

一种宽频带复合悬臂梁能量收集装置

田 珺,薛海斌,吕玉祥

(山西太原理工大学 物理与光电工程学院,山西 太原 036000)

摘要:基于 ANSYS Workbench 15.0 有限元分析软件,建立了复合悬臂梁和多层悬臂梁两种发电装置的有限元模型,分析了其静力学、模态、瞬态动力学以及谐响应特性,并比较了两种发电装置的发电能力和共振频带。结果表明,在相同约束条件下,复合悬臂梁结构发电装置的发电量优于多层悬臂梁结构,并且复合式悬臂梁结构可将共振频带由一个点扩展到一个区间。

关键词:压电效应;ANSYS Workbench;共振频带;宽频带能量收集装置

中图分类号:TB34;TM60

文献标识码:A

DOI:10.11977/j.issn.1004-2474.2018.01.025

A Wideband Composite Cantilever Beam Energy Collection Device

TIAN Jun, XUE Haibin, LYU Yuxiang

(School of Physics and Optoelectronic Engineering, Taiyuan University of Technology Academy, Taiyuan 036000, china)

Abstract:Based on ANSYS Workbench 15.0 finite element analysis software, the finite element models of two kinds of generator with the composite cantilever structure and multi-layer cantilever structure were established in this paper. The static, modal, transient dynamics and harmonic response characteristics are analyzed, and the generation capacity and resonance frequency band of two kinds of generator were compared. The results show that the power generation capacity of the generator with composite cantilever beam structure is better than that of multi-layer cantilever structure under the same constraint condition. Moreover, the resonance frequency band of composite cantilever beam structure can be extended from one point to a range.

Key words:piezoelectric effect;ANSYS Workbench;resonance frequency band;wideband energy collection device

0 引言

目前,无线传感网络(WAN)普遍由电池供电,电池寿命有限,某些场合更换电池不方便。如给一个节点数庞大的无线传感网络供电需要大量电池,这样更换电池不仅成本高,且会影响无线传感网络的应用。因而振动能量回收技术引起人们的广泛关注^[1],其中获取电能最有效的方式包括电磁式、压电式和静电式。压电发电由于结构简单,发电量相对较高及不发热等优点已备受关注^[2-7]。目前,压电发电技术在发电能力上已有很大改善,但在提高发电质量方面还需进一步提高。如选择合适的压电片与基板厚度的结构尺寸^[8]、蝴蝶式多层悬臂梁结构^[9]以及叠堆式悬臂梁结构^[10-12]都可以提高相应压电悬臂梁发电装置的发电能力。但这些仅在某一固定频率下才能实现,从而限制了其实际应用。针对传统多层发电结构的局限性,本文设计了多层悬臂梁和复合悬臂梁两种发电装置,并基于 ANSYS

Workbench 15.0 有限元分析软件建立相应的有限元模型,通过对这两个装置的静力学、模态、谐响应、瞬态动力学、ACT(ANSYS 中作压电分析的模块)压电分析可知,复合悬臂梁结构的发电装置在保证发电量的前提下,由多层悬臂梁结构的共振点拓宽为一个共振频带。

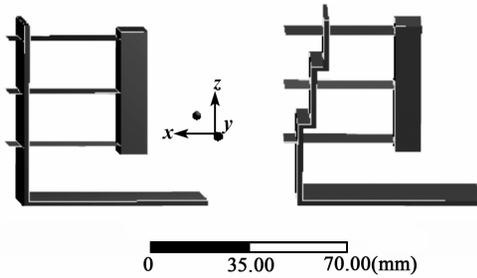
1 压电发电装置模型

多层悬臂梁结构采用 3 层悬臂梁和 1 个质量块(见图 1(a)),复合悬臂梁结构相对多层悬臂梁只有悬臂梁有效长度有变化,其余基本保持一致(见图 1(b))。单层悬臂梁包括压电片和基板组成,压电片和基板的长、宽都相同,两种结构的创新点在于摆脱了传统悬臂梁与质量块一对一的模式,多个悬臂梁对应一个质量块,这样可以保证每个悬臂梁振型相同,压电片和基板长、宽相同,这样提高了压电片的有效长度,可以增大发电量。复合悬臂梁结构相对多层悬臂梁只有压电片有效长度有变化,这样不同

收稿日期:2017-04-25

作者简介:田珺(1994-),男,山西朔州人,硕士生,主要从事测控技术研究与应用。通信作者:吕玉祥(1964-),男,山西吕梁人,教授,硕士,主要从事应用电子技术的研究。

