

新拓扑超低压大电流开关电源的研究与实现^{*}余世科¹, 叶明刚¹, 谢鹤龄², 金建辉²

(1. 中国船舶集团第七〇五研究所, 云南 昆明 650032; 2. 昆明理工大学 信息工程与自动化学院, 云南 昆明 650500)

摘要: 集成电路构成的信息化系统功耗不断增加, 能耗巨大, 超低压供电的低功耗集成电路芯片的出现降低了系统能耗, 除此之外许多特种行业也需要超低压大电流电源。为适应这些负载的需求, 超低压大电流开关电源得到了快速发展, 在该领域国内与国外相比存在较大的差距, 有必要设计自主知识产权的高性能低压大电流电源。对新拓扑结构超低压大电流电源进行了仿真分析和实物测试, 设计的低压大电流开关电源实现了 1 V/35 A, 0.7 V/20 A 的指标, 在实现更低电压和更大电流指标上有显著改善提高, 而且结构简单, 但是效率和纹波指标不高, 还有待提升。

关键词: 能耗; 超低压大电流; 开关电源; 新拓扑结构

中图分类号: TM43

文献标识码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.211688

中文引用格式: 余世科, 叶明刚, 谢鹤龄, 等. 新拓扑超低压大电流开关电源的研究与实现[J]. 电子技术应用, 2022, 48(3): 99-103, 108.

英文引用格式: Yu Shike, Ye Minggang, Xie Heling, et al. Research and implementation of ultra low voltage and large current switching power supply with the new topology[J]. Application of Electronic Technique, 2022, 48(3): 99-103, 108.

Research and implementation of ultra low voltage
and large current switching power supply with the new topologyYu Shike¹, Ye Minggang¹, Xie Heling², Jin Jianhui²

(1. China Shipbuilding Group 705 Research Institute, Kunming 650032, China;

2. School of Information Engineering and Automation, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China)

Abstract: The power consumption of information system composed of integrated circuits is increasing, and the energy consumption is huge. The emergence of low-power integrated circuit chips with ultra-low voltage power supply reduces the system energy consumption. In addition, many special industries also need ultra-low voltage and large current power supply. In order to meet the needs of these loads, ultra-low voltage and large current switching power supply has been developed rapidly. There is a big gap between China and foreign countries in this field. It is necessary to design high performance low voltage and large current power supply with independent intellectual property rights. In this paper, the simulation analysis and physical test of ultra-low voltage and high current power supply with the new topology are carried out. The designed low voltage and large current switching power supply achieves 1 V/35 A, 0.7 V/20 A indicators, and has significant improvement in achieving lower voltage and larger current indicators. Moreover, the structure is simple, but the efficiency and ripple indicators are not high, which need to be improved.

Key words: energy consumption; ultra low voltage and large current; switching power supply; new topology

0 引言

为应对不断增长且复杂程度越来越高的实时计算和通信需求, 许多电路系统选用大量高功率、高频率可编程逻辑处理器(FPGA)、中央处理器(CPU)、数字信号处理器(DSP)、存储器等相关集成电路(IC)^[1-3]构成的计算机、网络服务器、信息化工作站、便携式设备等^[4]构成的信息化系统, 系统功耗不断增加, 能耗巨大, 限制了这类大型系统的发展。要想降低整个系统能耗, 方法是将集成电路芯片的工作电压设计得很低, 所以现在集成电路

芯片的工作电压越来越低。除此之外在许多特种行业, 比如电磁泵的驱动电源, 金属冶金、化学电解中的电解电源, 弧焊或切割的电源等迫切需要低压大电流电源, 提高工作性能, 降低生产能耗。为适应这些负载的需求, 低压大电流开关电源得到了发展。国外在低压大电流电源领域发展较快, 早期的低压大电流开关电源研究试验测试数据为直流 12 V 输入, 输出 1.2 V/50 A^[5-6], 近几年实现了直流 12 V 输入, 输出 1.8 V/120 A^[7]; 国内自主研发启动较晚, 相关研究资料较为领先的实测数据为直流 36 V 输入, 输出 1 V/30 A^[8]。现有低压大电流开关电源产品中, 国外 Cosel 公司的 SFS30481R2 模块和 ROAL Elec-

