

用√符号选择一类	
教 学	✓
科 研	
编号 (由专家组填写)	

第十届全国高校物理实验教学研讨会  
本科学生物理实验论文评比表

学生姓名： 房灵猛

申报学校： 中国石油大学（华东）

联系方式： 电话： 17854200043

传真： 0532-86983418

E-mail: 1153587798@qq.com

填表日期： 2018 年 5 月 1 日

第十届全国高校物理实验教学研讨会组委会制

二〇一八年一月

学 生 情 况 及 发 表 有 关 物 理 实 验 论 文 情 况	姓 名	房灵猛	性别	男	出生年月	1996.11
	学校名称	中国石油大学(华东)		是否物理学基地	否	
	入学时间	2014.09	毕业时间	2018.07	是否基地学生	否
	学 号	1409030307				
	<p><b>本科期间发表与物理实验有关论文情况：</b> 共发表 四 篇论文            论文题目 杂志名称（卷、页、年）</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 《基于液晶电光效应的智能调光玻璃装置》，发表于《实验技术与管理》2016，33（3）：101-104.</li> <li>2. 《扭曲向列相液晶电光效应的微观机理研究》，发表于《大学物理实验》2016，29（2）：1-5.</li> <li>3. 《踩压式压力发电装置的研制》，发表于《物理与工程》2017，27（6）：111-115.</li> <li>4. 《实验室固体纵波幅值温变特性的研究》，发表于《物理与工程》2018，28（2）：63-67.</li> </ol> <p>列出全部作者排序* 引用情况</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 赵永潜，张亚萍#，许广建，房灵猛，刘金柱</li> <li>2. 赵永潜，张亚萍#，许广建，刘金柱，房灵猛</li> <li>3. 刘金柱，房灵猛，张亚萍#</li> <li>4. 房灵猛，刘金柱，张亚萍#</li> </ol> <p>* 如有教师，请在教师名字后用#标出。</p> <p><b>代表性论文学术价值及应用价值：《踩压式压力发电装置的研制》</b></p> <p><b>学术价值：</b>根据动生电动势的产生原理，应用永久磁铁和导电线圈，设计出一种踩压式压力发电装置。进行了系统的理论分析和实验检验，当有压力施加于装置上时，装置会将作用的压力经内部线圈转变为正弦式交流电，经整流电路和稳压滤波电路的作用，输出稳定的直流电，较有效地将机械能转化为电能，最后由储能电路将产生的电能收集并储存起来。</p> <p><b>应用价值：</b>该压力发电装置能够铺设到马路人行道、商场等人流量比较多的公共场所，也可以在家中合适位置合理铺设该装置，利用人行走踩压产生的压力就可以实现发电，可作为节能环保能源有效利用的典范。</p>					

	指导教师姓名	张亚萍	职称	副教授
指导教师评语	<b>对学生发表论文评语及论文情况说明：</b> 作为指导教师，在指导以房灵猛、刘金柱同学作为该创新团队骨干开展国家级大学生创新性实验计划项目过程中，相继已经以学生第1作者在科技核心期刊《物理与工程》上发表研究论文2篇。两篇论文从不同角度展示出其不同方向的研究成果，其中《踩压式压力发电装置的研制》作为学生自主选题的典型案列，将理论与实验相结合，设计了一种踩压式压力发电装置，进行了系统的理论分析和实验检验，取得了较好的研究效果和应用价值。推荐该篇论文参加会议教学类学生论文评奖。			
	指导教师（签名）： _____ 年 月 日			
学校推荐意见	负责人（签名）： _____ 公章 _____ 年 月 日			
大会学术组专家意见	专家组组长（签名）： _____ 年 月 日			
评比结果	大会主席（签名） _____ 年 月 日			

