

传输线反向辐射对标准噪声源定标的影响

梁伟军 高秋来

(中国计量科学研究院,北京 100013)

摘要 分析了传输线反向辐射对微波标准噪声源定标的影响。根据经典的定标方程导出了相应的扩展定标方程。计算了匹配负载在不同反射系数下传输线反向辐射对定标结果的影响量。结果表明如果匹配负载的反射系数在 0 到 0.03 之间,传输线反向辐射对定标值的影响小于 1‰,实际应用中当匹配负载的反射系数大于 0.03,可以通过扩展定标方程得到更为精确的定标结果。

关键词 标准噪声源 噪声温度 微波辐射 反射

中图法分类号 TN98; **文献标志码** A

微波噪声源是微波器件噪声特性测量中的主要设备,它为测量提供已知大小的噪声功率。实际应用中有多种噪声源,例如:固态噪声源、气体放电管噪声源、有源低温负载以及标准噪声源等。标准噪声源是依据普朗克定律建立的微波噪声量值的物理标准器,它的输出噪声温度是可计算的,通过定标可以得到准确的输出噪声温度。这类噪声源具有最高的准确度,计量实验室通常采用这类噪声源作为标准噪声源^[1-5]。

根据普朗克定律任何处于绝对零度以上的物体都会向外辐射电磁波,微波频段由瑞利-金斯近似得到物体向外辐射的电磁波功率谱密度为:

$$p = kT \quad (1)$$

式(1)中 k 为波尔兹曼常数, T 为物体的噪声温度。如果该物体为绝对黑体,那么它的噪声温度等于物理温度。在微波频段,如果匹配负载满足反射足够小,损耗足够大两个条件就可以近似地看作绝对黑体。微波标准噪声源就是将匹配负载置于恒定的温度下,通过测量负载的温度,根据式(1)来得到它向外辐射的噪声功率谱密度,该噪声信号通过传输

线输出到噪声源的输出端口。标准噪声源的输出端口温度为室温,以便于和其他测量设备连接。图 1 是标准噪声源的简单原理图,通常匹配负载所处的温度不同于室温,这样传输线上的物理温度随着位置变化。

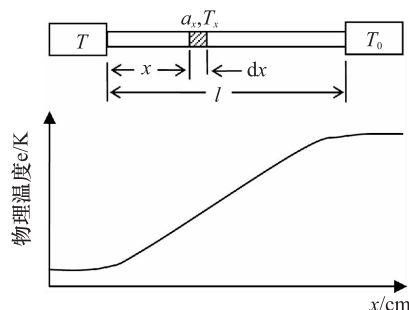


图1 标准噪声源的简单原理图

由于传输线存在损耗,匹配负载所产生的噪声信号会被传输线损耗一些,同时传输线自身也会产生少量噪声信号,这样输出端口噪声温度就需要一些修正才能得到准确的结果,这个修正的过程就是标准噪声源的定标过程。Stelzried 在 1965 年提出了标准噪声源的定标公式^[6]:

$$T_{\text{out}} = \left(T + 2 \int_0^l \alpha_x T_x L_x dx \right) / L \quad (2)$$

式(2)中 α_x 和 T_x 分别为传输线 x 处的衰减因子和物理温度, α_x 也与物理温度有关。 L 和 L_x 如下:

$$L = \exp \left(\int_0^l 2\alpha_x dx \right) \quad (3)$$

$$L_x = \exp\left(\int_0^x 2\alpha_x dx\right) \quad (4)$$

方程(2)的推导过程中忽略了传输线系统中失配的影响,从而不考虑传输线反向辐射可能引入的误差。如果匹配负载存在小反射,那么传输线反向辐射产生的噪声信号将会由于负载的反射而出现在输出端口,从而增加输出端口的噪声温度。

