

使用 TEGAM 1830A 射频功率计测量输出驻波比(即源反射系数)

1830A 型功率计是 TEGAM (钛淦) 公司的支持热敏电阻式功率传感器的功率计, 是目前业内不确定度指标最好、支持传感器最多 (Agilent, TEGAM/Weinschel 等热敏电阻式传感器) 的功率计。可与 TEGAM 公司的射频功率传递标准构成完整的射频功率校准系统。可以直接替代 432A 功率计, 与 478A 和 8478B 直接连接使用。带 LXI-C 和 USB 接口。本篇文章将介绍如何使用 1830A 和功率终端标准对功率计等的参考输出进行输出驻波比(即源反射系数)的验证测量。



一、使用 1830A 测试 50MHz 参考信号输出驻波比的原理



当用 50 MHz, 1mW 输出功率作为参考输出标准使用功率计时, 验证 50 MHz 参考输出指标是否在指标范围内是非常重要的计量内容。TEGAM 公司生产的 1830A 型射频功率计配合热敏电阻功率传感器 (也叫热敏电阻座), 可以精确地测量 50 MHz 参考输出驻波比。通过这个独特功能, 1830A 允许用户改变热敏电阻座终端电阻值。这个方法给测量源提供两个明显不同的 Γ_{Load} 值, 以达到两种不同情况下功率吸收的精确测量, 使得测量源匹配十分有效。下面将解释如何使用 1830A 和热敏电阻座来测量输出驻波比。

下面来了解热敏电阻座是如何工作以及为什么通过改变用来参考电阻的阻值能够精确测量驻波比。

当射频功率从源向负载进行传播, 负载所吸收的射频功率值 P 取决于负载的输入阻抗和源的输出阻抗, 这一关系可以用反射系数表述如下:

$$P_A = P_{ZO} \times \frac{1 - |\Gamma_L|^2}{|1 - \Gamma_s \Gamma_L|^2}$$

其中, P_{ZO} 是匹配负载所吸收的射频功率;
 Γ_s 和 Γ_L 是源和负载的反射系数。

本文所描述的方法, 即是通过改变两种负载阻抗, 从而获得两种情况下的 Γ_L 和两种情况下的负载吸收功率 P_A 。

图 1 显示了直流电桥电路中包括两个串联的热敏电阻，正常的桥臂电阻为 200 Ω。热敏电阻 (T) 是匹配的，每个热敏电阻都是 100 Ω 的偏置电阻。对于射频信号输入两个热敏电阻是并联的，由于每个热敏电阻都是 100 Ω 的偏置电阻，所以并联电阻是很好的 50 Ω 终端。

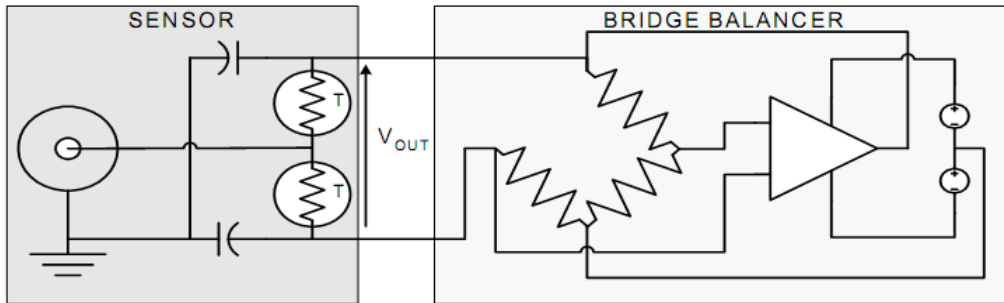


图 1 热敏电阻座和平衡电桥工作原理

热敏电阻座像 TEGAM 公司的 M1130A 或者安捷伦公司的 478A (带 H75 或 H76 选件) 的直流电阻为 200Ω 条件时，此时的射频阻抗为 50Ω，负载反射系数 Γ_{Load} 近乎于 0。¹ 改变热敏电阻座参考电阻至 100 Ω 时，射频阻抗变为 25Ω，同时假定的 Γ_{Load} 值为 0.33。在 200 Ω 和 100 Ω 时，热敏电阻座有效效率始终保持恒定，所以功率比值可以得到精确的得出。

如果两种负载情况下的反射系数分别为 Γ_1 和 Γ_2 ，而两种负载情况下测试功率结果分别为 P_1 和 P_2 (但在两种情况下，源的输出功率是相同的)，此时可以得到如下等式：

$$P_1 \frac{|1 - \Gamma_s \Gamma_1|^2}{1 - |\Gamma_1|^2} = P_2 \frac{|1 - \Gamma_s \Gamma_2|^2}{1 - |\Gamma_2|^2}$$

