

基于数字电感的压电换能器动态匹配的研究

朱 武 张佳民 金长善 蔡鹤皋

(上海电力学院 上海 200090) (哈尔滨工业大学 哈尔滨 150001)

1999 年 2 月 1 日收到

摘要 本文用实验的方法叙述了压电换能器的静态夹持电容随温度变化的特性, 以及引起匹配质量下降的问题。提出了一种关于匹配的新概念——数字电感动态匹配, 使匹配电感跟随静态电容的变化, 从而提高匹配质量。实验结果表明这种动态匹配方法是行之有效的。

关键词 压电换能器, 动态匹配, 静态夹持电容, 数字电感

Dynamic matching of a piezoelectric transducer based on a digital inductance

Zhu Wu Zhang Jiamin

(Shang Hai Institute of Electric Power, Shang Hai 200090)

Jin Changshan Cai Hegao

(Harbin Institute of Technology, Harbin 150001)

Abstract The change with temperature of the clamped capacitance of a piezoelectric transducer is measured experimentally and the question of the resultant lowering of the matching efficiency of the transducer is raised. A new concept of matching-the digital inductance dynamic matching is proposed. The digital inductance changing with static clamped capacitance make matching better. Experimental results show that the proposed method is effective.

Key words Piezoelectric transducer, Dynamic matching, Clamped capacitor, Digital inductance

1 引言

在功率超声应用领域中, 换能器的电端匹配占有相当重要的地位。它可以解决以下两方面的问题: 一是调谐, 即用外加电感元件调节换能器的输入阻抗, 使输入相角趋近于零, 以减少功率传输中的无功分量。二是变阻, 即改

变换能器的有功电阻, 使之与发射机的输出阻抗接近, 以达到最佳功率匹配。若匹配不当, 声功率常达不到加工要求, 还可能导致换能器损坏。为此, 国内外学者对超声波换能器电端匹配进行了较深入的研究^[3-6]。回顾前人的工作, 有一个共同的特点, 在电端匹配上, 大都采用静态匹配, 这种静态匹配很不理想, 尤其

应用声学

· 31 ·

是在大功率超声应用的情况下,变得更严重,其原因如下:在大功率超声激励的应用场合,换能器的品质因数下降,在应力较大的地方发热显著增加,此时,即使增大输入电功率,也未必会增大换能器振子的振幅,而是使振子的损耗增大而产生热,因此导致换能器高达几十度,甚至上百度的温升^[1,2]。换能器温度的变化将改变换能器的静态夹持电容,电容的变化改变原来的匹配状态,使振幅下降,不能满足工作要求。而且换能器的这种温升变化与其加工对象,散热条件,环境温度以及工作时间长短等条件有很大关系,很难预测。夹持电容的显著变化导致静态匹配质量严重下降,为此对压电换能器进行动态匹配非常必要。

2 静态匹配对压电振动系统的影响

2.1 静态夹持电容的温度特性的研究

在大功率超声应用的情况下,为了增大声功率以及增大振动系统的振幅,大多采用将多片压电陶瓷片串联而构成压电陶瓷堆的方式来满足要求。因此,静态夹持电容量为单片压电陶瓷片静态电容的N倍(N为压电陶瓷片的个数)。由于大容量的静态电容的存在,使功率放大器处于有无功负载的状态下工作,效率低。因此,必须对静态夹持电容进行电端匹配,消除其影响。一般情况下,采用电感串联(或并联)的方式进行电端匹配。为了更好地消除静态电容的影响,有必要对压电陶瓷换能器静态电容的温度特性(随温度的变化)有充分的认识。作者以淄博陶瓷厂生产的 $\phi 40 \times 5$ 压电陶瓷片样品,以温度计和电容测试仪为测试工具,对静态夹持电容的温度特性进行了实验。其实验结果如图1所示。由图1知,静态电容对温度很敏感,具有较大的正温度系数,给静态匹配带来了困难。

2.2 静态匹配对振动系统的影响

电感匹配主要是消除静态夹持电容的影响,使振动系统容易获得更大的能量,以满足

人们的需要。由上述实验知,静态夹持电容对温度很敏感,具有较大的正温度系数,因此,采用静态匹配有不合理之处。作者以四片 $\phi 40 \times 5$ 的压电陶瓷片组成的阶梯型聚能器振动系统进行实验。以流过换能器的电流为振动系统振幅的特征量,或换能器两端电压为振动系统振幅的特征量,调节电发生器激振频率,使振动系统处于谐振状态,改变电感,使振动系统的振幅最大。在空载的状态下,保持电感和频率不变,改变夹持电容,测得由夹持电容变化引起静态匹配对振动系统的影响。测量结果如图2,3所示。由图2,3知,当采用静态匹配时,振

