

纵波石英超声换能器的阻抗匹配

田 候 萌

(中国计量科学研究院)

1991年9月18日收到

本文分析了厚度振动模式的石英晶体换能器的辐射阻抗,叙述了换能器与射频激励源的一种电学匹配方法即传输线变压器结合 π 型LC低通滤波器的方法。实验结果表明,在1—5MHz频率范围内该匹配网络稳定性好,电声效率较高,满足标准声源的基本要求。

一、引 言

超声功率的量值传递是建立在超声功率传递标准系统的基础上的。所谓传递标准系统,实质上是一组标准换能器。在选择标准换能器的压电材料时,应首先考虑压电材料的长期稳定性。石英晶体的优良特性,特别是它的长期稳定性,使之成为标准换能器的较理想的压电材料。我国近年建立的毫瓦级超声功率传递标准系统就是采用石英晶体做为标准换能器的压电材料。标准换能器与射频激励源配合使用时,必须解决换能器与低输出阻抗源的阻抗失配问题。对于石英晶体,这种失配尤为严重。阻抗匹配方法一般分电学和声学方法两类,前者指在换能器与激励源输出阻抗之间的匹配,后者是指在换能器与辐射媒质之间加入一层或几层匹配材料使之与辐射媒质的特性阻抗相匹配。本文拟就一种电学匹配方法,即传输线变压器结合 π 型LC低通滤波器构成的阻抗匹配网络,进行一些研究和讨论。

二、毫瓦级超声功率传递标准系统

如前所述,超声功率传递标准系统实质上是一组性能稳定的标准换能器。其目的是复现一组超声功率量值,并将该组量值由国家基准或副基准传递到下一级标准,或者在国家基准

应用声学

或各级标准之间进行国际或国内比对。传递标准系统的方框图如图1所示。频率综合器输出的连续正弦波信号经宽带功率放大器放大,通过阻抗匹配器施加到标准换能器上,向水中辐射所需声功率的超声波。声功率由毫瓦级超声功率基准装置测量并校准,换能器上的激励电压用射频电压表监测。根据得到的各频率点的 $P-V^2$ 曲线,进行超声功率的量值传递。

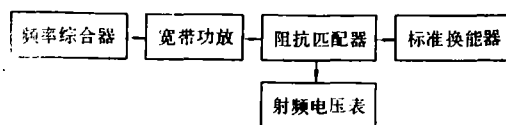


图1 传递标准系统的方框图

三、石英换能器的辐射阻抗

L. Bergmann^[1]推导了厚度振动模式的石英晶片的辐射阻

$$R_r = \frac{0.7 \rho_0 c_0}{f_0^2 A} (\Omega) \quad (1)$$

式中 f_0 ——晶片谐振频率(MHz); A ——晶片有效辐射面积(cm^2); $\rho_0 c_0$ ——辐射媒质的特性阻抗($\text{Pa} \cdot \text{s/m}$)。辐射声功率

$$P = U_{eff}^2 / R_r (\text{W}) \quad (2)$$

式中 R_r 为辐射阻(Ω), U_{eff} 为加在晶片上的激励电压。对20℃蒸馏水, $\rho_0 c_0$ 为 1.48×10^6

(Pa·s/m)。表 1 列出了有效直径 $\phi 18\text{mm}$ 的石英晶片的辐射阻理论值。从表中知石英晶体辐射阻远大于一般激励源内阻 50Ω ，严重的阻抗失配将影响整个传递系统的能量传输和电声转换效率。因此，为了使激励源输出最大电功率，即为了最有效地将电能转变为声能，必须使石英的辐射阻在数量上等于激励源的内阻。

表 1 1—5MHz 石英晶体的辐射阻与激励电压

频率(MHz)	1	2	3	4	5
辐射阻(k Ω)	407	101	45	25	16
激励电压(V)	451	225	150	112	89

表 1 中激励电压为石英晶片辐射 500mW 声功率所需的激励电压。

四、阻抗匹配网络原理及实验

由于激励源输出阻抗与负载(石英晶片)阻抗相距甚远，因此实现严格意义下的阻抗匹配十分困难，只能在某种近似程度上进行阻抗变换。从电学匹配角度考虑，为了减少兆赫级频段普通变压器磁耦合造成的能量传输损耗，先采用传输线变压器实现部分阻抗变换和电压提升，然后用 π 型 LC 低通滤波器的阻抗变换和谐振特性进一步变换阻抗，使源的输出阻抗变换至接近石英晶片的辐射阻，达到一定程度的近似匹配，同时 LC 低通网络又滤除了高次谐波的影响，使石英负载获得最大的激励电压和电功率。

