

一种用于电池管理系统的高压多路选择器

李明明^{1,2}, 潘文光^{1,3}

(1.中国科学院微电子研究所,北京 100029;2.中国科学院大学 电子电气与通信工程学院,北京 100049;
3.南京中科微电子有限公司,江苏 南京 210018)

摘要: 高压多路选择器是电池管理系统的重要组成部分,目前研究的高压多路选择器会给电池引入漏电流,影响电池电压检测精度。为了降低高压多路选择器开关控制信号对电池的漏电流影响,提高电压检测精度,设计了一种新型栅极驱动型高压开关。该高压开关采用了栅极自举结构,可以直接级联,并且开关控制信号不对信号源引入漏电流。最后采用 0.5 μm 40 V BCD 工艺,搭建一个 7 路高压多路选择器进行了仿真验证。后仿真结果表明,高压开关相邻信道的隔离度为 $-47\text{ dB}@1\text{ MHz}$,最大输入电压 35 V,电路版图面积 1.2 mm \times 1.5 mm,满足应用场合。

关键词: BCD 工艺;模拟多路选择器;高压开关;电池管理系统

中图分类号: TN722

文献标识码: A

DOI:10.16157/j.issn.0258-7998.211477

中文引用格式: 李明明,潘文光.一种用于电池管理系统的高压多路选择器[J].电子技术应用,2021,47(10):53-56,62.

英文引用格式: Li Mingming, Pan Wenguang. A high voltage multiplexer for battery management system[J]. Application of Electronic Technique, 2021, 47(10): 53-56, 62.

A high voltage multiplexer for battery management system

Li Mingming^{1,2}, Pan Wenguang^{1,3}

(1. Institute of Microelectronics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China;

2. School of Electronic, Electrical and Communication Engineering, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3. Nanjing Zhongke Microelectronics Co., Ltd., Nanjing 210018, China)

Abstract: High voltage multiplexer is an important part of battery management system. The high voltage multiplexer studied at present will introduce leakage current to the battery, which will affect the accuracy of battery voltage detection. To reduce the influence of the control signal of the high voltage multiplexer on the leakage current of the battery and improve the accuracy of voltage detection, a new type of high voltage switch with gate drive was designed. The high voltage switch adopts gate bootstrap structure, can be directly cascade, and the switch control signal does not introduce leakage current to the signal source. At last, a 7-channel high voltage multiplexer was built by using 0.5 μm 40 V BCD process to carry out simulation verification. The post-simulation results show that the isolation of the adjacent channel of the high voltage switch is $-47\text{ dB}@1\text{ MHz}$, the maximum input voltage is 35 V, and the circuit layout area is 1.2 mm \times 1.5 mm, which meets the requirements of application.

Key words: BCD process; analog multiplexer; HV switch; battery management system

0 引言

高压电池管理系统在许多场合都有应用,例如新能源汽车为了获取足够的动力,往往需要串联成百上千节电池^[1-2];大型电网的储能也需要串联许多的电池组。如此多的电池难免会存在电池之间的不匹配、不均衡,可能引起电池爆炸等安全隐患^[1,3],这就需要电池管理系统(Battery Management System, BMS)能够实时检测每节电池的电压状态^[4]。

在电池电压的采集结构中,通常使用由高压开关组成的高压多路选择器将每节电池的电压传递到后续模数转换器(Analog to Digital Converter, ADC)进行模数转换。如何降低高压多路选择器对电池信号的电压损耗一

直是研究的热点,不少学者针对 BMS 系统的高压多路选择器提出了许多新颖的高压开关^[5-15],但是这些高压开关的控制信号会对信号源引入轻微的漏电流,影响电池电压检测精度。

为了降低漏电流,进一步提高电压检测精度,本文设计了一种新型栅极驱动型高压开关,并采用 0.5 μm 40 V BCD 工艺,搭建一个 7 路高压多路选择器进行了后仿真验证。设计的电路已经递交工艺厂进行流片。

