

压电叠堆式发电装置的建模与仿真分析

王光庆

浙江工商大学,杭州,310018

摘要:提出一种利用压电叠堆进行机电能量转换的压电发电装置,并采用压电振动理论和杆的波动理论建立了发电装置的机电耦合分析模型以及输出电压、电流与压电叠堆受力之间的关系表达式。基于该模型研究了压电叠堆结构尺寸、材料参数、外力激振频率和幅值、系统惯性质量和弹簧刚度等对装置发电性能的影响规律。研究结果表明:外力激振幅值越大,压电叠堆产生的输出电压也大,当激振信号频率与装置的谐振频率一致时,发电装置的输出电压、输出电流达到最大;在激振信号频率一定的情况下,当压电叠堆的长度和截面面积满足其频率方程时,压电叠堆将产生谐振,此时,其输出电压、输出电流最大;当发电装置的负载与其阻抗匹配时,发电装置的机电转换效率达到最大。

关键词:压电叠堆;压电发电;波动理论;机电能量转换

中图分类号:TH132;TN384

文章编号:1004—132X(2009)19—2298—07

Modeling and Simulation of a Piezoelectric Stacked Generator

Wang Guangqing

Zhejiang Gongshang University, Hangzhou, 310018

Abstract: A piezoelectric generator based on the piezoelectric stack electro—mechanical energy conversion was proposed. The electro—mechanical coupling model of the generator and the relationship between the deduced voltage and the exciting force of the stack were deduced based on the piezoelectric vibration theory and one—dimensional wave theory. The effects on the power performance of piezoelectric stack physical parameters, such as the amplitude and frequency of the force, the mass and the stiffness of the mechanical system were studied. The research results show that the bigger the force, the larger the power ability, and when the frequency of the exciting force is according with the resonant frequency of the generator, the power ability of the generator is maximum. And if the length and area of the piezoelectric stack is suitable for the resonant frequency of the generator, the power ability is maximum. Moreover, if the load impedance matches the equivalent impedance of the generator, the electro—mechanical energy conversion efficiency of the generator is maximum.

Key words: piezoelectric stack; piezoelectric generator; wave theory; electro—mechanical energy conversion

0 引言

压电发电是利用压电陶瓷的正压电效应来实现机械能向电能的转换,压电发电装置通过压电材料收集环境振动的能量然后将其转换成可以替代电池为微电子产品(如传感网络节点)供电的电能。与传统的电磁发电方法相比,压电发电装置具有结构简单、体积小、无污染、成本低、能量密度大等优点,已经引起了人们的广泛关注,并成为 MEMS 研究领域中的一个热点^[1-4]。压电发电按激励方式可分为惯性自由振动式、冲击自由振动式和强制振动式 3 种^[5-7]。惯性自由振动式发电机是在悬臂梁压电换能器的自由端附加集中质量块,二者构成弹簧质量系统,该发电方式的发电能

力较弱,但具有较长的振动持续时间,可以用来吸收环境振动能,提供持续的电能供应,目前已在扬声器、公路隧道视线导航标识上得到应用。冲击自由振动式发电机利用自由振动金属球撞击压电振子,使之产生弯曲振动,该发电方式能够产生瞬间的大电流,在压电打火机上用得较多。强制振动式发电机则通过施加外力迫使压电换能器的振子产生变形来获得能量,已在压电发光扇和压电发光显示装置上得到应用。目前,关于惯性自由振动式压电发电的研究比较多^[8-11],但这种装置产生的电能相对较小,不能直接为大部分电路提供驱动能量。

笔者利用压电叠堆研制了一种强制振动式发电装置,与惯性自由振动式发电装置相比,叠堆式发电装置具有较高的机电转换率和能量转换密度,在集成器件中应用比较多。为有效预测发电

收稿日期:2008—12—12

基金项目:浙江省自然科学基金资助项目(Y1080037);浙江省教育厅科研项目(20070636)

装置的性能,本文利用压电振动理论和杆的波动理论建立了该装置的机电耦合分析模型,并分析了压电叠堆结构尺寸、激振信号频率和幅值,以及惯性质量等对该发电装置发电性能的影响。研究结果可为叠堆式发电装置结构的优化设计提供理论依据。

