

基于压电效应的风力发电方法研究

成 立,李茂军,王鼎湘,李 雪

(长沙理工大学 电气与信息工程学院,湖南 长沙 410004)

摘 要:为实现利用压电材料进行环境能量转换的目的,设计了一种能利用风能驱动多片压电片振动发电的装置。该装置通过风能驱动叶轮旋转,利用叶轮的旋转扭力迫使压电片振动,将压电片振动产生的电能通过整流电路、储能电容及 DC-DC 转换后供负载使用。通过实验对压电片在不同条件下的发电性能进行了测试,实验结果表明,该装置可实现多片压电片对环境能量的收集转换,为此类装置的设计提供了参考,同时也为压电环境能量采集技术提供了新思路。

关键词:压电片;风能;振动;发电装置;能量采集

中图分类号:TN23 **文献标识码:**A

Study on Wind Power Generating Method Based on the Piezoelectric Effect

CHENG Li, LI Maojun, WANG Dingxiang, LI Xue

(College of Electrical and Information Engineering, Changsha University of Science and Technology, Changsha 410004, China)

Abstract: In order to realize the purpose of environmental energy conversion based on piezoelectric materials, a generating device was designed which could use wind energy to drive multiple piezoelectric patches vibration. The impeller revolving of the device was driven by wind energy, then the torque force of the revolve impeller was utilized to vibrate piezoelectric patches, finally the energy generated from piezoelectric patches were supplied for the load after rectifying, store and DC-DC convert. The power generation performance of piezoelectric patches were tested in different conditions, the experimental results showed that the device could collect and convert environmental energy by multiple piezoelectric patches, providing a reference for the design of such device, and new methods for environmental energy collection technology.

Key words: piezoelectric patches; wind power; vibration; generating set; energy collection

0 引言

随着能源紧缺与环境污染等问题的日益加剧,寻求一种更高效、清洁的供能方式已成为各国政府所关注的重要问题。压电材料受到压力作用便会在其两端产生电位差,即可将机械能转换成电能。利用压电材料采集环境能量具有结构简单,无电磁干扰,易加工制作^[1]等优点。目前压电发电技术正成为能量采集与应用领域的研究热点。

近年来,国内外学者对于压电材料发电技术的研究已取得了一定的成果。文献[2]利用环境的低频振动能量使压电片进行振动,从而给无线传感器供电。文献[3]对不同形状压电片的发电能力进行了分析,用于指导压电片形状的优化设计。文献[4]通过研究压电片在结构参数、支撑方式等因素影响

下的发电性能,设计了压电发电装置。文献[5-9]通过改变压电片的结构与形状等方法,降低压电片固有频率使其处于谐振状态,从而提高压电片的发电能力。目前研究的热点主要集中在收集及提高单体压电片的发电量,使其具备为微机电系统供电的能力上,但鲜有文献对通过收集利用多片压电片共同产生的能量以解决压电片发电量少、不连续等难题的方法进行研究。

本文设计了一种可利用风能来驱动多片压电片振动的装置,针对该装置的发电性能设计出相应的能量收集及转换电路,并根据该装置的工作特点对压电片的发电性能进行测试,提出一种利用长条金属材料将多片压电片固定成一组压力发电组件以保证其在振动过程中产生的能量不被相互抵消的方法。最后通过实验验证了利用该装置发电的可行性。

收稿日期:2014-06-18

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61074018)

作者简介:成立(1989-),男,湖南醴陵人,硕士生,主要从事智能控制技术的研究。E-mail:154864235@qq.com。李茂军(1964-),男,教授,博士,主要从事智能控制、人工智能在电力系统中应用的研究。

1 基于压电效应的风力发电装置设计

压电材料在受压产生形变后,在其表面出现异号极化电荷,从而产生电能。文中基于正压电效应理论^[10],设计出一种能利用风能来驱动压电材料发电的装置。该装置通过风能来驱动叶轮旋转,利用叶轮的旋转来给压电材料施压,使其产生形变。该装置主要由圆筒状壳体、旋转叶轮、传动轴及压电片构成。其结构如图1所示。

