u_{AB} 波形正负半周对称 ,由于变压器存在漏感 ,因此 u_{AB} 波形正负半周均存在一个复位电压^[15] ,如图中较狭窄的电压方波。霍尔电流传感器原边、副边匝比是1:2000 ,传感器输出端采样电阻为精度1%的金属膜电阻 ,阻值为 30Ω ,由图5(b)可见 ,电源输出电流约为45A。

图6(a)、(b)分别是输出电流90A时全桥变换器两个桥臂中点A与B之间电压 u_{AB} 波形、霍尔电流传感器输出的反馈信号 u_f 波形。由图6(b)可见 ,电源输出电流约为90A。

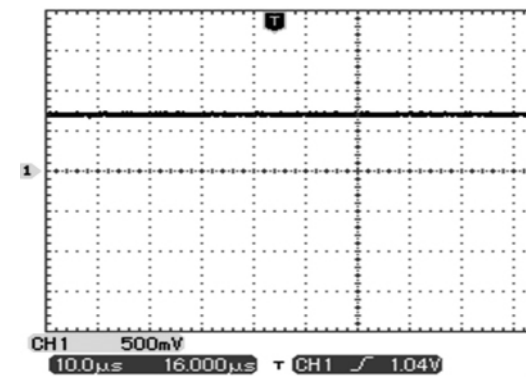
此外 ,试验结果也表明 ,通过调节控制电路中的电位器 R_{V1} ,电源输出电流能从45A连续变化到90A ,且能稳定工作。

5 结束语

本文以电压控制模式集成芯片SG3525为控制核心、DC/DC全桥变换器为主电路 ,设计了一台最大输出功率 1.35kW 、输出电流从45A到90A连续可调的直流开关电源样机 ,本电源结构简单 ,调试方便 ,所需器



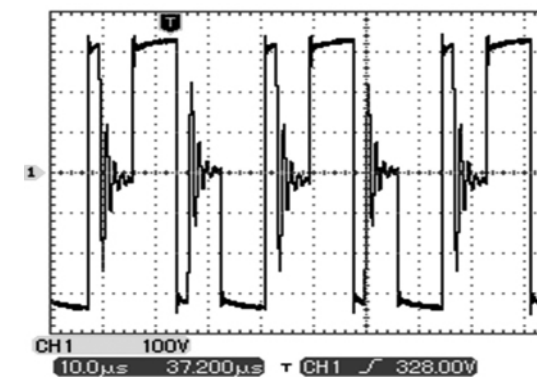
(a)电压 u_{AB} 波形



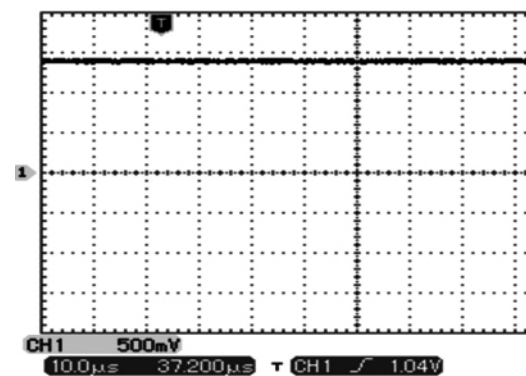
(b)反馈信号 u_f 波形

图5 输出电流45A时相应波形

Fig.5 The relevant waveform of output 45A



(a)电压 u_{AB} 波形



(b)反馈信号 u_f 波形

图6 输出电流90A时相应波形

Fig.6 The relevant waveform of output 90A

件较小。最终试验结果表明,本电源能可靠稳定工作,输出直流电流能从45A到90A连续可调,能满足对直流开关电源输出电压纹波要求不高的小型污水处理等环保场合,具有较好的应用前景。

