

# 使用网络分析仪测量外部品质因子

谭 隐

(宁波工程学院,浙江 宁波 315016)

**摘要:**外部品质因子是设计谐振滤波器的重要参数,测量出外部品质因子对于获得所需要的滤波特征至关重要。本文描述了使用网络分析仪来测量外部品质因子的方法。文中讨论了单端口,双端口情况下如何测量外部品质因子,并推导了相关的测量公式。

**关键词:**谐振滤波器;外部品质因子;耦合系数;网络分析仪

中图分类号:TN710

文献标识码:A

文章编号:1008-7109(2006)02-0017-04

窄带带通谐振滤波器被广泛的应用在射频电路的设计中,在无线通信领域中扮演着重要角色。外部品质因子是设计谐振滤波器的重要参数,因此有必要精确测量外部品质因子以保证所需要的滤波器特征。在射频/微波波段,传统的测量品质因子的方法是使用 slotted 线,但是现在,slotted 线已被网络分析仪所取代。本文研究了如何使用网络分析仪测量外部品质因子。

## 1 双端口测量方法

在双端口测量电路中,网络分析仪与谐振腔通过特征阻抗为 50 欧姆的同轴线连接,同轴线与谐振腔之间通过电磁耦合以激励谐振。双端口测量电路可等效为图 1 所示电路。

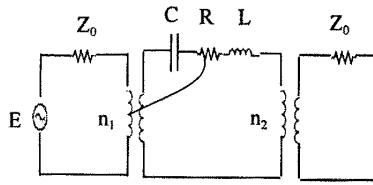


图1 双端口测量电路的等效电路

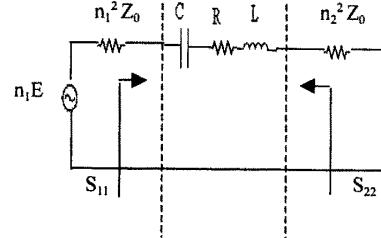


图2 双端口测量电路的另一种等效形式

由戴维南定理,图 1 电路可简化为图 2 所示电路。

容易证明有载品质因子  $Q_L$  可由公式(1)计算:

$$Q_L = \frac{Q_0}{1 + k_1 + k_2} \quad (1)$$

公式(1)中  $Q_0$  为无载品质因子。

$$k_1 = \frac{Q_0}{Q_{e1}} = \frac{n_1^2 Z_0}{R} \quad (2)$$

$$k_2 = \frac{Q_0}{Q_{e2}} = \frac{n_2^2 Z_0}{R} \quad (3)$$

$k_1$  和  $k_2$  分别是输入和输出耦合系数,  $Q_{e1}$  和  $Q_{e2}$  分别是输入和输出端口的外部品质因子。

收稿日期:2005-11-21

作者简介:谭隐,男,宁波工程学院讲师。

可以证明  $k_1, k_2$  和  $S$  参数有如下关系(证明见附录1):

$$k_1 = \frac{1 - S_{11}(f_0)}{S_{11}(f_0) + S_{22}(f_0)} \quad (4)$$

$$k_2 = \frac{1 - S_{22}(f_0)}{S_{11}(f_0) + S_{22}(f_0)} \quad (5)$$

$f_0$  是谐振腔的谐振频率,  $S_{11}(f_0)$  和  $S_{22}(f_0)$  是频率为  $f_0$  时的取值。

因为网络分析仪可以直接测出  $Q_L, S_{11}(f_0)$  和  $S_{22}(f_0)$ , 由公式(4)(5)可求出  $k_1, k_2$ , 再由公式(1)求出  $Q_0$ , 最后由公式(2)(3)可求出  $Q_{e1}$  和  $Q_{e2}$ 。

