

文章编号: 1006-1355(2014)02-0173-04

振动能量回收的液电减振装置设计与测试

喻其炳, 朱荣荣, 李 川

(重庆工商大学 废油资源化技术与装备教育部工程研究中心, 重庆 400067)

摘 要: 振动是环境中广泛存在的, 为了减小振动的负面影响, 这些振动能常常被人们设计的减振装置所耗散, 造成了能量浪费。提出一种能够将振动能转换成电能的减振装置, 采用液压传动发电的原理进行设计, 制作了试验样机, 并在实验平台上进行测试。实验结果表明, 振动激励频率和负载电阻对收集的电能都有影响, 当采用 $2\ \Omega$ 负载电阻, 频率为 $1\ \text{Hz}$ 的正弦振动激励条件下, 最大瞬时发电功率可达到 $49\ \text{W}$ 。因此, 将减振装置运行过程中的部分振动能转换为电能是可行的。

关键词: 振动与波; 电能; 转换; 减振装置

中图分类号: TH12

文献标识码: A

DOI 编码: 10.3969/j.issn.1006-1355.2014.02.039

Design and Test of a Hydraulic-electric Damper with Vibration Energy Recovery

YU Qi-bing, ZHU Rong-rong, LI Chuan

(Engineering Research Center for Waste Oil Recovery Technology and Equipment of Ministry of Education, Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400067, China)

Abstract: Mechanical energy of vibration is one of the most popular energies existing in the environment. To reduce its negative affect, the vibration is usually dissipated by artificial dampers, which are in fact the energy-wasting devices. In this research, a damper, which can transmit the vibration energy into electric energy, is proposed. This device is designed based on the hydraulic-electric generation principle. A prototype device is fabricated and tested in a testing platform. The experiment result shows that both the frequency and the resistance of the prototype device have the effect on collection of the electrical energy. The maximum instantaneous power of the device can reach $49\ \text{W}$ in the condition of $2\ \Omega$ load resistance and $1\ \text{Hz}$ sinusoidal excitation. Hence, it is feasible to transform a part of vibration energy into electricity during the operation of the hydraulic-electric damper.

Key words: vibration and wave; electric energy; transmission; vibration reduction device

振动是一种非常普遍的运动现象, 振动总是伴随着能量的产生, 所以振动能广泛存在于自然界中。但是, 振动常常对结构和设备造成破坏性的作

用。因此, 常常认为振动能是一种有害的能量形式^[1]。为此, 人们设计制作了阻尼器等减振装置, 将振动能转变为噪声、热能等其他能量形式耗散掉, 这样, 振动能没有得到有效利用, 从而造成能量的浪费, 而且产生对环境的声、热等二次污染。如果能对减振装置耗散的振动能量进行回收利用, 不仅可以节约能源, 还具有环保的作用。

在实现途径上主要有液压式和电磁式两种振动能量回收方式^[2]。液压式振动能量回收通过适当的液压传动结构将减振装置受到的振动能量传递给油压或气压储能装置^[3], 以液压能或气压的形式进行存储, 然后在适当的时候释放能量, 以减小能耗。电磁式振动能量回收^[4]是将振动能转换为电能。当减振装置两端相对运动时, 驱动发电机的线圈切割磁

收稿日期: 2013-10-17

项目基金: 国家自然科学基金(编号: 51375517);

重庆市杰出青年科学基金(编号: 2012JJQ70001);

重庆高校创新团队项目(编号: KJTD201313)

作者简介: 喻其炳(1972-), 男, 重庆合川区人, 工程师, 目前从事机械设计与制造。

通信作者: 朱荣荣(1980-), 女, 安徽萧县人, 硕士研究生, 目前从事振动控制与利用;

通信作者: 李 川(1975-), 男, 重庆巴南区人, 博士, 重庆“巴渝学者”特聘教授, 目前从事振动控制与利用。

E-mail: chuanli@21cn.com

力线,向外输出电流,存储到储能装置中^[5]。液压式振动能量回收响应频率较低,响应速度较慢,回收的能量应用范围受到限制,而电磁式振动能量回收有效地弥补了这些缺点^[6]。

本文采用液电式振动能量回收的方法,设计的装置采用液压阻尼器的液压器结构^[7],利用振动条件下液压缸两个油腔之间的油液流动驱动液压马达旋转,在液压马达的输出端连接永磁同步电机。从而实现将振动能转化为电能^[8]。

