

文章编号: 1672-8785(2017)06-0041-05

基于光波元件分析仪的红外探测器 S 参数校准技术

王广彪 魏石磊 张志辉 韩顺利

(中国电子科技集团公司第四十一研究所, 山东 青岛 266555)

摘 要: 为了消除基于光波元件分析仪的红外探测器 S 参数测量中系统误差和电光调制器对测量结果的影响, 提出了一种基于 12 项误差系数的校准方法。在对电光调制器和红外探测器的 S 参数进行建模的基础上, 构建了测量系统的数据流图, 并推导出了红外探测器的 S 参数校准公式。在 10 MHz ~ 20 GHz 范围内对红外探测器的 S_{21} 参数进行了测量。本文算法所得的数据与经过计量的 N4375D 型分析仪所测得的数据的皮尔逊积矩相关系数为 0.997。结果表明, 数据吻合良好, 进而验证了本文算法的正确性。

关键词: 红外探测器; S 参数; 校准技术; 光波元件分析仪

中图分类号: TN2 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2017.06.008

Research on the S-parameter Calibration Technique of Infrared Detector Based on Lightwave Component Analyzer

WANG Guang-biao, WEI Shi-lei, ZHANG Zhi-hui, HAN Shun-li

(The 41st Research Institute of CETC, Qingdao 266555, China)

Abstract: To remove the influences of system error and electro-optical modulation on the measurement result in the infrared detector S parameter measurement based on a lightwave component analyzer, a calibration method based on 12-term error coefficient is proposed. On the basis of the network modeling of both electro-optical modulation and S parameters of an infrared detector, the DFD of the measurement system is designed. The S parameter correction formula is derived. The S_{21} parameters of the infrared detector are measured in the range from 10 MHz to 20 GHz. The Pearson Product-moment Correlation Coefficient (PPMCC) between the data obtained by the proposed method and the data measured by using a N4375D-type analyzer is 0.997. The result shows that the data are in good agreement and the validity of the proposed method is verified.

Key words: infrared detector; S-parameter; calibration technique; lightwave component analyzer

0 引言

光器件参数测试技术是光器件发展的前提。近年来, 高速光传输系统的快速发展对光器件的性能提出了更高的要求, 使得人们对调

制频率高、测量精度高、动态范围大以及可实现综合参数测量的光器件测试系统的需求越来越大^[1-2]。

随着测试需求的日益旺盛, 各种新型测量

收稿日期: 2017-03-18

作者简介: 王广彪(1988-), 男, 山东济宁人, 工程师, 硕士研究生, 主要从事光纤传感和光电测量等方面的研究。

E-mail: eiqd@ei41.com

<http://journal.sitp.ac.cn/hw>

INFRARED (MONTHLY)/VOL.38, NO.6, JUN 2017

方法应运而生。例如,针对电光调制器和光电探测器的调制频率响应特性的测试,Eichen E 等人提出了一种基于半导体光放大器的自发辐射方法^[3];Lam A K M 等人提出了一种利用可调谐激光器对光调制器的输出信号进行下变频处理,同时只对中频信号进行测量的方法^[4];朱兴邦等人提出了一种改进型光外差测量方法^[5]。以上几种测试方法存在测试复杂、实施难度大、测试误差不易校准等缺点。而基于矢量网络分析仪的光器件 S 参数测量方法则具有测试重复性好、精度高、操作简便等优势,现已成为光器件 S 参数测试领域的研究热点^[6-8]。但针对测试中的校准技术的理论论述非常少见,所以本文基于矢量网络分析仪 12 项误差系数模型,分别对电光调制模块和红外探测器进行建模,进而构建系统的整体误差模型。与文献^[6]中的方法相比,本文算法采用矢量网络分析仪的直接测量数据,而不是对校准后的数据进行运算。这样不仅可以避免每次运算前必须进行校准的弊端,而且还可优化算法和提高实时性。

1 方案设计

1.1 光波元件分析仪测量系统

光波元件分析仪测量系统由双端口矢量网络分析仪、电光调制模块和光电转换模块构成。在对红外探测器进行测试时,需要用到矢量网络分析仪和电光调制模块。图 1 为利用该系统对红外探测器进行测试的示意图。

