

超声换能器的高功率性能测试

林 书 玉

(陕西师范大学应用声学研究所,西安 710062)

大功率超声换能器的性能测试是比较困难的。本文提出了一种测量大功率状态下夹心式压电换能器性能参数的新方法。利用该方法不仅能够得到换能器的各种转换效率,而且可以测量换能器等效电路中的等效电参数。实验表明,用该方法得到的结果与用高频电功率计法所得的结果基本上符合。这一方法为换能器的大功率状态性能评价提供了途径。

在功率超声的各种应用(如超声加工、焊接、清洗等)中,换能器的各种性能参数的测量是很重要的。根据这些参数,我们可以了解换能器的设计情况,和判断超声处理过程的有效程度。在小信号情况下,换能器的性能参数测量比较简单,传统的导纳圆法^[1]、M曲线法^[2]等,基本上都可以测量换能器所有的性能参数。文献[3]提出了一种通过测量换能器电端电压与电流之间的相位差来决定换能器等效电参数的方法,提高了换能器有载时的测量精度。在大功率状态下,换能器的性能参数测量比较难进行,因为大功率状态下工作的换能器经常处在非线性状态,此时换能器的导纳圆不再是一个比较规则的几何圆,从一个畸变的导纳圆中很难精确地得出换能器的各种性能参数,驻波比法^[4]可用于换能器的大功率性能测试,然而振动体内振速分布的绝对测量比较困难,因而限制了驻波比法的广泛利用。文献[5]提出了一种测量换能器实用状态下性能参数的高频电功率计法。由于需要测量换能器的机械损耗功率、介电损耗功率与换能器振速、其端电压之间的依赖关系,因此测量时间长。文献[6]报道作者测量了流过振动体的机械功率即声功率,但未能测量换能器的其他性能参数如等效电阻抗等。涉及的测试仪器的制作工艺比较复杂。

我们提出了一种测量功率超声换能器实用状态下各个性能参数的新方法,即在超声波发生器与换能器之间连接一个电匹配箱,在理想

匹配的情况下,利用换能器的等效电路,根据匹配电路的匹配原理及匹配参数,得到换能器实用状态下等效电路中的各个等效电参数,从而间接得出换能器的辐射效率、声功率等标志大功率超声换能器工作性能好坏的重要性能参数。

一、本方法的测量原理

在谐振时,由换能器的等效电路^[4]可得以下各式:

$$Y_1 = \frac{1}{R_0} + \frac{1}{R_1} + j\omega_1 C_0, \quad (1)$$

$$Y_2 = \frac{1}{R_0} + \frac{1}{R_1 + R_T} + j\omega_2 C_0, \quad (2)$$

$$Z = R_T - jX_T, \quad (3)$$

其中 $\omega_1 = 2\pi f_1$, $\omega_2 = 2\pi f_2$, f_1 及 f_2 为换能器的空载及有载谐振频率, Z 为其串联等效阻抗。假设超声波发生器的输出阻抗为纯阻 R_0 , 为保证发生器的超声频电能有效地传输给换能器, 必须加一匹配电路, 以达到调谐及阻抗变换的目的, 其具体形式见图 1 所示。图 1 中虚线内代表匹配电路, TR1 及 TR2 为匹配变压器, L 为匹配电感, N_1 及 N_2 为输入及输出变压器的初次级匝数比。理想匹配时, 由图 1 可得以下各式:

$$R_0 = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 R_T, \quad (4)$$

$$\omega L = \frac{1}{N_1^2} X_T \quad (5)$$

由(3)–(5)的三式可得换能器电导纳的另一表达式:

$$Y_1 = \frac{1}{R_{T_1} - jX_{T_1}} = \frac{R_{T_1} + jX_{T_1}}{R_{T_1}^2 + X_{T_1}^2} \quad (6)$$

$$Y_2 = \frac{1}{R_{T_2} - jX_{T_2}} = \frac{R_{T_2} + jX_{T_2}}{R_{T_2}^2 + X_{T_2}^2} \quad (7)$$