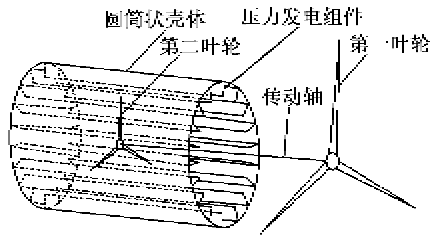


图1 装置结构示意图

圆筒状壳体的内壁面上设有多组压力发电组件(由多片压电片构成);壳体外设有第一叶轮,壳体的内部设有第二叶轮,第一叶轮经传动轴连接第二叶轮,传动轴与壳体的中心轴同轴;第二叶轮的叶片沿壳体的径向长度与压力发电片的长度之和略大于壳体的半径。通过风能来驱动第一叶轮旋转进而带动第二叶轮的旋转来触碰位于壳体内壁面上的压力发电组件,进而拨动压电片产生持续的振荡,压电片因压力形变在其表面出现异号极化电荷,从而产生持续的电能。

压电陶瓷晶片具有硬而脆的特点,故其尺寸一般制作较小,而压电片受压后产生的电荷量很少,在单体压电片面积受限的情况下,若要提高其发电能力,可采用多片压电片串、并联的结构方式。由于压电片产生的电流是交变的,若要让多片压电片发出来的电能得到累加,就必须让这些压电片保持步调一致的振荡,故本装置利用长条金属片将多片压电片固定起来形成一组压力发电组件。每组压力发电组件均进行单独整流,故无需考虑各组件间振动方向的异同。图2为了一组由3片压电片构成的压力发电组件。

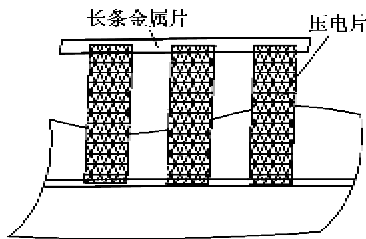


图2 压力发电组件

2 能量收集与转换电路设计

压电片的发电特性导致其无法直接为负载供电,故需将其产生的能量先收集起来再根据负载需求进行转换。能量收集与转换电路如图3所示,压电片产生的电流经全波桥式整流电路D整流后储存于电容 C_1 内, C_1 内的电能通过DC-DC转换芯片输出稳定的直流电压以供负载使用。DC-DC转换芯片采用MAXIM公司生产的MAX632,该芯片输入电压为1.5~12.6V,输出为12V,不仅满足本文所设计装置的要求,还具有效率高,功耗低,外围元件少及使用方便等特点。

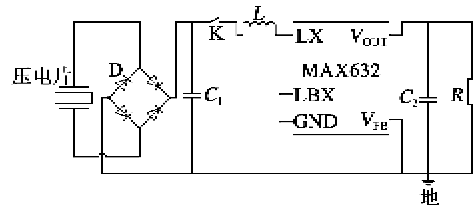


图3 能量收集与转换电路

3 压电片发电性能测试

本文选用PZT-5压电陶瓷片,该压电片由压电陶瓷和金属基片组成如图4所示。陶瓷片为50mm×35mm×0.2mm,金属基片为60mm×37mm×0.2mm。以下统一将金属基片上贴有压电陶瓷材料的一面称为该发电片的正面,另一面为反面。

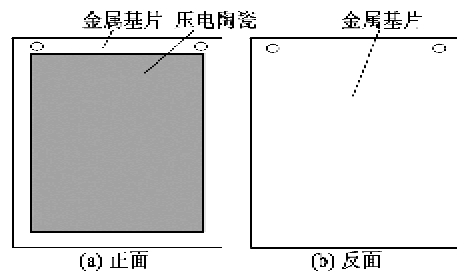


图4 压电陶瓷片

利用额定功率为90W的电动机模拟风能驱动叶轮旋转,由于叶轮的旋转速度会影响压电片的振动频率,故本文先对压电片在固定转速(300r/min)下的发电性能进行测试,再通过设置不同的叶轮旋转速度来检验该装置在不同风速下的发电性能。此外,用于固定多片压电片的长条金属片的尺寸为430mm×40mm×1mm。将压电片产生的电流整流后存入一个2mF的电容,利用示波器观测该电容电压从0升至10V,即产生0.1J能量所用时间

长短来对压电片的发电性能进行测试。

3.1 单片压电片发电性能测试

首先,从压电片的弯曲方向及弯曲曲率两方面对单片压电片在本装置中的发电性能进行测试。压电片一端固定在圆筒状壳体的内壁面,另一端与长条金属片固定,叶轮的旋转迫使压电片产生弯曲形变。先固定叶片旋转时与压电片的接触长度(0.5 cm),分别让叶片从压电片正面及反面进行拨动,然后固定叶片拨动压电片的方向(反面),设置两者间不同的接触长度,结果如表 1 所示。