1 原理分析与设计

1.1 电池电压采集结构

图 1 是 BMS 系统经典的 3 种电池电压采集结构^[5],

图 1(a)是每一个电池配置了一个 ADC,该结构避免了高压输入问题,但是 ADC 数量较多,面积和功耗较大,同时 ADC 之间存在不匹配,影响检测精度。图 1(b)和图 1(c)是广泛使用的结构,这两种结构都使用了高压多路选择器,大大减少了 ADC 的数量,节省了面积和功耗。

图 1(b)使用的是高压 ADC,可以直接接入比较高的共模电平,但是相比低压 ADC 增加了电路复杂度;图 1(c)额外加了一级电平转移减法器,用于将高压共模电平转换为低压,进而可以直接使用经典的低压 ADC。

图 1(b)和(c)的电池电压采集电路设计的关键点在于降低高压多路选择器对电池信号的电压损耗。

1.2 高压开关设计

对于高压半导体工艺来说, MOS 器件的栅源电压一般限制在 5 V,并且多路选择器的输入电压较高。为了提高开关的输入范围和线性度,高压开关的栅极控制信号应随输入信号自举,保持栅源电压基本不变。传统的低压传输门开关栅极电压固定^[16],并不能直接用于高压多路选择器。为了降低高压开关栅极控制电路的设计难度,高压开关电路往往全部使用 PMOS 或者 NMOS 组成开关管。图 2 给出了几种学者设计的高压开关。

图 2(a)的开关由一个 PMOS 管组成^[7],该结构较为简单,通过 V_s 控制 N1 即可实现开关的关断与闭合,但是由于衬底二极管效应,该开关无法直接级联,需要配合后续电路才能级联,同时存在漏电流。

图 2(b)的开关采用了 2 个 PMOS 管互补连接^[9],使衬底二极管反偏连接,提高了隔离度。但是栅极驱动电路与电池输入 V_{bat_inX} 直接连接,节点 V_X 最大有效电压为 V_{bat_inX} ,导致无法级联,并且存在漏电流。

图 2(c)的开关^[5,8]采用了 2 个 PMOS 管互补连接,高压栅极驱动器(HV Gate Voltage Driver, HVGVD)的结构

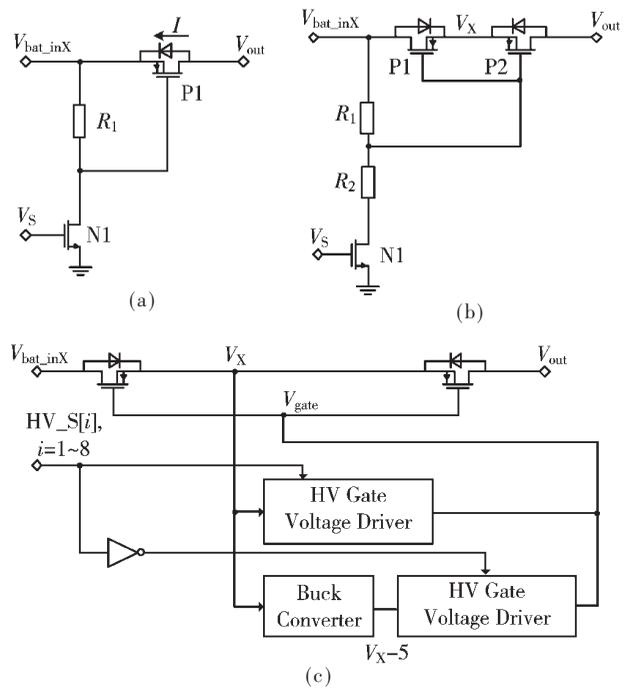


图 2 高压开关类型

与图 2(b)结构类似,由两个电阻组成,用于驱动开关管栅极。电平转换器(Buck Converter)用于产生比 V_X 低 5 V 的电平,确保开关管栅源电压在安全范围。该结构的开关可以级联,但是其栅极驱动电路与图 2(b)一样存在阻性负载,会引入漏电流,同时该电路结构比较复杂。

