

文章编号 1004-924X(2001)06-0539-03

# 双压电薄膜管道微机器人的功耗分析及电路优化设计

罗 怡, 龚振邦, 孙麟治, 孙 萍  
(上海大学 机电自动化学院, 上海 200072)

摘要: 研究了 PZT 双压电薄膜管道微机器人的功率消耗, 推导出其功耗计算公式  $S = Kfcv^2$ , 指出微机器人功耗与驱动电压幅值平方成正比, 与驱动电压的频率成正比, 与微机器人的电容成正比。优化设计了微机器人的驱动电路, 使得其在驱动电压幅值不变的情况下, 大幅度提高运动速度。通过实验验证此结论。以上分析研究是此类微机器人无缆化设计的理论基础。

关键词: 微机器人; 压电驱动器; 管道; 功耗; 电路优化设计

中图分类号: TP242.3 文献标识码: A

## 1 引 言

现代化的工业设备中, 有许多管径为  $\varnothing 10\text{mm} \sim 20\text{mm}$  的细小管道。人工检测耗时费力。微机器人可以搭载检测或维修装置进入管道进行作业<sup>[3]</sup>, 这对于避免事故的发生, 提高经济效益有着重要意义。

我们研制出了一种适用于检测  $\varnothing 20\text{mm}$  管道的双压电薄膜微机器人<sup>[4]</sup>。在二期模型中, 其能量及控制信号由导线引入(有缆型)。在短距离的检测中, 这不失为一种安全有效的检测方法, 但随着检测距离的增加, 由于导线的重量会成为微机器人的负载, 从而导致微机器人运动速度的下降。因此无缆化是此类机器人的发展趋势。在此, 有必要对这类微机器人的功率影响因素进行分析, 以为无缆微机器人的设计提供理论依据。

## 2 双压电薄膜微机器人的结构

双压电薄膜微机器人如图 1 所示。它由双压电薄膜驱动器和两对铜制弹性支撑腿两部分组成。双压电薄膜驱动器包括惯性质量、两片并联的双压电薄膜和芯杆。

双压电薄膜微机器人利用惯性冲击原理产生运动。在双压电薄膜上施加周期不对称电压, 它产生弯曲变形, 通过芯杆带动惯性质量运动, 从而

产生惯性力。在支撑腿与管壁的摩擦力和惯性力的综合作用下, 微机器人产生运动。

微机器人实验样机的本体尺寸为  $\varnothing 16\text{mm} \times 9\text{mm}$ , 重 9.5g。在  $\varnothing 20\text{mm}$  管道内的最大运动速度为 18mm/s。

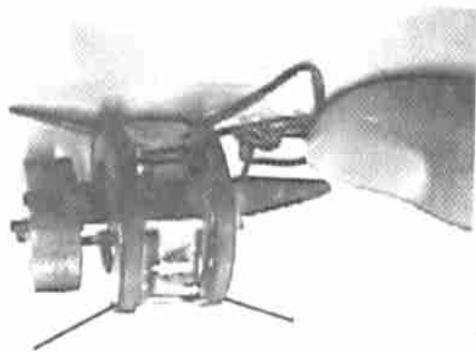


Fig. 1 Structure of the bimorph PZT micro inr pipe robot.

## 3 双压电薄膜微机器人的功耗分析

由参考文献[1]知, 一个周期波形的有效值或均方根(rms)值等于在一给定电阻器上耗散同样能量的直流值。周期电压的有效值为:

$$V = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v^2 dT} \propto v \quad (1)$$

$V$ : 周期电压的有效值

$T$ : 周期

$v$ : 周期电压的瞬时值

双压电薄膜的微机器人的电气元件是电阻和电容。电阻主要由芯杆, 双压电薄膜的铜基材, 微机器人的配重以及导线组成。而压电材料主要相当于电容元件。由于电阻值和容抗值相比可以忽略不计, 因此微机器人的阻抗近似于其容抗。

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} \approx X_C \quad (2)$$

$Z$ : 微机器人的阻抗;

$R$ : 微机器人的电阻值;

$X_C$ : 微机器人的容抗。

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C} \quad (3)$$

$f$ : 频率, 周期的倒数

$C$ : 微机器人的电容

这种电容式微机器人的无功功率为:

$$Q = \frac{V^2}{X_C} = 2\pi V^2 f C \quad (4)$$

与电阻耗能不同, 电容元件存储能量并把它送回到所接的电路中, 因此微机器人的平均功率  $P$ , 即有功功率为 0。

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p \, dt = \frac{1}{T} \int_0^T VI \sin 2\omega t \, dt = 0 \quad (5)$$

视在功率:

$$S = VI = \sqrt{P^2 + Q^2} = Q = 2\pi f CV^2 \quad (6)$$

视在功率表示了电路中总的电压和电流的乘积, 表示电路中能量转换的规模。

根据(1)式可将(6)式改写为:

$$S \propto fcv^2 \quad (7)$$

或:

$$S = Kfcv^2 \quad (8)$$

$K$ : 波形功率系数, 与波形有关。

由上述分析知, 微机器人的输入功率与以下三个参数有关: 与驱动电压幅值平方成正比, 与驱动电压的频率成正比, 与微机器人的电容成正比。

## 4 微机器人电路优化设计

如何使微机器人在速度一定, 负载能力不变的前提下, 降低驱动电压幅值成为其无缆化研究的关键问题。

双压电薄膜微机器人电路具有电容元件, 因此电路两端的电压与其中的电流是不同相的, 如果我们调节电路的参数或电源的频率而使它们同相位或接近同相位, 就可以在电源电压不变的情况下, 提高微机器人的分压。对于微机器人而言,