* 基金项目: 云南省教育厅科学研究基金项目(2019Y0035)

tronics 公司的 DC-DC 模块 RDS50-48S1V2 在输入电压 36 V 的情况下实现输出电压低至 1.2 V, 输出电流分别为 3.5 A 和 25 A。国内弗来翔电子 DC-DC 模块 HMW75-12S05 在输入电压 12 V 时, 输出 5 V 电压 15 A 电流; 海凌科电子的 AC-DC 模块 HLK-5M03 和 HLK-10M03 在输入电压 110 V 时, 输出 3.3 V/1.5 A 和输入电压 36 V 输出 3.3 V/3 A。可以看出低压大电流电源领域国内与国外相比存在较大的差距, 有必要设计自主知识产权的高性能低压大电流电源^[9], 进一步降低电源输出电压, 提高电源输出电流。本文对新拓扑结构低压大电流电源进行了仿真分析和实物测试, 设计的低压大电流电源电路实现了 1 V/35 A, 0.7 V/20 A 的指标, 在实现更低电压和更大电流指标上有显著改善提高, 而且结构简单, 但是效率指标不高, 还有待提升。

1 新拓扑低压大电流电源电路的仿真分析

1.1 新拓扑主电路结构介绍

新型拓扑以传统 Buck 为基础改进所得, 主要由离散恒能量斩波桥和续流滤波电路组成, 如图 1 所示。其中 S1、S2、S3、S4 和 C₁ 组成的离散恒能量斩波桥, 其中电感 L 为续流储能电感, 电容 C₂ 为输出滤波电容, R 为负载, 续流二极管 D^[10], 该拓扑是首次拓展应用于低压大电流开关电源电路。

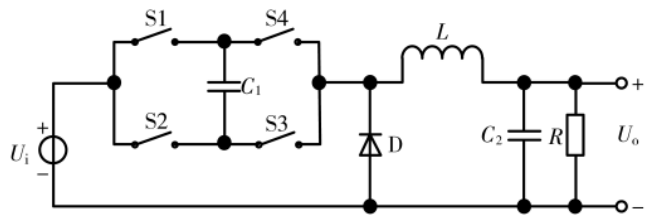


图 1 新型拓扑主电路原理图

通过分析新型拓扑结构电路有如下特性: 新型拓扑主电路输出功率如式(1)所示^[10]:

$$P_o=2fC_1U_c^2 \tag{1}$$

新型拓扑主电路输出电压如式(2)所示:

$$U_o=U_c\sqrt{2fC_1R} \tag{2}$$

由式(1)和式(2)可知新拓扑可以通过调节驱动频率(即 PFM 方式)和改变离散恒能量斩波桥电容的充电电压(即 PWM 方式)来改变输出电压的大小, 实现低压大电流输出。

1.2 新拓扑低压大电流电源电路的仿真分析

系统级电力电子仿真软件 PLECS 在电力电子仿真领域处于世界领先地位, PLECS 的软件特性有: 热设计、理想开关、鲁棒性以及瞬态性, 是一款涵盖广泛的多功能 EDA 软件, 在电力电子领域得到普遍使用。以下将对 PWM 调制和 PFM 调制^[11]进行 EDA 仿真分析。

1.2 1 新拓扑低压大电流电源电路 PFM 仿真分析

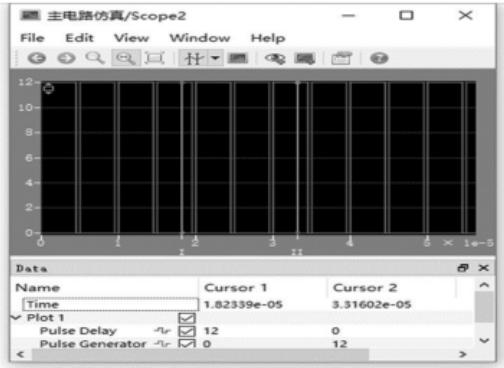
对新型拓扑主电路进行 PFM 调制仿真, 能量桥上的

开关管 S1、S2、S3、S4 基础参数设定为: 正向电压 2.0 V, 导通电阻 0.005 Ω, 导通时间 640 ns, 关断时间 180 ns; 储能电容 C₁ 取值 1 μF; 滤波电感 1 μH; 滤波电容 6 000 μF; 负载阻值 0.025 Ω。PFM 调制仿真器件参数如表 1 所示。

