

文章编号: 2095-4980(2015)04-0665-05

激光二极管恒流驱动电源的仿真设计

任先文, 甘孔银, 谭志远, 孙会, 刘平

(中国工程物理研究院 应用电子学研究所, 四川 绵阳 621999)

摘要: 在采用锂电池储能供电的降压斩波电路恒流激光二极管驱动源系统的设计中, 建立了电池组、激光二极管的集成电路个人仿真程序(PSPICE)器件模型和闭环控制系统模型, 经过仿真计算, 确定了输出滤波电感电容的参数和实现闭环稳定的比例积分微分调节(PID)参数, 并研究了在负载变化和输入变化的条件下系统的稳定性。研究表明, 采用该技术方案能实现恒流源输出电流大于 100 A, 输出电压 230 V, 电流纹波小于 3%。

关键词: 激光二极管; 恒流驱动电源; PSPICE 器件

中图分类号: TN34

文献标识码: A

doi: 10.11805/TKYDA201504.0665

Design of an LD driving power supply by simulation

REN Xianwen, GAN Kongyin, TAN Zhiyuan, SUN Hui, LIU Ping

(Institute of Applied Electronics, China Academy of Engineering Physic, Mianyang Sichuan 621999, China)

Abstract: In the design of a power supply powered by energy storage system with a battery pack to drive laser diodes with BUCK chopper circuit for constant current and step-down voltage, Personal Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis(PSPICE) models, which of components such as the battery pack, laser diodes in series, and of system with a closed loop are constructed. Parameters of output inductances and capacitors for filtering circuit are determined by simulations as well as the optimized parameters of the Process Identifier(PID) to realize stability of the closed loop. The stability of the power supply is studied by simulation under different conditions. The results indicate that a constant current power supply made by this technology could output more than 100 A current and 230 V voltage with less than 3% ripple.

Key words: laser diodes; constant current power supply; PSPICE simulation

在小型化激光二极管阵列恒流驱动电源系统的设计中, 采用了锂电池储能系统^[1]前级供电技术和降压斩波电路恒流技术, 需要研究系统中输入滤波技术、输出滤波技术、PID 闭环控制技术及系统的稳定性。仿真计算是研发电源的有效手段之一^[2], 本文通过采用 ORCAD 公司的计算机辅助设计软件^[2-5]中的通用集成电路个人仿真程序(PSPICE)电路模型来仿真研究固态激光二极管阵列的驱动电源, 获取电源各系统部件的优化设计参数, 有利于实现电源系统的小型化设计。

1 系统电路

电源系统如图 1 所示, 系统包括充电机、电池组、2 台恒流驱动电源以及相应的控制系统, 充电机控制器、电池组控制器和恒流驱动电源控制器通过控制器局域网(Controller Area Network, CAN)控制总线与电控系统通信, 电控系统接受指控系统的命令, 协调控制充电机、电池组两端的接触器和恒流驱动电源, 负载为激光二极管负载。仿真计算的关键, 一方面需要对系统进行必要的简化, 以减少元器件数量和计算的难度, 另一方面需要把电源系统中的实际物理元件或系统转换成合理的电路模型。

