

文章编号 1004-924X(2008)01-0092-05

遥控器用压电发电装置的供电特性

唐可洪, 阚君武, 朱国仁, 邵承会, 杨志刚, 程光明
(吉林大学机械科学与工程学院, 吉林 长春 130025)

摘要:提出了利用压电发电装置替代电池为遥控器实时提供能量的技术方案。针对遥控器的操作方法和负载特性,采用脉冲激励和按压激励压电振子的实施方案,研究了压电振子在两种激励方式下对恒流负载的供电特性。结果表明,脉冲激励可获得更多的电能,适合于较大负载的工作场合。压电振子固有频率一定时,其有效工作时间随电流负载增加而缩短;电流负载一定时,存在最佳的压电振子固有频率使其有效供电时间最长。利用尺寸为 $50\text{ mm}\times 50\text{ mm}\times 0.5\text{ mm}$ 的悬臂梁型压电振子为汽车遥控器供电,1次脉冲激励生成的电能为 1.2 mJ ,可满足实际使用要求,信号传输距离达到 15 m 以上。

关键词:悬臂梁;压电振子;发电装置;供电;遥控器

中图分类号:TM919;TN384 **文献标识码:**A

Power-supply performance of piezoelectric generator for remote control

TANG Ke-hong, KAN Jun-wu, ZHU Guo-ren,
SHAO Cheng-hui, YANG Zhi-gang, CHENG Guang-ming

(College of Mechanical Science and Engineering, Jilin University, Changchun 130025, China)

Abstract: A piezoelectric electrical-energy generator was presented to provide endless and real-time electrical energy for remote control. In view of the operating method and load performance of remote control, the two exciting methods, pulse-excitation and press-excitation, were utilized to impulse a piezoelectric cantilever generator to generate electrical energy. The influence of electrical energy generation and Effective Duration of Power Supply (EDPS) of the two exciting methods on constant current load was investigated experimentally. The results show that the piezoelectric generator can obtain more electric energy and longer EDPS by pulse-excitation than that by press-excitation. When pulse-excitation is used, the EDPS decreases with the increasing of the current load. At the same time, there is an optimal natural frequency for the piezoelectric generator to obtain the longest EDPS on condition that the current load is constant. The electrical energy from the piezoelectric generator in size of $50\text{ mm}\times 50\text{ mm}\times 0.5\text{ mm}$ is up to 1.2 mJ , which is enough for a car remote control, and the information-transfer distance is longer than 15 m .

Key words: cantilever; piezoelectric element; electrical-energy generator; power supply; remote controller

收稿日期:2007-03-16;修订日期:2007-07-20.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(No. 50477003);吉林省科技发展计划项目(No. 20050316-2;No. 20070331)

1 引言

随着电子产品集成化的提高和功耗的降低,传统电池因其体积大、使用寿命短而逐渐不能满足使用要求;同时,废旧电池含有重金属,处理不当会造成严重的环境污染。因此,人们开始寻求电池的替代品—微型发电装置,其目的是在某些特殊的应用领域替代电池或自动为电池充电^[1-2]。目前,微型发电装置的研究已成为国际上一个新的热点,美国、日本、荷兰、英国等国家已经着手研制基于不同原理的微型发电装置,如压电^[3-4]、电磁^[5]及静电^[6]等为各类便携式微功率电器、传感器及监控系统提供能源。

利用每一种发电原理构造的发电装置都有其自身的特点和适用领域。压电发电装置的优点是结构简单、不发热、无电磁干扰、易于加工制作和实现结构上的微小化、集成化等,尤其适用于各类传感及监测系统。因以往压电材料的机电转换效率较低、电子器件所需功耗较大,压电发电功率不能满足使用要求。近年来随着材料科学和制造技术的发展,高性能、高机电转换效率的压电材料不断出现。同时,由于高集成化、低能耗电子器件和无线射频技术的出现,遥控器的发射能耗已降至0.5 mJ左右^[1],为压电发电技术在该领域的应用提供了必要的前提条件。