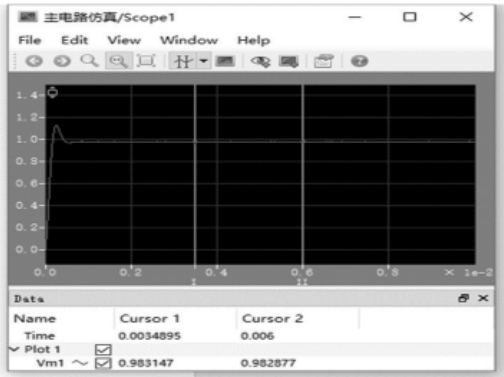
表 1 新拓扑低压大电流电源电路 PFM 原理图参数

恒定参数	数值
输入电压/V	12
电容 C ₁ /μF	1
电感 L ₁ /μH	1
电容 C ₂ /μF	6 000
负载 R ₁ /Ω	0.025

当驱动信号为峰值 12 V, 100 kHz, 45% 占空比的方波时, 驱动波形如图 2(a)所示, 输出电压约 0.98 V 波形如图 2(b)所示, 输出电流 39 A。仿真数值如表 2 所示。



(a)驱动波形



(b)输出电压波形

图 2 新拓扑低压大电流电源电路 PFM 仿真波形

表 2 新拓扑低压大电流电源电路 PFM 仿真数值

参数	数值
输入电压/V	12
驱动频率/kHz	100
占空比/%	45
负载/Ω	0.025
输出电压/V	0.98
输出电流/A	39

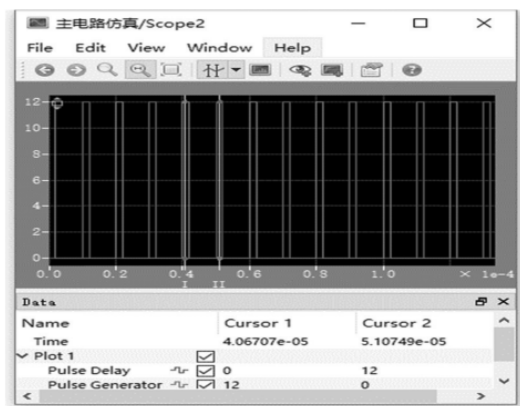
1.2.2 新拓扑低压大电流电源电路 PWM 仿真分析

对新型拓扑主电路进行 PWM 调制仿真,能量桥上的开关管 S1、S2、S3、S4 基础参数设定为:正向电压 2.0 V,导通电阻 0.005 Ω ,导通时间 640 ns,关断时间 180 ns;储能电容 C_1 取值 50 μF ;滤波电感 1 μH ;滤波电容 6 000 μF ;负载阻值 0.025 Ω 。PWM 调制仿真原理图器件参数如表 3 所示。

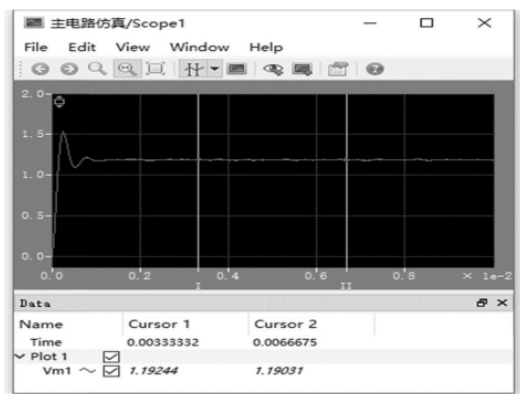
表 3 新拓扑低压大电流电源电路 PWM 原理图参数

恒定参数	数值
输入电压/V	12
电容 $C_1/\mu\text{F}$	50
电感 $L_1/\mu\text{H}$	1
电容 $C_2/\mu\text{F}$	6 000
负载 R_1/Ω	0.025

当驱动信号为峰值 12 V, 50 kHz, 10% 占空比方波时,驱动波形如图 3(a)所示,输出电压约 1.19 V 波形如图 3(b)所示,输出电流 45 A。仿真数值如表 4 所示。



(a)驱动波形



(b)输出电压波形

图 3 新拓扑低压大电流电源电路 PWM 仿真波形

综上所述,通过 EDA 仿真分析,验证了新型拓扑低压大电流电源电路可行性,确立了控制低压大电流开关电源的关键参数为驱动信号频率或者驱动信号占空比,为后续实物测试提供了一定的理论依据。