	指导教师姓名	张亚萍	职称	副教授
指导教师评语	<p><b>对学生发表论文评语及论文情况说明：</b></p> <p>作为指导教师，在指导以房灵猛、刘金柱同学作为该创新团队骨干开展国家级大学生创新性实验计划项目过程中，相继已经以学生第1作者在科技核心期刊《物理与工程》上发表研究论文2篇。两篇论文从不同角度展示出其不同方向的研究成果，其中《踩压式压力发电装置的研制》作为学生自主选题的典型案列，将理论与实验相结合，设计了一种踩压式压力发电装置，进行了系统的理论分析和实验检验，取得了较好的研究效果和应用价值。推荐该篇论文参加会议教学类学生论文评奖。</p> <p>指导教师（签名）：<i>张亚萍</i> 2018年7月15日</p>			
学校推荐意见	<p><i>同意推荐</i></p> <p>负责人（签名）：<i>张亚萍</i> 公章  2018年7月17日</p>			
大会学术组专家意见	<p>专家组组长（签名）：_____ 年 月 日</p>			
评比结果	<p>大会主席（签名）_____ 年 月 日</p>			

## 踩压式压力发电装置的研制

刘金柱 房灵猛 张亚萍

(中国石油大学(华东)理学院, 山东 青岛 266580)

**摘要** 为了实现对压力的充分利用,应用永久磁铁和导电线圈,根据动生电动势的产生原理,设计了一种踩压式压力发电装置,并进行了理论分析和实验验证。当有压力施加于装置上时,装置会将作用的压力经内部线圈转变为正弦式交流电,经整流电路和稳压滤波电路的作用,输出稳定的直流电,较有效地将机械能转化为电能,最后由储能电路将产生的电能收集并储存起来。该压力发电装置在利用压力发电的过程中不会对环境产生任何污染,能够在绿色环保的前提下达到产生电能的目的。

**关键词** 压力发电;动生电动势;能量转化;节能减排

## THE RESEARCH ON STEP TYPE PIEZOELECTRIC GENERATOR DEVICE

LIU Jinzhu FANG Lingmeng ZHANG Yaping

(College of Science, China University of Petroleum(East China), Qingdao Shandong 266580)

**Abstract** In order to realize the full use of pressure, a kind of step type piezoelectric generator was designed by using permanent magnets and conductive coils, according to the generation principle of the motional electromotive force. The theoretical analysis and experimental verification were also carried on. When being applied of pressure, the device can change the pressure of the action into sinusoidal alternating current through the internal coil. After the function of rectifying circuit and voltage stabilizing filter circuit, the device will output stable DC power, converting the mechanical energy into electrical energy more effectively. Finally, the electrical energy will be collected and stored by the storage circuit. The piezoelectric generator will not generate any pollution to the environment during the working process, and can achieve the purpose of generating electric energy under the premise of the green environmental protection.

**Key words** pressure power generation; motional electromotive force; energy conversion; saving energy and reducing pollution

能源是人类生存与经济发展的物质基础<sup>[1]</sup>,但近年来,随着经济持续、高速发展,人类的经济

生产活动不仅消耗了大量的传统化石类能源,而且产生了不少废气、废水、废渣等,严重污染生态

收稿日期: 2016-10-25; 修回日期: 2016-11-15

基金项目: 教育部教指委高等学校教学研究项目(DWJZW201522hd; DWJZW201603hd); 山东省本科高校教学改革研究项目(2015M022); 中国石油大学(华东)教学改革项目和研究性教学改革项目(JY-B201635; YK201520); 中国石油大学(华东)大学生创新创业训练计划项目(201710425067)。

作者简介: 刘金柱,男,在读本科生。

通讯作者: 张亚萍,女,副教授,研究方向为物理实验教学与研究,纳米材料的合成、制备及其性能研究,材料腐蚀与检测等, zhangyp@upc.edu.cn。

引文格式: 刘金柱,房灵猛,张亚萍. 踩压式压力发电装置的研制[J]. 物理与工程, 2017, 27(6): 111-115.