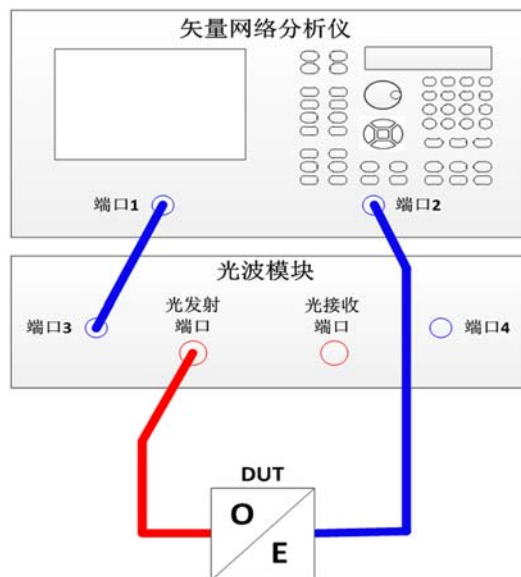


图 1 系统测试的示意图

1.2 双端口矢量网络分析仪 12 项误差模型

在双端口矢量网络分析仪的误差分析中,最常用到的是基于 12 项误差模型的 SOLT 校准

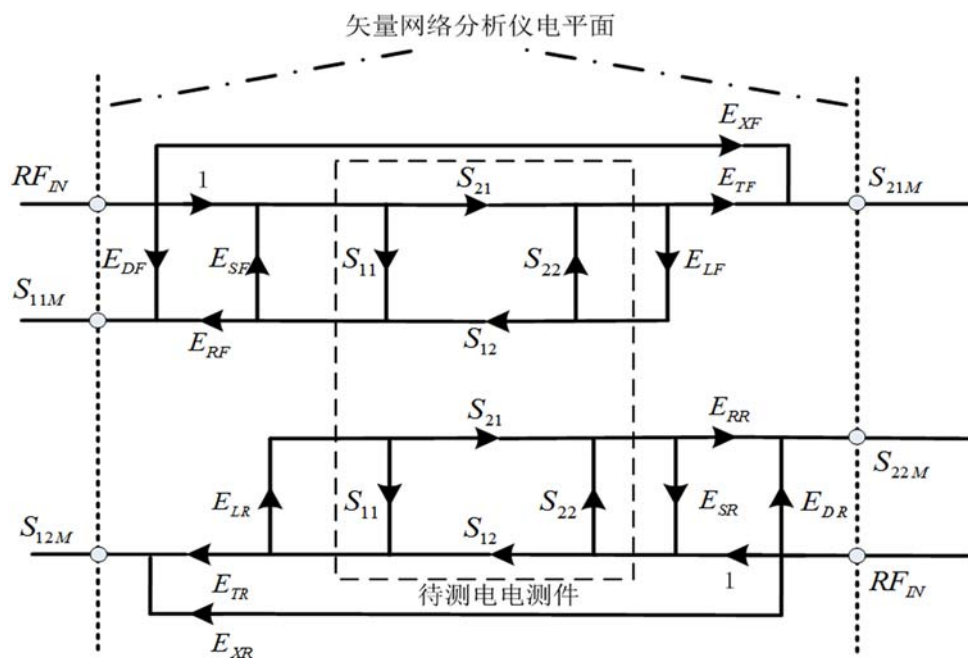


图 2 矢量网络分析仪 12 项误差系数模型

表 1 矢量网络分析仪的 12 项误差系数

误差项	方向性	隔离	源匹配	负载匹配	传输跟踪	发射跟踪
前向误差	E_{DF}	E_{XF}	E_{SF}	E_{LF}	E_{TF}	E_{RF}
后向误差	E_{DR}	E_{XR}	E_{SR}	E_{LR}	E_{TR}	E_{RR}

