

双通道超声控制器

阎玉舜 汤建明

(同济大学声学研究所)

超声控制器与其它形式的控制器相比,其独特之处在于这种控制器不产生电磁辐射,不会干扰附近的无线电控制系统或其它无线电敏感设备;当然这种控制器本身也不受外界无线电系统的干扰。另外,它还不受污物和灰尘的影响,因而又比光束控制系统优越得多。基于上述特点,超声控制器有着越来越广泛的应用,如幻灯放映机和电视接收机的遥控等。多通道的控制器,如彩色电视接收机的遥控需要十几个通道,也可用超声控制器完成⁽¹⁾。超声控制器还可以用于报警系统、自动门、交通信号灯的自动控制、以及传送带送料的自动控制等等。本文叙述一种我们研制的有两个控制功能的双通道超声控制器的工作原理及整机性能。

一、一般原理

双通道超声控制器由发射器与接收器两大部分组成,其方块原理如图1所示:

- 1、2, 正弦振荡器; 3, 切换开关;
- 4, 放大与匹配电路; 5, 发射换能器。
- 1, 接收换能器; 2, 多级放大器;
- 3、3', 选频网络; 4、4', 检波与直流放大

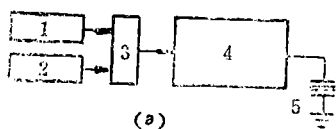
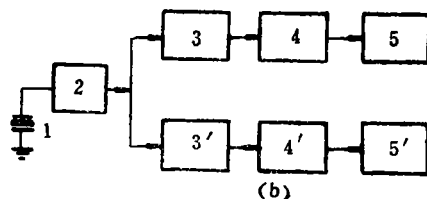


图1 (a)双通道超声控制器发射电路方块图



(b)双通道超声控制器接收电路方块图

器; 5、5', 继电器。

发射器包括振荡电路、放大电路以及匹配网络。振荡部分采用了电感反馈式,这种电路的特点是容易起振,可获得连续可调频率的正弦波,波形较好,且幅度较大。改变LC回路的电容,即可改变输出正弦波的频率。后面的放大电路采用一级放大即可达到要求,放大电路具有反馈网络,稳定性较好。输出匹配部分是用一个具有一个抽头的电感与换能器匹配,适当选择电感的抽头位置,使放大电路与换能器获得最佳匹配,以获得最大输出。

双通道发射器的两个发射频率,工作在串联谐振频率 f_0 附近,一个略大于 f_0 ,一个略小于 f_0 。当两个频率处在 f_0 两边阻抗特性相同之处时,它们的发射灵敏度就大致相同。

接收器的换能器直接接在多级放大电路的第一级输入端,换能器把接收到的超声信号转换成电信号经多级放大后,被送入选频网络,然后经检波,再经过直流放大后驱使继电器工作。放大器选频网络由一个可调谐的电感和一个电容成的LC谐

振回路，选频网络是接收器的重要部分。选频网络的频带越窄越好，一般要求谐振回路的Q值要高一些，可由使用较高导磁率的磁芯，并调节电感的初次级匝数比而得到满意的结果。具体比值要通过计算获得并由实验来确定。检波电路是由二极管来承担，但由于二极管输出的信号幅度较小，后面需要一直流放大电路，可用二个三极管构成一个复合管，以便有较大的输出电流来满足继电器工作的需要。

由于接收器要与发射器联合使用，所以接收器的两个选频网络也要工作在串联谐振频率 f_s 附近，并和两个发射频率保持一致。

超声控制器中最主要的元件就是换能器，它是影响控制器性能好坏的关键部件。考虑到向空气辐射的效率等因素，我们所使用的超声换能器是弯曲式压电双晶片。并在粘结工艺、支撑方式、相位平衡等几方面作了较细致的考虑，试制了一种小型高灵敏度气介超声换能器⁽²⁾。如图2所示：