环境和危害人类健康<sup>[2]</sup>。近年来,风能和太阳能等可再生能源的发展速度迅猛<sup>[3]</sup>,而压力发电作为另一种产生能源的方式也越来越受到人们的关注<sup>[4-6]</sup>。

## 1 实验原理

如图1所示,当线圈和磁铁以速度  $v_0$  做相对运动时,导体中的自由电子也以速度  $v_0$  与导体一起运动。根据动生电动势原理<sup>[7-9]</sup>,自由电子会因受到洛伦兹力而做定向运动,具体为

$$F_L = -e v_0 \times B \quad (1)$$

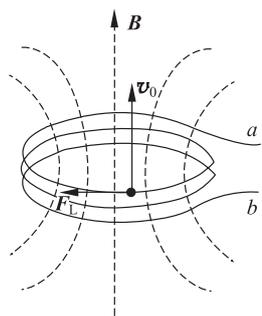


图1 动生电动势原理图

自由电子在洛伦兹力  $F_L$  的作用下绕线圈逆时针向  $a$  端运动,并在  $a$  端逐渐积累,根据电荷守恒定律,在  $a$  端积累负电荷的同时, $b$  端逐渐积累正电荷,并在导体中建立静电场。电子受到电场力的方向与洛伦兹力的方向相反,当作用在自由电子上的电场力与洛伦兹力大小相等时,达到平衡状态, $a$ 、 $b$  间的电压达到稳定值,且  $b$  端电势高, $a$  端电势低。由此可见,一段导体  $ab$  在磁场中运动相当于一个电源,非静电力就是洛伦兹力。作用于单位正电荷上的非静电力为

$$E_{\text{非}} = \frac{F_L}{-e} = v_0 \times B \quad (2)$$

根据电动势的定义,则动生电动势为

$$d\varepsilon = E_{\text{非}} \cdot dl = (v_0 \times B) \cdot dl \quad (3)$$

所以,整个导体中产生的总动生电动势为

$$\varepsilon = \int_a^b E_{\text{非}} \cdot dl = \int_a^b (v_0 \times B) \cdot dl \quad (4)$$

由于洛伦兹力  $F_L = qv_0 \times B$ ,与带电粒子速度  $v_0$  垂直,因此,洛伦兹力对带电粒子不做功。而在上面的讨论中又得到洛伦兹力是产生动生电动势的非静电力,作用于单位正电荷上的洛伦兹力所

做的功即是动生电动势。上式中的  $v_0$  只是电子速度的一个分量,电子除了有随导体运动的速度  $v_0$  外,还具有相对导体运动的速度  $u$ ,其合成速度为  $v_0 + u$ ,电子所受的总的洛伦兹力为

$$F_L = -e(v_0 + u) \times B = -e v_0 \times B + (-e u \times B) = F_{v_0} + F_u \quad (5)$$

显然

$$F_0 \cdot v_0 = 0, F_u \cdot u = 0, \text{且 } F \cdot (v_0 + u) = 0 \quad (6)$$

于是

$$-F_u \cdot v_0 = F_{v_0} \cdot u \quad (7)$$

为了使导体能在磁场中以速度  $v_0$  运动,必须给导体施加外力  $F_0$ ,且  $F_0 = -F_u$ ,以克服洛伦兹力的一个分量  $F_u = -e u \times B$ 。外力  $F_0$  克服  $F_u$  所做的功率为

$$F_0 \cdot v_0 = -F_u \cdot v_0 = F_{v_0} \cdot u \quad (8)$$

式(8)说明,外力  $F_0$  克服洛伦兹力的一个分量  $F_u$  所做的功通过洛伦兹力的另一个分量  $F_{v_0}$  对自由电子做功,使自由电子作定向移动,形成电流。从而把外力做功所消耗的能量转换成电能。总的洛伦兹力并不做功,但洛伦兹力起了传递和转换能量的作用。

## 2 装置结构设计

### 2.1 压力发电装置结构设计

压力发电装置由内部的多组导电线圈和永久磁铁组成,其主要功能是当外界压力施加到装置上时,磁铁压缩弹性材料向下与线圈发生相对运动,撤销压力时弹性材料储存的势能释放,作用于磁铁并将其弹起,又与线圈发生相对运动,根据动