参考文献

- [1]李宏,赵家贝. 浅析高频开关电源的发展[J]. 电气应用, 2011, 30(4): 50-54.
- [2]宋俊超,邱瑞昌,段波. 低压大电流直直变换器的设计[J]. 微计算机信息, 2009, 25(5): 262-264.
SONG Jun-chao, QIU Rui-chang, DUAN Bo. Design of a Low-voltage and High-current DC-DC Power Converter [J]. Microcomputer Information, 2009, 25(5): 262-264.
- [3]李定宣,丁增敏. 开关稳定电源设计与应用(第二版)[M]. 北京: 中国电力出版社, 2011.
- [4]周德泰,杨志民,郭海涛,等. 大电流低电压开关电源的设计[J]. 电测与仪表, 2008, 45(6): 43-45.
ZHOU De-tai, YANG Zhi-min, GUO Hai-tao, et al. Design of the switch power with big electric current and low electric voltage[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2008, 45(6): 43-45.
- [5]邓国栋,闫英敏,杨凤彪. 基于SG3525的大功率开关电源的研制[J]. 电气开关, 2008, 46(1): 22-24.
DENG Guo-dong, YAN Ying-min, YANG Feng-biao. Development of a High-power Switching Power Supply Based on SG3525 [J]. Electric Switchgear, 2008, 46(1): 22-24.
- [6]王晓容. 基于AP法的70kHz DC/DC开关变换器主变压器设计及应用[J]. 西南民族大学学报. 自然科学版, 2009, 35(4): 848-852.
WANG Xiao-rong. Application and Design of 70kHz DC/DC Switching Converter's Primary Transformer Based on AP Method [J]. Journal of Southwest University for Nationalities (Natural Science Edition), 2009, 35(4): 848-852.
- [7](美)Abraham I. Pressman, Keith Billings, Taylor Morey著. 开关电源设计(第三版)[M]. 王志强,肖文勋,虞龙等译. 北京: 电子工业出版社, 2010.
- [8]石宏伟. 3kW高功率因数高频开关电源的设计[J]. 低压电器, 2008, 50(17): 41-44.
SHI Hong-wei. Design of 3kW High Power Factor and High Frequency Switching Power Supply[J]. Low Voltage Apparatus, 2008, 50(17): 41-44.
- [9]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, 2004.
- [10]乔攀科,毕淑娥. 基于SG3525调频控制的半桥串联感应加热电源[J]. 电测与仪表, 2010, 47(9): 58-62.
QIAO Pan-ke, BI Shu-e. Half-bridge Series-resonant Induction Heating Power Supply of PFM Control Based on SG3525 [J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2010, 47(9): 58-62.
- [11]高阳,黄懿赞,王俊傢,等. 一种隔离80kV大功率开关电源的设计[J]. 电力电子技术, 2010, 44(4): 31-35.
GAO Yang, HUANG Yi-yun, WANG Jun-jia, et al. Design of an Isolating 80kV High-voltage High-power Switching Power Supply [J]. Power Electronics, 2010, 44(4): 31-35.
- [12]石瑜,孟志强,朱良焱. 基于SG3525的半桥式激光电源设计[J]. 电子技术应用, 2009, 35(6): 81-84.
SHI Yu, MENG Zhi-qiang, ZHU Liang-yan. Design of half-bridge laser power supply with SG3525 [J]. Application of Electronic Technique, 2009, 35(6): 81-84.
- [13]曲学基,王增福,曲敬铠. 新编高频开关稳压电源[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.
- [14]王永,沈颂华. 一种简单的IGBT驱动和过流保护电路[J]. 电测与仪表, 2004, 41(4): 25-27.
WANG Yong, SHEN Song-hua. A simple IGBT drive and over-current protection circuit [J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2004, 41(4): 25-27.
- [15]阮新波,严仰光. 直流开关电源的软开关技术[M]. 北京: 科学出版社, 2000.

作者简介:



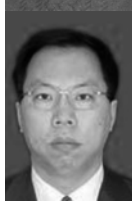
牟翔永(1979—)男,助教,从事电力电子技术、应用电磁学、雷电电磁脉冲防护的教学与研究。
Email: mxyow@cuit.edu.cn



张晓春(1970—)男,讲师,从事电磁场与电磁波、雷电防护工程技术、雷电预警与探测技术的教学与研究。



林刚(1958—)男,副教授,从事电子技术、过电压防护技术的教学与研究。



孙秀斌(1968—)男,副教授,从事雷电探测技术及防护设备、电子信息、电磁兼容技术的教学与研究。

收稿日期: 2012-07-27; 修回日期: 2012-10-24
(王艳丽 编发)