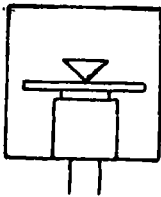


图2 小型高效超声空气换能器示意图

发射换能器发射出的超声波具有一定的指向性，如果波长与辐射器半径接近，指向性为半球形，对于某些超声控制器来说，我们希望其指向性为球形。

二、发射换能器的匹配

由于不同的应用需要，对于超声控制器的通道数目的要求也不一样，有些只需

要单通道，有些就需要双通道或更多的通道。一般说，对于多通道超声控制器的换能器的频带、功率和效率都有一定要求。这样就不得不考虑发射换能器与发射电路的匹配问题。

匹配问题包括以下几个方面：

调谐：为了使换能器工作在谐振状态，用一个电感调谐通常是方便的。这不仅可用一个并联电感 L_p ，而且可用一个串联电感 L_s 来达到。压电振子的等效电路如图3所示。

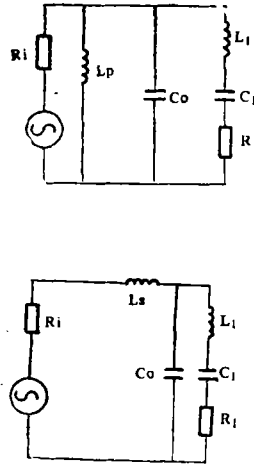


图3 压电振子接匹配电感时等效电路(a)并联 (b)串联 ω_s 和 ω_p 分别为压电振子串联角谐振频率与并联角谐振频率， C_0 为夹紧电容

接入 L_p 或 L_s 后形成两个耦合谐振电路：一个由 L_1 、 C_1 和 R_1 形成的机械耦合谐振电路，另一个由 L_p 、 C_0 和 R_i 形成的电耦合谐振电路，这两个耦合电路组成的通常类似于带通滤波器，电感近似为：

$$L_p = \frac{1}{\omega_s^2 C_0} \quad (1)$$

$$L_s = \frac{1}{\omega_p^2 C_0} \quad (2)$$

并联或串联调谐时，阻抗与频率的关系如图4所示：

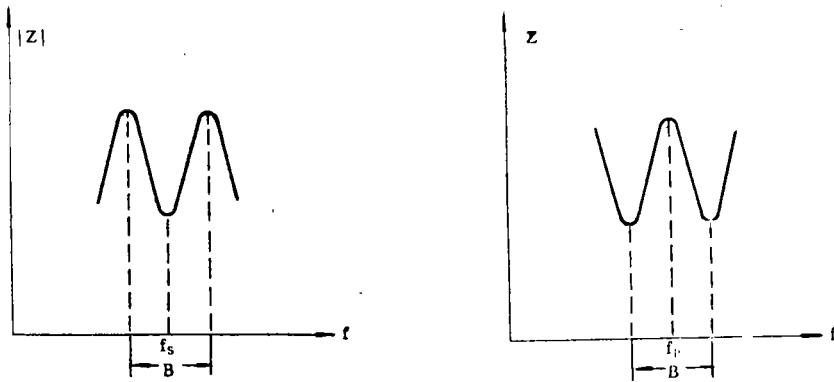


图4 并联调谐与串联调谐时的阻抗特性

并联调谐时，换能器在 f_s 处的阻抗是实阻抗，而串联调谐时，换能器在 f_p 处的阻抗是实阻抗。频率响应可从用电的或机械的方法改变终接电阻或机械阻来控制。在空载状态下，并联调谐时，带宽 B 约等于频响曲线上两个阻抗最大值之间的间隔，串联调谐时，带宽 B 约等于频响曲线上两个阻抗最小值之间的间隔。

匹配：匹配的目的主要是使换能器的输出达到最大值。匹配的形式也多种多样，根据不同的需要，采用不同的匹配方式。本机采用自耦匹配方式。这种匹配是利用自耦变压器原理来完成调谐匹配的。