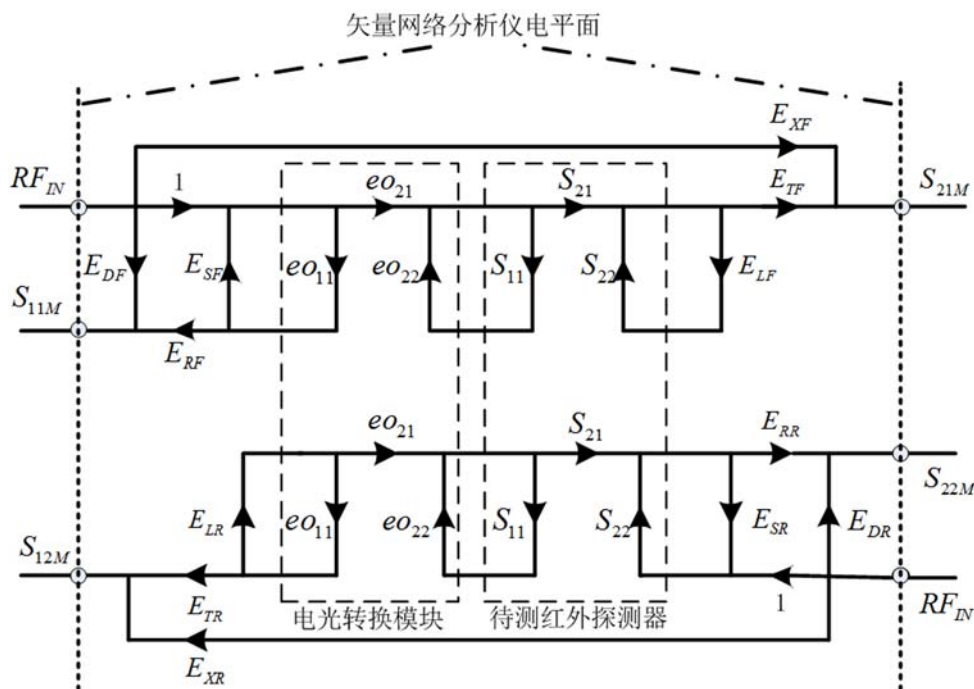


图 3 红外探测器测量误差模型

方法^[9]。图 2 为矢量网络分析仪 12 项误差模型的示意图。表 1 列出了各项误差系数的具体情况。

1.3 基于双端口矢量网络分析仪的测量系统误差模型

在测量光器件的 S 参数时, 我们更关注器件的传输特性, 而且现有的光电器件和电光器件均无法进行反向转换, 所以反向传输散射参数 S_{12} 为 0。因此, 测量红外探测器的正向传输散射参数 S_{21} 是本文研究的主要内容。

基于以上假设, 可建立红外探测器测量的系统误差模型 (见图 3)。其中, 矢量网络分析仪电平面是指未进行误差系数校准的测量端面。

1.4 公式推导

以前面建立的误差模型为基础, 推导红外探测器的正向传输散射参数 S_{21} 的计算公式。

(1) 根据前向误差模型 (图 3 上侧的数据流

图) 求解出散射参数 S_{21} :

$$S_{21} = \frac{(S_{21M} - E_{XR})(1 - eo_{11}E_{SF})}{eo_{21}E_{TF}} \times (1 - S_{22}E_{LF})(1 - S_{11}eo_{22}) \quad (1)$$

(2) 根据后向误差模型 (图 3 下侧的数据流图) 求解出散射参数 S_{22} :

$$S_{22} = \frac{S_{22M} - E_{DR}}{E_{RR} + S_{22M}E_{SR} - E_{DR}E_{SR}} \quad (2)$$

(3) 算法假设与优化。实际上, 待测红外探测器的光端口反射和电光调制模块的光端口反射都比较微弱^[6], 所以此处 $S_{11}eo_{22}$ 取 0, 即有

$$S_{21} = \frac{(S_{21M} - E_{XR})(1 - eo_{11}E_{SF})}{eo_{21}E_{TF}} \cdot (1 - S_{22}E_{LF}) \quad (3)$$

式 (2) 和式 (3) 中, S_{22M} 和 S_{21M} 为由矢量网络分析仪测得的矢量网络分析仪电平面 S 参数; eo_{11} 和 eo_{21} 均为电光调制模块的 S 参数, 可通过计量得到。由式 (2) 和式 (3) 可求得红外探测器的 S_{21} 参数。

2 实验实例

2.1 方案设计

首先,采用经过计量的是德科技公司生产的 N4375D 型分析仪对电光调制模块和红外探测器进行测量,分别得出两者的正向传输散射参数;然后基于本文提出的系统方案,采用中国电子科技集团公司第四十一所研制的 AV3672B 型矢量网络分析仪对红外探测器和电光调制模块整体进行测量,得出总体的散射参数;依据本文提出的计算方法,采用 N4375D 型分析仪所测得的电光调制模块数据作为基础数据,经计算得出红外探测器的正向传输散射参数;通过对 N4375D 型分析仪测得的红外探测器数据和本文方法获得的数据进行对比,验证本算法的正确性。