1 扩展定标方程

图2是输入端口存在失配的一段标准噪声源传输线。输入噪声温度为 T_i ,即输入的资用噪声功率为 kT_iB (B 是有效噪声带宽)。传输线上每小段 dx 产生的噪声信号将向正向和反向传播,图2中分别用 a 和 b 表示。如果匹配负载不存在反射那么反向传播的噪声信号将全部被匹配负载吸收而不会对输出噪声温度产生影响。为了考察传输线反向辐射部分的对最终定标的影响,设匹配负载的反射系数为 Γ_i 。

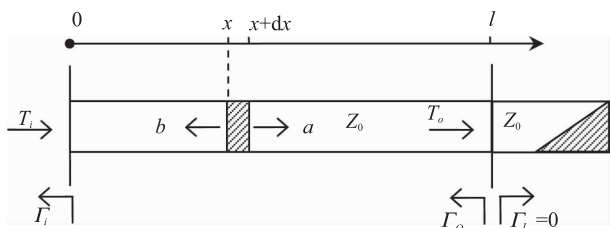


图2 标准噪声源传输线

由于反射的存在最终在 l 处的噪声功率将由三部分组成:输入噪声信号由传输线衰减后到 l 处的噪声功率,传输线所产生的正向辐射的噪声功率以及传输线所产生的反向辐射经反射后回到 l 位置的噪声功率。

1.1 入射噪声功率

入射噪声信号到达位置 l 处时由于传输线的损耗变为:

$$P_i = (1 - |\Gamma_i|^2)kBT_i/L \quad (5)$$

式(5)中 L 如(3)式定义。这项是匹配负载所产生的噪声功率,是输出噪声功率的主要部分。

1.2 传输线正向噪声功率

传输线具有一定的物理温度,它本身也会产生

噪声信号,该噪声信号将向正向和反向同时传播。在同一位置所产生的正向和反向噪声信号的功率大小一致。

由于传输线的物理温度是随位置而变化的,如Stelzried一样分析将整个传输线分为若干单元来计算。每段传输线单元,假设其温度和衰减因子是不变的,设为 T 和 α 。那么当处于热力学平衡的条件下(该小段的输入和输出噪声温度均为 T),这一小段传输线所产生的噪声功率等于损耗的噪声功率,有:

$$P_{dx} = kBT - kBT/\exp(2\alpha dx) \cong 2\alpha dx kBT \quad (6)$$

对每小段所产生的正向传播噪声功率积分同时考虑传输线的损耗就可以得到传输线所产生的正向噪声信号到达 l 位置的功率:

$$P_a = \int_0^l [2\alpha_x kBT_x dx / \exp(\int_x^l 2\alpha_x dx)] = kB \int_0^l 2\alpha_x T_x L_x dx / L \quad (7)$$

该项和式(2)中第二项是一致的。

1.3 传输线反向噪声功率

传输线产生的反向噪声信号将传输至匹配负载处0点,由于负载并不会十分理想,存在一定的反射,该信号将被反射回 l 处。反向噪声信号传输至0点处为:

$$P_{b0} = \int_0^l [2\alpha_x kBT_x dx / \exp(\int_0^x 2\alpha_x dx)] = kB \int_0^l (2\alpha_x T_x dx / L_x) \quad (8)$$

经过负载反射后传输到 l 位置的功率为:

$$P_b = |\Gamma_i|^2 kB \int_0^l (2\alpha_x T_x dx / L_x) / L \quad (9)$$

如果匹配负载的反射系数为0,那么该项影响是不存在的。

1.4 总输出噪声功率

如果忽略传输线自身可能存在的反射,上述三项的总和便为输出口 l 位置的噪声功率,即:

$$P = P_i + P_a + P_b \quad (10)$$

如图2所示,假设输出 l 连接的是一个无噪声的理想负载,可以得到输出口的资用噪声功率(用噪声温度表示)为:

$$T_o = \left[\frac{1 - |\Gamma_i|^2}{1 - |\Gamma_o|^2} T_i + \frac{1}{1 - |\Gamma_o|^2} \int_0^l 2\alpha_x T_x L_x dx + \right]$$

$$\frac{| \Gamma_i |^2}{1 - | \Gamma_o |^2} \int_0^l (2 \alpha_x T_x dx / L_x)] / L \tag{11}$$

