

铁电材料滞回能量捕获能力分析*

陈双琳, 冯长水*

(杭州电子科技大学 机械工程学院, 浙江 杭州 310018)

摘要: 为解决微机电系统的供电问题,将基于力电耦合智能结构的滞回能量捕获技术应用到微能源技术中。首先对已有的基于压电材料的能量捕获技术展开了分析,介绍了压电材料的发电机理以及铁电材料的优点和自发极化特性,提出了一种将铁电材料用于能量捕获的方法;然后,利用力电耦合能量捕获实验台,对铁电和压电结构进行了能量捕获实验。实验及研究结果表明:铁电材料及压电材料皆可满足一定的供电要求,但就实验所用两种材料而言,铁电材料的供电能力比压电材料要高。

关键词: 力电耦合;铁电材料;压电材料;能量捕获;微机电系统

中图分类号: TM615; TH39 **文献标志码:** A

文章编号: 1001-4551(2012)06-0686-03

Analysis of energy harvesting based on hysteresis property of ferroelectric material

CHEN Shuang-lin, FENG Chang-shui

(School of Mechanical Engineering, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: In order to solve the problems of power supply to micro-electro-mechanical systems (MEMS), the research of energy harvesting based on the vibration of electromechanical coupling material was investigated. After the analysis of existing energy harvesting based on the piezoelectric material, power generation mechanism of piezoelectric material, the advantages and the better electromechanical coupling character for spontaneous polarization were introduced. A method was presented to harvest energy based on ferroelectric material. The experiment of energy harvesting was conducted respectively on piezoelectric and ferroelectric material. The testing results indicate that the ferroelectric and piezoelectric structures both can meet the demand of electricity supply. The experimental results show that the supply efficiency of ferroelectric structure is better than that of piezoelectric structure.

Key words: electromechanical coupling; ferroelectric material; piezoelectric material; energy harvesting; micro-electro-mechanical systems (MEMS)

0 引言

微机电系统(MEMS)是近年来发展最为迅速的一种新型多学科交叉技术,因其移动性、自控型、集成化等特点,决定了其能源器件也要朝着小型化、微型化的方向发展^[1]。传统的化学电池因存在诸多弊端,如体积大、质量重、供电寿命短、环境污染大等,正逐步被微型太阳能电池、微型燃料电池、微型化学能电池、风能发电机、太阳能发电机、热能发电机等代替。但

这些微型能源或受到使用寿命的限制,或受到工作环境的限制,在实际的应用中会带来许多的不便^[2]。

近年来,研究人员又将目光投向了基于力电耦合材料的微型能源,此类能源不需要其他的感应器和转换器,结构设计没有尺寸限制,可以满足不同功率微机电的需求^[3]。国外对人力发电机的研究有很多,其中最早成功的有压电发电鞋^[4],该种装置产生的电能一般可以满足野外的照明和小型无线电通讯。Priya等人发明了一种利用压电材料将风能转化为电能的

收稿日期:2011-11-18

基金项目:国家自然科学基金资助项目(10932009);浙江省重中之重自然科学基金资助项目(未提供)

作者简介:陈双琳(1987-),女,浙江舟山人,主要从事智能结构、能量捕获方面的研究。E-mail: csl19870116@163.com

通信联系人:冯长水,男,讲师。E-mail: csfeng@gmail.com

能量采集装置^[5],该种形式的风能发电机要比一般的风力涡轮机的发电效率高很多。S. W. Arms 等人研制一种小型的悬臂梁结构的压电能量捕获装置,该装置能够将环境中的振动能量转化成电能,并用以支持温湿度传感器节点的工作^[6]。基于力电耦合材料的振动能量捕获技术已经日趋成熟,现阶段这方面的研究应用主要建立在压电材料的基础上,对铁电材料的能量捕获研究还很少。

铁电材料是一种新型的力电耦合智能材料,不仅继承了压电材料的优点和特性,并且因自发极化的存在,其力电耦合特性更加明显。且铁电本构关系的研究已日趋完善,为基于铁电材料的能量捕获研究提供了条件^[7]。

本研究分别针对铁电材料和压电材料这两种力电耦合材料进行振动能量捕获实验,对比两种材料在激励下产生的电压,分析铁电材料的发电能力。

1 力电耦合材料及其发电原理

压电效应是由居里兄弟于1884年发现的,就是对压电体施加某一方向的应力,压电晶体内部的正负电荷中心发生相对的位移,其对应的压电体的两个表面就会产生等量异号的自由电荷,且自由电荷的大小与应力大小和材料参数相关。当应力消失后,压电体又恢复到电中性的状态。