2.2 方案实施

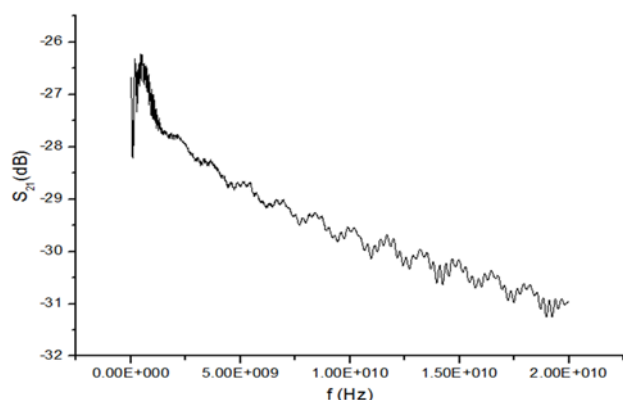


图 4 电光调制模块的正向传输散射参数

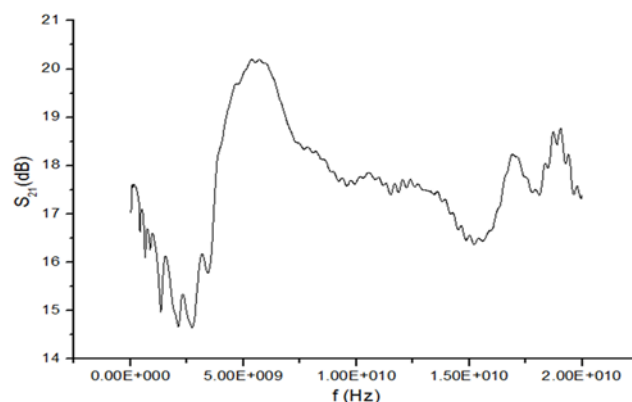


图 5 红外探测器的正向传输散射参数

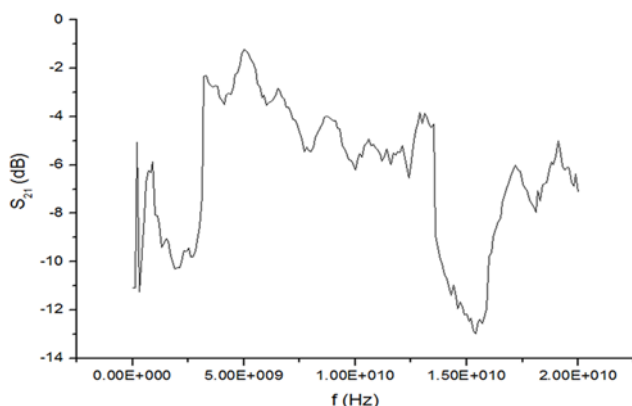


图 6 电光调制模块和红外探测器的总体 S_{21} 参数

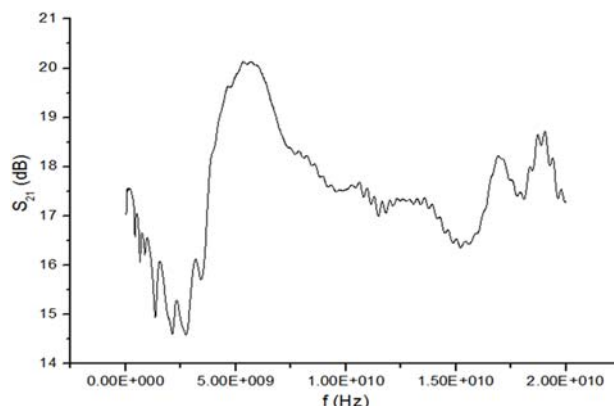


图 7 经计算得到的红外探测器的正向传输散射参数

我们采用经过计量的是德科技公司生产的 N4375D 型分析仪对电光调制模块和红外探测器进行了测量(结果见图 4 和图 5)。电光调制器和红外探测器的测量光波长为 1550 nm。

在矢量网络分析仪未校准的状态下,测量了电光调制模块和红外探测器的总体 S_{21} 参数(结果见图 6)。利用本文算法得到了红外探测器的 S_{21} 参数数据(见图 7)。