1 压电叠堆式发电装置结构

压电叠堆式发电装置的结构如图 1 所示,它是典型的强制振动式发电装置,整个装置由压电叠堆、激振杆、球铰、预压弹簧、力传感器、调节螺母和连接杆等构成。

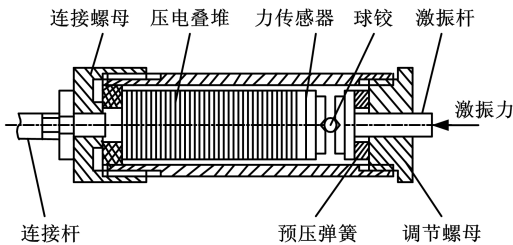


图 1 压电叠堆式发电装置结构图

激振杆将外部激振力 F 传递给压电叠堆,使其受力变形后产生电荷输出,实现机电能量转换;球铰用来连接压电叠堆和输出杆,并阻隔输出杆可能传入的弯曲载荷,防止压电叠堆损坏;力传感器用来检测压电叠堆的受力大小;调节螺母用于调节压电叠堆的预压力大小;连接杆将发电装置安装固定在基座上,它不向压电叠堆传递外力,只起连接固定作用。

压电叠堆由 255 片尺寸为 $\phi 16\text{mm} \times 10\text{mm}$ 、厚度为 0.188mm 的压电陶瓷圆环按电学并联和机械串联方式黏结而成,其极化方向两两相对,且在压电叠堆的末端有一压电力传感器,用于感应外界环境振动的变化。压电叠堆外用环氧树脂作为绝缘保护层,整个压电叠堆的总长度为 50mm 。

2 发电装置的机电耦合模型

2.1 模型假设

- (1)各压电陶瓷片之间是理想黏结的,黏结层的能量损耗可以忽略。
- (2)忽略压电叠堆漏电电流的影响。
- (3)压电叠堆受到恒定预压力 F_0 作用产生的电荷由于受到叠堆内部电场的束缚,无法形成电流,即

$$I_0 = \frac{dQ_0}{dt} = \frac{d(nd_{33}F_0)}{dt} = 0 \quad (1)$$

式中, n 为压电片数; d_{33} 为压电常数。因此,预压力不能使压电叠堆产生电能输出,可以

忽略预压力对发电装置的影响。

- (4)连接杆只起固定发电装置的作用,不向压电叠堆传递外力,即压电叠堆左端固定,不产生位移和变形。

2.2 机电耦合模型

根据模型假设和图 1 所示结构,可将发电装置等效为由压电叠堆和弹簧、质量、系统阻尼组成的机电耦合系统,如图 2 所示。图中, $V(t)$ 、 $I(t)$ 为压电叠堆产生的电压和电流; m 、 c 、 K 分别为激励杆质量、系统阻尼、预压弹簧刚度; Z_m 为机械结构的等效阻抗; F_m 为激振力幅值; ω 为激振力角频率; u_z 为压电叠堆的轴向振动位移。压电片厚度为 t_p ;压电叠堆总长度为 l 。

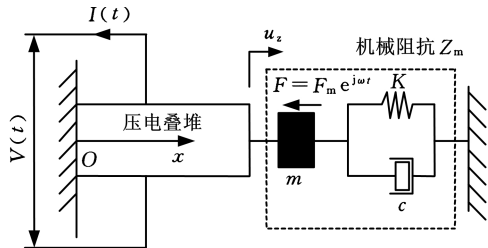


图 2 压电发电装置等效分析模型

由于压电叠堆的极化方向(压电叠堆轴向)沿 x 轴方向,因此,压电方程可以简化为

$$S_3 = S_{33}^E T_3 + d_{33} E_3 \quad (2)$$

$$D_3 = d_{33} T_3 + \epsilon_{33} E_3 \quad (3)$$

式中, E_3 、 D_3 分别为轴向电场强度和电位移; S_3 、 T_3 分别为轴向应变和应力; S_{33}^E 为恒定电场下的弹性柔性系数; ϵ_{33} 为自由状态下的介电常数。

由压电振动理论和一维波动方程可以得到压电叠堆的轴向振动方程^[12-14]:

$$\frac{\partial^2 u_z(x,t)}{\partial t^2} = \frac{1}{\rho S_{33}^E} \frac{\partial^2 u_z(x,t)}{\partial x^2} \quad (4)$$