在仿真计算中, 主要目标是要取得恒流源输入滤波器、输出滤波器的设计参数和闭环补偿器的 PID 参数, 实现系统的稳定。

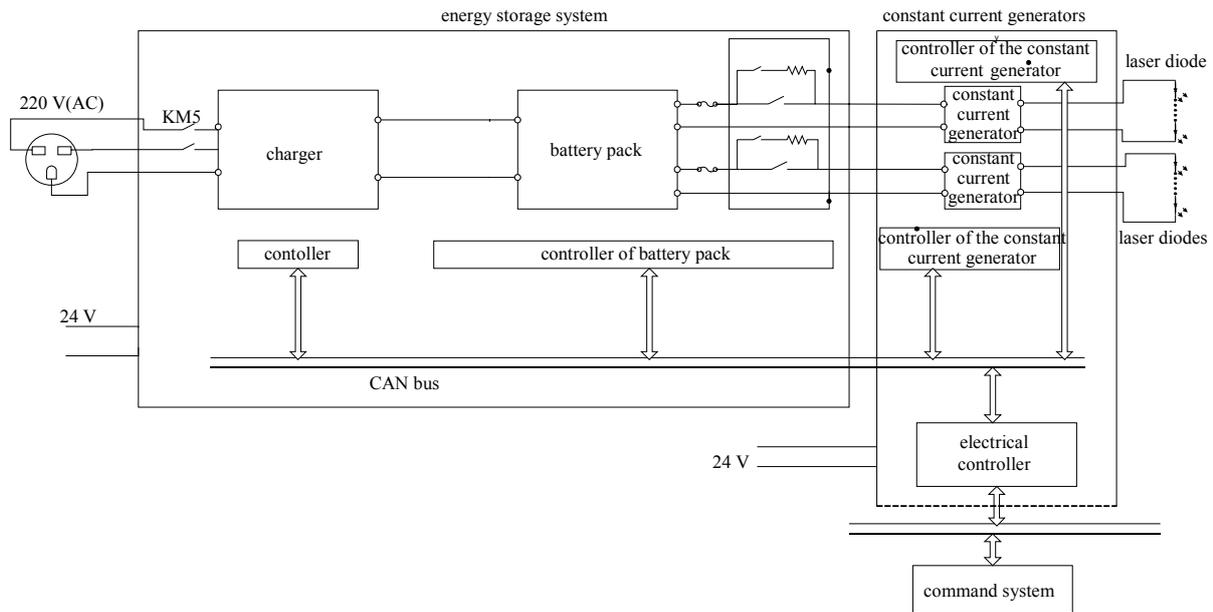


Fig.1 Diagram of the power supply for driving laser-diode array
图 1 激光二极管阵列驱动电源框图

2 关键器件模型的建立

2.1 电路特征分析

在实际的电路中，采用锂电池储能系统给恒流源供电，但降压斩波电路的输入电流是非连续的，因此，需要考虑电池组的瞬态特性，即需要考虑电池组及连线的等效电感，以便设计合理的滤波器，使锂电池储能系统输出电流是连续稳定的，以提高系统的稳定性和电磁兼容性；电源系统另一个关键电路模型为激光二极管，其特性是非线性的，需要采用数个线性器件构建；除此之外，希望通过仿真计算来研究整个系统的稳定性，以确定输出滤波器的参数和 PID 调节电路参数，因此需要建立整个回路的模型，包括脉宽调制(Pulse-Width Modulation, PWM)形成电路、栅极绝缘双极性晶体管(Insulated Gate Bipolar Transistor, IGBT)隔离驱动电路、取样反馈放大电路和 PID 调节电路，以实现闭环系统仿真设计。

2.2 电池组及输入滤波电路模型

锂电池储能系统的模型非常复杂^[6-8]，为减小计算难度，模型由理想电源 V5、电池内阻 R10 和连线电感 L1 组成，根据测试 80 V 电池组的经验推算，现采购的 380 V 的电池组 V5 的波动范围 280 V~380 V，电池组的内阻按 0.5 Ω 估计，连线电感约 10 μH。通过在 BUCK 电路输入端加滤波电路，以防止主回路开关在关断电流时产生过电压，并减小 2 台 BUCK 电路之间相互的传导干扰。滤波电路由 C6、L2 和 C20 组成，由于电感通过的最大电流 100 A，要增大 L2 的值有较大的困难，因此取 10 μH，电容 C6 采用电解电容并联薄膜电容，电容值稍取大一些，为 470 μF。L8 是连接导线的分布电感，估计 100 nH。储能系统供电模型如图 2 所示。

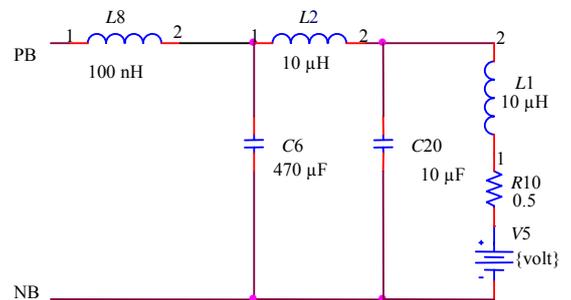


Fig.2 Simulation model of energy storage system
图 2 储能系统供电仿真模型

2.3 输出滤波及激光二极管模型

驱动源的负载是激光二极管，其特性可以等效为一个小电阻 R1、一个电压源 V6 和一个二极管 D10 串联，由于 R1 电阻值很小，根据前期的试验经验取值 0.5 Ω。在技术方案中采用 L6 增大负载的交流阻抗，因此设计了由 L6、L3 和 C5 组成的二阶滤波器，滤波电容的等效电阻(Equivalent Series Resistance, ESR)取值 0.03 Ω，与单个电感滤波器相比，可以大幅减小电感量的要求，从而减小系统的体积和重量，是小型化设计的关键技术之一，预

