

一种单端谐振器去夹具测试方法

陈婷婷, 陈小兵, 杜雪松, 梁 栋, 谢征珍

(中国电子科技集团公司第26研究所, 重庆 400060)

摘要:介绍了一种单端谐振器去夹具测试的方法。该方法是将夹具误差等效成3项系统误差,利用矢量网络分析仪对夹具的短路、开路和负载状态进行直接测量求得这3项误差,然后通过公式转换得到被测件去除夹具影响后真实的S参数。通过编写优化程序拟合器件的导纳曲线,从而可准确计算出谐振器各等效电路元件值以及品质因数(Q)值。实验证明,该方法准确有效,适用于声表面波单端谐振器和声表面横波单端谐振器。

关键词:去夹具测试;单端谐振器;品质因数(Q)值

中图分类号:TN65 **文献标识码:**A

A De-embedding Method of Measuring One-port Resonators

CHEN Tingting, CHEN Xiaobing, DU Xuesong, LIANG Dong, XIE Zhengzhen

(26th Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Chongqing 400060, China)

Abstract: This paper presents a de-embedding way to measure one-port resonators. This way is to make the fixture errors be equivalent to three systematic errors, then the short, open and load situation of the fixture was measured directly by the Vector Network Analyzer and these three systematic errors were obtained, the actual S parameter of the measured device could be calculated. The optimized program was written to fit the actual admittance curve, thus the equivalent circuit components values and Q factor could be calculated accurately. The experiment has demonstrated the de-embedding measuring method was effective and suitable for SAW one-port resonator as well as STW one-port resonator.

Key words: de-embedding measurement; one-port resonator; Q factor

0 引言

声表面波(SAW)谐振器作为重要的SAW元件和频率控制元件广泛用于变频振荡电路中,在人们的日常工作生活中发挥着越来越大的作用;同时,它作为阻抗谐振单元是梯形滤波器的重要组成部分^[1]。相比瑞利波,声表面横波(STW)谐振器的主要优势为高品质因数Q值,如果谐振器的Q值越高,振荡受杂散的影响就越小^[2],对整个系统的信号反应就越灵敏,因此,谐振器Q值的准确性对后续电路设计至关重要。

现有各种测试单端谐振器的方法^[3-4],其中最直接简单的方法是探针测试法。该方法是对谐振器裸芯片进行探针测试,由于无引线电感、电阻及外壳杂散的影响,此方法测得的数据真实可靠;但对于已封装的单端谐振器,由于器件会受到各种杂散及测试

夹具的影响,尤其是谐振频率高于1 GHz时,此时夹具对谐振器测试数据的影响较大,因此如何能精确去除夹具影响是谐振器测试的关键问题。

为了能精确去除测试夹具的影响,准确计算出单端谐振器的等效电路元件值及Q值,本文介绍了一种单端谐振器去夹具测试的方法。该方法具体是将夹具误差等效成3项系统误差,利用矢量网络分析仪对夹具的短路、开路和负载电阻的状态进行直接测量,求得夹具的3项系统误差^[5];利用这3项系统误差计算出被测件真实的S参数,通过编写优化算法拟合单端谐振器导纳曲线,这样就可计算出器件准确的等效电路元件值:动电容 C_m 、动电感 L_m 、动电阻 R_m 、静电容 C_0 、直流电阻 R_0 及Q值。本文以807 MHz的SAW单端谐振器以及1 220 MHz的STW单端谐振器为例,证明该方法是有效的。

收稿日期:2011-11-10

作者简介:陈婷婷(1983-),女,重庆永川人,工程师,硕士,主要从事声表面波滤波器设计的研究。E-mail: 3782224@qq.com

1 测试原理

该去夹具测试法的物理连接如图 1 所示。

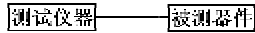


图 1 去夹具测试法的物理连接示意图

在测量单端口器件时需涉及到 3 项系统误差, 这些误差造成了被测件的测量值同真实值之间的差异。图 2 为单端口误差适配器模型的信号流程图。图中, E_D 为正向误差项, 该误差项是经端口 1 处定向耦合器信号泄露引起的; E_{RT} 为正向反射跟踪项, 该项是由测试路径和参考路径间的路径差引起的; E_S 为正向源匹配项, 该项由矢网仪的测试端口阻抗与特性阻抗不完全匹配引起。我们将这 3 项误差称为单端口测量系统误差。下面分 4 步对器件进行测试和计算, 即

- 1) 在 11 面用校准件对测试夹具进行校准。
- 2) 对测试夹具在短路、开路及外加 500Ω 负载电阻状态下用矢网仪进行直接测量, 得到 3 组 S_{11M} 数据, 通过下式计算得到 3 项误差。

$$S_{11M} = E_D + E_{RT} \frac{S_{11A}}{1 - E_S \cdot S_{11A}} \quad (1)$$

$$S_{11A} = \frac{1 - R_g \cdot \frac{1}{R_x}}{1 + R_g \cdot \frac{1}{R_x}} = \frac{R_x - R_g}{R_x + R_g} \quad (2)$$