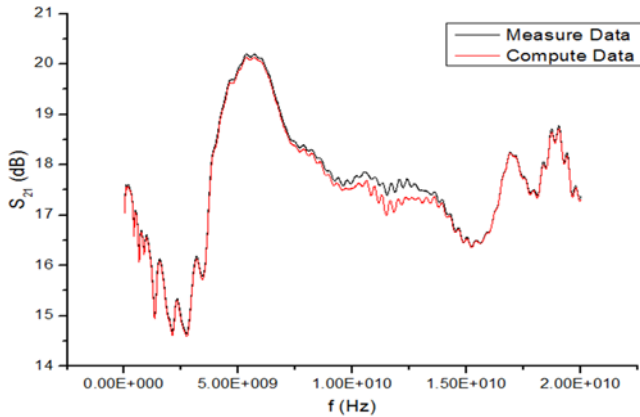
图 8 所示为本文算法所得到的 S_{21} 参数与 N4375D 型分析仪所测得的 S_{21} 参数的对比情况。

2.3 结果分析

相关是两个随机变量或信号之间的统计关系强弱程度的度量^[10]。根据文献[10]中的描述,本文选用皮尔逊积矩相关系数(Pearson Product-Moment Correlation Coefficient, PPMCC)来计算两组数据之间的相关系数。具体的计算公式如下:

表 2 相关系数表

编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
相关系数	0.997	0.995	0.998	0.997	0.998	0.997	0.996	0.995	0.998	0.997

图 8 S_{21} 数据的对比图

$$r_P(x_i, y_i) = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

$$= \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{\sqrt{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2} \sqrt{n \sum_{i=1}^n y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n y_i\right)^2}} \quad (4)$$

采用以上方法重复测量了 10 次, 并通过对比得到了 10 组相关系数 (见表 2)。然后计算这些相关系数的平均值:

$$\bar{r}_P(x_i, y_i) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n r_P(x_i, y_i)_k \quad (5)$$

计算结果为 0.997。由该值以及图 8 可知, 本文算法所得的数据与经过计量的 N4375D 型分析仪所测得的数据在 10 MHz ~ 20 GHz 范围内的整体趋势吻合良好, 进而验证了本文算法的正确性。

3 结束语

基于矢量网络分析仪搭建了一种集成度高、适用范围广的光波元件 S 参数测量系统。为

了消除系统误差和电光调制模块对测量结果的影响, 提出了一种基于矢量网络分析仪 12 项误差系数的校准方法。该方法通过与矢量网络分析仪的校准进行集成, 避免了必须先进行矢量网络分析仪电校准, 然后再针对测量结果进行二次运算的复杂操作。理论和实验结果表明, 本文方法所得的数据与经过计量的 N4375D 型分析仪所测得的数据吻合良好, 进而验证了误差校准模型和计算方法的正确性。

参考文献

- [1] 陈伯文. 频谱灵活光网络的保护恢复机制研究 [D]. 北京: 北京邮电大学, 2014.
- [2] 赵永利. 多层多域智能光网络关键技术研究 [D]. 北京: 北京邮电大学, 2010.
- [3] Eichen E, Schlafer J, Rideout W, et al. Wide-bandwidth Receiver/Photodetector Frequency Response Measurements Using Amplified Spontaneous Emission from a Semiconductor Optical Amplifier [J]. *Lightwave Tech*, 1990, 8(6): 912-916.
- [4] Lam A K M, Fairburn M, Jaeger N A F. Wide-band Electrooptic Intensity Modulator Frequency Response Measurement Using an Optical Heterodyne Down-conversion Technique [J]. *IEEE Trans Microw Theory Tech*, 2006, 54(1): 240-246.
- [5] 朱兴邦, 刘超, 费丰, 等. 基于光外差法的宽带示波器滤波器频响测试技术研究 [J]. *宇航计量技术*, 2015, 35(1): 10-13.
- [6] 王松, 黄永清, 任晓敏, 等. 扫频法精确测量高速光调制器频率响应 [J]. *红外与激光工程*, 2009, 38(6): 1020-1024.
- [7] 杨保国, 梁胜利, 李树彪, 等. 一种基于矢量网络分析仪的光波元器件测试的校准方法: 201410360964.7 [P]. 2014-07-23.
- [8] Keysight. Agilent N4375D Lightwave Component Analyzer User's Guide [Z]. 2012.
- [9] 秦红波. 矢量网络分析仪校准技术研究 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2014.
- [10] 徐维超, 马如豹. 相关系数在脉冲噪声环境下的稳健性综述 [J]. *广西工业大学学报*, 2015, 32(3): 1-4.