式中, ρ 为压电堆等效质量密度; $u_z(x,t)$ 为轴向位移,即图 2 中的 u_z 。

解式(4)得

$$u_z(x,t) = (A \cos kx + B \sin kx) e^{j\omega t} \quad (5)$$

$$k = \omega \sqrt{\rho S_{33}^E}$$

式中, A 、 B 为待定常数。

压电叠堆边界条件为

$$u_z(x,t) \big|_{x=0} = 0 \quad (6)$$

$$T_3(x,t) \big|_{x=l} = \frac{F - Z_m \dot{u}_z(l,t)}{S} \quad (7)$$

$$Z_m = c + j m (\omega^2 - \omega_n^2) / \omega \quad \omega_n = \sqrt{K/m}$$

$$c = 2m\xi\omega_n$$

式中, ω_n 为弹簧质量系统的固有频率; S 为压电堆横截面积; ξ 为阻尼系数。

由式(6)得 $A = 0$,则式(5)可以简化为

$$u_z(x,t) = B \sin kx e^{j\omega t} \quad (8)$$

由式(2)得

$$T_3 = \frac{S_3 - d_{33} E_3}{S_{33}^E} \quad (9)$$

因压电叠堆没有外加激励电压, 则 $E_3 = 0$, 即

$$T_3 = \frac{S_3}{S_{33}^E} \quad (10)$$

由式(8) 可得压电叠堆的轴向应变和振动速度分别为

$$S_3(x, t) = \frac{\partial u_z(x, t)}{\partial x} = Bk \cos kx e^{j\omega t} \quad (11)$$

$$\dot{u}_z(x, t) = \frac{du_z(x, t)}{dt} = Bj\omega \sin kx e^{j\omega t} \quad (12)$$

联立式(7)、式(10)、式(11) 和式(12) 得

$$B = \frac{F_m S_{33}^E}{Sk \cos kl + Z_m S_{33}^E j\omega \cos kl} \quad (13)$$

则压电叠堆的轴向振动方程、轴向应变和应力表达式分别为

$$u_z(x, t) = \frac{F_m S_{33}^E}{Sk \cos kl + Z_m S_{33}^E j\omega \sin kl} \sin kx e^{j\omega t} \quad (14)$$

$$S_3(x, t) = \frac{\partial u_z(x, t)}{\partial x} = \frac{F_m k S_{33}^E}{Sk \cos kl + Z_m S_{33}^E j\omega \sin kl} \cos kx e^{j\omega t} \quad (15)$$

$$T_3(x, t) = \frac{S_3(x, t)}{S_{33}^E} = \frac{F_m k}{Sk \cos kl + Z_m S_{33}^E j\omega \sin kl} \cos kx e^{j\omega t} \quad (16)$$

将式(16) 代入式(3) 得到压电叠堆的电位移:

$$D_3(x, t) = T_3(x, t) d_{33} = \frac{d_{33} F_m k}{Sk \cos kl + Z_m S_{33}^E j\omega \sin kl} \cos kx e^{j\omega t} \quad (17)$$

根据模型假设, 由于忽略黏结层的能量损耗, 则压电叠堆产生的电荷量为

$$Q(t) = \int_0^l SD_3(x, t) dx = \frac{d_{33} F_m S}{Sk \cos kl + Z_m S_{33}^E j\omega \sin kl} \sin kl e^{j\omega t} \quad (18)$$

由此产生的电流为

$$I(t) = \frac{dQ(t)}{dt} = \frac{Sd_{33} F_m j\omega}{Sk \cos kl + Z_m S_{33}^E j\omega \sin kl} \sin kl e^{j\omega t} \quad (19)$$

由于压电叠堆是由 $n = 255$ 片厚度为 t_p 的压电片通过机械上串联、电学上并联构成的, 则压电叠堆的等效电容

$$C_p = n\epsilon_0 \epsilon_p S/t_p \quad (20)$$

式中, ϵ_0 为真空介电常数; ϵ_p 为压电陶瓷相对介电常数。

由式(18) 和式(20) 可得压电叠堆的输出电压

$$V(t) = \frac{Q(t)}{C_p} = \frac{Q(t)t_p}{n\epsilon_0 \epsilon_p S} = \frac{Sd_{33} F_m t_p}{n\epsilon_0 \epsilon_p S(Sk \cos kl + Z_m S_{33}^E j\omega \sin kl)} \sin kl e^{j\omega t} \quad (21)$$

由式(19) 和式(21) 可见发电装置的输出电压、电流与叠堆长度 l 、截面面积 S 、激振力幅值 F_m 、激振力角频率 ω 、压电常数 d_{33} 、弹性柔性系数 S_{33}^E 、激励杆质量 m 和系统阻尼系数 ξ 等有密切关系。