1 原理设计

液电振动能量回收的原理如图1所示,根据该原理,液电减振装置主要由液压缸、液压马达、注油阀、负载电阻、永磁发电机^[9]等组成。

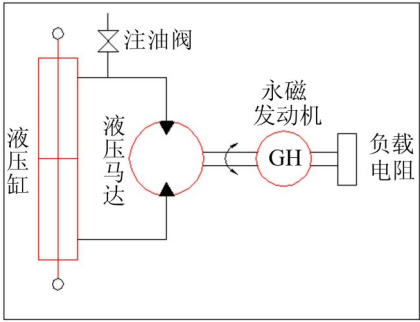


图1 振动能量回收的液电减振装置原理

根据如图1所示的工作原理,液电减振装置液压缸的活塞在外力(振动)作用下作往复运动,在振动条件下液压缸两个油腔之间的油液流动驱动液压马达旋转,液压马达旋转带动永磁发电机旋转,从而切割磁力线产生电能。根据磁电原理,一方面在绕组中产生感应电动势回收振动能量,另一方面产生阻尼转子的电磁阻尼反过来消减振动。回收的能量存储到蓄电池等储能装置中可以进行二次利用。

2 实验样机与测试平台

根据前述的设计原理,设计样机的参数如表1所示。

设计制作的样机如图2所示。

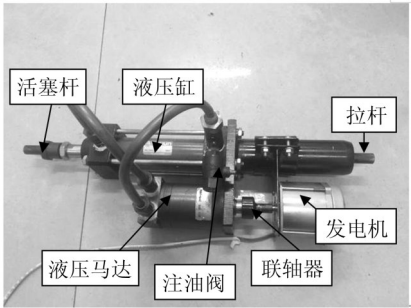


图2 实验样机

实验样机中的活塞把液压缸分为两个油腔(上腔和下腔),活塞往上端运动时,上腔油液被挤压溢出,同理,活塞往下运动时,下腔油液被挤压溢出;油液经过油管(其中一个油管连接一个注油阀)流到液压马达,液压马达带动输出轴转动;而一个发电机经过一个联轴器连接到液压马达输出轴上面,发电机转子在相对于发电机定子转动产生感应电动势,经过电缆连接到负载电阻上。

为了测试具有振动能量回收功能的液电减振装置,研究搭建了如图3所示测试平台,该平台由计算机、数据采集控制器、液压泵、万用表、示波器、可变电阻、液压疲劳试验机^[10]搭建而成。在振动激励下,该减振器样机不仅产生振动响应,同时产生电能,这些电能通过电缆输出用以激励可调电阻负载(0~50 Ω,最大功率100 W),电阻电压由示波器测得,显示在电脑上。

实验中,振动信号被施加到实验样机的两个端子^[7],两个端子之间的振动力可通过实验测得,其具体操作过程为:首先开启计算机、采集器和控制器、

表1 实验样机技术参数

序号	名称	符号	规格
1	液压缸内径	D	0.04 m
2	活塞杆直径	d	0.02 m
3	液压马达排量	n	$1.306\ 07\times 10^{-6}\text{ m}^3/\text{rad}$
4	活塞杆行程		0.08 m
5	发电机内阻		2.38 Ω
6	发电机额定电压		21.6 V
7	发电机额定转速		1 900 rpm

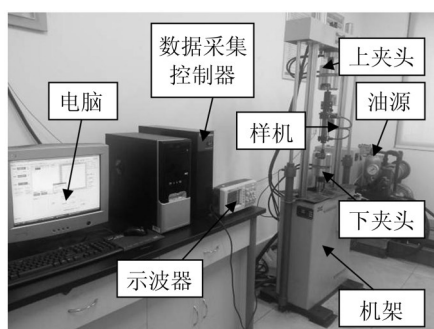


图3 实验样机的测试平台

液压疲劳试验机和液压泵,打开控制软件,将实验样机装夹到液压疲劳试验机上。然后在实验软件中设置实验所需的参数及条件,开始实验,计算机发出信号,信号经过采集器和控制器处理传送到液压疲劳试验机下夹头,下夹头上装有位移传感器,同时控制电磁阀,下夹头的运动位移和振动力分别通过位移