在电池电压采集链路中,由于存在导线的寄生电阻和系统外围的滤波电阻,漏电流的存在会产生电压损耗,影响检测精度。

为了降低漏电流,提高检测精度,本文改进了栅极驱动方式,采用了源级跟随器的栅极作为输入,将栅极

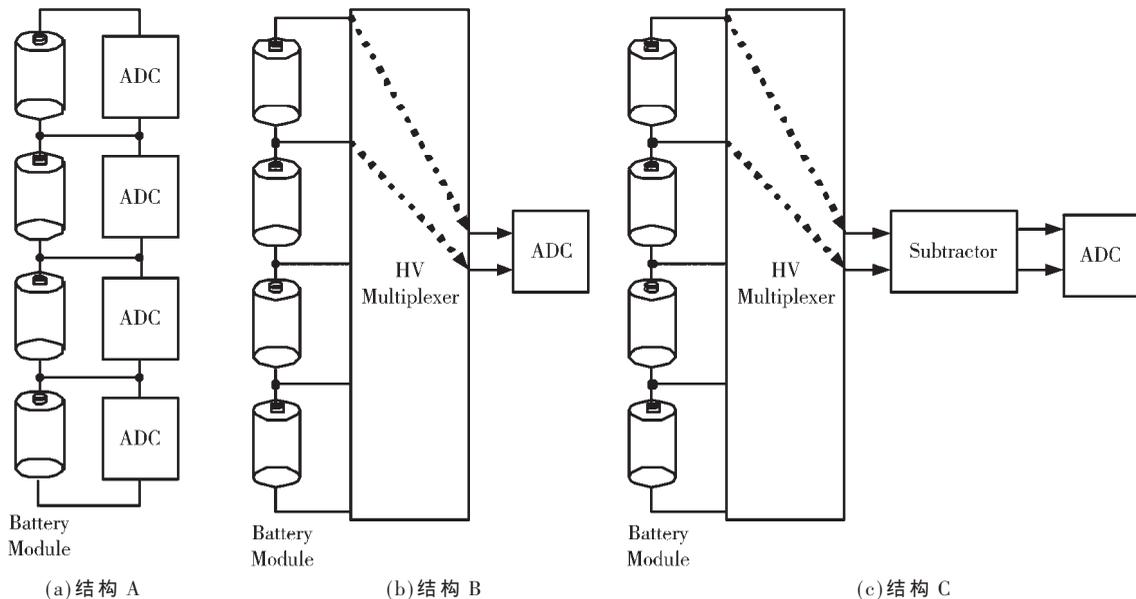


图 1 经典的电池电压采集结构

驱动电路与电池信号源进行了隔离,消除了栅极驱动电路对信号源的漏电流;同时为了使开关可以直接级联,方便使用,采用了两个 NMOS 开关管互补连接,将开关管的漏端连接在一起,使衬底二极管相互反偏。设计的新型栅极驱动型高压开关电路如图 3 所示。

其中, MOS 管 P1~P6 用来提供偏置电流, MOS 管 N1、N4 与尾电流源组成了源极跟随器,二极管 D3、D4 用于保护 N1、N4 栅极和源极避免被瞬态电压击穿。电阻 R_3 用于实现电平转移,二极管 D1、D2 用于限制电阻 R_3 瞬态电压,从而对开关管 N2、N3 的栅极起到保护作用。开关管 N2、N3 采用互补连接, D5、D6 是寄生二极管。