2.3 阻抗匹配与机电转换效率

为使发电装置最大效率地为负载供电, 需对发电装置进行阻抗匹配。当发电装置外接负载时, 可将图 2 压电叠堆等效成图 3 所示电路。图中虚线部分表示压电叠堆, 它可用恒流源 I 和等效电容 C_p 并联表示, Z 为外接负载阻抗, V 为压电叠堆输出电压, I_z 为流经负载的电流。 I 、 C_p 、 V 可分别由式(19)、式(20) 和式(21) 确定。则负载的输出功率为

$$P_Z = \frac{1}{2} Z I_z^2 = \frac{1}{2} Z \left(\frac{Z_{cp} I}{Z + Z_{cp}} \right)^2 \quad (22)$$

$$Z_{cp} = \frac{1}{j\omega C_p}$$

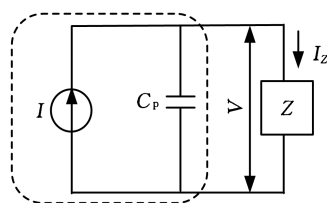


图 3 压电叠堆等效电路图

为了使负载吸收的能量最大, 负载阻抗需与发电装置的等效阻抗相匹配, 即

$$\frac{dP_Z}{dZ} = 0 \quad (23)$$

将式(22) 代入式(23) 得

$$Z = Z_{cp} = \frac{1}{j\omega C_p} \quad (24)$$

根据式(24) 可知, 若为纯电阻负载, 则 $R = |Z| = 1/(\omega C_p)$, 若为容性负载, 则有 $1/(j\omega C) = Z$, 即 $C = C_p$, 若为感性负载, 则有 $j\omega L = Z$, 即 $L = 1/(\omega^2 C_p)$ 。

将式(24) 代入式(22) 得负载的最大输出功率为

$$P_{Zmax} = \frac{Z_{cp} I^2}{8} \quad (25)$$

则负载上的最大有用输出功率为

$$P_{Zumax} = \frac{1}{8} \text{Re} Z_{cp} |I|^2 \quad (26)$$

压电叠堆的输入功率为

$$P_1 = T_3 S \dot{u}_z(x, t) |_{x=l} \quad (27)$$

则发电装置的最大机电转换效率为

$$\eta = \frac{P_{Zumax}}{P_1} \quad (28)$$

3 发电装置的性能仿真分析

以下将讨论叠堆长度 l 、截面面积 S 、外力幅值 F_m 与频率 $f(f = \omega/2\pi)$ 、压电常数 d_{33} 、弹性柔性系数 S_{33}^E 、激励杆质量 m 和系统阻尼系数 ξ 等对压电发电装置的输出性能的影响。压电叠堆参数如表 1 所示。

表 1 压电叠堆结构和材料参数

结构参数		材料参数	
长度 $l(\text{mm})$	50	压电常数 $d_{33}(\text{m/V})$	700×10^{-12}
截面积 $S(\text{mm}^2)$	178.2	弹性柔性系数 $S_{33}^E(\text{m}^2/\text{N})$	1.38×10^{-9}
厚度 $t_p(\text{mm})$	0.188	密度 $\rho(\text{kg/m})$	7.5×10^3
压电片数量 n	255	相对介电常数 ϵ_p	730

3.1 激振力频率 f 对装置输出特性的影响

图 4 所示是激励杆质量 m 分别为 10g、15g、17.84g、20g 和 25g, 激振力幅值 F_m 为 50N 时, 压电叠堆输出电压、电流随激振力频率 f 的变化情况。由图 4 可知, 随着激励杆质量的增大, 压电叠堆产生的输出电压、电流均减小, 由式(7) 可知, 激励杆质量增大, 则机械阻抗增大, 作用在压电叠堆右端面上的应力减小, 使得压电叠堆产生的电荷量减少。此外, 当激振力频率与压电叠堆一阶固有频率一致时, 压电叠堆处于谐振状态, 其振动位移幅值、应变和应力均达到最大, 输出电压和电流也达到最大。

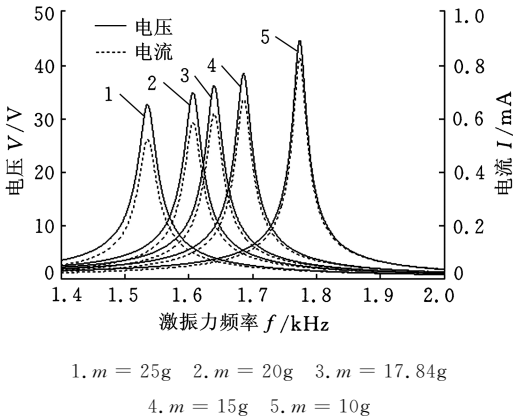


图 4 输出电压、电流随激振力频率的变化

3.2 激振力幅值 F_m 对输出特性的影响

由式(19)、式(21) 可知, 压电叠堆的输出电压和电流与激振力幅值 F_m 成正比, 图 5 所示为 $m = 17.84\text{g}$, $f = 1650\text{Hz}$ 时压电叠堆输出电压、电流随激振力幅值的变化曲线, 由图 5 可知, 激振力幅值增大, 发电装置的输出电压和电流均线性增大。因此, 增大激振力幅值有利于提高发电装置的性能, 但由于压电叠堆是脆性材料, 激振力不能