表 4 新拓扑低压大电流电源电路 PWM 仿真数值

参数	数值
输入电压/V	12
驱动频率/kHz	50
占空比/%	10
负载/ Ω	0.025
输出电压/V	1.19
输出电流/A	45

2 新拓扑低压大电流电路的实现

2.1 新拓扑低压大电流电路样机设计

由于实验中实现 PWM 控制较容易,因此样机设计为 PWM 控制方式。样机电路原理图如图 4 所示。驱动控制芯片采用 SG3525A 实现 PWM 调制控制,输出 PWM 脉冲通过变压器驱动离散恒能量斩波桥四个功率管;离散恒能量斩波桥电容采用多个电容并联,增大容量降低分布参数影响;加强了续流和输出滤波。设计参数为控制频率设定为 100 kHz 时,结合 SG3525A 使用手册预设 R_7 取 20 k Ω , R_6 取 100 Ω , C_9 取 680 pF。软启动端(引脚 8)接入电容 C_{10} ,容值 1 μF 。截止端(引脚 10)对地电阻 R_8 取值 1 k Ω 。参考电压调节部分电位器 R_{W1} 取值 5 k Ω ,滤波电容 C_8 容值 0.1 μF 。补偿端与误差放大器输入端之间串联电阻 R_5 与电容 C_7 构成 PI 调节,预设 R_5 阻值 10 k Ω ,电容 C_7 容值 1 nF。电容 C_{12} 、 C_{14} 、 C_{15} 为退耦电容,容值分别为 0.1 μF 、0.1 μF 、10 μF 。电容 C_{11} 、 C_{13} 为隔直电容,容值均为 1 μF 。输入电压 12 V,能量桥电容容值 10 μF ;负载电阻最小取值 0.025 Ω ;能量桥 MOS 管型号 IRFP3206PbF;续流二极管型号 MBR6040;续流电感 L_1 电感值 10 μH ;滤波电感 L_2 电感值 2.2 μH ;滤波电容预计取值 1 000 μF 并联连接。

新型拓扑超低压大电流开关电源样机 PCB 采用两层板结构,包含多点接地和功能分区设计要素^[12-13],尺寸仅 200 mm \times 100 mm,如图 5 所示。

新型拓扑超低压大电流开关电源样机实物如图 6 所示。

样机测试中使用两台直流电源分别为主电路和控制电路供电,电源电压均为 12 V。采用的负载为 50 W 功率,阻值 0.1 Ω 的铝壳电阻,根据测试需要进行串并联。测量仪器是优利德公司型号 UTD7102B 的 100 MHz 带宽示波器;台湾宝工公司型号 MT-1280 数字万用表;优利德公司型号 UT210E 钳形数字电流表。

2.2 新拓扑低压大电流电路样机的实测分析

2.2.1 输入 12 V 输出 1 V35 A 样机的实测分析

主电路输入电压 12 V,负载 0.025 Ω 时控制电路驱动波形如图 7(a)所示;输出电压波形如图 7(b)所示。由实测波形可看出,在能量桥交替导通的时候驱动波形的幅值达到 12 V 和频率满足 100 kHz,符合驱动设计要求,