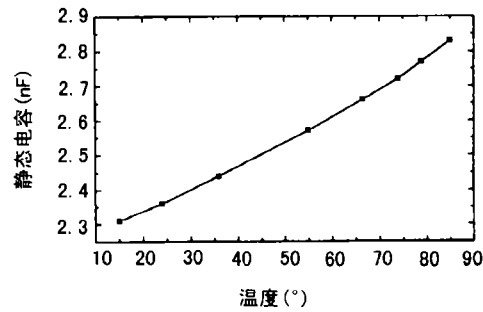


图1 压电陶瓷的温度特性曲线

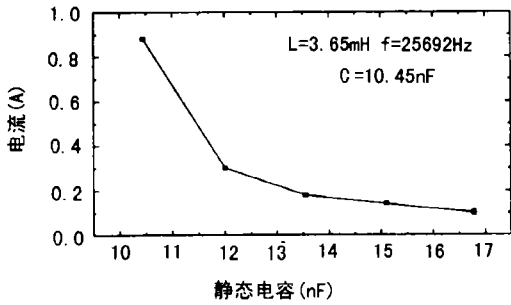


图2 静态夹持电容与换能器电流的关系

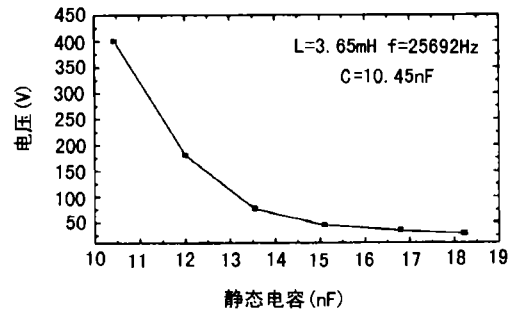


图3 静态夹持电容与换能器电压的关系

动系统的频率不变，而电容发生变化时，振动系统的振幅大大下降。因此，必须对变化的电容进行动态匹配。

3 数字电感动态匹配的实验研究

通常的电感匹配是通过调节电感铁芯的气隙间距，使之与某一温度下的静态电容相匹配，并保持不变。由上述实验知，当静态电容变化，而匹配电感固定不变时，振动系统的振幅显著下降。因此，这种静态匹配具有一定的局限性。由于这种电感量值是通过调节电感铁芯的气隙间距实现的，并且气隙间距与电感量值具有非线性关系，很难实现电感变化的自动控制。为此本文采用数字电感对静态电容实现匹配。根据电感量的调节范围，数字电感由 0.05mH，0.1mH，0.2mH，0.4mH，0.8mH，1.6mH 和 3.2mH 七个电感组成，总电感量为 6.35mH，数字电感的分辨力为 0.05mH。实际上电感不匹配程度为分辨力的一半即 0.025mH，以工作频率为 25kHz，不匹配引入的电抗为 3.9Ω，在实际应用中是完全可以接受的。

七个电感串联起来，每个电感的两端并联一个继电器，继电器的通断控制电感的接入或被短路，从而实现电感改变的数字化，控制起来也很方便。数字电感的示意图如图 4 所示。

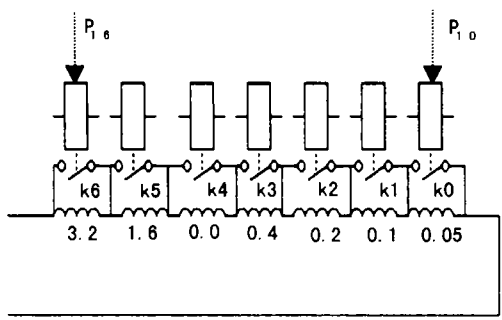


图 4 数字电感示意图

继电器开关由单片机 P1 口的 P1.0-P1.6 控制，当 P1 口的输出高电平时，开关 Ki 断开，电感接入，当 P1 口的输出低电平时，开应用声学

关 KI 闭合，将此电感从串联电感中短路掉。因此，P1 口输出数字的大小代表了匹配电感的大小，设串联匹配电感量为 L，则

$$L = L_{max} \cdot \sum_{i=0}^6 [p_{1,i}/2^i] \tag{1}$$

式中， $L_{max} = 6.35\text{mH}$

根据谐振状态下的等效电路，匹配电感 L，静态电容 C 和谐振频率 f 有如下关系成立：

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{LC}} \tag{2}$$

则匹配电感为：

$$L = \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot f)^2 \cdot C} \tag{3}$$