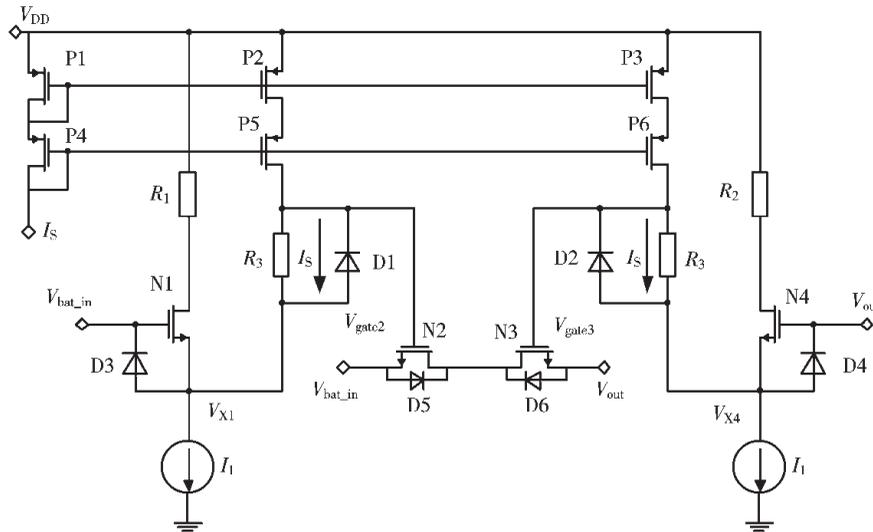


图 3 高压开关电路

当 $I_s=0$ 时,电阻 R_3 不产生压降,节点 V_{gate2} 与节点 V_{x1} 电压相同,节点 V_{gate3} 与节点 V_{x4} 电压相同,此时提供给 N2 和 N3 的栅极驱动电压为:

$$\begin{cases} V_{gate2} = V_{bat_in} - V_{th} \\ V_{gate3} = V_{out} - V_{th} \end{cases} \quad (1)$$

此时 N2 和 N3 的栅源电压为 $V_{GS} = -V_{th} < 0$, 开关管处于截止状态,高压开关闭闭。

当 I_s 为开启电流时,电阻 R_3 会产生压降,此时提供给 N2 和 N3 的栅极驱动电压为:

$$\begin{cases} V_{gate2} = V_{bat_in} - V_{th} + I_s \cdot R_3 \\ V_{gate3} = V_{out} - V_{th} + I_s \cdot R_3 \end{cases} \quad (2)$$

此时 N2 和 N3 的栅源电压 V_{GS} 为:

$$V_{th} < V_{GS} = I_s \cdot R_3 - V_{th} < 5 \quad (3)$$

根据式(3)可以推出电流 I_s 的取值范围:

$$\frac{2V_{th}}{R_3} < I_s = \frac{V_{GS} + V_{th}}{R_3} < \frac{5 + V_{th}}{R_3} \quad (4)$$

根据式(3)、式(4)可知,合理选择电阻 R_3 和 I_s 的值即可保证开关管的栅源电压小于 5 V,同时大于开启电压,使开关管处于导通状态。

当开关进行级联时, V_{bat_in} 与电池相连, V_{out} 相互连接在一起,如图 4 所示。

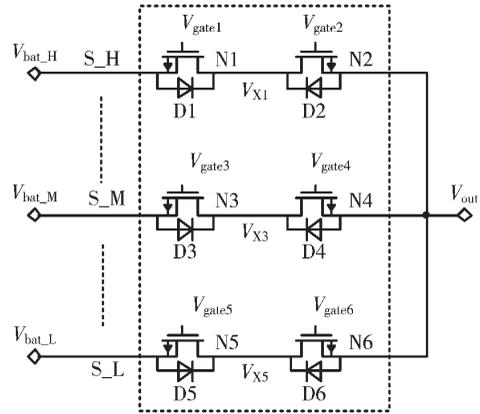


图 4 高压开关级联示意图

以中间电位开关 S_M 为例,当 S_M 打开时, N3、N4 导通, N1、N2、N5、N6 关闭, $V_{out} = V_{bat_M}$, 此时 V_{x1} 比 V_{out} 高, V_{x5} 比 V_{bat_L} 高,衬底二极管 D2 和 D5 处于反偏状态,不会产生电池间串扰电流。

同理,当高位开关 S_H 和低位开关 S_L 打开时,都有相应的衬底二极管反偏,不会产生电池间的串扰电流。设计的高压开关可以直接级联。

1.3 7:2 多路选择器

为了验证设计的高压开关性能,采用 $0.5 \mu\text{m}$ 40 V BCD 工艺搭建了一个 7:2 多路选择器,图 5 是高压多路选择器的应用原理图。