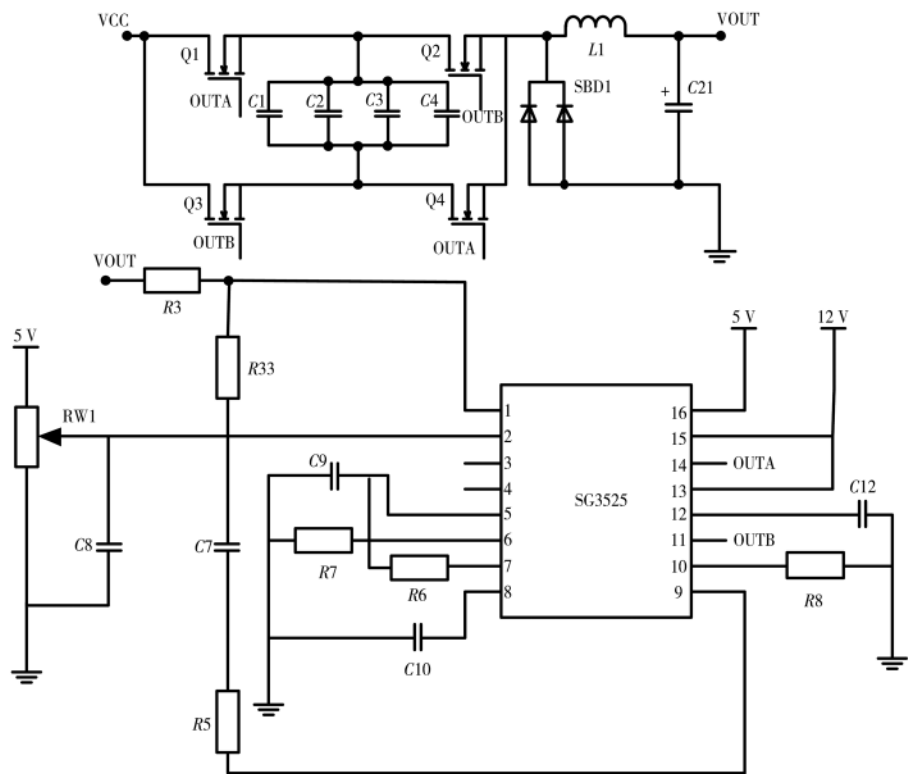


图 4 新拓扑低压大电流电源电路样机原理图

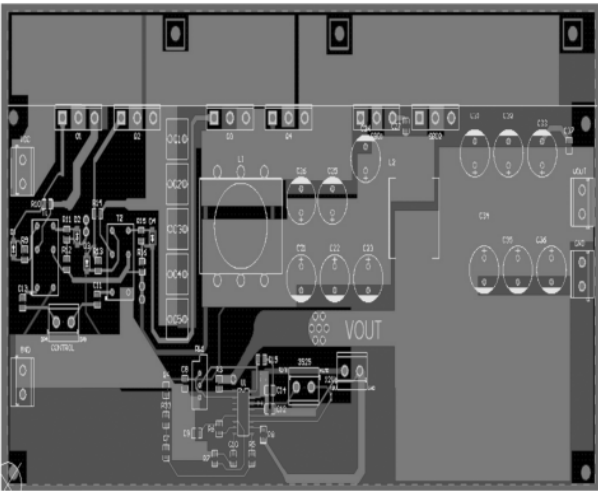


图 5 新拓扑低压大电流电源电路样机 PCB 设计图



(a)驱动波形



(b)输出电压波形

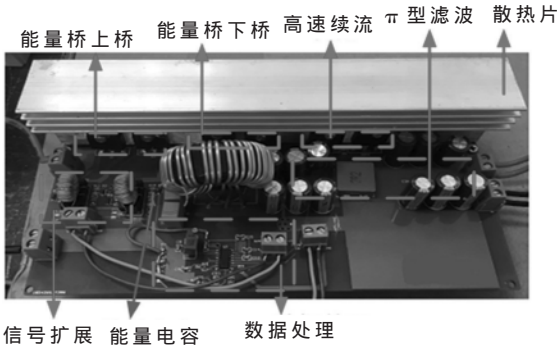


图 6 新拓扑低压大电流电源电路样机实物图

图 7 输入 12 V 输出 1 V/35 A 样机波形

但是显然可看出在输出功率要求提高的情况下,能量桥开通损耗和关断损耗更加严重,输出电压波形纹波干扰也有所加大。实测数据如表 5 所示,此时输出电压为 0.99 V,输出电流 35.01 A,实现超低电压的同时,在低压大电流指标上取得了进展。

表 5 输入 12 V 输出
1 V/35 A 样机的实测数值

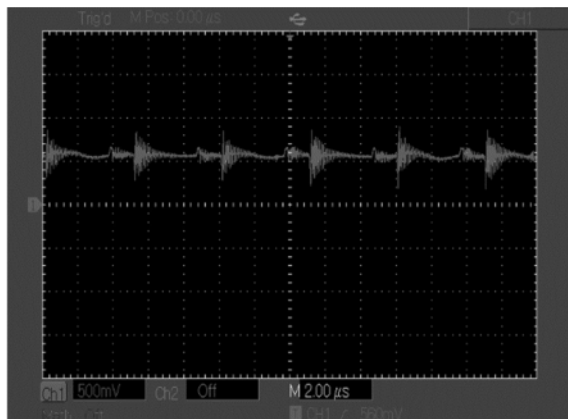
参数	值
输入电压/V	12
输入电流/A	8.91
输出电压/V	0.99
输出电流/A	35.01
输出功率/W	34.66