式中 $R_{T_1} = R_0(N_{21}/N_{11})^2$, $X_{T_1} = N_{21}^2\omega_1 L_1$, $R_{T_2} = R_0(N_{22}/N_{12})^2$, $X_{T_2} = N_{22}^2\omega_2 L_2$, N_{11} , N_{21} , L_1 及 N_{12} , N_{22} , L_2 分别为换能器空载及有载时的匹配电路参数。由此可得,

$$\frac{1}{R_0} + \frac{1}{R_1} = \frac{R_{T_1}}{R_{T_1}^2 + X_{T_1}^2} \quad (8)$$

$$\omega_1 C_0 = \frac{X_{T_1}}{R_{T_1}^2 + X_{T_1}^2} \quad (9)$$

$$\frac{1}{R_0} + \frac{1}{R_1 + R_r} = \frac{R_{T_1}}{R_{T_1}^2 + X_{T_1}^2} \quad (10)$$

$$\omega_2 C_0 = \frac{X_{T_1}}{R_{T_1}^2 + X_{T_1}^2} \quad (11)$$

另外,由文献[7]知,两个性能相同的换能器在辐射端用螺钉连接时,不产生振动。由此可得

$$\frac{2}{R_0} = \frac{R_{T_0}}{R_{T_0}^2 + X_{T_0}^2} \quad (12)$$

$$2\omega_0 C_0 = \frac{X_{T_0}}{R_{T_0}^2 + X_{T_0}^2} \quad (13)$$

其中 $R_{T_0} = R_0(N_{20}/N_{10})^2$, $X_{T_0} = N_{20}^2\omega_0 L_0$, $\omega_0 = 2\pi f_0$, f_0 为锚定频率。

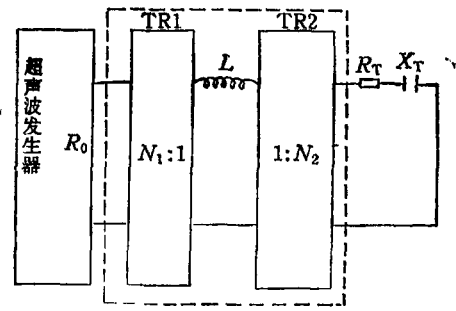


图1 超声发生器匹配电路框图

二、实验测量

利用本文所述之方法,我们对夹心式大功率超声换能器进行了测量,如图2所示,匹配程度由电功率计指示,即 P_L 与 P_F 之间的差别来判断。测量结果见表1,表2中也列出了用高频电功率计法的测量结果,可见二者符合得较好。

在表2中, P_{d_1} , P_{e_1} 及 P_{d_2} , P_{e_2} 分别为空载及有载时换能器的介电损耗及输入电功率, P_s 为声功率。

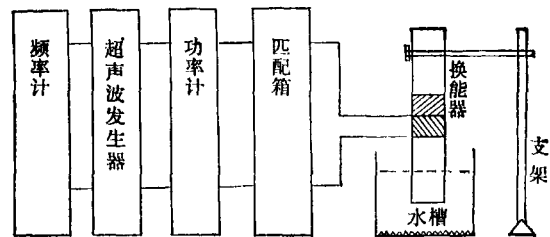


图2 大功率换能器的实验测试框图

表1 大功率换能器的实验测量结果

换能器	f_1 [Hz]	f_2 [Hz]	f_0 [Hz]	N_{10}	N_{20}	L_0 [mH]	N_{11}	N_{21}	L_1 [mH]	N_{12}	N_{22}	L_2 [mH]
BLT	19832	18500	19217	2.5	2.5	0.7	1.2	3.0	0.1	1.2	4.2	0.3
R_{T_0} [Ω]	X_{T_0} [Ω]	R_{T_1} [Ω]	X_{T_1} [Ω]	R_{T_2} [Ω]	X_{T_2} [Ω]	R_0 [Ω]	C_0 [pF]	R_1 [Ω]	R_r [Ω]	η_{m_1} [%]	η_{m_2} [%]	η_{s_0} [%]
50.0	528.3	312.5	112.1	612.5	615.1	11264.0	7768.7	364.1	1016.9	73.6	89.1	65.6