遥控器已成为现代生活的必需品,因其用量大、能耗较低,适合利用微型发电装置供电。本文提出利用悬臂梁型压电振子将机械能转换成电能为遥控器供电,研究了脉冲激励和按压激励状态下压电振子的发电能力及其供电特性,并以汽车遥控器为例进行了实际测试,证明了压电发电装置的输出功率可满足遥控器的使用要求。

2 压电振子结构及能量转换原理

利用电场作用下压电体发生形变的特性,已开发出压电泵、位移机构等多种驱动器^[7-8];本文通过施加外力使压电体表面产生电荷,进而构造压电发电装置。根据压电体极化方向与受应力方向的关系,压电发电装置分为 d_{33} 和 d_{31} 两种不同的模式。前者压电体的极化方向和所施加的外力方向相同,后者的极化方向和受力方向相互垂直。

虽然 d_{31} 模式的机电耦合系数相对较小,但在施加较小的外力时即可使薄片型压电振子获得较大的应变,故适用于振动频率较低、外力和尺寸较小的场合。本文采用图1所示的3叠片悬臂梁型压电振子作为能量转换器件,其中两个极化方向相同的压电晶片并联以增加电荷量。

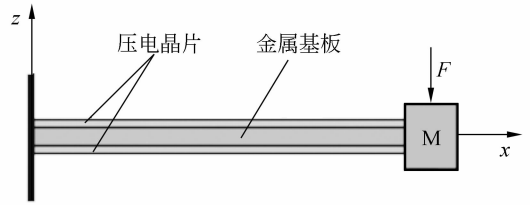


图1 悬臂型压电振子结构

Fig. 1 Structure of the piezoelectric cantilever

根据压电学理论,当压电振子自由端受外力作用而产生弯曲变形时,其表面便有电荷生成。压电体所受应力及产生电场的关系可表示为^[9]:

$$D_3 = \epsilon_{33}^T E_3 + d_{31} T_1, \quad (1)$$

$$S_1 = T_1 / E_p + d_{31} E_3, \quad (2)$$

式中, D_3 为电位移, E_3 为电场强度, d_{31} 为压电电荷常数, S_1 和 T_1 分别为 x 方向的应变和应力, E_p 为压电材料的杨氏模量。在一定的外力作用下,并联3叠片压电振子所产生的电荷及开路电压分别为^[1]:

$$Q_g = 3d_{31} \left(\frac{l}{t}\right)^2 F, \quad (3)$$

$$V_g = \frac{3}{4} g_{31} \frac{l}{tW} F, \quad (4)$$

式中, $F = \delta K$ 为所施加的外力, K 、 δ 分别为压电振子的刚度和自由端变形量; g_{31} 为压电电压常数; l 、 W 、 t 分别为压电振子的长度、宽度和总厚度。

式(3)、(4)给出的是压电振子一次弯曲变形所产生的电荷及电压。压电振子的几何尺度及材料一定时,增加外力/变形量及激励频率均可提高其单位时间的发电能力。作为遥控器的供电装置,最理想的情况是一次激励压电振子所产生的电量即能满足信号发射所需的能量要求。但实际上由于受遥控器体积的制约,压电振子的尺度和变形量不宜过大,一次激励所产生的电能很有限。因此,研究中应综合考虑压电发电装置的结构、激励方式以及工作负载等多方面因素,以提高压电发电装置的实际供电能力。本文着重研究压电振

子在不同激励方式下的供电特性及其影响因素。

3 压电振子激励方式及其供电特性

针对遥控器的操作特点,拟采用手动按压和脉冲激励两种方法激励压电振子实现机械能到电能的转化。脉冲激励时,一次激励可使压电振子保持一定时间的连续振动(发生多次弯曲变形);而利用手动按压激励时,压电振子端部随手指运动,不激发持续振动,施加一次外力只能使压电振子弯曲变形一次。因此,在相同的操作条件下(力或端部变形量),脉冲激励比按压激励产生更多的电能。激励方式决定了压电振子的发电能力,但其实际供电能力还与负载形式(恒流、常阻)及大小有关。