特殊的, 对于对称耦合, 即  $k = k_1 = k_2$ , 可以证明(见附录2):

$$k = \frac{1}{2} \frac{S_{12}(f_0)}{1 - S_{12}(f_0)} \quad (6)$$

$$Q_0 = \frac{Q_L}{1 - S_{12}(f_0)} \quad (7)$$

通常上  $S_{21}(f_0)$  的幅度用 dB 来表示, 则  $Q_0$  可表示为

$$Q_0 = \frac{Q_L}{1 - 10^{-\frac{|S_{21}(f_0)|}{20}}} \quad (8)$$

在对称耦合下,  $Q_{e1}$  和  $Q_{e2}$  相等, 它们可由公式(2)或(3)求出。

## 2 单端口测量方法

单端口测量中, 谐振腔只通过一个端口与网络分析仪耦合相连。此测量电路可以等效为电路图3。

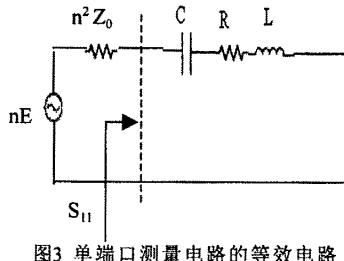


图3 单端口测量电路的等效电路

仿照双端口测量的分析, 可以得到下列公式:

$$k = \frac{Q_0}{Q_e} = \frac{n^2 Z_0}{R} \quad (9)$$

$$Q_0 = Q_L(1 + k) \quad (10)$$

$$k = \frac{1 - S_{11}(f_0)}{1 + S_{11}(f_0)} \quad (11)$$

使用网络分析仪测出  $Q_L$  和  $S_{11}(f_0)$ , 由公式(9) - (11), 可求出  $Q_0$ 。

$Q_e$  还可以从  $S_{11}$  参数的相位关系中求出, 相位也是频率的函数, 网络分析仪可以测出相位随频率变化的关系。计算由公式(12)给出。

$$Q_e = \frac{f_0}{\Delta f_{\pm 90}} \quad (12)$$

式中  $f_0$  为谐振频率,  $\Delta f_{\pm 90}$  为与谐振频率的相位相差  $\pm 90^\circ$  的两个频率之差。这里需要说明的是从相位提取  $Q_e$  的方法适用于窄带带通且高  $Q_0$  强耦合的情况。因为高  $Q_0$  强耦合, 所以可以认为谐振腔的电阻  $R$  为零, 在此假定之下, 容易证明公式(12)。

### 3 结论

文中描述了应用网络分析仪测量外部品质因子的方法。讨论了单端口, 双端口的测量并推导了测量公式。现在广泛应用电磁仿真软件来设计谐振滤波器, 因为电磁仿真软件能够模拟出  $S$  参数。本文所描述的方法同样可以用来仿真计算外部品质因子, 因此这种方法对设计出合适的外部品质因子具有实际意义。

#### 附录 1: 公式(4)(5)的证明

因为网络分析仪的两个端口都是匹配的, 根据两端口理论, 图 2 中的  $S_{11}, S_{22}$  参数由公式(13)(14)计算:

$$S_{11}(f) = \frac{R + jX + n_2^2 Z_0 - n_1^2 Z_0}{R + jX + n_2^2 Z_0 + n_1^2 Z_0} \quad (13)$$

$$S_{22}(f) = \frac{R + jX + n_1^2 Z_0 - n_2^2 Z_0}{R + jX + n_1^2 Z_0 + n_2^2 Z_0} \quad (14)$$

式中  $X = \omega L - 1/\omega C$

当谐振腔处于谐振状态时, 谐振腔呈现纯阻态, 即  $X = 0$ , 所以公式(13)(14)简化为:

$$S_{11}(f_0) = \frac{R + n_2^2 Z_0 - n_1^2 Z_0}{R + n_2^2 Z_0 + n_1^2 Z_0} = \frac{1 + k_2 - k_1}{1 + k_2 + k_1} \quad (15)$$

$$S_{22}(f_0) = \frac{R + n_1^2 Z_0 - n_2^2 Z_0}{R + n_1^2 Z_0 + n_2^2 Z_0} = \frac{1 + k_1 - k_2}{1 + k_1 + k_2} \quad (16)$$