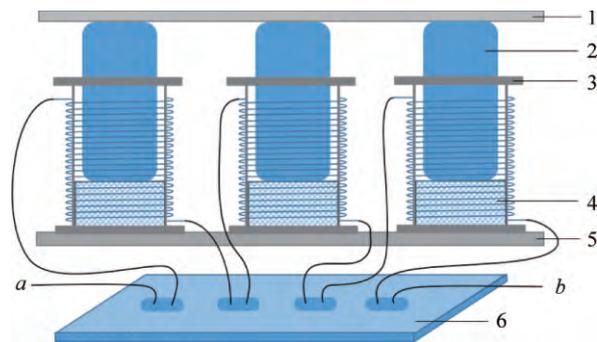


图2 压力发电装置结构设计简图

1-踩压板; 2-磁铁; 3-线圈; 4-弹性材料; 5-底板; 6-集电板;  
 $a$ 、 $b$ 两个输出端

生电动势原理便可产生近似的正弦式交流电。然后,经过集电板将每个线圈产生的电流收集起来,并对外输出。

## 2.2 控制电路结构设计

该压力发电装置电路设计主要由整流电路、选择电路、储能电路、储能检测等 4 部分构成,如图 3 所示。

(1) 整流电路<sup>[10]</sup>:由 4 个单向导电二极管组成,其作用是把发电装置产生的正弦式交流电由 2、3 结点输入后,利用二极管的单向导电性,实现对电流方向的连续选择,再经 1、4 结点输出为直流电。

(2) 选择电路:由双掷开关 S 组成,其作用是控制装置处于电能的直接利用模式或能量储存功能模式。当开关 S 置于 S1 且断开 S3 时,电路处于直接利用模式。直接利用模式可以把产生的电能直接作用于用电器,本模型装置的直接利用模式是检测电路,可以检测整套装置电路情况和输出电流变化的瞬时值,以确定电路是否正常以及是否产生了电能。当开关 S 置于 S1 且闭合 S3 时,电路就会起到滤波作用,稳定检测电路两端电压;当开关置于 S2 且断开 S3 时,电路处于储能模式,能够把发电装置产生的电能暂时储存起来,以备他用。

(3) 储能电路<sup>[11]</sup>:由多个参数相同的电容并联组成,其作用是可以把发电装置产生的电能暂时储存起来,这部分电能可做他用。

(4) 储能检测:当装置在储能状态下工作一段时间后,断开开关 S1、S2,闭合开关 S3,可以根据发光二极管的工作状态来判断储能模块是否储存了电能,并依据二极管的发光程度和发光时间判断储存电能的多少。

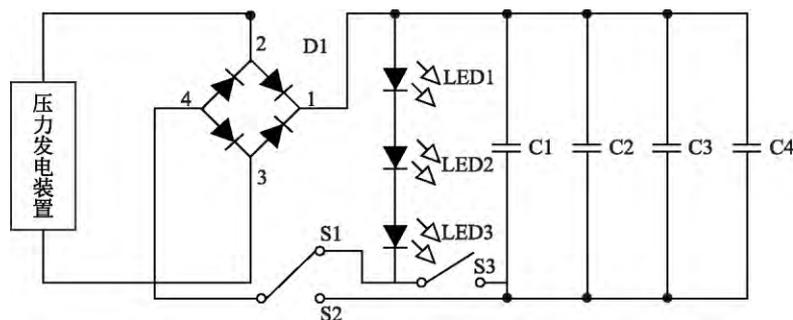


图 3 压力发电装置控制电路图

## 3 装置工作流程设计

该压力发电装置利用动生电动势的产生原理,实现将机械能转化为电能。整个装置由发电模块、中间模块、功能模块由 3 部分组成。发电模块主要由发电装置组成,是本套装置的核心;中间模块由上文的整流电路、选择电路以及滤波电路组成,起传输电流稳定电压的作用;功能模块由检测电路和储能电路组成。