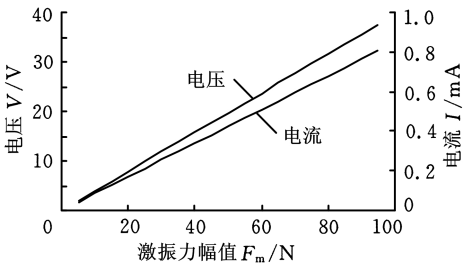


图 5 输出电压、电流随激振力幅值的变化

无限制地增大, 必须考虑压电叠堆的受压能力, 防止压电叠堆损坏。

3.3 压电叠堆长度 l 对输出特性的影响

图 6 所示是 $m = 17.84\text{g}$, $F_m = 50\text{N}$, $f = 1650\text{Hz}$ 时压电叠堆输出电压、电流随压电叠堆长度的变化情况。由图 6 可见, 压电叠堆长度有一个合适值, 当该长度正好满足压电叠堆的谐振频率方程时, 压电叠堆处于谐振状态。由式(13) 可知, 压电叠堆的振动位移达到最大时, 其输出电压、电流也达到最大。

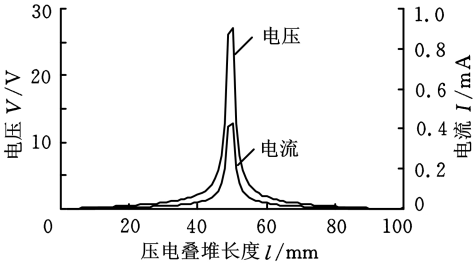


图 6 输出电压、电流随压电叠堆长度的变化

3.4 压电叠堆截面面积 S 对输出特性的影响

图 7 所示是压电叠堆在 $m = 17.84\text{g}$, $f = 1650\text{Hz}$, $F_m = 50\text{N}$ 时输出电压、电流随压电叠堆截面面积的变化情况, 由图 7 可以看出, 当压电叠堆的截面面积增大到使压电叠堆产生谐振时, 其输出电压、电流达到最大。

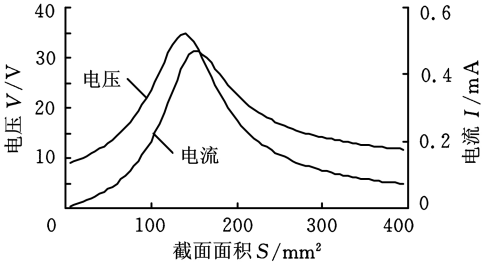


图 7 电压、电流随叠堆截面面积的变化

3.5 激励杆质量 m 对输出特性的影响

图 8 所示是 $F_m = 50\text{N}$, $f = 1650\text{Hz}$, $l = 50\text{mm}$ 时压电叠堆输出电压、电流随激励杆质量的变化情况。由图 8 可以看出, 要使发电装置的输出电压、电流均最大, 激励杆质量应使得发电装置机械系统处于谐振状态。

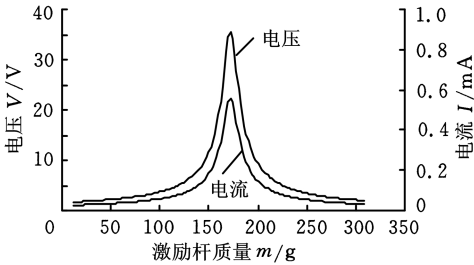


图 8 输出电压、电流随激励杆质量的变化

3.6 系统阻尼系数对输出特性的影响

图 9 所示是 $F_m = 50\text{N}$, $f = 1650\text{Hz}$, $l = 50\text{mm}$ 时系统阻尼系数对压电叠堆输出电压、电流的影响曲线。由图 9 可以看出,随着阻尼系数的增大,压电叠堆的输出电压和电流均减小,这主要是因为阻尼系数增大,机械系统的阻抗增大,传递到压电叠堆上的作用力越小,压电叠堆产生的轴向应变和应力均越小,从而导致压电叠堆产生的电荷量减小。