表 1 单片压电片发电性能测试结果

| 施压方向 | 正面 | 反面 | 接触长度/cm | 0.5 | 1.0 | 1.5 | 2.0 |
|------|----|----|---------|-----|-----|-----|-----|
| 时间/s | 84 | 68 | 时间/s | 68 | 57 | 48 | 44 |

由表 1 可知,从反面对压电片进行拨动比正面拨动效果要好,这是由压电单晶片的构造决定,压电单晶片正反两面的不对称性导致其不同弯曲方向下压电材料产生电荷量大小的差异。在本文所设置的叶片与压电片接触长度范围内,两者间的接触长度正相关于压电片的发电效果,接触长度通过影响压电片的弯曲曲率,进而影响其发电效果。但接触长度越大,意味着压电片发生形变所需扭力也越大,同时对压电片的损耗也越大,故实际应用中要根据具体条件来设定。

3.2 压电片连接方式测试

选定叶片从反面对压电片进行拨动,设置两者间接触长度为 0.5 cm,对两片压电片在串联及并联两种连接方式下的发电性能进行测试,测试结果如表 2 所示。

表 2 压电片连接方式测试结果

| 连接方式 | 单片 | 两片串联 | 两片并联 |
|------|----|------|------|
| 时间/s | 68 | 59 | 52 |

由表 2 可知,在本实验装置中,压电片并联的效果优于串联。由于压电片具有高电压和低电流的发电特点,其发电电压已满足本文使用要求,故需通过并联方式来增大电流以加快其产生能量的速度,测试结果也验证了这一点。

3.3 压力发电组件及发电片连接数量测试

在本文设计的装置圆筒状壳体内设置多组压力发电组件,每组固定压电片的数目相同(6 片)并作为一个输入,每个输入进行单独整流后,将电能储存于电容。压力发电组件中各压力发电片之间采用并联连接。叶片拨动压电片的方向及两者的接触长度

与 3.2 节一致。测试结果如表 3、4 所示。

表 3 压电片连接片数测试结果

| 片数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|------|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 时间/s | 68 | 52 | 45 | 41 | 36 | 32 | 30 | 29 |

表 4 压力发电组件数目测试结果

| 组件数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|------|----|----|----|---|---|---|
| 时间/s | 32 | 20 | 12 | 9 | 6 | 4 |

由表 3 可知,在本文设置的压电片数量范围内,压力发电组件随着并联压电片数量的增加其发电效果也不断提高,但发电量并未与和压电片数量呈现倍数关系,且发电量在并联 6 片压电片后提高已不明显。这是因为本文虽然将一组压力发电组件中的压电片固定起来,使其振动的方向、幅度、频率保持一致,但压电材料在加工制作过程中并无法保证结构上的完全一致,这就导致了压电片在性能上的差异,使其难以达到理想的并联效果。由表 4 可知,压力发电组件的数量与发电量正相关,每组压力发电组件发电性能的优劣导致发电量无法随组件数量的增加得到规律性的提高,在条件许可的情况下可通过增加发电组件的数目来达到发电要求。

4 装置的发电性能测试

4.1 装置在不同转速下的发电性能测试

通过设置电动机转速即可模拟该装置在不同风速下的运行情况。在圆筒状壳体的内壁面上设置 6 组压力发电组件,每组安装 6 片压电片,每片之间采用并联连接,叶片拨动压电片的方向及两者的接触长度与 3.2 节一致。测试结果如表 5 所示。

表 5 装置在不同转速下发电性能测试结果

| 转速/(r/min) | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 时间/s | 12 | 7 | 4 | 4 | 5 |

由表 5 可知,在本实验设置的转速范围内,转速控制在 300 r/min 左右装置发电效果较好,既可保证各压电片的振动频率,同时也不会因过快的转速导致压电片每次振动的振幅过小。

4.2 装置的发电能力测试

图 5 为实验测试系统。设置 6 组压力发电组件,每组安装 6 片压电片,每片之间采用并联连接,旋转叶片与固定压电片的长条金属片接触长度为 0.5 cm,利用 90 W 电动机在转速为 300 r/min 的驱动下对压电片进行反面拨动,将压电片产生的电能储存于储能电容。该装置经过 30 min 的持续工作