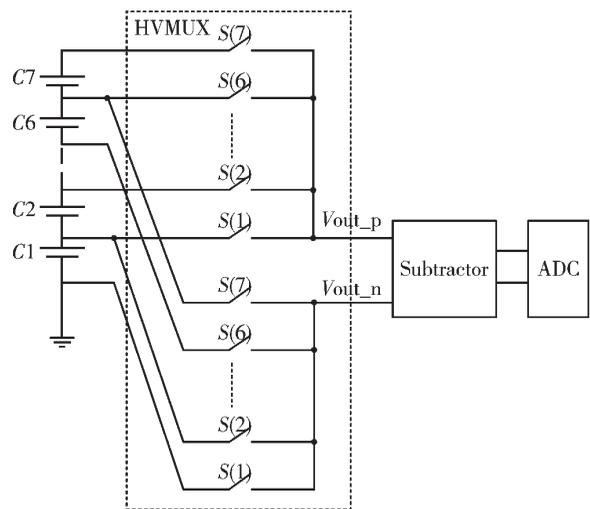


图 5 高压多路选择器应用电路

高压多路选择器直接与电池相连,根据总线控制信号 $S[1\sim7]$,分别选通电池 $C_1\sim C_7$ 的正极和负极,减法器电路用于实现电平转移,将电池高压共模电平转换为适合 ADC 输入的范围,减法器电路也采用了栅极输入,降低整个传输链路的静态电流,进而降低电压损耗。

最后由 ADC 进行模数转换,实现电池电压信号的测量功能。

2 后仿真结果与版图设计

本文设计的高压多路选择器采用 0.5 μm 40 V BCD 工艺完成设计与版图布局,其整体布局如图 6 所示,整体芯片面积为 1.2 mm \times 1.5 mm。

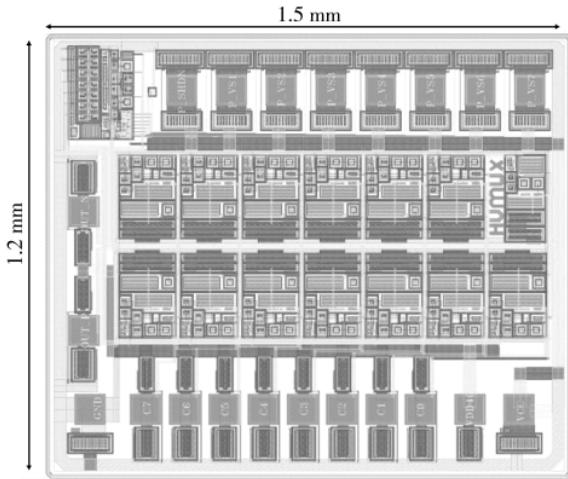


图 6 整体版图设计

图 7 是高压开关的隔离度仿真曲线,仿真结果显示,设计的高压开关在 1 MHz 频率隔离度为 -47 dB,具有良好的隔离特性。

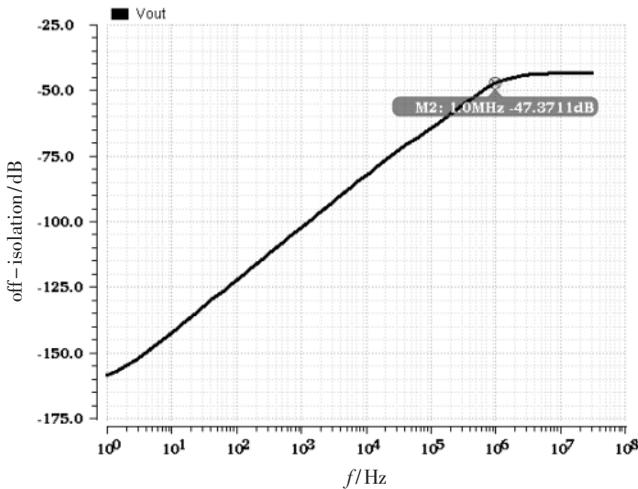


图 7 高压开关隔离度

将高压多路选择器连接 7 节电池,单节电池电压为 5 V。随着总线控制信号 S[1~7]的变化,高压多路选择器有序地选择每节电池的正极和负极,然后进行时域仿真,得到结果如图 8 所示。