计电感量在数十 μH 。如采用单个电感滤波,电感量需要达到 $1\text{ mH}\sim 2\text{ mH}$,实现电流 120 A 电感的小型化和轻量化基本上是不可能的。 R_{15} 为采样电阻, D_7 为续流二极管。输出电路模型如图 3 所示。

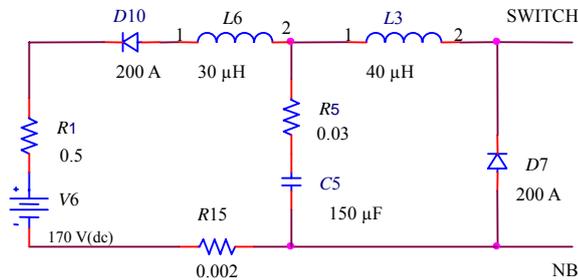


Fig.3 Simulation model of the output filter
图 3 输出滤波仿真模型

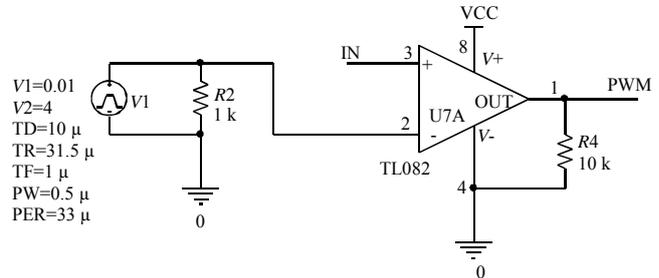


Fig.4 Simulation model of the PWM generator
图 4 PWM 波形发生器仿真模型图

2.4 PWM 波形发生器和 IGBT 驱动模型

驱动源的控制系统的拟采用 SG3525A 作为脉宽调制 (PWM) 发生芯片, 2 路输出 PWM, 频率 $100\text{ Hz}\sim 400\text{ kHz}$, 内部带误差放大器, 具备逐周期保护功能和软启动功能。但在现有应用版本的仿真软件中, 没有 SG3525A 的模型, 因此在仿真过程中采用三角波发生器和比较器来产生 PWM 波形, 其原理如图 4 所示。在 IN 输入端加入一个电平, PWM 输出一定占空比的 PWM 电压波。

主开关 IGBT 驱动器拟选用 2ED300C17-S 或 2ED300C17-ST, 该驱动器具有 2 路输入输出, 与 SG3525A 配合使用, 可以控制 2 只 $1\text{ 700 V}/300\text{ A}$ 的 IGBT。但在应用版本的仿真软件中, 也没有该模型, 因此在仿真过程中采用 EPOLY 模型作为隔离驱动器, 原理如图 5 所示。

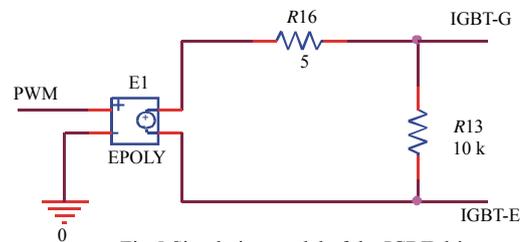


Fig.5 Simulation model of the IGBT driver
图 5 IGBT 驱动器仿真模型

2.5 反馈回路及调节器模型

反馈电路的模型如图 6 所示, R_{15} 是采样电阻, 电阻值 $0.002\ \Omega$, 当通过 120 A 电流时, 产生 0.24 V 的反馈电压。通过隔离, 输入运算放大器, 经过放大后输入反馈端。闭环补偿器的模型如图 7, 反馈信号 feedback 连接到闭环补偿器的反向输入端, 正向输入端为一斜坡电平, 通过 RC 滤波电路 R_6 和 C_{21} 把设置电路形成平缓过渡的电压信号, C_3, R_8, C_2 和 C_1 形成 PID 调节电路, 通过调节其参数调整系统的稳定性。