传感器和力传感器获得,并由数据采集控制器反馈给计算机,示波器连接在负载两端记录负载的电压变化。

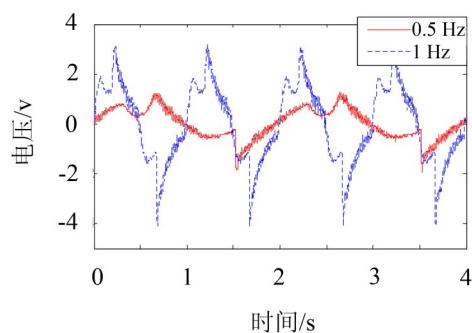
3 实验结果与讨论

本实验在试验平台上测试了负载分别为0.5、2、5、10、20 Ω ,频率分别为0.5、1、2、10 Hz激励时的电压信号,分析不同激励频率及不同负载条件下对振动能量回收发电性能的影响^[11]。下面是负载为2 Ω 时不同激励频率及在激励频率为2 Hz时不同负载的振动及电压相应情况来分析。

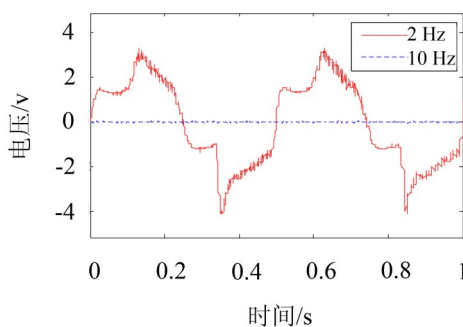
3.1 不同激励频率对电能转换性能的影响

固定负载2 Ω ,激励频率分别为0.5 Hz、1 Hz、2 Hz及10 Hz进行测试,结果如图4(a)和(b)所示。

从图4可看出,在负载为2 Ω ,频率为10 Hz时电



(a) 0.5 Hz 和 1 Hz



(b) 2 Hz 和 10 Hz

图4 不同激励频率产生的电压信号

压响应较弱,在频率为0.5 Hz、1 Hz、2 Hz时有较强的电压,其响应幅值分别为1.8 V、4 V、4.2 V,表明实验过程中有电能产生,即振动能可转换为电能,电压响应幅值和发电功率随频率变化的关系如图5所示。

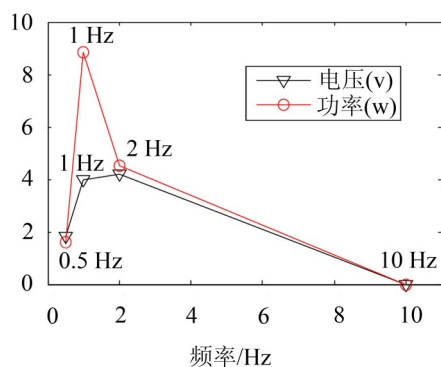


图5 不同激励频率时的最大瞬时电压及功率

从图5中可得出,在频率为1 Hz时瞬时发电功率达到最大,为49 W,在一定的频率范围内,电压及

功率随着频率增加呈现先增大后减小的趋势,即负载一定时,最优电能回收性能存在一个最佳频率。在试验中发现,频率增大时振动速度增大,但当频率增大到一定程度时,由于实验台的驱动功率的限制和样机频繁往复旋转、反向间隙的存在反而降低了回收的电能。

3.2 不同负载对电能转换性能的影响

固定频率2 Hz,负载分别为0.5 Ω 、2 Ω 、5 Ω 、10 Ω 、20 Ω 时的实验结果如图6(a)、(b)所示。

从图6中可看出,当固定频率为2 Hz,负载分别为0.5 Ω 、2 Ω 、5 Ω 、10 Ω 、20 Ω 时均有电压响应,不同负载的电压最高响应幅值与发电功率如图7所示。

从图7中可看出,在一定负载范围内,电压随负载的增加而不断增加,但该装置的发电功率却在负载为2 Ω 时达到最大,即最优电能回收性能存在最佳负载。如表1所示,发电机的内阻为2.38 Ω ,而试验中负载为2 Ω 时达到最大,这表明阻抗匹配(即负载