图中从左到右分别是多路选择器选通电池 $C_1 \sim C_7$ 的仿真结果,图中灰色虚线是节点 $V_{out,n}$ 的电压,灰色实线是节点 $V_{out,p}$ 的电压,黑色实线是两者的差分电压。从图中可以看出设计的电路具有良好的工作特性,可以有效地传递电池差分电压。

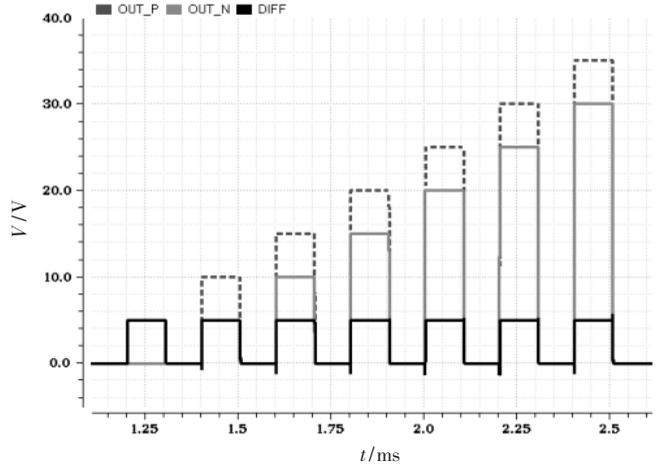


图 8 高压多路选择器仿真

3 结论

本文设计了一种新型栅极驱动型高压开关,该高压开关栅极控制信号不对电池信号源引入漏电流,可直接级联。并用 0.5 μm 40 V BCD 工艺,搭建一个 7:2 高压多路选择器进行了仿真实验,电路版图面积为 1.2 mm \times 1.5 mm,后仿真结果表明多路选择器可以根据总线控制信号选通不同的电池通道,具有良好的工作特性。高压开关在 1 MHz 的隔离度为 -47 dB,设计的电路满足应用需求。

由于芯片处于流片中,本文目前并没有实测结果,后续将进行实物测试,进一步深入研究。

参考文献

- [1] LIU K L, LI K, PENG Q, et al. A brief review on key technologies in the battery management system of electric vehicles[J]. Front Mech Eng, 2019, 14(1): 47-64.
- [2] HAQ I N, LEKSONO E, IQBAL M, et al. Development of battery management system for cell monitoring and protection[C]//Proceedings of the 2014 International Conference on Electrical Engineering and Computer Science(ICEECS), 2014.
- [3] 姚京,詹昌辉,韩廷,等.车载动力锂电池组主动均衡系统设计[J].电子技术应用,2015,41(1): 129-31.
- [4] XIONG R, CAO J Y, YU Q Q, et al. Critical review on the battery state of charge estimation methods for electric vehicles[J]. IEEE Access, 2018(6): 1832-1843.
- [5] CHEN C L, WANG D S, LI J J, et al. A battery interconnect module with high voltage transceiver using 0.25 μm 60 V BCD process for battery management systems[C]//Proceedings of the 2012 International SoC Design Conference, 2012.
- [6] MAN X, WU L, ZHANG X, et al. A high precision multi-cell battery voltage detecting circuit for battery management systems[C]//Proceedings of the 2016 IEEE 83rd Vehicular Technology Conference(VTC Spring), 2016.

(下转第 62 页)