后,将储存的电能经 DC-DC 转换芯片转化成稳定的直流 12 V 电压,可供 1 W 的节能灯额定功率下持续工作 50 s。若该装置产生的电能不经过 DC-DC 转换而直接连接 1 W 的节能灯,则只要该装置在运行,节能灯即可在非额定功率下持续发光。实际应用中可根据具体条件及负载需求对装置进行调整或改进。

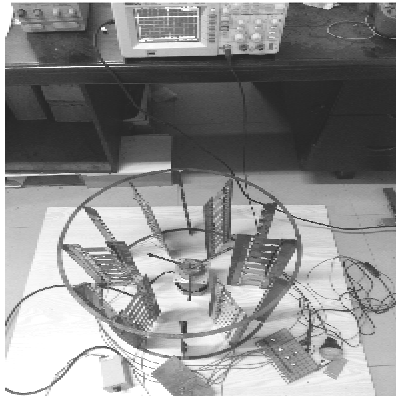


图 5 实验测试系统

5 结束语

本文设计了一种能利用风能驱动多片压电片振动而产生电能的装置,并针对该装置的工作特点对压电片的发电性能进行了测试。最后在本文所设置的实验条件下,对该装置的发电可行性进行了实验验证。结果表明,利用该装置可实现多片压电片对环境能量的收集转换。

参考文献:

- [1] 王剑,郭吉丰,郭帅,等. 压电发电技术研究综述[J]. 压电与声光,2011, 33(3): 394-398.
WANG Jian, GUO Jifeng, GUO Shuai, et al. A review of power generation technology using piezoelectric ceramics[J]. *Piezoelectrics & Acoustooptics*, 2011, 33(3): 394-398.
- [2] BEEBY S P, TUDOR M J, WHITE N M, et al. Energy harvesting vibration sources for microsystems applications[J]. *Measurement Science and Technology*, 2006, 17(12): 175-195.
- [3] 邓冠前,陈仲生,陶利民,等. 不同形状压电振子的振动发电行为研究[J]. 压电与声光, 2010, 32(3): 440-446.
- [4] DENG Guanqian, CHEN Zhongsheng, TAO Limin, et al. Study on vibration energy harvesting behaviors of piezoelectric cantilevers with different geometries[J]. *Piezoelectrics & Acoustooptics*, 2010, 32(3): 440-446.
- [4] 闫世伟,杨志刚,阚君武,等. 压电陶瓷能量转换系统[J]. 吉林大学学报:工学版, 2008, 38(2): 344-348.
YAN Shiwei, YANG Zhigang, KAN Junwu, et al. Energy conversion system with piezoelectric ceramic[J]. *Journal of Jilin University: Engineering and Technology Edition*, 2008, 38(2): 344-348.
- [5] 陈仲生,杨拥民. 悬臂梁压电振子宽带低频振动能量俘获的随机共振机理研究[J]. 物理学报, 2011(7): 074301.
CHEN Zhongsheng, YANG Yongmin. Stochastic resonance mechanism for wideband and low frequency vibration energy harvesting based on piezoelectric cantilever beams[J]. *Acta Physica Sinica*, 2011(7): 074301.
- [6] 赵兴强,温志渝. 基于压电材料的振动能量收集器的谐振频率调节[J]. 压电与声光, 2013, 35(2): 241-244.
ZHAO Xingqiang, WEN Zhiyu. Resonant frequency adjusting of vibration energy harvester based on piezoelectric materials[J]. *Piezoelectrics & Acoustooptics*, 2013, 35(2): 241-244.
- [7] 许颖颖,龚俊杰,宋子玲,等. 悬臂梁压电发电装置的实验研究[J]. 机械工程与自动化, 2012(1): 80-84.
XU Yingying, GONG Junjie, SONG Ziling, et al. Experimental study on power generation capacity of piezoelectric cantilever[J]. *Mechanical Engineering & Automation*, 2012(1): 80-84.
- [8] LALLART M, ANTON S, INMAN D. Frequency self-tuning scheme for broadband vibration energy harvesting[J]. *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, 2010, 21(9): 897-906.
- [9] ZHU D, TUDOR M J, BEEBY S P, et al. Strategies for increasing the operating frequency range of vibration energy harvesters: a review[J]. *Measurement Science and Technology*, 2010, 21(2): 022001-022029.
- [10] 张福学. 现代压电学 [M]. 上册. 北京: 科学出版社, 2001.