3.1 压电发电装置供电特性的评价方法

以往研究表明,压电发电装置的输出功率受负载电阻的影响很大,且存在最佳的电阻负载使其输出功率达到最大^[10],因此,不能抛开负载单独去研究压电发电装置供电能力。本文采用图 2 所示的原理,通过实验的方法研究压电振子在两种激励方式下的供电特性。

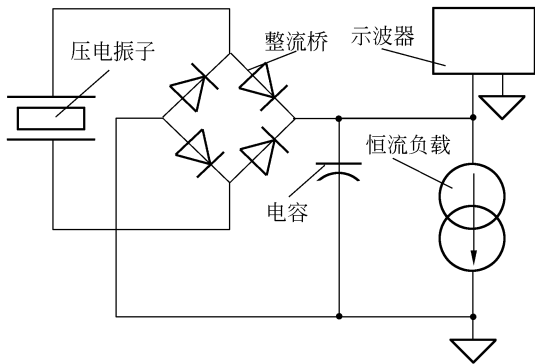


图 2 发电特性检测原理

Fig. 2 Test principle of electrical energy generation

实验中采用恒流负载模拟遥控器的工作特性,原因是恒流负载比常阻值负载更接近遥控器的实际工况,适合研究稳压工作类型负载条件下压电振子的发电特性。由于遥控器的通讯时间较短,仅为几十至几百毫秒,因此影响供电能力的因素是压电振子的瞬态特性,而非稳态特性;同时,遥控器集成电路的许用工作电压范围较窄,并非压电振子产生的全部能量都可用于通讯,因此不

宜采用总能量来评价压电发电装置的供电能力。本文采用能使遥控器集成电路有效工作的时间(即有效供电时间)来评价压电振子的供电特性,符合遥控器的实际工况。

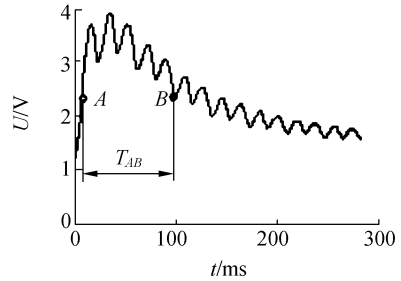


图 3 脉冲激励的有效供电时间

Fig. 3 EDPS by pulse excitation

图 3 是用示波器记录的脉冲激励时压电振子输出的动态电压响应信号,其中 A、B 两点间的时间(T_{AB})即为有效供电时间,A、B 两点所对应的电压是能使遥控器电路稳定工作的最低电压(V_{AB})。图中电压曲线的变化规律表明,脉冲激励状态下压电振子产生的波动电压存在峰值区域,实际中只有 T_{AB} 时段对应的电能可被有效利用。当压电振子输出电压的波谷低于 V_{AB} 时,集成电路处于不可靠状态,不能保证信号的正确传输。因此,有效供电时间代表的是压电振子的供电能力,而不是实际的发电能力。

下面就脉冲激励和按压激励两种情况,重点研究压电振子有效供电时间的影响因素。

3.2 脉冲激励的供电特性

实验中利用尺寸为 $40 \text{ mm} \times 15 \text{ mm} \times 0.5 \text{ mm}$ 的压电振子进行脉冲激励的供电特性研究,通过改变压电振子端部质量获得不同的固有频率。在相同的激励条件下,测得有效供电时间与压电振子固有频率及负载电流间的关系分别如图 4、图 5 所示。

图 4 中实验曲线变化趋势表明,电流负载一定时,存在一个最佳的压电振子固有频率使有效供电时间最长,且最佳固有频率随电流负载的减小而降低。因此,可通过调整压电振子固有频率来提高有效供电时间,电流负载越小,有效供电时间受压电振子固有频率的影响越大。当压电振子固有频率 $< 50 \text{ Hz}$ 时,对应于不同负载的有效供电时间差异较大,其原因是小负载电流时,波谷电