- 展[J].大功率变流技术,2014(6):1-5.
- [6] 张栋宇.基于FPGA的半实物仿真平台设计与应用[D].南京:南京大学,2016.
- [7] 刘延斌,金光.半实物仿真技术的发展现状[J].光机电信息,2003(1):27-32.
- [8] 黄建强,鞠建波.半实物仿真技术研究现状及发展趋势[J].舰船电子工程,2011(7):5-7,25.
- [9] 郑国,杨锁昌,张宽桥.半实物仿真技术的研究现状及发展趋势[J].舰船电子工程,2016,36(11):8-11.
- [10] 周瑜,张文能.电气控制与PLC技术半实物仿真实训装置构建[J].实验室研究与探索,2017,36(7):230-234.
- [11] 仇佳捷,包涌金,张峰,等.基于半实物仿真技术的复杂电力系统设备检测平台的硬件设计[J].电测与仪表,2012,49(4):92-96.
- [12] 赵硕峰,张娟.基于LabVIEW平台的嵌入式光谱强度检测系统设计[J].电子技术应用,2017,43(6):90-93.
- [13] 孙玉环,李永红,岳凤英,等.基于LabVIEW的弹载计算机测试系统[J].电子技术应用,2015,41(6):55-58.
- [14] 徐创,王建成,卫东.基于LabVIEW与CAN总线通讯的燃料电池监控系统设计[J].电源技术,2018,42(7):1015-1017.
- [15] 杨亚泽,余明杨.BUCK变换器的建模和仿真研究[J].大众科技,2010(6):37-38.

(收稿日期:2021-01-08)

作者简介:

疏成成(1994-),通信作者,男,硕士研究生,主要研究方向:燃料电池技术和半实物仿真技术,E-mail:779325981@qq.com。

苏建徽(1964-),男,博士,教授,主要研究方向:光伏发电技术、分布式发电技术等。

施永(1985-),男,博士,主要研究方向:分布式发电与电力电子技术。



扫码下载电子文档

(上接第56页)

- [7] CHEN C, YI H, WAYNE L, et al. A high voltage analog multiplexer with digital calibration for battery management systems[C]//Proceedings of the 2012 IEEE International Conference on IC Design & Technology, 2012.
- [8] CHEN C L, WANG D S, LI J J, et al. A voltage monitoring IC with HV multiplexer and HV transceiver for battery management systems[J]. IEEE Trans. Very Large Scale Integr (VLSI) Syst., 2015, 23(2): 244-253.
- [9] LEE T. HV switch using differential voltage shaping driver for 13 series li-ion battery cells BMS[C]//Proceedings of the 2016 International SoC Design Conference (ISOCC), 2016.
- [10] KWOK P N, LEE M C, WAN T C, et al. Universal high voltage multiplexer for CMOS OTP memory applications[C]//Proceedings of the 2008 IEEE International Conference on Electron Devices and Solid-State Circuits, Hong Kong, China, 2008.
- [11] ADAMS D A, BARNES H A, FITZPATRICK M D, et al. A radiation hardened high voltage 16:1 analog multiplexer for space applications(NGCP3580)[C]//Proceedings of the 2008 IEEE Radiation Effects Data Workshop, 2008.
- [12] HARA K, SAKANO J, MORI M, et al. A new 80 V 32×32ch low loss multiplexer LSI for a 3D ultrasound imaging system[C]//Proceedings of the Proceedings ISPSD'05 The 17th International Symposium on Power Semiconductor Devices and ICs, 2005.
- [13] BORG J, JOHANSSON J. An ultrasonic transducer interface IC with integrated push-pull 40 V_{pp}, 400 mA current output, 8-bit DAC and integrated HV multiplexer[J]. IEEE Journal of Solid-State Circuits, 2011, 46(2): 475-484.
- [14] GUANZIROLI F, PASSI S, TERENCE M, et al. New generation of high voltage integrated devices for ultrasound: 16 Channels pulser 5 levels with integrated transmit beam-former and 64 independent HV switches[C]//Proceedings of the 2017 IEEE International Ultrasonics Symposium (IUS), 2017.
- [15] RICOTTI G, BOTTAREL V. HV floating switch matrix with parachute safety driving for 3D echography systems[C]//Proceedings of the ESSCIRC 2018-IEEE 44th European Solid State Circuits Conference (ESSCIRC), 2018.
- [16] 张建人.超大规模集成电路设计基础[J].电子技术应用,1991(5):41.

(收稿日期:2021-03-08)

作者简介:

李明明(1996-),男,硕士研究生,主要研究方向:模拟集成电路设计。

潘文光(1983-),通信作者,男,博士,副研究员,主要研究方向:模拟集成电路设计,E-mail:panwenguang@csmic.ac.cn。



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