表2 大功率换能器的电功率计法测量结果

换能器	f_1 [Hz]	f_2 [Hz]	P_{d_1} [W]	P_{d_2} [W]	P_{e_1} [W]	P_{e_2} [W]	P_s [W]	η_{s_0} [%]
BLT	19860	18752	7.0	16.0	31.0	130.0	90.0	69.2

1. 本方法的测量精度取决于两个因素,一是换能器谐振频率的测量,二是匹配程度的改善。频率的测量必须保持输入电压不变,寻找最大输入电功率的对应频率。为达到理想匹配,变压器及电感应有多一些的抽头。

2. 性能完全相同的换能器难以制作,必须选择谐振频率、静态电容及介电损耗角比较接近的压电陶瓷片,并尽量保证相同的制作工艺。

- [1] W.P. Mason, *Physical Acoustics*, Academic, New York, Vol.1, Part A, (1964), 250.
- [2] Z. Jagodzinski, *Archiwum Akustyki*, 7-2 (1972), 151.
- [3] 林书玉等, *应用声学*, 9-5, (1990), 29.
- [4] S. Ueha, Y. Hashimoto, *Jpn. J. Appl. Phys., Suppl.*, 24-1 (1985), 169.
- [5] E. Mori, *Proc. Ultrason. Int.*, 72(1972), 338.
- [6] Sada-yuki Ueha, *J. Acoust. Soc. Am.*, 79-4(1986), 985.
- [7] H. Banno, *Ultrasonics*, 17-1 (1979), 63.

实验物理学术会议预告

为纪念胡刚复先生诞辰100周年,经中国物理学会批准,定于1992年5月21日至22日在南京大学召开实验物理学术会议。

筹备委员会主任:冯端(中国物理学会理事长)。

本次会议由中国物理学会、江苏省物理学会、上海市物理学会、南开大学、浙江大学、上海交通大学、河南大学和南京大学联合主办。

会议筹备组

第六届国际超晶格、微结构、微器件会议预告

第六届国际超晶格、微结构、微器件会议(ICSM-6)将于1992年8月4—7日在西安交通大学科学馆举行,这是第21届国际半导体物理会议(ICPS-21,8月10—14日,北京)的卫星会议之一。预计会议参加人员总数为300人左右,其中国内代表约为50人左右。

论文格式及有关会议的具体安排事项见英文第二轮通知复印件。

会议联系人:范卫军、江德生(邮政编码100083,北京912信箱)。

会议筹备组

1992年第5期《物理》内容预告

知识和进展

合肥国家同步辐射光源(何多慧);
磁场中的原子(杜孟利);
导电高聚物的三阶非线性光学效应(万梅香);
超导电性和其他宏观量子现象(阎守胜编译);
从非晶态半导体中的输运看时间标度(吴自勤编译);
半磁半导体的输运性质和杂质态(陈辰嘉等)。

物理学和经济建设

物理学与新型(功能)材料专题系列介绍(V) 金刚石薄膜及其应用(邹广田等);
激光医学应用的一项新进展(徐瑶);
新型大功率CO₂材料加工机(焦鹏飞编译)。

实验技术

弱磁场测量技术进展(李大明等)。

物理学史和物理学家

著名核物理学家邓稼先(唐廷友);
P. 勒纳和光电效应(杨建邨等)。

前沿和动态

许多国家兴建最新同步辐射光源(焦鹏飞编译);
贝尔实验室的光纤通信实验传输距离长达两万公里(朱振和编译);
第三届全国高温超导学术讨论会在中国科学技术大学举行(黄兴章);
第八届全国半导体物理会议简讯(汪兆平);
第四届全国材料科学中电子显微学会议简介(廖乾初)。