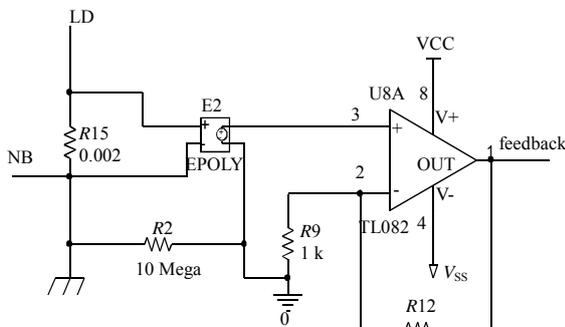


Fig.6 Simulation model of the sample and feedback circuit
图 6 采样反馈电路仿真模型

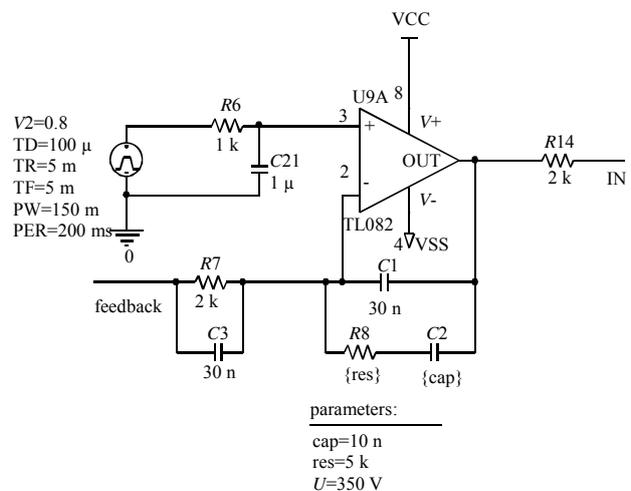


Fig.7 Simulation model of the closed loop compensation
图 7 闭环补偿器仿真模型

3 仿真计算结果

3.1 系统仿真电路模型及参数的优化

激光二极管驱动电源系统仿真计算模型如图 8 所示。通过仿真计算，确定了电路的主要参数，包括输出滤波电路的滤波电感 $L3, L6$ 和滤波电容 $C5$ ，以及闭环调节器的 PID 参数 $C1, C2, C3, R7$ 和 $R8$ 。参数列于表 1。

3.2 系统稳定性分析

3.2.1 负载变化稳定性

电源在工作过程中，可能会受到各种不同情况的干扰，如电池电压降低、负载的变动等。BUCK 电路的开关频率工作在 20 kHz，在额定负载下，设置电流 0.2(25 A), 0.4(50 A), 0.6(75 A), 0.9(112 A) 研究系统的稳定性。仿真计算波形如图 9 所示，从图中可以看出，在 25 A~112 A 之间，电流输出是稳定的，输出电流纹波峰峰值为大约 1 A，即当电流在 25 A, 50 A, 75 A, 112 A 时，电流纹波分别是 4%, 2%, 1.3%, 0.9%。即当电流大于等于 50 A，电流纹波能够满足设计要求。如负载减小到额定负载(串联数减少)的 70%，仿真研究电流输出情况，从图 10 可知，输出电流是稳定的，输出纹波与在额定负载水平相当。

在仿真中，还研究了典型的负载变动的情况，观察电源系统的稳定性。假设在电源的运行中，因为某种原因出现激光二极管的损坏，在严重的情况下，3 只同时损坏，即在负载上电压突然降低 5.4 V，在仿真电路负载中串入一负脉冲源，下降沿 5 μ s，幅值 5.4 V 的脉冲信号源，观察输出电流的动态变化过程。仿真结果如图 11 所示，可以看出，电流在电压下降点 25 ms 处电流从 112 A 上升到 116 A，然后在 500 μ s 内稳定在 112 A，具有快速的收敛性。

表 1 仿真计算优化参数值

Table1 Optimized parameters of simulating calculation				
No.	function	name/unit	value	remark
1	compensation	C1/nF	60	
2	compensation	C2/nF	20	
3	compensation	C3/nF	120	
4	compensation	R7/ k Ω	2.7	
5	compensation	R8/ k Ω	5.1	-
6	filter	C5/ μ F	470	
7	filter	L3/ μ H	40	
8	filter	L6/ μ H	40	