不考虑传输线自身可能存在的反射,输出端反射系数和输入端反射系数存在下面关系^[6]:

$$| \Gamma_o | = | \Gamma_i | / L \tag{12}$$

将式(12)代入式(11)可以得到:

$$T_o = \left[\frac{1 - L^2 | \Gamma_o |^2}{1 - | \Gamma_o |^2} T_i + \frac{1}{1 - | \Gamma_o |^2} \int_0^l 2 \alpha_x T_x L_x dx \right] / L + \frac{L | \Gamma_o |^2}{1 - | \Gamma_o |^2} \int_0^l (2 \alpha_x T_x dx / L_x) \tag{13}$$

反射系数为0时,传输线的反向辐射噪声对于输出出口的噪声温度无影响,此时式(13)和式(2)一致。

2 传输线反向辐射的影响

为了分析传输线反向辐射对于标准噪声源定标的影响,以 WR - 28 低温标准噪声源为例分别根据式(13)和式(2)计算定标结果,来考察二者的区别。假设连接匹配负载至输出端口的铜波导传输线长 10 cm (l = 0.1 m)。匹配负载处于 80 K 的温度环境,输出口为室温。为了计算简单,假设波导上的物理温度为线性分布,从 80 K 变化到 296 K (T_c = 80 K, T_h = 296 K)。金属材料的电阻率随温度是线性变化的,那么可以得到波导段上的衰减因子满足下面的关系:

$$\alpha_x = \alpha_l \left(1 + \frac{\rho_0 - \rho_l}{\rho_l} \frac{l - x}{l} \right)^{1/2} \tag{14}$$

式(14)中 ρ_l和 ρ₀ 分别为铜在温度 T_h 和 T_c 时的电阻率(也就是在波导输出口 x = l 和输入口 x = 0 处的电阻率),α_l 为该铜波导在温度为 T_h 时的衰减因子,可以根据式(15)计算出来。

$$\alpha = \frac{1}{\sqrt{120 \lambda}} \frac{1 + \frac{2b}{a} \left(\frac{\lambda}{\lambda_c} \right)^2}{b \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{\lambda_c} \right)^2}} \sqrt{\rho} \tag{15}$$

式(15)中 a,b 分别为波导的宽边和窄边长度,λ 是波长,λ_c(λ_c = 2a)为波导的截止波长,ρ 为电阻率。

图3 给出输出反射系数从 0 至 0.05 变化时,26.5

GHz 和 40 GHz 两个频率点标准噪声源用式(13)和式(2)分别定标后的差别。由于传输线反向辐射噪声的影响增加了实际的输出噪声温度。当反射系数小于 0.03 时这项影响量不到 1‰,基本可以忽略。

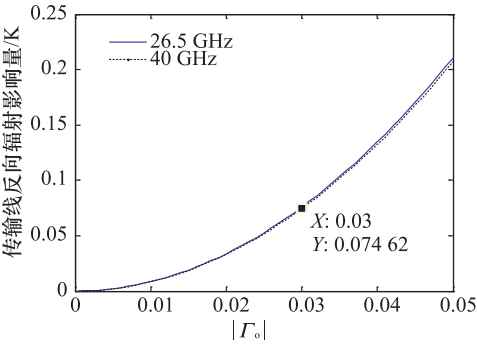


图3 传输线反向辐射对标准噪声源定标的影响量

3 结论

实际应用中匹配负载存在一定的反射,传输线的反向辐射噪声将对定标产生影响,增加输出端口的噪声温度。一般来说标准噪声源的准确度在 1% 至 3% 之间^[1-5],计算结果表明输出反射率小于 0.03 时该项影响量将不足 1‰,可以忽略。标准噪声源的输出反射系数如果大于 0.03 可以根据式(13)进行定标以获得准确的定标值。