20世纪40年代,法国人Valasek发现了罗息盐特异的介电性质,导致了“铁电体”概念的出现,从此开始了对于铁电体的研究。铁电材料因同时具有压电、热释电、电光、声光、光折变和非线性光学效应等特性,因而在现代微电子和光电子领域获得了大量的应用。目前,铁电体物理学研究的最主要问题是自发极化,且在外加电场的作用下,自发极化的方向随外加电场方向的改变而改变。铁电材料的极化强度与外加电场之间呈现一种非线性的关系,即电滞回线,它是铁电材料的重要标志之一,也是判别铁电性的一个重要标志^[8]。

铁电滞回特性曲线如图1所示。

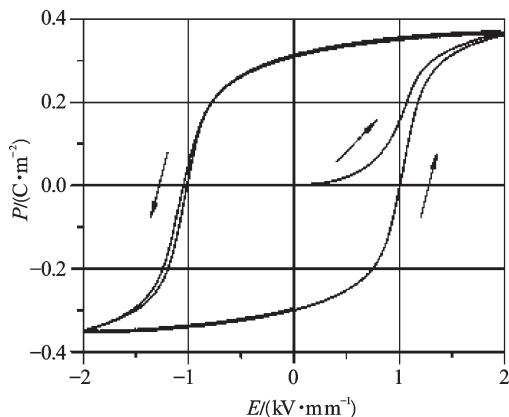


图1 铁电滞回特性曲线

基于力电耦合能量捕获的研究始于20世纪80年代,目前国内的研究还处于相对比较初级的阶段,且大部分研究都是基于压电结构。该能量转换的原理就是力电耦合材料在机械场的作用下产生应力应变的同时,晶体内的极化方向也会发生相应的变化,进而改变整个材料的电极化方向,材料表面就会积聚极化电荷。也就是说,外加机械力对材料所做的功,一部分会以应变能的形式储存在力学场内,而另一部分则会被自动的转换成电能,以极化能的形式存储于电场中。通过合理设计力电耦合结构、电能储存单元,就完全可以利用力电耦合材料的这种内在耦合特征实现机械能向电能的转换,并将电能存储起来。

2 实验装置

基于力电耦合材料的振动能量捕获实验台可以分为硬件和软件两部分,实验台架结构原理图如图2所示。

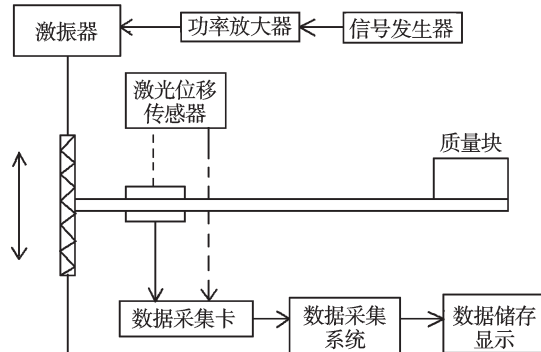


图2 实验台架结构原理图

硬件部分由激振系统、复合悬臂梁、传感单元和数据采集卡组成。该实验中所用到的力电耦合材料为压电材料和铁电材料,悬臂梁基体的材料为铝,其有效长度为100 mm、宽为10 mm、厚度为1 mm。金属梁的一端与激振器的输出端相固定,另一端固定一质量块,从而构成悬臂梁结构,其中质量块的作用是调节整个悬臂梁结构的谐振频率。压电片和铁电片的几何尺寸完全相同,长和宽皆为10 mm,厚度为1 mm,压电片和铁电片的正反两面分别布上电极并引出导线。压电片和铁电片分别用胶水固定于基梁的两侧,保证与基梁之间没有相对位移,且胶水除了有固定的作用外,还起到绝缘的作用。

实验中的数据采集与存储系统是基于LabVIEW平台开发而成,它的功能是对位移和电压信号进行同步采集,并将采集到的数据进行存储和显示。该实验台所开发的数据采集系统主要可以分为4个模块:参数设置模块、数据采集模块、滤波模块、数据存储与显示模块。实验台架结构图如图3所示。