(3) 式中静态电容 C 可以通过在线检测的方法获得，谐振频率 f 利用单片机的计数功能测得，利用 (3) 式计算所需的匹配电感。设计计算所需的匹配电感为 L_1 ，则控制数字电感开关的十进制数为：

$$(N)_D = \left\lfloor \frac{L_1}{L_{max}} \cdot 128 \right\rfloor \tag{4}$$

式中， $\lfloor \bullet \rfloor$ 为十进制取整。然后将十进制数转化为十六进制数，由 P1 口输出，即可得到所需的电感量。作者在自制的超声振动系统上作实验，系统的谐振频率为 25713Hz，室温下的静态电容为 10.45nF，在实验过程中保持谐振频率基本不变，改变静态电容，通过数字电感匹配，其实验结果如表 1 所示

由表 1 可以看出，采用数字电感以动态匹配静态电容的变化，大大地提高了匹配质量，不会使振动系统因静态电容变化而导致振幅下降。这说明了数字电感的动态匹配是有效的。

4 结论

- (1) 静态夹持电容对温度非常敏感，温度升高将增大静态电容。
- (2) 静态电容变化导致静态匹配质量显著

表 1 数字电感的动态匹配效果

静态电容 (nF)	理论匹配值 (mH)	实际匹配值 (mH)	P1 口输出 ($N)_H$	机械臂电流 (A)
10.45	3.67	3.65	49H	0.893
12.03	3.19	3.20	40H	0.895
13.598	2.825	2.80	38H	0.899
15.16	2.534	2.55	33H	0.910
16.741	2.295	2.30	2EH	0.912

下降, 振动系统的振幅减小。

(3) 采用数字电感匹配, 可以根据电容的变化, 实时调节电感大小, 使振动系统处于较佳工作状态。

参 考 文 献

- 1 Seiji H. *Appl. Phys.* 1994. **33**: 2945-2948.
- 2 Seiji H, Manabu A, Yoshiro T. *Appl. Phys.* 1993.

32:2418-2421.

- 3 罗淑云. 应用声学, 1993. **13**(6): 25-27.
- 4 鲍善惠. 声学技术, 1996. **15**(4): 175-177.
- 5 林书玉, 张福成. 压电与声光, 1993. **14**(4): 29-32.
- 6 Coates R, Mathams R F. *Ultrasonics*. 1988. **26**(3): 59-64.
- 7 陈桂生. 超声换能器. 海洋出版社, 1984.

(上接第 8 页)

4 讨论

利用激光测振技术, 直接测量低频大功率超声换能器表面的振速, 实现超声换能器辐射声功率的测量, 研究表明在本文的测量声功率范围内, 这是一条行之有效的途径。对于所测量的增幅杆型超声换能器, 当激励标称电功率大于 15W 时, 水中已出现空化, 然而从图 2 所记录的光电信号可以看到, 大量的空化气泡对换能器表面位移的测量影响不大, 即使在激励电功率 48W 时仍然清楚地读出移动的条纹数。同时由实验可知, 该换能器的标称电声功率转

换系数至少为 0.40。

在激光干涉测定换能器辐射声功率中的另一关键问题是确定换能器的辐射声阻。对本文中被测的插入式增幅杆超声换能器, 可以近似为无幕的活塞辐射。但对于其它形式的超声换能器, 则还需从理论上进一步做相应的研究, 以获得它的辐射声阻抗表达式。所以, 进一步探索更简便而有效的激光干涉技术来检测超声换能器在液体中所辐射的声功率, 是我们下一步的研究目标。

参 考 文 献

- 1 Gilheary J J. *Am.J.Phys*, 1991. **39**(3): 507.
- 2 何祚镛, 赵玉芳编. 声学原理基础. 北京: 国防工业出版社, 1981. 247.

敬告读者:

本刊尚有少量 1999 年《应用声学》合订本, 价格 45 元/本 (已含挂号邮费)。另有部分历年过刊, 有需要者, 请与本刊联系。

地址: 北京海淀中关村路 17 号《应用声学》编辑部

邮编: 100080

电话: 010-

62567348

(本刊启)