在其驱动器两端施加的电压越高, 其响应越大, 运动的速度也就越大。也可以认为, 通过改变电路中电流和电压的相位, 可以降低电源电压, 却不改变微机器人速度和负载能力。

微机器人的等效电路如图 2(1) 所示, 这是一个 RC 电路, 阻抗基本表现为容抗形式, 其向量图如图 2(2) 所示。

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} \approx X_C$$

微机器人的端电压为:

$$V = \frac{U}{Z} X_C \approx U$$

微机器人的端电压近似于电源电压  $U$

为了降低电路的阻抗, 必须在电路中串入一个电感, 其电阻为  $R'$ , 感抗为  $X_L$ , 组成了如图 2(3) 所示的电路, 向量图如图 2(4) 所示, 此时电路的阻抗为:

$$Z = \sqrt{(R + R')^2 + (X_C - X_L)^2}$$

微机器人的端电压为:

$$V = \frac{U}{Z} X_C \quad (9)$$

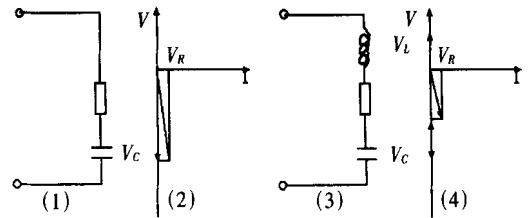


Fig. 2 Circuit and vector diagram of the micro robot.

合理地调节  $R$ ,  $R'$ ,  $X_L$  和  $X_C$  的数值, 可以使  $X_C > Z$ 。从而在不改变电源电压幅值的情况下升高微机器人的端电压, 亦及不改变端电压的情况下降低微机器人的电源电压幅值。

## 5 实 验

微机器人的驱动电路表现为容性电路, 为了减小电路阻抗, 必须在电路中串联感性元件。外购电感, 电感值为 48mH 的, 其阻值为 78Ω。XFD-8B 超低信号发生器产生微机器人的驱动电压, 波形为 15% 占空比, 频率为 1000Hz 的矩形脉冲波。得到如图 3 结果。

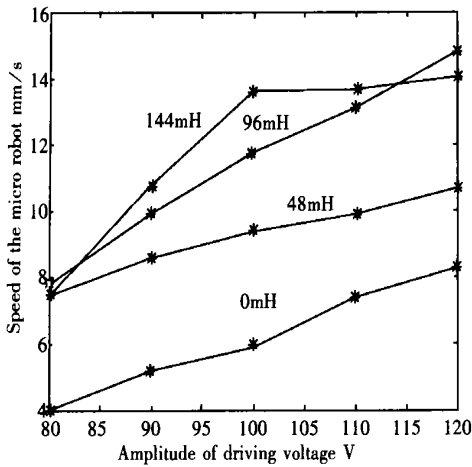


Fig. 3 Relationship between the inductance and the speed of the micro robot.

### 参考文献:

- [1] 秦增煌. 电工学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1981.
- [2] 陈寅, 颜国正, 戎荣, 等. 电磁驱动微小型机器人控制系统的研究[J]. 光学 精密工程, 1998, 6(4): 70-74.
- [3] 孙麟治, 孙萍, 秦新捷, 等. 细小管道内爬行的微机器人[J]. 光学 精密工程, 1998, 6(5): 57-63.
- [4] 罗怡, 龚振邦, 孙麟治, 等. 双压电薄膜微机器人驱动器的稳态响应[J]. 光学 精密工程, 2001, 9(1): 59-62.

## Power Consumption and Optimized Driving Circuit of Bimorph In- pipe Micro Robot

LUO Yi, GONG Zhen bang, SUN Lir zhi, SUN Ping

(School of Mechatronics and Automation, Shanghai University, Shanghai 200072, China)

**Abstract:** The power consumption of an in- pipe PZT actuator micro robot has been studied, and the formula  $S = Kf cv^2$  has been derived, which means that the power consumption is proportional to frequency of voltage  $f$ , square of voltage  $v^2$  and to the capacity of robot  $C$ . An optimized driving circuit for the micro robot has been studied, too. With this circuit, the robot can move at high speed with the same driving voltage. Experiment has been done to prove this conclusion. All these are theoretical bases for designing a wire-less robot system.

**Key words:** micro robots; piezoelectric actuators; pipes; power consumption; circuit optimum design

作者简介: 罗怡(1973-), 女, 安徽合肥人, 博士研究生。研究方向: 微机器人及微机械。E-mail: vivian-luo@263.net

由图 3 知, 双压电薄膜微机器人的驱动电路在串联一定的电感后, 速度有明显提高。

## 6 结 论

1) 双压电薄膜微机器人的输入功率公式为:  $S = Kf cv^2$ , 与三个参数有关: 与驱动电压幅值平方成正比, 与驱动电压的频率成正比, 与微机器人的电容成正比。

2) 由图 3 知, 双压电薄膜微机器人在串联一定的电感(48mH~144mH)后, 可以减小电路总阻抗, 从而在电源电压不变的情况下, 大大提高微机器人的运动速度。本研究内容对微机器人的无缆化研究有重要意义。