压低于最低工作电压的时刻比大负载电流迟若干个周期;当压电振子固有频率 >50 Hz 时,各电流负载对应的有效工作时间趋于恒定,因此供电可靠性高。

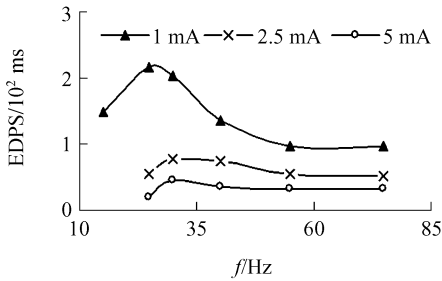


图 4 脉冲激励的有效供电时间与压电振子固有频率的关系

Fig. 4 EDPS vs. natural frequency of PZT element under pulse-excitation

图 5 中各曲线的变化趋势表明,电流负载较小时,有效供电时间随电流负载的增加而迅速降低;当电流负载增加到 5 mA 时,压电振子固有频率及电流负载对有效供电时间影响不大。这说明,在实验用压电振子的固有频率范围内,大负载电流时仅有前几个电压波峰参与供电,因此影响有效供电时间的主要因素不再是压电振子的固有频率,而是压电振子的结构尺度和所施加的外力/变形量。

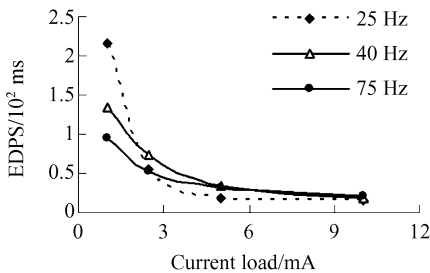


图 5 脉冲激励的有效供电时间与负载的关系

Fig. 5 EDPS vs. current load under pulse-excitation

3.3 按压激励的供电特性

按压激励实验所用压电振子及所受外力均与脉冲激励实验的相同。图 6、图 7 分别给出了有效供电时间与激励频率及负载关系。

手动按压激励时,压电振子端部随手指上下移动,激励频率即为单位时间内手指按压次数,实

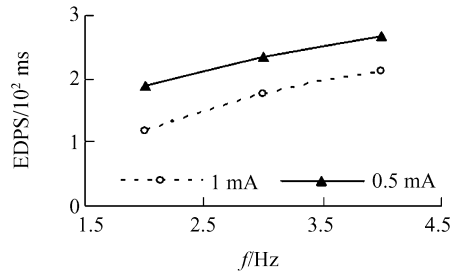


图 6 按压激励的有效供电时间与激励频率的关系
Fig. 6 EDPS vs. actuating frequency under press-excitation

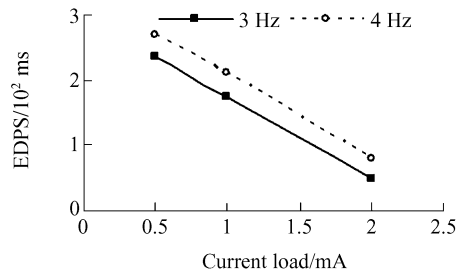


图 7 按压激励的有效供电时间与负载的关系
Fig. 7 EDPS vs. current load under press-excitation

际操作中仅能为 4~5 Hz。图 6 表明,由于手动按压激励方式近似于简谐激励,压电振子输出的动态电压的各个波峰/波谷彼此接近或相同,因此当电流负载较小时其有效供电时间较长,且随频率的增加而延长;但由于激励频率较低,单位时间内压电振子提供的电流较少,负载增加时,有效供电时间急剧下降。由图 7 中曲线的变化趋势可以看出,按压激励频率为 4 Hz 时所能驱动的最大电流负载仅为 2.5 mA 左右,而图 5 中脉冲激励的可驱动的负载电流可达 10 mA 以上。可见,按压激励不适合较大负载电流的应用。