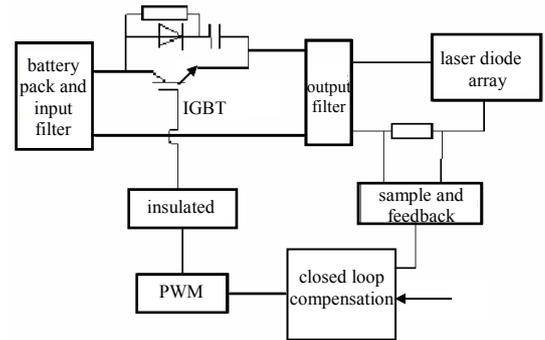


Fig.8 Simulation model's diagram of the power system for laser diode array

图 8 激光二极管阵列驱动电源系统仿真计算模型框图

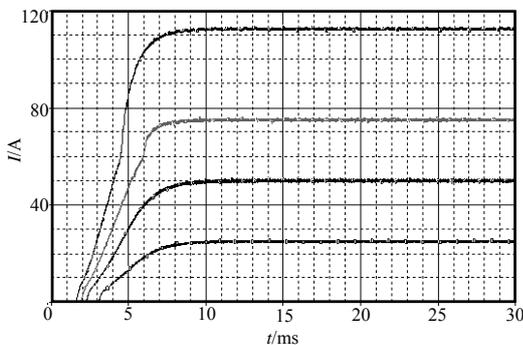


Fig.9 Output current waveform by simulation under rated load
图 9 在额定负载下仿真输出电流波形图

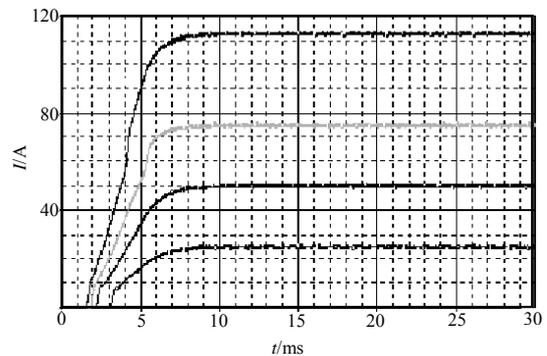


Fig.10 Output current waveform by simulation under 70% rated load
图 10 在 70%额定负载下仿真输出电流波形

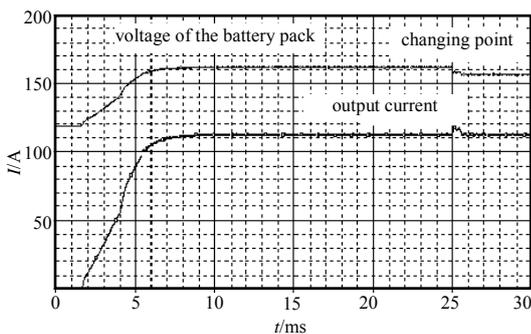


Fig.11 Stability analysis of current output under load transient process
图 11 负载突变下电流输出稳定性分析

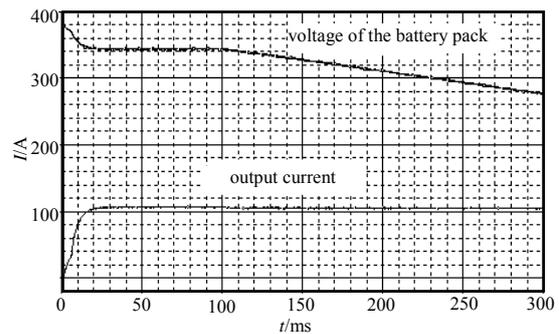


Fig.12 Stability analysis of current output under voltage changing of battery pack
图 12 电池组电压变化输出稳定性分析

3.2.2 输入变化稳定性分析

当采用电池储能系统供电时, 电池输出端电压在 380 V~280 V 之间变化, 为了缩短仿真时间长度, 把储能系统的平台电压 320 V 的时间长度设置为 100 ms(实际长度大约 80 s), 然后, 电池储能系统的电压在 200 ms(实际时间约 10 s) 内下降到大约 280 V, 进行电源系统的稳定性仿真计算, 如图 12 所示, 从输出的电流波形来看, 电流的大小基本没有变, 表明恒流驱动电源在储能系统输出电压变化范围内能保持输出稳定。

在实际应用中, 还要考虑储能系统输出电压突然波动, 如一台恒流源正常运行中, 另外一台与其共用储能系统的电源突然启动或停止, 储能系统的输出电压会出现突然下降或

上升。为研究该过程中电源系统的稳定性, 设置储能系统在 10 ms 内突降(或升)38 V(总电压的 10%), 仿真输出电流输出的变化如图 13 所示, 从图中可以看出, 在输入电压变化 10% 的情况下, 电流变化大约 3 A, 小于 3%, 且在变化结束 3 ms 内, 输出电流恢复到设定值。仿真计算表明, 恒流源能适应输入电压的突变。