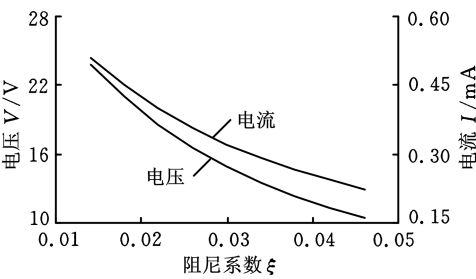


图 9 输出电压、电流随阻尼系数的变化

3.7 弹性柔性系数 S_{33}^E 对输出特性的影响

图 10 所示是 $F_m = 50\text{N}$, $f = 1650\text{Hz}$, $l = 50\text{mm}$ 时压电叠堆输出电压、电流随压电叠堆弹性柔性系数的变化情况。由图 10 可以看出,随着弹性柔性系数的增大,压电叠堆输出电压、电流增大,这主要是因为弹性柔性系数增大,则压电叠堆的刚度减小,在相同的作用力下,压电叠堆的变形量增大,导致压电叠堆产生的电荷增加。当弹性柔性系数增大到使压电叠堆产生谐振时,其输出电压、电流达到最大。

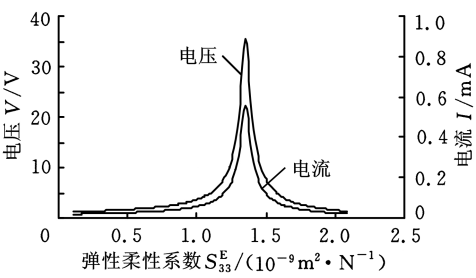


图 10 输出电压、电流随弹性柔性系数的变化

3.8 压电常数 d_{33} 对输出功率的影响

图 11 所示是 $F_m = 50\text{N}$, $f = 1650\text{Hz}$, $l = 50\text{mm}$ 时压电叠堆输出电压、电流随压电常数的变化情况。由图 11 可见,随着压电常数的增大,输出电压、电流呈线性增大,这主要是因为压电常数越大,相同应力、应变下压电叠堆的电位移大,产生的电荷量也大。由式(19)和式(21)可知,压电叠堆输出电压和电流随压电常数均呈线性关系。

综合上述的仿真分析可知,要使发电装置具有较好的电输出特性,必须使压电叠堆产生较大的输出电压和输出电流,这就必须做到:① 选用压电常数 d_{33} 大、弹性柔性系数合适的压电陶瓷

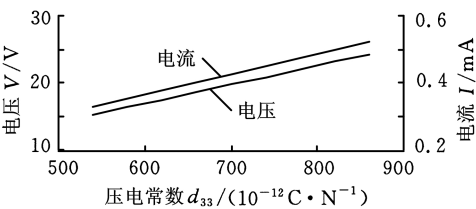


图 11 输出电压、电流随压电常数的变化

材料;② 压电叠堆的长度、截面面积应满足压电叠堆的谐振频率方程;③ 应使机械系统的阻尼系数和激励杆质量尽量小,并使压电叠堆工作在谐振状态下。

4 实例计算

结合实际应用条件设计制作的压电叠堆如图 1 所示。其中,压电叠堆的结构参数和材料见表 1,机械系统的参数见表 2。

表 2 机械系统参数

质量 $m(\text{g})$	弹簧刚度 $K(\text{MN}/\text{m})$	阻尼系数 ξ
17.84	2.25	0.02

为分析其发电特性,首先利用清华大学研制的 PV50A 阻抗分析仪对发电装置进行扫频实验,以确定装置的谐振频率点,结果如图 12 所示,可以看出,发电装置的谐振频率约为 1680Hz。

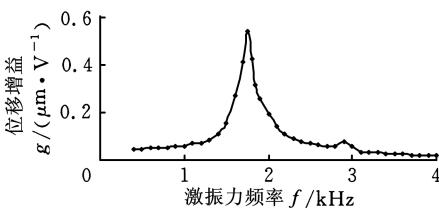
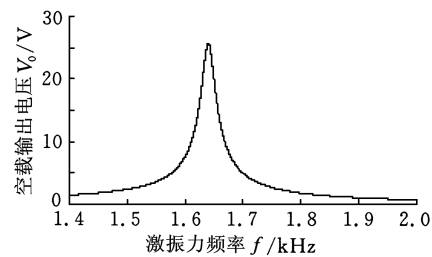