由公式(15)(16)可以得到公式(4)(5)。

#### 附录 2:

#### 公式(6)(7)的证明

对称耦合的测量电路可简化为图 4 的电路。

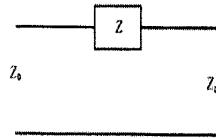


图4 对称耦合电路的简化等效电路

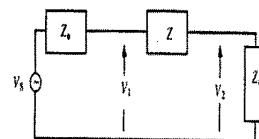


图5 求解 $S_{21}$ 的电路

求解  $S_{21}$  参数可以应用如图 5 所示电路。

运用分压定理,  $V_2$  可由公式(17)计算。

$$V_2 = \frac{Z_0}{Z + 2Z_0} V_1 \quad (17)$$

$S_{21}$  参数由公式(18)计算。

$$S_{21} = \frac{2V_2}{V_1} = 1 - \frac{Z}{Z + 2Z_0} \quad (18)$$

但是由图4可知,  $S_{11}$ 参数由下式计算:

$$S_{11} = \frac{Z}{Z + 2Z_0} \quad (19)$$

由公式(18)(19)可得:

$$S_{21} = 1 - S_{11} \quad (20)$$

因为对称耦合,  $S_{11}(f_0) = S_{22}(f_0)$ , 所以公式(4)(5)简化为

$$k = k_1 = k_2 = \frac{1 - S_{11}(f_0)}{2S_{11}(f_0)} \quad (21)$$

将公式(20)带入公式(21), 即可得到公式(6)。

将公式(21)带入公式(1), 即可得到公式(7)。

## 参考文献:

- [1] M. J. Lancaster. Passive Microwave Device Applications of high temperature superconductors [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1997: Chapter 4.
- [2] J. S. Hong. Couplings of asynchronously tuned coupled microwave resonators [J]. IEE Proc. Microwaves, Antennas and Propagation, 2000, 147: 354 - 358.
- [3] Devendra K. Misra. Radio - frequency and microwave communication circuits analysis and design [M]. New York: John Wiley & Sons, Inc, 2001: Chapter 7.

## Measurement of External Quality Factor with Network Analyzer

TAN Biao

(Ningbo University of Technology, Ningbo, Zhejiang, 315016, China)

**Abstract:** The external quality factor is the important parameter for the design of resonator filter, and the measurements of the external quality factor are important for obtaining the desired filtering characteristics. This paper presents the method for the measurement of the external quality factor using the network analyzer and discusses the measurements both in single port and double port and the formulae for the measurements thus derived.

**Keywords:** resonator filter, external quality factor, coupling coefficient, network analyzer

## 微波射频测试仪器使用操作培训

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立, 致力并专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养; 现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地, 推出多套微波射频以及天线设计培训课程, 广受客户好评; 并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书, 帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司, 以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

易迪拓培训课程列表: <http://www.edatop.com/peixun/rfe/129.html>

### 微波射频测量仪器操作培训课程合集



搞硬件、做射频, 不会仪器操作怎么行! 对于射频工程师和硬件工程师来说, 日常电路设计调试工作中, 经常需要使用各种测试仪器量测各种电信号来发现问题、解决问题。因此, 熟悉各种测量仪器原理, 正确地使用这些测试仪器, 是微波射频工程师和硬件工程师必须具备和掌握的工作技能, 该套射频仪器操作培训课程合集就可以帮助您快速熟悉掌握矢量网络分析仪、频谱仪、示波器等各种仪器的原理和使用操作…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/rftest/vna/67.html>

### 矢量网络分析仪使用操作培训课程套装

矢量网络分析仪是最常用的测试仪器是射频工程师和天线设计工程师最常用的测试仪器; 该套培训课程套装是国内最专业、实用和全面的矢量网络分析仪培训教程套装, 包括安捷伦科技和罗德施瓦茨公司矢量网络分析仪的 5 套视频培训课程和一本矢网应用指南教材, 能够帮助微波、射频工程师快速地熟悉掌握矢量网络分析仪使用操作…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/rftest/vna/34.html>



### 示波器使用操作培训课程套装

示波器是硬件和射频工程师几乎在每天的工作中都会用到仪器, 因此掌握示波器的原理并能够正确使用示波器是所有从事电子硬件电路设计和调试的工程师必须具备的最基本的技能。本站推出的示波器视频培训课程套装既有示波器的基本原理以及示波器性能参数对测量结果影响的讲解, 也有安捷伦和泰克多种常用示波器的实际操作讲解, 能够帮助您更加深入地理解手边常用的示波器从而更加正确地使用示波器…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/rftest/osc/49.html>