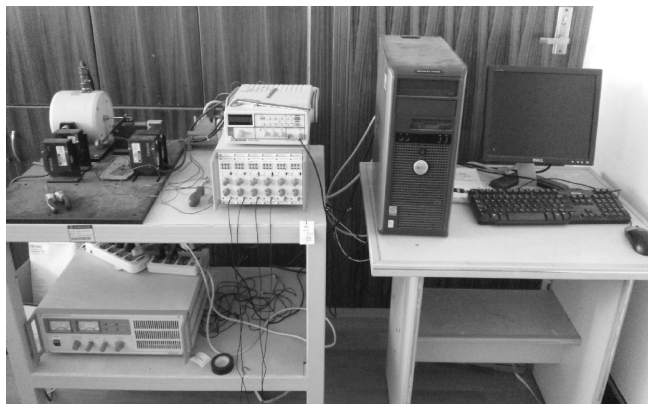


图3 实验台架结构图

3 实验结果与分析

在实验过程中,为了获得铁电结构和压电结构最好、最有效的输出,本研究先使该结构在不同的激励频率下工作,以获得一阶谐振频率。实验中发现压电结构和铁电结构的共振频率皆为12 Hz。铁电结构分别在8 Hz、12 Hz、20 Hz激励频率作用下的输出电压图如图4所示。由图4可知,在12 Hz共振的状态下铁电结构产生的电压峰值最大,为2.2 V。在8 Hz的激励频率下,铁电结构的电压输出信号较好,峰值数值比较平坦,且没有大的波动。

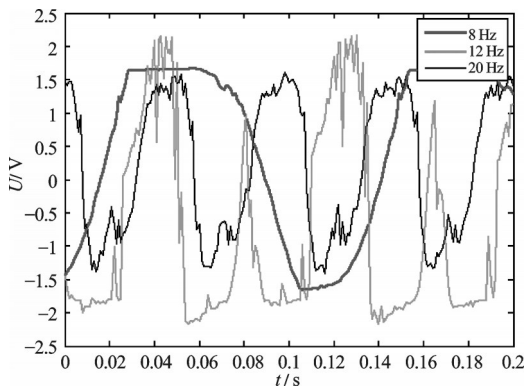


图4 不同频率相同振幅下铁电结构产生电压

8 Hz激励频率不同振幅条件下压电和铁电结构产生电压位移图如图5、图6所示,由图可知大的激励振幅会促使压电和铁电结构产生大的位移和电压。相同频率、振幅条件下压电铁电产生电压对比如图7所示。由图7可见,在相同的激励频率和相同的激励振幅条件下,压电片和铁电片产生的电压不相同,铁电结构产生的电压要大于压电结构产生的电压。图5~7表明,在周期性激励作用下,压电和铁电材料会产生滞回环,说明有机械能转化为电能。在8 Hz的激励频率作用下,压电结构产生的峰值电压是1.2 V,铁电结构产生的峰值电压是1.7 V,铁电结构的发电效率是压电结构的1.417倍。

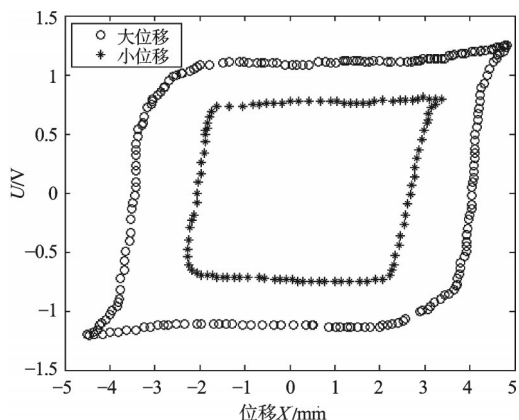


图5 相同频率不同振幅下压电产生能量

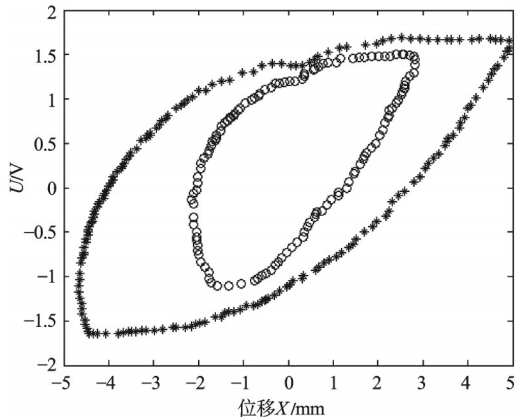


图6 相同频率不同振幅下铁电产生能量

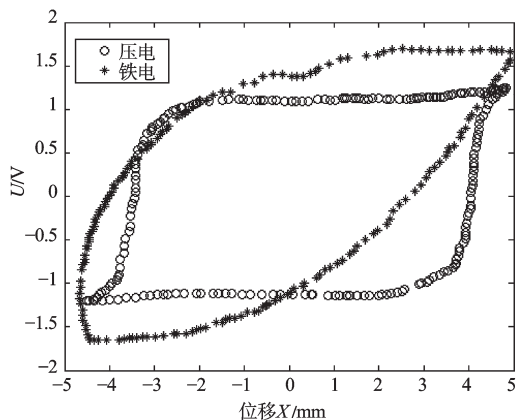


图7 相同振幅相同频率条件下压电铁电产生电压对比

4 结束语

本研究对压电材料和铁电材料的发电原理进行了阐述,并在此基础上分别对压电材料和铁电材料进行了能量捕获实验,将铁电材料的发电能力与压电材料进行对比研究。实验结果表明,铁电材料在振动激励的作用下具有将机械能转化为电能的能力,且在8 Hz相同的振幅条件下,铁电材料产生的峰值电压是压电材料的1.417倍。铁电材料目前仍是一种较新的功能材料,其功能特性尚待挖掘,未来铁电能量捕获仍有巨大的探索空间。