具体技术路线流程图如图 4 所示:

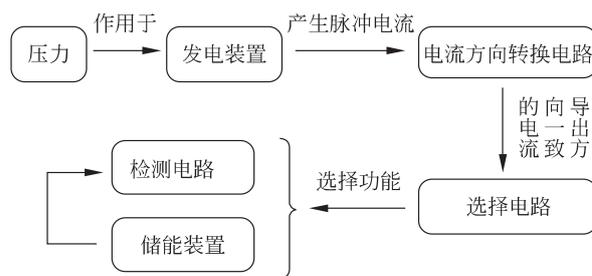


图 4 装置工作流程图

使用时,先将选择开关置于检测电路,当有压力作用于发电装置上时,能够明显地看到检测模块的数个发光二极管发出亮光,说明该压力发电装置能够产生电流;再将选择开关置于储能电路,当有压力作用于装置一段时间后,将储能模块的两端连接到发光二极管上,可以明显看到,发光二极管发出亮光,说明储能模块储存了发电过程中产生的电能。

## 4 装置测试与性能分析

### 4.1 工作线圈的发电能力

实验测量结果表明(如图 5 所示),动生电压与线圈的匝数成正比关系,动生电压的大小随线

圈匝数的增加而增大。在测量中线圈每增加 25 匝, 动生电压就随之增加 0.175V。

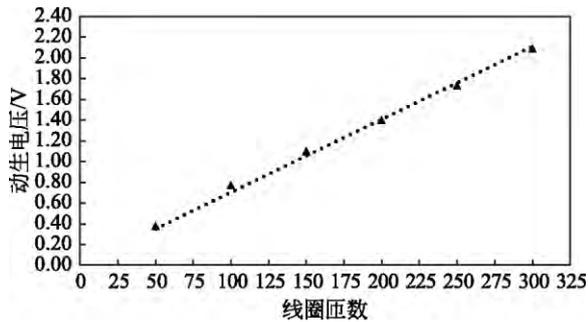


图 5 不同线圈匝数下的动生电压值

#### 4.2 储能装置分析

搭建简易储能装置, 应用电容实现对瞬时微小电流的储存<sup>[11,12]</sup>, 并对其进行测试分析。用 10V 直流电对储能装置进行储能, 运用示波器进行测试, 储能过程测量结果如图 6 所示, 从测试结果来看, 储能过程短暂, 虽然储存能力较小, 但基本可以满足本模型装置的需求。释能测试采用 350Ω 电阻作为负载, 测量结果如图 7 所示, 在测量过程中改变负载的阻值时, 释能时间也会发生相应的变化, 阻值越大, 释放能量的时间越长。

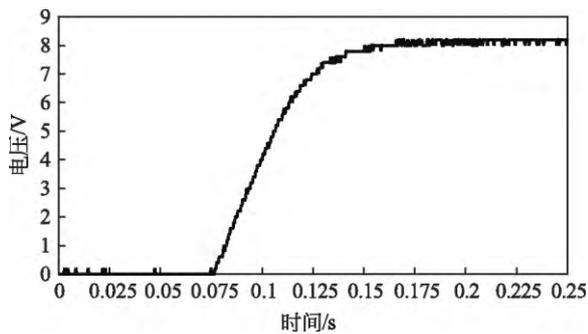


图 6 储能装置储能过程曲线图

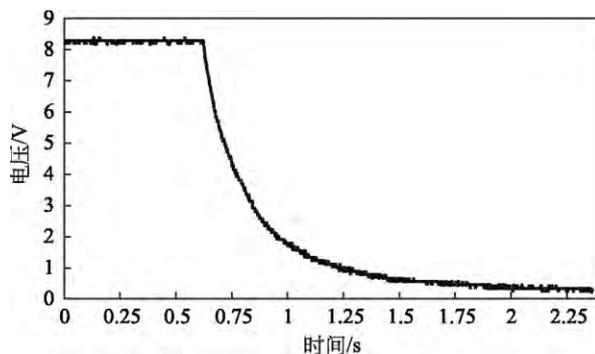


图 7 储能装置释能过程曲线图

#### 4.3 压力发电装置的总体评估

图 8 为实际操作过程中示波器显示的压力发电装置工作过程电压输出曲线。由图 8 可知, 经过连续多次施加压力, 该压力发电装置的发电电压比较稳定, 且电压的大小由施加的压力速度的高低决定, 结果表明, 该压力发电装置单次发电的瞬时电压平均值约为 60V。