如图5所示，电感的抽头接晶体管的集电

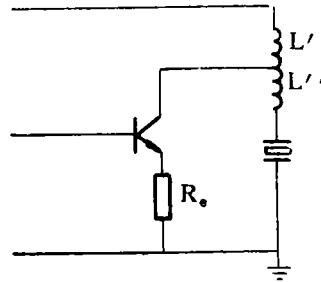


图5 发射匹配电路

板，改变抽头的位置使得晶体的输出阻抗与换能器的等效阻抗相等。其等效电路如图6 (a)，虚线部分表示换能器在谐振附

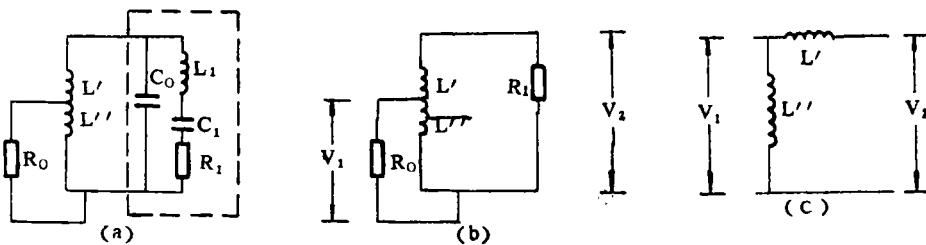


图6 计算匹配时的等效电路

近的等效电路， R_0 为晶体管的输出电阻。在这里自耦变压器总电感 $L_p = L'' + L'$ 与 C_0 调谐， L_1 与 C_1 调谐。

为了使阻抗达到匹配，需要计算自耦变压器的抽头位置，可利用图6 (b)和(c)

进行计算，根据匹配时自耦变压器两端的功率应相等，得到：

$$L'' = \frac{\omega_0 L_p^2}{R_1} \quad (3)$$

(下转第24页)

件, 这时抑制了其它的频率干扰, 因此响应电压波形反映了厚动振动时机电能量的转换, 由公式(17)计算厚度机电耦合系数 k_t , 自然就比较真实。

在压电振子的直径不是比厚度大得多时, 在振子厚度方向振动时, 径向受抑的条件不完全满足, 对应的介电常数就要比 ϵ^s 大(另一个极端条件是径向为自由时介电常数等于 ϵ^T), 在采用的压电方程中还得计入其它方向的应变, 引起的其它方向的振动, 势必影响厚度的振动, 从能量角度解释, 这时馈送给振子的总能量(电的或机械的), 除大部分分配在厚度振动模式, 还将有一小部分消耗在其它的振动模式中。显然, 厚度振动中的能量减少了。因此用本方法测试 k_t 值时, k_t 也将减小。一般是振子尺寸越小, 测得的 k_t 值越小, 为了避免其它振动对测试 k_t 值造成太大影响, 我们通常取厚度的尺寸至少小于其它方向尺寸的 $1/6 \sim 1/5$ 。

(上接第37页)

R_1 为换能器等效电阻, ω_0 应按 ω_c 计算。

这种匹配方式具有元件制作简单, 调节方便等优点, 特别适用于小功率发射。

三、结 语

本文介绍了超声控制器的一般原理及有关匹配问题。超声控制器关键部分是小型高效的空气辐射换能器, 我们将在另文介绍。另外, 在电路设计方面也要考虑简单、稳定和低成本。

本文讨论的是厚度模振动, 因此最适合于各向异性的压电材料的测试, 当然本文的分析方法可以推广到其它模式, 讨论中还可计及压电材料的损耗, 这些工作我们正在进行。

根据本文方法研制的PR-1型压电振子 k_t 测试仪, 经一年多使用验证, 该仪器测试的结果与用传输线法比较相差不超过5%, 该仪器已通过鉴定并正生产, 以供需要。

本文的工作曾得到同济大学魏教授的关心, 我们在此仅表示衷心地感谢。

参 考 文 献

- [1] Reedwood, M. "Transient performance of piezoelectric transducer", J. A. S. A. 33 (1961) 527
- [2] Papadakis, E. P.: "Theoretical and experimental methods to evaluate ultrasonic transducers for inspection and diagnostic application" IEEE Tran. SU-26.1 (1979) P. 14-27
- [3] 王晓光: "PR-1型 k_t 直读仪的研制" 电子元件与材料 5, 1983, P.11-15

双通道控制器主要指标:

发射频率:	通道 I 40.98KHz 通道 II 42.00KHz
发射换能器灵敏度:	不小于0.15Pa.M/V
接收换能器灵敏度:	20—40mV/Pa
最大控制距离:	15米(消声室中测量)
指向性:	210°
发射器电源:	9V

参 考 文 献

- [1] Mullard limited Co. 1974, piezoelectric cera-mics.
- [2] 小型高灵敏度气介超声换能器的工艺控制(见本期)