(下转第692页)

表2 实验数据(供电电压380 V)

运动周期 /s	虚拟主轴速度 /(°·s ⁻¹)	伺服电机最大速度 /(°·s ⁻¹)	从轴所需加/减速时 /s	远休止处最大位置 跟随误差	位置环比例参数 <i>P</i>
3.6	100	1 281	0.52	0.012°(0.001 6 mm)	10
1.2	300	3 850	0.216	0.011°(0.001 5 mm)	12
0.6	600	7 559	0.108	0.012°(0.001 6 mm)	15
0.4	900	11 085	0.075	0.019°(0.002 6 mm)	20

注:括号内数据为转换到滚珠丝杠一端的直线位移误差。

究同时也对观测结果进行了分析。

本研究从实验得到的数据如表2所示,由此可得:当虚拟主轴速度处于100 %s~900 %s时,通过调节位置环比例参数*P*,可以把伺服电机的跟随误差控制在0.005 mm内,实验结果符合要求。

5 结束语

本研究利用倍福伺服控制系统与滚珠丝杠平台相结合,采用电子凸轮功能实现推杆的直线往复运动。实验结果表明,在电机的额定速度范围内,基于电机伺服系统的电子凸轮获得了理想的速度和精度要求。

该实验结果为机械设备的柔性制造与独立伺服驱动提供了有益的借鉴。

参考文献(References):

- [1] 王 程,贺 炜. 凸轮机构CAD/CAM研究的回顾与展望[J]. 机械传动,2008,32(6):119-123.

- [2] 张巨勇,施浒立,潘玉良. 软件凸轮[J]. 杭州电子工业学院学报,2004,24(1):43-47.
- [3] 杨祥银,韦 勇. 电子凸轮控制器在机械压力机上的应用[J]. 锻压装备与制造技术,2008(1):52-57.
- [4] 宋华振. 贝加莱ACOPOS电子凸轮CAM在裁切方向的应用[J]. 国内外机电一体化技术,2008(1):52-57.
- [5] 陈利君. 倍福TwinCAT NC实用教程(pdf版)[M]. 上海:倍福自动化设备(上海)分公司,2005.
- [6] CHANG G K, CHEN T L, TSAY D M. Globoidal cam indexing servo drive control by IVSMFC with load torque estimator[J]. **Journal of Industry Applications**, 2002, 38(5): 1326-1333.
- [7] 伍宗富,王 立. 基于数字信号处理器的电子凸轮控制系统设计[J]. 电机与控制应用,2008,35(8):47-52.
- [8] 胡建平,陆桂良. 虚拟凸轮连杆组合机构连杆点轨迹规划[J]. 机械设计,2005,22(4):52-55.
- [9] 魏法明,年四甜,何雪明. 基于VC++的经编机共轭凸轮参数化设计[J]. 机电工程技术,2010,39(12):24-27,47.

[编辑:李 辉]

(上接第688页)

参考文献(References):

- [1] 徐泰然. MEMS和微系统—设计与制造[M]. 王晓浩,译. 北京:机械工业出版社,2004
- [2] 刘 路,解晶莹. 微能源[J]. 电源技术,2002,26(6):470-474.
- [3] ROUNDY S, RIGHT K W. A piezoelectric vibration based on generator for wireless electronics [J]. **Smart Material & Structure**, 2004(13):1131-1142.
- [4] SHENCK N S, PARADISO J A. Energy scavenging with shoe-mounted piezoelectrics [J]. **IEEE Micro**, 2000(21):30-42.
- [5] STEINHAUSEN R, KERN S, PIENTSCHKE C, et al. A new measurement method of piezoelectric properties of sin-

gle ceramic fibres [J]. **Journal of the European Ceramic Society**, 2010, 30(2):205-209.

- [6] ARMS S W, TOWNSEND C P, CHURCHILL D C, et al. Power management for energy harvesting wireless sensors [C]//Smart Structures and Materials 2005: Smart Electronics, MEMS, BioMEMS, and Nanotechnology, Proceedings of SPIE, 2005:108-115.
- [7] WANG L X, LIU R, MELNIK R V N. Modeling large reversible electric-field-induced strain in ferroelectric materials using 90° orientation switching [J]. **Science in China Series E-Technology Science**, 2009, 52(1):141-147.
- [8] 殷之文. 电介质物理学[M]. 2版. 北京:科学出版社, 2003.

[编辑:张 翔]