参 考 文 献

1 Abramova O S, Golba V A, Petrosyan O G, *et al.* Millimeter band noise generator. *Measurement Techniques*, 1982;25(11):956—958

2 Achkar J. A set of waveguide primary thermal noise standards and related calibration systems for the frequency range 8.2—40 GHz. *IEEE Trans on Instrum Meas*, 1999;48(2):638—641

3 Cai X,Zhang T. Coaxial hot noise standard source at 400 ℃. *IEEE Trans on Instrum Meas*,1980;29:480—482

4 Sinclair M W,Wallace A M. A new national electrical noise standard in X-band. *IEE Proceedings*, 1986;133(5):272—274

5 蔡新泉,关志仁,杨川涛,等,高频、微波噪声的计量测试. 北京:中国计量出版社,1988

6 Stelzried C T. Temperature calibration of microwave thermal noise sources. *IEEE Trans on MTT*, 1965; January:128—130

入地研究和探索。这也是我们今后工作的方向。

参 考 文 献

1 吴欣峰. 校园网综合性能测量与评价的研究.[硕士学位论文]. 无锡:江苏大学,2007-12-15

2 傅翠娇. 自防御网络中客户端 Agent 的研究与实现. 现代电子技术. 2007;6:99—101

3 周剑岚. 基于 Agent 的内部网络安全系统研究与实现. 武汉:[博士学位论文]. 华中科技大学. 2006

4 张 平,冯 勇. 代理管理模型在内网安全中的应用. 计算机应用与软件, 2009; 6(26):57—58

5 肖竞华. 一种 P2P 网络的安全信任模型. 电脑与信息技术,2008; 4:11—13

6 Alawneh M, Abbadi I M. Proceedings of the 22nd Annual IFIP WG 11.3 Working Conference on Data and Applications Security LNCS. 2008;7:5094:229—253

7 韩 祥. 多级分布式内网监控系统的研究与实现. 成都:[硕士学位论文]. 电子科技大学, 2008

8 肖伟春. 多角度构建内网安全防护新体系. 计算机安全, 2007; 7:76—78

9 林 智,云晓春,余翔湛. 蠕虫传播特性研究. 微计算机信息, 2008;24(5—3):63—65

Research on the Security Model of Campus-wide Information Systems Based on Cooperative Group

SHI De-qin¹, LIN Qin-ying^{1,2}, WANG Xiao-ping¹, CHAO Ai-nong¹
(Engineering Institute, Air Force Engineering University¹, Xi'an 710038, P. R. China
Telecommunication Institute, Xi'an Jiao Tong University², Xi'an 710049, P. R. China)

[Abstract] To make real the aims of “security, controllability, efficiency” of campus network, a novel security model based on three-layer cooperative group is proposed. This model improved the efficiency of campus network, made full use of the CPU of terminal information system, and realized the auto-maintenance of terminals. Experiment result on simulation of worm defense shows the model’s effectiveness.

[Key words] campus network cooperative group security model

(上接第 6363 页)

The Influence of Backward Radiation on Evaluating the Standard Noise Source

LIANG Wei-jun, GAO Qiu-lai
(National Institute of Metrology, Beijing 100013, P. R. China)

[Abstract] The influence of the backward radiation of the transmission line on the evaluation of the microwave standard noise source is analyzed. An extension formula is deduced based on the classical evaluation formula. The influence quantity of the backward radiation versus the reflection of the matched load is calculated base on the extension formula. The results show that the influence quantity is within 1‰ if the reflectivity of the matched load is on the range of 0 to 0.03. The accurate evaluation results can be gotten by using the extension formula when the reflectivity of the matched load is large than 0.03.

[Key words] standard noise source noise temperature microwave radiation reflection