2.2.2 输入 12 V 输出 0.7 V/35 A 样机的实测分析

以上述试验平台为基础,对新型拓扑低压大电流开关电源进行更低电压的探索。输入电压仍然保持 12 V,负载 $0.03\ \Omega$,调节控制电路中 RW1 阻值,改变输入同相输入端的电压参考值,使得输出电压下降,得拓展试验波形如图 8 所示。



(a)驱动波形



(b)输出电压波形

图 8 输入 12 V 输出 0.7 V/20 A 样机波形

电路输入电压 12 V,负载 $0.03\ \Omega$,调节电位器 RW1 后,由驱动波形可看出,此时驱动频率和幅值仍然满足设计指标,占空比由于压降的增大而减少,与原理相一致,但是开关损耗增大。由输出电压波形可看出,输出电压降低至约 0.7 V,但是由于开关损耗的增大,输出电压高频干扰即纹波更加明显,从而也影响电源效率。实测数据如表 6 所示,此时输出电压为 0.69 V,输出电流 20.4 A,电源效率 31.32%,实现了向更低电压输出指标。

表 6 输入 12 V 输出 0.7 V/20 A 样机实测数据

参数	值
输入电压/V	12
输入电流/A	3.80
输入功率/W	45.60
输出电压/V	0.69
输出电流/A	20.4
输出功率/W	14.28
效率/%	31.32

实测总结,通过实物制作以及试验平台的搭建,对新型拓扑低压大电流开关电源进行了样机测试,测试数据验证了新型拓扑的可行性和实用性,样机满足主要设计指标,部分指标有所提高。

3 结论

集成电路系统要求系统功耗越低越好,超低压供电的低功耗集成电路芯片大量出现,低压大电流开关电源必将得到大力发展,开发自主可控的高性能低压大电流开关电源很有必要。新型拓扑低压大电流开关电源在电源拓扑结构上实现了创新,拓扑结构简单,较易控制,而且 PFM 和 PWM 两种控制方式都能实现低压大电流输出,相比现有拓扑低压大电流开关电源,低压大电流主要指标较高,但是该电源的效率和纹波指标还需继续改进提高。

参考文献

- [1] WL A, TY A, CGB C, et al. A hardware-aware CPU power measurement based on the power-exponent function model for cloud servers[J]. Information Sciences, 2021, 547: 1045–1065.
- [2] CHAPPELL P H. Introduction to power electronics[M]. BOSTON, Artech, 2013.
- [3] ENSLIN J H. Power system infrastructure: do we face a complete power-electronics-based power system and energy-storage infrastructure?[J]. IEEE Power Electronics Magazine, 2016, 3(2): 42–45.
- [4] 刘秉科. 高性能开关电源的设计探讨[J]. 电子制作, 2021 (4): 87–89.
- [5] PANOV Y, JOVANOVIĆ M M. Design and performance evaluation of low-voltage/high-current DC/DC on-board modules[J].

(下转第 108 页)

法的吞吐量都会下降,因为共识阶段需要广播的消息变多了。同时,在相同节点数量的情况下, p 越小,选择性广播域越小,每一条消息的共识时间越短,因此吞吐量越高。

5 结论

针对传统身份认证技术的弊端,提出了一种基于联盟链的分布式身份认证方法。用户在业务系统注册身份之后,身份信息加密广播共识到所有联盟链节点,每个节点都可以对注册的用户进行认证,达成用户单点注册多点登录的功能并有效防止了用户身份隐私泄露的风险。用户认证过程由全网共识投票,即使服务节点故障,也可依靠整个系统的分布式鲁棒性来保证认证系统的正常工作,提高系统的抗攻击能力。最后通过实验表明,本方法比传统联盟链共识效率更快,吞吐量更高。可根据网络情况调整 p 、 q 值,达到效率最大化。