式中: S_{11M} 为实际测试得到的 3 种状态下的 S_{11} 参数; S_{11A} 为测试夹具外加不同的负载阻值由理论计算得到的 S_{11} 参数; R_x 为在测试夹具上的外加负载电阻值; R_g 为系统负载 50Ω 。在式 (2) 中, 当整个测试夹具处于短路状态, 即 $R_x = 0$, 此时 $S_{11A} = -1$; 当整个测试夹具处于开路状态, 即 $R_x = \infty$, 此时 $S_{11A} = 1$; 当测试夹具加入 R_x 时, 即可计算出 S_{11A} 。将这 3 组 S_{11M} 和 S_{11A} 参数代入式 (1), 通过解方程组求得 E_D 、 E_{RT} 和 E_S 。

3) 用测试夹具对单端谐振器进行测试, 得到夹具和谐振器的 S_{11M} 参数, 代入式 (1) 求解得到谐振器真实的 S_{11A} 。

4) 编写优化程序拟合由 S_{11A} 转换得到的导纳

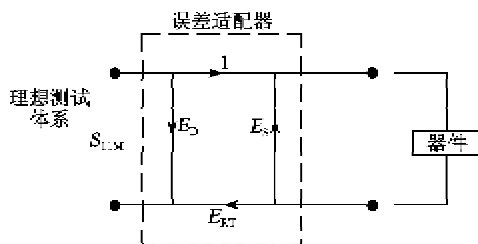


图 2 单端口误差适配器模型的信号流程图

曲线, 从而计算出单端谐振器的等效电路元件值 C_m 、 L_m 、 R_m 、 C_0 、 R_p 和 Q 值。

2 单端谐振器

图 3 为单端谐振器的近似谐振等效电路 BVD 模型图。定义单端谐振器的相关频率^[6-7]为

$$\omega_r = \frac{1}{\sqrt{L_m C_m}} \quad (3)$$

$$f_r = \frac{\omega_r}{2\pi} = f | \max(\text{Re}(Y_{11})) | \quad (4)$$

$$\omega_a = \frac{1}{\sqrt{L_m C_m C_0 / (C_m + C_0)}} \quad (5)$$

$$f_a = \frac{\omega_a}{2\pi} = f | \max(\text{Im}(Y_{11}))^{-1} | \quad (6)$$

式中: ω_r 为单端谐振器的谐振角频率; ω_a 为单端谐振器的反谐振角频率; f_r 为单端谐振器的谐振频率点, 是导纳实部幅值最大处的频率值; f_a 为单端谐振器的反谐振频率点, 是导纳虚部幅值倒数最大处的频率值, 如图 4 所示。

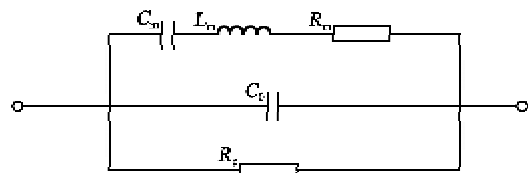


图 3 单端谐振器等效电路图

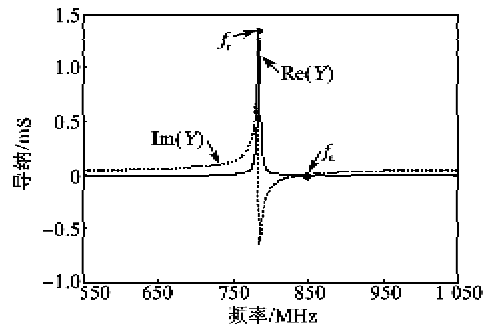


图 4 单端谐振器的典型导纳曲线

通过编写优化程序拟合导纳曲线可测得 C_0 、 ω_r 、 ω_a 和 R_p 。

$$\gamma = \frac{C_0}{C_m} = \frac{1}{(\omega_a / \omega_r)^2 - 1} \quad (7)$$

$$R_m = (\max(\text{Re}(Y_{11})))^{-1} \quad (8)$$

$$Q = \omega_r L_m / R_m = 1 / \omega_r C_m R_m \quad (9)$$

3 测试结果及应用

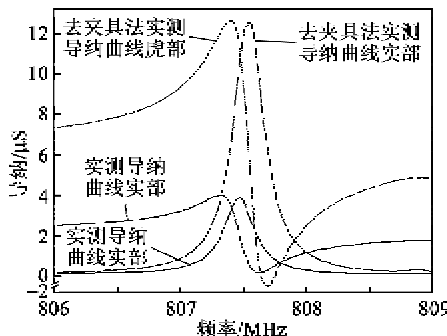
为了验证该去夹具模型的准确性, 我们对两款单端谐振器进行不去夹具的直接测试和去夹具测试, 并对两种测试得到的导纳曲线进行拟合, 计算出

几组谐振器的等效电路元件值和 Q 值, 如表 1 所示。图 5(a)、(b) 的谐振器晶片材料是 X-112°Y LiTaO₃; 图 5(c)、(d) 的谐振器晶片材料是 AT 切 (35°YX-) 石英。