将图 8 的单个波形放大, 如图 9 所示。

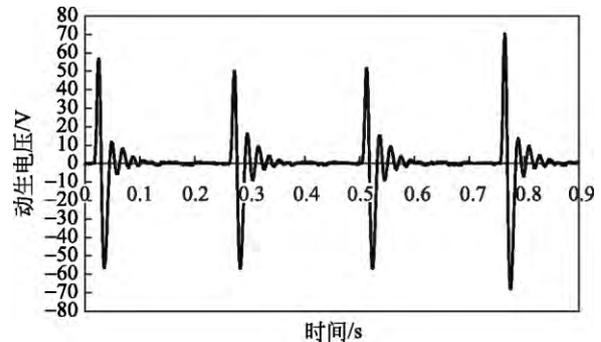


图 8 压力发电装置产生电压波形图

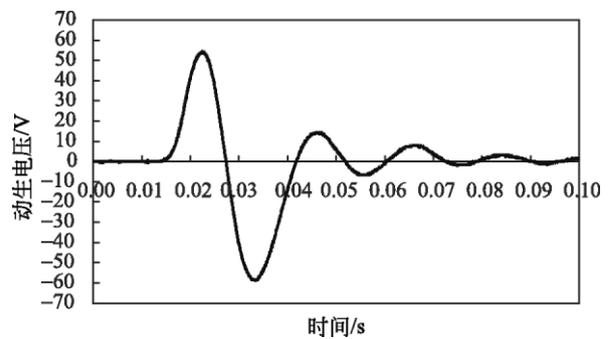


图 9 产生电压波形放大图

装置中的弹性材料在工作过程中受到外界压力作用, 当撤去压力后, 因为受到阻力作用, 其振动过程不断克服外界阻力做功, 消耗能量, 振幅就会逐渐减小, 经过一段时间, 振动就会完全停止下来<sup>[13,14]</sup>。表现到电压上, 就是在振动过程的开始阶段, 也就是施加压力阶段, 发电装置释放的电压会相当强, 当撤去压力后, 电压的大小会逐渐波动减小, 最终变为零。

#### 5 应用领域举例

(1) 该压力发电装置能够铺设到马路人行道上, 利用行人行走踩压就可以实现发电。由于该装置厚度小、工作稳定, 因此对人们的正常行走几

乎没有任何影响。装置产生的电能能够储存起来,进一步应用到马路两旁的用电装置上,如路灯、小装饰等,既减少了能源的消耗,又给城市增添了不少趣味。

(2) 该压力发电装置适用于歌舞厅、商场等人流量比较大的公共场所。由于这些场所客流量大,因此该装置产生的电能相对较多,能够补充部分甚至全部的店内用电需求。

(3) 该压力发电装置还可以用于家用。在家中合适位置合理铺设该装置,也能产生不小的电量。产生的电能储存起来,可以用于家庭的各种用电器工作,较大程度地实现家庭节约用电。

## 6 结论

经过对该压力发电装置模拟装置测试,结果显示其发电能力较强,发电量可观,具有较高利用价值。且发电动力来源广泛,通过把压力(机械能)转换为电能,可以达到对资源的整合利用,从而实现对能源的高效利用。发电过程中无污染物的产生,对环境友好、无破坏,节能环保。同时,该压力发电装置利用的是洁净的压力资源,可以降低人们对于煤炭、石油、天然气等不可再生能源的依赖,能够有效地缓解当今社会资源短缺的问题,可以产生较大的社会效益、经济效益和生态环保效益。