参考文献

- [1] 宋芹芹,袁泉.PKI/CA 系统异地统一身份认证研究与实现[J].网络安全技术与应用,2017(6):54-55.
- [2] 丁子康,黄锐,杨鸿靖宇.密码学技术的发展与网络安全研究[J].无线互联科技,2019,16(7):38-39.
- [3] 李强,舒展翔,余祥,等.区块链系统的认证机制研究[J].指挥与控制学报,2019,5(1):1-17.
- [4] 姚伟.无口令身份认证技术的研究与实现[D].绵阳:西南科技大学,2020.
- [5] 申屠青春.区块链底层技术平台[A].中国人民大学国际货币研究所.《IMI 研究动态》2016 年合辑[C].中国人民大学国际货币研究所,2016:6.
- [6] 单康康,袁书宏,张紫徽,等.区块链技术及应用研究综

述[J].电信快报,2020(11):17-20.

- [7] 苗清岚.区块链存证的应用问题研究[J].营销界,2020(38):107-109.
- [8] 吴乾隆.基于区块链的物联网身份认证技术研究[D].重庆:重庆邮电大学,2020.
- [9] 郭上铜,王瑞锦,张凤荔.区块链技术原理与应用综述[J].计算机科学,2021,48(2):271-281.
- [10] 冷基栋,吕学强,姜阳,等.联盟链共识机制研究综述[J].数据分析与知识发现,2021,5(1):56-65.
- [11] 李福涛.区块链中的共识机制[J].中国新通信,2019,21(21):12.
- [12] 王乃洲,金连文,高兵,等.基于区块链技术的身份认证与存储方法研究[J].现代信息科技,2020,4(8):164-167.
- [13] 王冠,张文月.基于可信性评估的区块链共识机制的研究[J].郑州大学学报(理学版),2020,52(3):27-33.
- [14] 黄秋波,安庆文,苏厚勤.一种改进 PBFT 算法作为以太坊共识机制的研究与实现[J].计算机应用与软件,2017,34(10):288-293,297.
- [15] 张良嵩.基于拜占庭容错的区块链共识算法研究[D].成都:电子科技大学,2020.

(收稿日期:2021-05-30)

作者简介:

姚影(1989-),男,工程师,主要研究方向:能源区块链。

颜拥(1986-),男,高级工程师,主要研究方向:能源区块链。

郭少勇(1985-),男,博士,副教授,主要研究方向:区块链、物联网、泛在网络和智能电网。



扫码下载电子文档

(上接第 103 页)

IEEE Transactions on Power Electronics, 2001, 16(1): 26-33.

- [6] PANOV Y, JOVANOVIĆ M M. Design considerations for 12-V/1.5-V, 50-A voltage regulator modules[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2001, 16(6): 776-783.
- [7] AHMED M H, CHAO F, LEE F C, et al. 48-V voltage regulator module with PCB winding matrix transformer for future data centers[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2017, 64(12): 9302-9310.
- [8] 郭冠亚.1V/30A 输出应用新型同步整流驱动方案的正反激电路的研究[D].杭州:浙江大学,2008.
- [9] 高双,赵世伟,张龙威,等.一种基于 Sepic 的新型高增益 DC/DC 变换器[J].电子技术应用,2021,47(5):108-111,116.
- [10] 卢诚,邵剑龙,谢实,等.离散数字恒能量斩波变流母技术:CN1547317A[P].2004-11-17.
- [11] 谢鹤龄,金建辉,谢佳明,等.一种高性能脉冲信号处理

电路模块[J].电子技术应用,2020,46(1):39-43.

- [12] 朱俊颖.开关电源 PCB 电磁干扰的仿真与实验分析[D].成都:电子科技大学,2020.
- [13] 骆嘉迪.系统级封装与 PCB 板级电磁兼容性研究[D].西安:西安电子科技大学,2019.
- [14] 王天凤.基于 SG3525 的推挽式逆变电路设计与实现[J].仪表技术,2020(6):4-6.
- [15] 刘中锋,刘春,倪文斌.基于 SG3525 芯片的大功率恒压/恒流 LED 电源研制[J].电源技术,2016,40(2):404-407.

(收稿日期:2021-04-24)

作者简介:

余世科(1976-),男,本科,高级工程师,主要研究方向:电力电子技术以及电力电子技术。

叶明刚(1978-),男,硕士,高级工程师,主要研究方向:水中兵器工程研究。

谢鹤龄(1995-),男,硕士研究生,主要研究方向:电力电子与电磁兼容、控制工程。



扫码下载电子文档

版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所