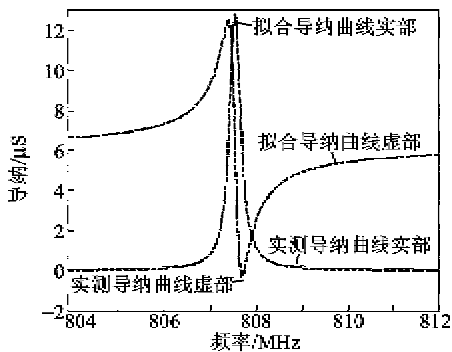
表 1 两款单端谐振器的等效电路元件值和 Q 值

等效电路元件值	807 MHz SAW 单端谐振器理论值	807 MHz SAW 单端谐振器去夹具实测值	807 MHz SAW 单端谐振器理论值
R_p/Ω	85.331 7	77.000 0	25.671 0
C_m/pF	$1.131 2 \times 10^{-3}$	$0.899 0 \times 10^{-3}$	$4.121 1 \times 10^{-3}$
L_m/nH	$3.433 8 \times 10^4$	$4.320 0 \times 10^4$	$3.721 7 \times 10^3$
C_0/pF	0.541 07	1.216 90	10.238 00
R_p/Ω	$1.433 2 \times 10^{12}$	$1.703 0 \times 10^{12}$	$1.140 6 \times 10^{14}$
Q	2 041.8	2 814.0	1 862.0

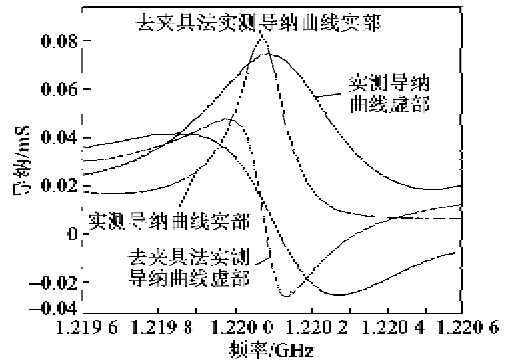
等效电路元件值	某公司对 1 220 MHz STW 单端谐振器测试值	1 220 MHz STW 单端谐振器去夹具实测值	1 220 MHz SAW 单端谐振器不去夹具实测值
R_p/Ω	7.368	12.400	1.335 4
C_m/pF	$2.178 0 \times 10^{-3}$	$1.266 0 \times 10^{-3}$	$4.832 6 \times 10^{-2}$
L_m/nH	$7.817 6 \times 10^3$	$5.300 0 \times 10^3$	$1.392 3 \times 10^3$
C_0/pF	0.774	3.089	26.027
R_p/Ω	113.900 0	115.000 0	42.265 3
Q	8 132	8 320	2 023



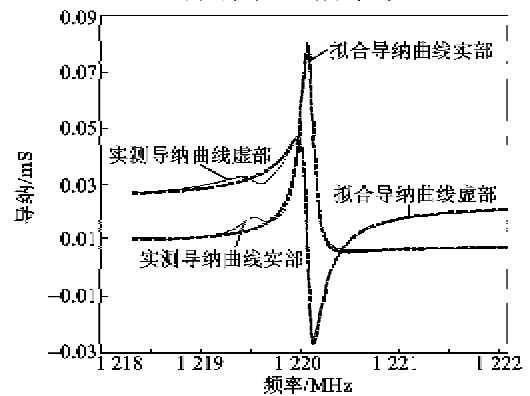
(a) 807 MHz SAW 单端谐振器不同测试法导纳曲线比较



(b) 807 MHz SAW 单端谐振器导纳曲线



(c) 1 220 MHz STW 单端谐振器不同测试法导纳曲线比较



(d) 1 220 MHz STW 单端谐振器导纳曲线

图 5 单端谐振器测试曲线比较

图 5 中, 实测导纳曲线是去除夹具影响后的导纳曲线, 拟合的导纳曲线同实测曲线相吻合, 计算得到的单端谐振器的等效电路元件值和 Q 值如表 1 所示。

由表 1 可见, 由该模型测得的 807 MHz 谐振器的等效电路元件值和 Q 值同理论值较一致, 数值上的差异是由于材料的 COM 参数不够精确造成的; 1 220 MHz STW 单端谐振器是由某公司设计开发的一款谐振器, 该公司用直接测量法测得了器件的等效电路元件值和 Q 值, 用本文的模型测得的数据同该公司测试值基本一致。

4 结束语

本文介绍了一种单端谐振器去夹具测试的方法。该方法是将夹具误差等效成 3 项系统误差 E_S 、 E_D 和 E_{RT} , 利用矢量网络分析仪对夹具的短路、开路 and 负载状态进行直接测量, 求得被测件真实的 S 参数, 最后通过拟合被测件的导纳曲线, 从而准确计算出谐振器等效电路各元件值及 Q 值。实例验证该去夹具测试方法是切实可行的。

(下转第 336 页)