3.4 压电发电供电遥控器的实验测试

为验证压电发电装置的供电能力,以商用汽车遥控器为例进行了实验测试。实验中利用多种尺度的压电振子供电,以信号能否成功发射为判断依据,分别测试了脉冲激励和按压激励的供电效果。压电振子尺寸较小时,两种激励方式产生的电能均不能满足遥控器发射功率的需求;压电振子尺寸增至 50 mm \times 50 mm \times 0.5 mm 时,一

次脉冲激励能产生 1.2 mJ 的电能,可满足遥控器信号发射所需的功率要求,信号传输距离达 15 m 以上;而按压激励压电振子产生的电能尚不能满足遥控器控制信号成功发射,再次说明了按压激励压电振子直接供电能力较弱。

4 结 论

压电发电装置因其结构紧凑、使用周期长、无污染、无电磁干扰等特性,在不久的将来有望成为电池的替代品,为各类微机电系统及低功率无源

传感器提供动力。本文的研究表明,压电发电装置的有效供电时间取决于负载、压电振子尺度及激励方式等多种因素,因此必须根据遥控器所需的发射功率、通讯时间及使用频度等确定合理的压电振子结构及相应的激励方式。在负载电流和压电振子结构尺寸一定的情况下,脉冲激励比按压激励获得的电能多,有效供电时间长。脉冲激励 50 mm×50 mm×0.5 mm 压电振子产生的电能为 1.2 mJ,可使汽车遥控器信号传输距离达 15 m 以上,证明了压电发电装置为遥控器供电的可行性。

参考文献:

- [1] DONK R H. *Design of an Alternatively Powered Remote Control* [D]. Delft University of Technology, 2000.
- [2] NATHAN S S, JOSEPH A P. Energy scavenging with shoe-mounted piezoelectrics [J]. *IEEE*, 2001, 21(3):30-42.
- [3] KIM S, CLARK W W, WANG Q M. Piezoelectric energy harvesting using a diaphragm structure [J]. *SPIE*, 2003, 5055:307-318.
- [4] SODANO H A, PARK G, LEO D J, *et al.*. Use of piezoelectric energy harvesting devices for charging batteries [J]. *SPIE*, 2003, 5050:101-108.
- [5] GLYNNE-JONES P, TUDOR M J, BEEBY S P, *et al.*. An electromagnetic, vibration-powered generator for intelligent sensor systems [J]. *Sensors and Actuators A*, 2004, 110:344-349.
- [6] MITCHESON P D, MIAO P, STARK B H, *et al.*. MEMS electrostatic micropower generator for low frequency operation [J]. *Sensors and Actuators A*, 2004, 115 :523-529.
- [7] KAN J W, XUAN M, LIU G, *et al.*. Performance of a serial-connection multi-chamber piezoelectric micropump [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2005, 13(5):535-541.
- [8] 曾平,温建明,程光明,等.新型惯性式压电驱动机构的研究[J]. *光学 精密工程*, 2006, 14(4):623-627.
ZENG P, WEN J M, CHENG G M, *et al.*. Research on novel inertial piezoelectric actuator [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2006, 14(4):623-627. (in Chinese)
- [9] NG T H, LIAO W H. Sensitivity analysis and energy harvesting for a self-powered piezoelectric sensor [J]. *Journal of Intelligent Material System and Structure*, 2005, 16:785-797.
- [10] ROUNDY S, WRIGHT P K, RABAHEY J. A study of low level vibrations as a power source for wireless sensor nodes [J]. *Computer Communications*, 2003, 26: 1131-1144.

作者简介:唐可洪(1952—),吉林长春人,副教授,主要从事压电驱动与控制技术研究。E-mail:tangkh@jlu.edu.cn

通讯作者:阚君武(1965—),男,吉林榆树人,副教授,主要从事压电驱动与控制技术研究。E-mail:kanjw@jlu.edu.cn