图 2 给出了匹配网络的线路图。B1 和 B2 是两个特性阻抗不同的传输线变压器，阻抗变

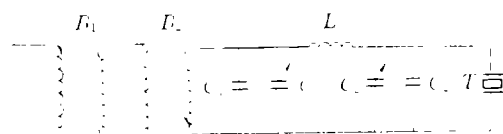


图 2 阻抗匹配网络线路图

比 1:4，级联后实现 1:16 的阻抗变换。传输线变压器的特点是频响宽、高频传输特性好、能量

损耗小，在 1—5MHz 频率范围内其性能完全满足使用要求。传输线变压器的原理、设计见文献[2]。通过选择适当的高频铁氧体磁芯和电感值，在晶片串联谐振频率下，调谐可变电容 C1 和 C2，使加在换能器上的激励电压最大。在串联谐振时石英晶片的等效电路相当于辐射阻与静态电容的并联回路，因此，图 2 中的电容 C2 包含了晶片的静态电容和连接电缆的电容。

传输线变压器和电感是匹配网络的关键元件。本实验中的传输线变压器采用磁导率 200、外径 22mm 的镍锌高频铁氧体磁环为磁芯，用 $\phi 0.2\text{mm}$ 的高强度聚脂漆包线绕制。由于传输线变压器的负载阻抗不是纯阻，因此，阻抗变换比不是严格的 1:4，而是一个频率的函数。此外，两个传输线变压器之间的特性阻抗失配也会影响其频带宽度和阻抗变比。对于单一频率激励的石英换能器，在串联谐振频率附近，通过改变两传输线变压器的匝数，从实验上确定其最佳响应匝数。

电感的磁芯对匹配效果的影响十分显著。实验中发现，对于不同参数的磁环，最佳电感值所对应的最大激励电压相差达四、五倍之多。实验证实磁性材料是造成能量损耗的主要原因，它取决于磁环的适用频率范围、磁导率和 Q 值。此外还有与线径有关的导线高频涡流损耗。经过不同实验比较，确定了一种特制的高 Q 铁氧体磁环，其典型 Q 值为 450，它的磁导率也较小，单位匝数的电感量为一至几个微亨。低磁导率的优点是能以较小的单位匝数电感量确定网络的最佳响应点。表 2 给出了 1—5MHz

表 2 1—5MHz 电感典型值和系统电声效率

频率(MHz)	1	2	3	4	5
电感(μH)	160	55	24	12	8
电声效率(%)	24.4	47.5	62.7	57.9	61.1

表中的电声效率是石英换能器的辐射声功率与 500 mW 时与功率放大器理想匹配时的输出电功率的比值，它包含了换能器本身的电声效率和匹配网络的电功率传输效率。

五个频率点下最佳电感的典型值和整个系统的

电声转换效率。

五、结 论

必须说明该匹配网络仅达到某一程度的近似匹配。从调试过程及对获得的实验数据的研究和分析发现,电感的铁氧体磁芯材料的 Q 值对匹配效果至关重要,此外,其它元件的构成材料及参数也较敏感地影响谐振电压。如果注意选择适当的元器件,进一步提高电感磁芯的 Q 值,匹配效果会更理想。

本文研究并讨论了纵波石英换能器与激励源的一种电学阻抗匹配方法。采用传输线变压器和 π 型 LC 低通滤波器构成的匹配网络能够

较好地解决高阻抗石英晶体和低输出阻抗的射频激励源的阻抗失配问题。由表2看到,除1 MHz外,其他频率点的电声效率均在45%以上,最高达62%。长期验证表明,该匹配网络具有性能稳定、线性度良好的优点,满足标准声源的基本要求。

周文成、熊大莲高级工程师给予本课题积极有益的指导,梁星明同志协助共同完成实验,在此一并表示感谢。

参 考 文 献

- [1] L. 别尔格曼,曹大文等译, 超声,国防工业出版社, 1964,107—116.
- [2] 谢沅清等,晶体管高频电路(上册),人民邮电出版社, 1979,159—179.

超声对水稻生长发育及增产效果的试验研究

任兴安 王益善 杨波

(陕 西 工 学 院)

张文明 刘 铂 赵志杰

(陕西省水稻研究所)

1991年11月11日收到

经三年时间用超声波对水稻育种的试验研究证实,用适当剂量超声处理稻种对促进种子发芽、生根、防止烂种烂芽有明显作用;可以促进分蘖和增加有效穗数,提高水稻产量。

一、引 言

据国内外有关资料^[1-3],超声处理作物种子能促进生长发育、提高产量。但超声处理水稻种子的效果怎样?我们未见报道。为探明超声对水稻育种的作用,从1986年至88年我们进行了试验研究。

二、材料、方法和试验过程

选用的试验品种是陕南杂交稻汕优63和国优品种水晶稻。超声波发生器,输出电功率

250W,频率13—18kHz。超声处理时间,1986年为0(CK)、5、7、10min四种;1987年分两组,第一组为0(CK)、4、8、12、16、20、24min七种,第二组为0(CK)、5、10、15、20、25min六种;1988年为0(CK)、5、10、15min四种。

超声处理,86年将谷子直接放入水槽进行。87年和88年先将干谷子用清水浸泡30min,然后放入水槽进行处理。

田间试验按国家农业试验的规范要求,每项试验设置3—4个重复区,小区采用随机区组排列或裂区排列两种。每小区面积15—40m²。

育秧方法采用只浸种不催芽的露地育秧、催芽的露地育秧和温室两段育秧三种。