长度的压电片在同一个质量块带动下振动,每层压电片固有共振频率不同,同一质量块的振动下可以达到拓宽频带的目的。



(a) 多层悬臂梁结构图 (b) 复合悬臂梁结构图

图 1 多层悬臂梁结构图与复合悬臂梁结构图

2 有限元仿真分析

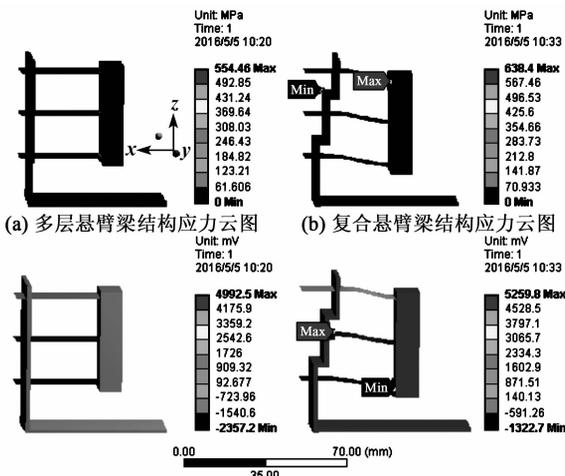
利用 ANSYS Workbench 15.0 有限元软件进行仿真分析基本参数如表 1 所示。每个悬臂梁采用单压电材料结构形式,即只在悬臂梁的单面黏贴压电陶瓷,每个悬臂梁的实际长度均为 60 mm,图 1(a)的有效长度(支架到质量块的距离)为 50 mm,图 1(b)悬臂梁的有效长度从下向上依次减小 10 mm。

表 1 模型的基本参数

组成	材料	密度/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	弹性模 量/GPa	泊松 比	长/ mm	宽/ mm	厚/ mm
基板	铁铜	8 230	130	0.42	60	30	0.02
压电片	PZT-5H	7 500	62	0.32	60	30	0.04

2.1 静力学分析

对多层悬臂梁结构和复合悬臂梁结构质量块最左端的边施加 3 mm 竖直向下的位移,每个悬臂梁的压电片与基板、悬臂梁与质量块、悬臂梁与支架之间设为绑定接触。经分析计算得到整体的应力云图、压电云图,如图 2 所示。



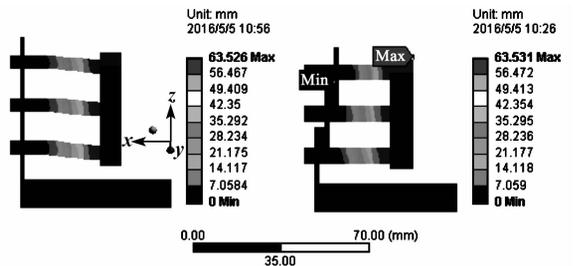
(c) 多层悬臂梁结构压电云图 (d) 复合悬臂梁结构压电云图

图 2 两种悬臂梁结构的应力云图与压电云图

由图 2 可知,在施加 3 mm 位移的条件下,多层悬臂梁结构压电片最大应力为 554 MPa,复合悬臂梁结构最大应力较大(638 MPa),这是由悬臂梁有效长度不同造成的。两个结构的单个悬臂梁发电量不同,多层悬臂梁结构总体发电量为 8.3 V,复合悬臂梁结构总的发电量为 9.6 V。由此可知,复合悬臂梁结构的发电量更高。

2.2 模态分析

模态分析主要描述结构固有频率和振型。通过有限元分析两种结构的一阶振型均保持振动状态,从二阶振型后的振型均发生扭曲,所以只取一阶振型研究。在网格划分保持一致的前提下,分析计算一阶模态。图 3 为两种结构的一阶振型。表 2 为装置的前六阶固有频率。



(a) 多层悬梁结构位移云图 (b) 复合悬臂梁结构位移云图

图 3 多层悬梁结构与复合悬臂梁结构的位移云图

表 2 两种结构的六阶固有频率

结 构	频率/Hz					
	一阶	二阶	三阶	四阶	五阶	六阶
多层悬臂梁结构	16	218	452	988	1 169	1 434
复合悬臂梁结构	17	252	529	1 032	1 051	1 267

由图 3 可知,多层悬臂梁结构和复合悬臂梁结构共振时位移基本保持一致,由表 2 还可知,多层悬臂梁结构一阶共振频率为 16 Hz,复合悬臂梁结构一阶共振频率为 17 Hz,两种结构的一阶共振频率相差不大(1 Hz 左右),达到共振条件时振幅基本保持一致。所以,结构的改变对频率影响不大。

2.3 瞬态动力学分析

瞬态动力学分析是分析结构在随时间任意变化的载荷作用下动力响应过程的技术。通过有限元分析,在质量块的上表面施加一个正弦压力($\sin(3.14 t)$ MPa)载荷,时间为 1 s。通过分析比较在 0~1 s 时两种结构最佳位移和发电量。图 4 为两种结构的位移云图及压电云图。

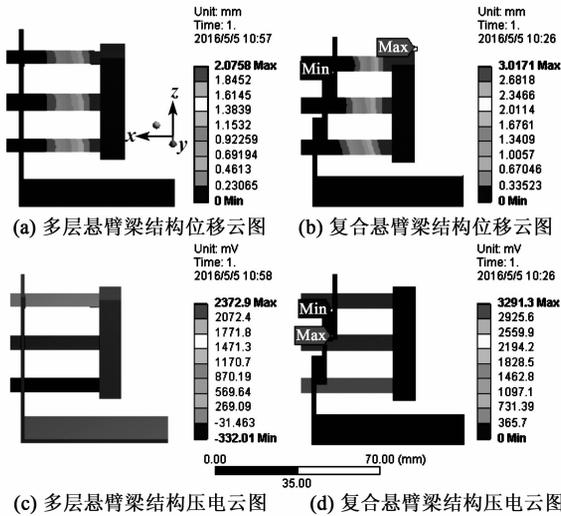


图4 两种悬臂梁结构的位移云图与压电云图

由图4可知,施加相同载荷的条件下,多层悬臂梁结构的位移最大约为2 mm,而复合悬臂梁结构的位移最大约为3 mm。多层悬臂梁结构总的发电量为3.5 V,复合悬臂梁结构的总发电量为7 V,是多层悬臂梁结构的2倍,发电量明显优于多层悬臂梁结构。