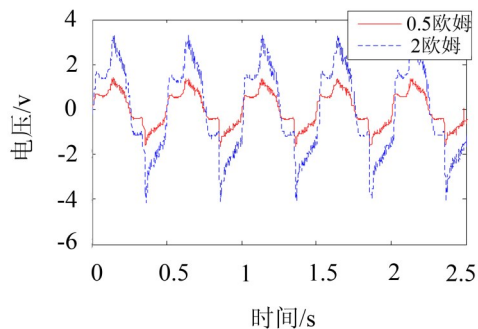
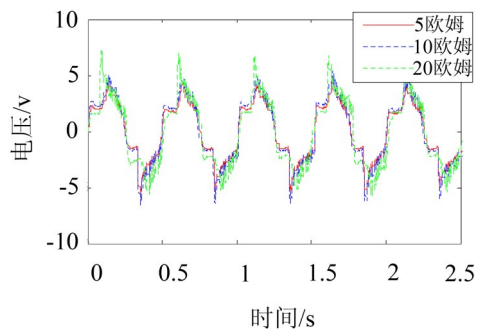
(a) 0.5 Ω 和 2 Ω (b) 5 Ω 、10 Ω 、20 Ω

图6 不同负载时产生的电压信号

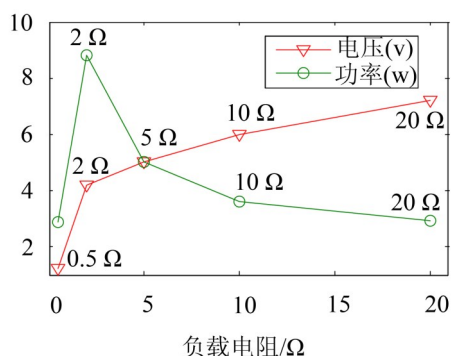


图7 不同负载时的最大瞬时电压及功率

电阻与内阻相匹配)情况下能够回收最大的电能。

综上所述,该样机在实验平台上测试过程中有电能产生,即该装置可成功将振动能转换为电能加以利用,且电能转化性能存在最佳负载及频率。

4 结语

(1) 采用液压缸控马达传动发电机,可以设计具有振动能量回收功能的液电减振装置;

(2) 根据液电原理设计制作实验样机,并在振动实验平台上进行测试,实验结果表明,该装置可以将振动能转化为电能;

(3) 在实验测试过程中,振动激励频率及负载电阻对发电功率均有影响,通过找到最佳激励频率及最佳负载便可实现最大发电功率。

参考文献:

[1] 姜 鹏, 罗晓娟, 侯明明, 彭 娟, 高陈玺, 苏 迪. 城市轨道交通中环境振动污染的研究进展[J]. 重庆工商大

学学报(自然科学版), 2012, 08: 61-64.

- [2] 张 晶. 运动体振动能量向电能的转化和存储技术研究[D]. 河北工业大学, 2010.
- [3] 代显智, 文玉梅, 李 平, 杨 进, 江小芳. 采用磁电换能器的振动能量采集器[J]. 物理学报, 2010, 03: 2137-2146.
- [4] 王佩红. 基于MEMS技术的微型电磁式振动能量采集器的研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2010.
- [5] 刘 敏, 赵 方, 王 慧, 杨可森. 液压传动技术在工程机械行走驱动系统中的应用与发展[J]. 机械设计与制造, 2006, 06: 31-33.
- [6] 蒋学争. 自供能磁流变阻尼器的振动能量捕获技术研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2012.
- [7] Li C, Wang S L, Kang L, Lei S and Yu Q B. 2010 Two-terminal manipulation of masses: application to vibration isolation of passive suspensions[J]. **Journal of Vibroengineering**, 2010, 12: 25-236.
- [8] Farjoud A, Ahmadian M, Craft M and Burke W. Nonlinear modeling and experimental characterization of hydraulic dampers: effects of shim stack and orifice parameters on damper performance[J]. **Nonlinear Dynamics**, 2012, 67 (2): 1437-1456.
- [9] 孙环阳, 黄筱调, 洪荣晶, 裴 亮. 永磁同步电机矢量控制系统的仿真研究[J]. 机械设计与制造, 2010, 03: 122-124.
- [10] 张 宪, 何 洋, 钟 江, 赵章凤, 郑欣荣. 疲劳振动试验台的模态与谐响应分析[J]. 机械设计与制造, 2008, 04: 12-14.
- [11] 虞自飞, 孔祥森, 沈海军, 等. 动力吸振器在飞轮振动控制中的参数分析[J]. 噪声与振动控制, 2013, 33(4): 5-10