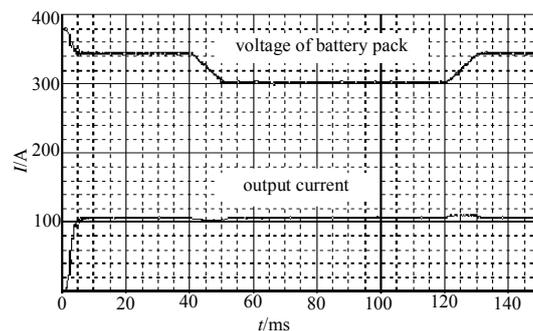


Fig.13 Stability analysis of current output under transient voltage of battery pack

图 13 电池组电压突变输出电流稳定性分析

4 结论

通过激光二极管恒流驱动电源系统建模进行仿真分析, 确定了电源系统关键部件的参数, 为系统各部件设计提供依据, 并研究了负载变化、负载突变、输入变化和输入突变等情况下的系统的稳定性。研究表明, 采用该技术方案能实现恒流源输出电流大于 100 A, 输出电压 230 V, 电流纹波小于 3%。

参考文献:

- [1] 刘国庆, 吴建国, 申磊. 电池储能系统综述[J]. 工业控制计算机, 2013, 8(26):104-106. (LIU Guoqing, WU Jianguo, Shen Lei. Summary of battery energy storage system[J]. Industrial Control Computer, 2013, 8(26):104-106.)
- [2] 贾新章. OrCAD/PSPICE 9 实用教程[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2000. (JIA Xinzhang. OrCAD/PSPICE 9 Practical Lesson[M]. Xi'an, China: Xidian University Press, 2000.)
- [3] 李彬. SPICE 在开关电源闭环控制中的应用[J]. 电力电子技术, 1995, 4(11):45-48. (LI Bin. SPICE application in closed control loop in switching power supplies[J]. Power Electronic Technology, 1995, 4(11):45-48.)
- [4] 王皓, 吴卫民. 恒流源 DC-DC 脉冲电源的设计[J]. 电源学报, 2011, 5(3):49-51. (WANG Hao, WU Weimin. Design of the DC/DC pulse power supply for constant current control[J]. Journal of Power Supply, 2011, 5(3):49-51.)
- [5] 朱鸿志, 杨永辉, 李华梅. 电压瞬变对高压固态开关的影响[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2010, 8(2):215-218. (ZHU Hongzhi, YANG Yonghui, LI Huamei. Effect of transient voltage on the solid-state switch[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2010, 8(2):215-218.)
- [6] 贾玉健, 解大, 顾羽洁. 电动汽车电池等效电路模型的分类和特点[J]. 电力与能源, 2011, 12(32):516-521. (JIA Yujian, XIE Da, GU Yujie. Classification and characteristics of equivalent circuit of EV's battery[J]. Power & Energy, 2011, 12(32):516-521.)
- [7] 林成涛, 仇斌, 陈全世. 电动汽车非线性等效模型研究[J]. 汽车工程, 2006, 1(28):38-47. (LIN Chengtao, QIU Bin, CHEN Quanshi. A study on nonlinear equivalent model for battery of electric vehicle[J]. Automotive Engineering, 2006, 1(28):38-47.)
- [8] 戴海峰, 魏学哲, 孙泽昌. 基于等效电路的内阻自适应锂离子电池模型[J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2010, 1(38):100-104. (DAI Haifeng, WEI Xuezhe, SUN Zhechang. An inner resistance adaptive model based on equivalent circuit of lithium battery[J]. Journal of Tongji University Nature Science, 2010, 1(38):100-104.)

作者简介:



任先文(1974-), 男, 四川省乐山市人, 高级工程师, 主要研究方向为特种电源及应用技术, email:rxw68@aliyun.com.

甘孔银(1967-), 男, 四川省威远县人, 副研究员, 主要研究方向为特种电源技术及应用。

谭志远(1984-), 男, 陕西省宝鸡市人, 助理研究员, 主要研究方向为特种电源技术及应用。

刘平(1986-), 男, 南昌市人, 实习研究员, 主要研究方向为特种电源技术及应用。

孙会(1985-), 男, 山东省枣庄市人, 助理研究员, 主要研究方向为特种电源技术及应用。