## 参 考 文 献

- [1] 瞿宏学,梅掌荣.论压力发电在新能源潮流中的地位[J].科技资讯,2013(8):5-6.  
Qu Hongxue, Mei Zhanghong. The position of pressure power generation in the new energy flow[J]. Science & Technology Information, 2013(8):5-6. (in Chinese)
- [2] 张树民.关于推动新能源产业的思考[J].价格理论与实践,2013(1):52-53.  
Zhang Shumin. Thoughts on promoting the new energy industry[J]. Price: Theory & Practice, 2013(1): 52-53. (in Chinese)
- [3] 秦大为,陈汉峥,蔡苏瑾.太阳能与风力发电仿真(实验)系统的研制[J].实验技术与管理,2009,26(1):63-65.  
Qin Dawei, Chen Hanzheng, Cai Sujin. Development of solar energy and wind power experiment simulation system [J]. Experimental Technology and Management, 2009, 26(1): 63-65. (in Chinese)
- [4] 张生玲,郝泽林,曾贺清.中国新能源发展的若干思考[J].学术交流,2014(1):66-71.  
Zhang Shengling, Hao Zelin, Zeng Heqing. Thoughts on The development of new energy resources in China[J]. Academic Exchange, 2014(1): 66-71. (in Chinese)
- [5] 闫强,王安建,王高尚.我国新能源产业发展战略研究[J].商业时代,2009(26):105-107.  
Yan Qiang, Wang Anjian, Wang Gaoshang. Research on the development strategy of new energy industry in China [J]. Commercial Age, 2009(26):105-107. (in Chinese)
- [6] 韩芳.我国可再生能源发展现状和前景展望[J].可再生能源,2010(4):137-140.  
Han Fang. Development status and prospect of renewable energy in China [J]. Renewable Energy Resources, 2010(4):137-140. (in Chinese)
- [7] 赵凯华,陈熙谋.电磁学[M].北京:高等教育出版社,2006.
- [8] 贾瑞皋,薛庆忠.电磁学[M].北京:高等教育出版社,2011.
- [9] 陈秉乾,王稼军,张瑞明.洛伦兹力是怎样给出的[J].大学物理,2008,27(8):42-44.  
Chen Bingqian, Wang Jiajun, Zhang Ruiming. How Lorentz force is given[J]. College Physics, 2008,27(8): 42-44. (in Chinese)
- [10] 皇金锋.单相桥式整流滤波电容的设计[J].电气开关,2007(3):39-40.  
Huang Jinfeng. Design of filter capacitor in single-phase bridge rectifier circuit[J]. Electrical Switching, 2007(3): 39-40. (in Chinese)
- [11] 姚晓平.电容的特性及选用[J].电源技术应用,2010(3):60-61.  
Yao Xiaoping. Characteristics and selection of capacitors [J]. Power Supply Technologies and Applications, 2010(3):60-61. (in Chinese)
- [12] 孙会丽.谈电容及其在模拟电路中的应用[J].电子世界,2013(2):34.  
Sun Huili. The application of capacitor in analog circuit [J]. Electronics World, 2013(2): 34. (in Chinese)
- [13] 曲建,刘洋,井延伟,等.电源滤波器抑制阻尼振荡波的试验研究[J].电力自动化设备,2006,26(4):47-49.  
Qu Jian, Liu Yang, Jing Yanwei, et al. Experimental research on power line filter suppressing damp oscillatory wave[J]. Electric Power Automation Equipment, 2006, 26(4): 47-49. (in Chinese)
- [14] 张盛望,林凤.电力系统微机保护装置的抗干扰措施[J].电力自动化设备,2005,25(2):93-96.  
Zhang Shengwang, Lin Feng. Discussion on convergency of reactive power optimization algorithms [J]. Electric Power Automation Equipment, 2005, 25(2): 93-96. (in Chinese)