2.4 谐响应分析

谐响应分析也称为频率响应分析,通过谐响应分析可以了解振动情况,给2种结构质量块上表面施加0.15 MPa的压力,观察0~50 Hz之间的振动趋势。图5为两种结构的压电云图。图6为两种结构的共振频率。

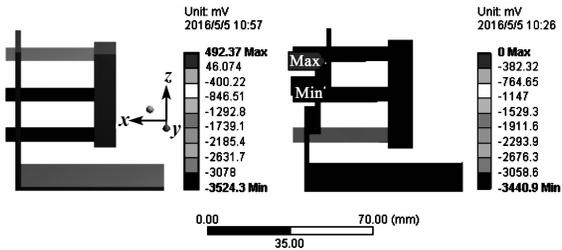


图5 多层悬臂梁结构与复合悬臂梁结构的压电云图

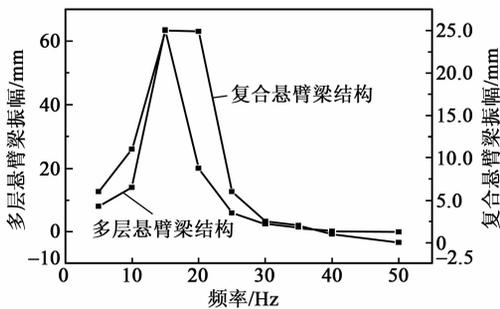


图6 两种结构的共振频率

由图5可知,在达到共振时多层悬臂梁结构总

的发电量为4.9 V,复合悬臂梁结构总的发电量为7.2 V(电压大小取图中所示电压数值的绝对值,与符号无关)。由图6可知,多层悬臂梁结构在16 Hz达到共振,共振频率为一个点。复合悬臂梁结构在15~20 Hz之间都保持共振,共振频率由一个点变为一个区间,拓宽了共振频带。

3 结束语

综合以上仿真结果,在施加相同位移(3 mm)的条件下,复合悬臂梁结构与多层悬臂梁结构在总体发电量基本相同,共振频率相差不大的前提下,施加相同压力载荷,复合悬臂梁结构发电量比多层悬臂梁结构好。此外,复合悬臂梁结构拓宽了共振频带,由多层悬臂梁结构的一个共振点拓宽为15~20 Hz的频带。

参考文献:

- [1] 马宗正,王新莉.基于温差发电技术的发动机能量回收研究[J].电源技术,2014,40(10):20-40.
- [2] KORLA S, LEON R A, TANSEL I N, et al. Design and testing of an efficient and compact piezoelectric energy harvester[J]. Microelectronics Journal, 2011, 42(2):265-270.
- [3] 孟庆春,陈光柱.自供电无线传感网络节点设计[J].仪表技术与传感器,2012,10(7):102-104.
- [4] JI H L, MA Y, QIU J H, et al. Optimal design of high efficiency piezoelectric energy harvester[J]. Optics Precision Engin, 2008, 16(12):23-47.
- [5] 龚俊杰,阮志林,李康超,等.新型多层悬臂梁压电发电装置发电性能研究[J].机械工程学,2008,10(5):135-142.
- [6] SALEM S, OTHMAN S. A review of vibration-based MEMS piezoelectric energy harvesters [J]. Energy Conversion and Management, 2011(52):500-504.
- [7] 阙君武,唐可洪,任玉,等.压电单晶梁发电机的能量效率[J].光学精密工程,2008,16(12):2398-2405.
- [8] HALIM M A, PARK J Y. Theoretical modeling and analysis of mechanical impact driven and frequency up-converted piezoelectric energy harvester for low-frequency and wide-bandwidth operation[J]. Sens Actuators A, 2014, 20(8):56-65.
- [9] 王光庆.压电叠堆式发电装置的建模与仿真分析[J].中国机械工程,2009,20(19):2298-2303.
- [10] MAKIHARA K, ONODA J, MIYAKAWA T. Low energy dissipation electric circuit for energy harvesting [J]. Smart Materials and Structures, 2006, 15(20):1493-1498.
- [11] MOHAMMADI F, KHAN A, CASS R B. Power generation from piezoelectric lead zirconate titanate fiber composites [J]. Mrs Online Proceedings Library Archive, 2002, 23(14):736-739.
- [12] CHURCHILL D L, HAMEL M J, TOWNSEND CP, et al. Strain energy harvesting for wireless sensor networks[C]//USA: Proc Smart Struct and MaterConf, 2003, 50(55):319-327.