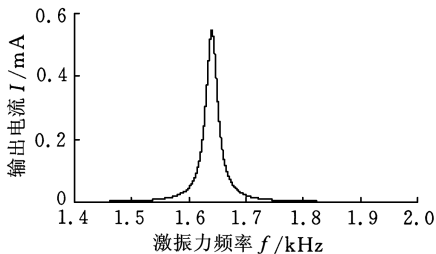
图 12 装置频率响应特性实验结果

图 13 所示是 $F_m = 50\text{N}$, $f = 1680\text{Hz}$, $l = 50\text{mm}$ 时,发电装置空载输出电压 V_0 、输出电流 I 和输出功率 P 随激励力频率变化的曲线,可以看出,当发电装置工作在谐振频率 1680Hz 时,其有效电输出功率为 7mW,最大输出电流达到 0.55mA,输出电压达 26V,可见压电发电输出信号是高输出电压、低输出电流。

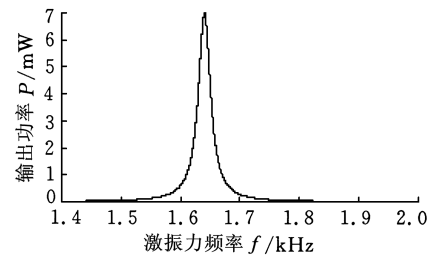
为了研究负载阻抗对发电装置输出性能的影响,将发电装置的输出端直接接一可调电阻来模拟纯负载电阻 R ,利用式(22)求得负载电阻的输出功率,由此分析负载电阻对发电装置性能的影响。选择激励力大小为 50N,激励频率为 1680Hz,所得结果如图 14 所示。可以看出,在确定的激励力频率作用下,有一个优化的外界负载值(本文约为 63Ω),该值恰好与发电装置的阻抗完全匹配,使得压电装置的输出电压、电流和功率达到最大,此时发电装置的输出效率达到最高,接近 25%,如图 15 所示。



(a)输出电压随激振力频率的变化



(b)输出电流随激振力频率的变化



(c)输出功率随激振力频率的变化

图 13 输出电压、电流和功率随激振力频率的变化

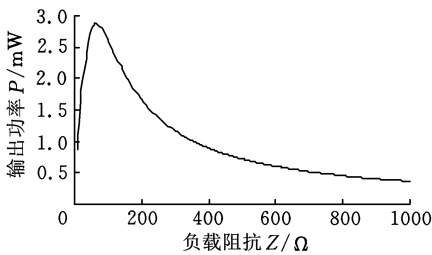


图 14 负载阻抗对发电装置输出特性的影响

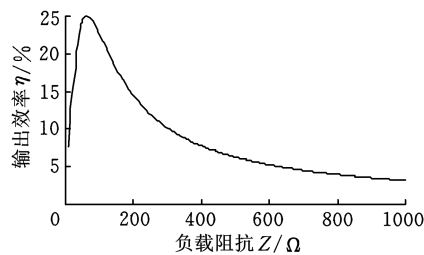


图 15 负载阻抗对发电效率的影响

图 16 所示是容性负载情况下,发电装置的输出功率曲线,可以看出,当负载电容为 $2\mu\text{F}$ 时发电装置的输出功率达到最大值,此时的最大输出效率约为 12%。与图 14、图 15 相比,负载为电容时,不管是输出功率和输出效率均比纯电阻负载时低。

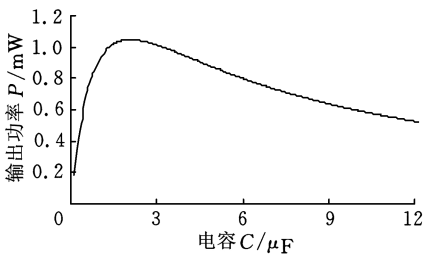


图 16 容性负载对发电装置输出功率的影响

5 结论

- (1) 激振力幅值越大,发电特性越好,当激振力频率与装置的谐振频率一致时,其输出电压、电流达到最大。
- (2) 在激振力频率一定的情况下,压电叠堆的长度、截面面积和弹性柔性系数都有一个最佳值,该值刚好满足压电叠堆的频率方程,使压电叠堆处于谐振状态,其发电能力最大。
- (3) 选用高压电常数的压电陶瓷能够提高发电输出特性。
- (4) 负载阻抗必须和压电发电装置的阻抗完全匹配,此时系统的输出特性达到最佳,容性负载的输出功率和转换效率均比纯电阻负载时低。

参考文献:

[1] Henry A S, Daniel I. A Review of Power Harvesting from Vibration Using Piezoelectric Materials [J]. The Shock and Vibration Digest, 2004,36(3): 197-205.

[2] Lefeuvre E, Badel A, Richard C, et al. A Comparison between Several Vibration-powered Piezoelectric Generators for Standalone Systems[J]. Sensors and Actuators A: Physical, 2006, 126(2):405-416.

[3] Ingo K, Djorddje M, Gerald E, et al. A New Approach for MEMS Power Generation Based on a Piezoelectric Diaphragm[J]. Sensors and Actuators A: Physical, 2008, 142(1):292-297.

[4] 王强,骆英,顾建祖. 基于压电材料的振动能量获取技术的研究[J]. 电子元件与材料, 2008,27(3):47-50.

[5] 曾平,佟刚,程光明,等. 压电发电能量储存方法的初步研究[J]. 压电与声光, 2008,30(2):230-235.

[6] 闫世伟,杨志刚,阙君武,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.

[7] 阙君武,唐可洪,王淑云,等. 压电悬臂梁发电装置的建模与仿真分析[J]. 光学精密工程, 2008, 16(1):71-75.

产品设计链中概念设计变更管理研究

王有远 徐卫平

南昌航空大学,南昌,330063

摘要:分析了当前概念设计中设计变更管理的不足,针对设计链概念设计中产品的结构和组成不明确等特点,提出以文件关系结合配置管理的思想,对概念设计变更进行管理。在分析已有概念设计流程的基础上,构建了产品设计链的概念设计流程,对概念设计阶段的文件关系进行了定义和形式化描述,提出了基于配置管理的概念设计设计变更控制流程。提出了文件矩阵树的概念,克服了基于文件的设计变更管理模式不能确定变更扩散范围的不足,实现了产品设计链各成员间文件关系信息的完整性、一致性和有效性。

关键词:设计变更;概念设计;产品设计链;配置管理;文件矩阵树

中图分类号:TB21

文章编号:1004—132X(2009)19—2304—07

Research on Conceptual Design Change Management in Product Design Chain

Wang Youyuan Xu Weiping

Nanchang Hangkong University, Nanchang, 330063

Abstract: Some deficiencies were analyzed for current design change management of conceptual design. This paper proposed a solution for conceptual design change management, where the document relationships combined with configuration management. It aimed at the structure and composition uncertainty of conceptual design in product design chain. On the basis of analyzing existing conceptual design procedures, the conceptual design flow of product design chain was constructed. In conceptual design phase, the document relationships were defined and formally described, a design change control processing was proposed based on configuration management for conceptual design of product design chain. The concept of document matrix tree was proposed originally, and the method can overcome insufficiency which the pattern of design change management based on document cannot determine the change of proliferation scope. This paper achieves the integrity, consistency and effectiveness of document relationship information among the partners of design chain.

Key words: design change; conceptual design; product design chain; configuration management; document matrix tree

0 引言

随着全球化市场的形成,市场的竞争已经从

单个企业转向了价值链^[1-2],越来越多的企业意识到通过与供应商的密切合作可以获得竞争优势。整个产品设计链的过程决定了上市产品的上市时间和成本^[3]。

在由核心企业、协作企业、供应商和客户等组

收稿日期:2008—10—10

基金项目:江西省教育厅科研基金资助项目(GJJ09182);南昌航空大学科研基金资助项目(EA200803208)

- [8] Jeong S J, Kim M S, Song J S, et al. Two-layered Piezoelectric Bender Device for Micro-power Generator[J]. Sensors and Actuators A:Physical, 2008, 148(1):158-167.
- [9] Marco F, Vittorio F, Daniele M, et al. Modeling, Fabrication and Performance Measurements of a piezoelectric Energy Converter for Power Harvesting in Autonomous Microsystems[J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2006, 55(6):2096-2101.
- [10] Roundy S, Wright P K. A Piezoelectric Vibration Based Generator for Wireless Electronics [J]. Smart Material and Structure, 2004, 13(5):1131-1142.

- [11] Chen S N, Wang G J, Chien M C. Analytical Modeling of Piezoelectric Vibration-induced Micro Power Generator[J]. Mechatronics, 2006, 16(7): 379-387.
- [12] 王光庆. 压电智能主动构件等效机电耦合动力学模型及其特性研究[J]. 中国机械工程, 2008, 19(2):154-159.
- [13] 张福学, 王丽坤. 现代压电学[M]. 北京:科学出版社, 2001.
- [14] 王衿奉, 姜祖桐, 石瑞大. 压电振动[M]. 北京:科学出版社, 1989.

(编辑 卢湘帆)

作者简介:王光庆,男,1975年生。浙江工商大学信息与电子工程系副教授、博士。主要研究方向为压电驱动/压电发电、超声波电机、智能信息处理。发表论文 30 余篇。