即：

$$\frac{P_1 (1 - |\Gamma_2|^2)}{P_2 (1 - |\Gamma_1|^2)} = \frac{|1 - \Gamma_s \Gamma_2|^2}{|1 - \Gamma_s \Gamma_1|^2}$$

可以将等式右侧可以表示为：

$$\sqrt{M} = \frac{|1 - \Gamma_s \Gamma_2|}{|1 - \Gamma_s \Gamma_1|}$$

可以由此计算出源的反射系数：

$$|\Gamma_s| = \frac{(2|\Gamma_1| M - 2|\Gamma_2|) \pm \sqrt{(2|\Gamma_2| - 2|\Gamma_1| M)^2 - 4(|\Gamma_1|^2 M - |\Gamma_2|^2)(M - 1)}}{2(|\Gamma_1|^2 M - |\Gamma_2|^2)}$$

¹ H75 和 H76 是 478A 为优化 VSWR 所提供的选件。特别是从 1 MHz 至 1 GHz，VSWR 最大值小于 1.3: 1；50MHz 例外，其最大 VSWR 为 1.05: 1。

二、用 1830A 测试输出驻波比的步骤

设备:

- TEGAM 1830A 射频功率计
- 热敏电阻座
 - ✧ TEGAM M1130A
 - ✧ Agilent 478A 带 H85 或 H76 选件
- 被测功率计带 50 MHz, 1mW 参考输出端口

步骤:

以下步骤用来测量输出驻波比:

1. 打开所有仪器并预热。如使用温度补偿热敏电阻座要允许适当温度范围内的稳定性。²
2. 将热敏电阻座连接至 1830A
 - a. M1130A 使用以下的导线:
 - 1) TEGAM CA-7-48 (传感器电缆)
 - 2) TEGAM CA-10-48 (加热器电缆)
 - b. 478A 使用 TEGAM CA-6-48 型导线 (传感器电缆)
3. 手动配置 1830A, 选择热敏电阻座。³
4. 确定 50MHz 参考输出在连接热敏电阻座之前关闭。⁴
5. 连接热敏电阻座和 50 MHz 参考输出输出连接口。
6. 写下 RHO_{200} 值, 即热敏电阻座在 50 MHz, 200 Ω 时 S22 的幅值。
 - a. 对于 M1130A 热敏电阻座, RHO_{200} 可以从校准报告上得到
 - b. 对于 478A 用 0.0012 作为估计值
7. 写下 RHO_{100} 值, 即热敏电阻座在 50 MHz, 100 Ω 时 S22 的幅值。
 - a. M1130A 使用 0.33 作为估计值
 - b. 478A 使用 0.33 作为估计值
8. 验证 1830A 参考电阻配置为 200 Ω 。
9. 将 1830A 归零。
10. 打开被测功率计的 50MHz, 1mW 参考输出。
11. 记录 1830A 前面板显示的功率值。
12. 关闭被测功率计的 50 MHz, 1mW 参考输出。
13. 设置 1830A 参考电阻至 100 Ω 。
14. 重复步骤 10-12。
15. 用以下公式计算功率比 M:

$$M = \frac{P_{200}(1-|RHO_{100}|^2)}{P_{100}(1-|RHO_{200}|^2)}$$

² 通过前面板验证 1830A 预热完成且稳定在零位。

³ 请参考输出 1830A 用户手册配置温度补偿热敏电阻座 vs. 安捷伦 478A 热敏电阻座。

⁴ 具体操作说明请参考输出被测功率计手册。

⁵ 负载中的 Gamma 是一个复值, 由于相角均在一个合理的范围内, 所以所有计算都只是用了 Gamma 的幅值 RHO 部分。

16. 下面公式使用 M 值计算输出电压反射系数:

$$|\Gamma_s| = \frac{(2|RHO_{200}|M - 2|RHO_{100}|) \pm \sqrt{(2|RHO_{100}| - 2|RHO_{200}|M)^2 - 4(|RHO_{200}|^2M - |RHO_{100}|^2)(M-1)}}{2(|RHO_{200}|^2M - |RHO_{100}|^2)}$$

17. 用下面公式计算输出驻波比。

$$SWR = \frac{(1 + |\Gamma_s|)}{(1 - |\Gamma_s|)}$$

三、输出驻波比测量计算举例

此例中被测功率计为安捷伦 E4418B。输出驻波比要求最大值为 1.06。此例中使用了 TEGAM 公司配置 M1130A 的 1803A。最终得到输出驻波比为 1.029。

记录值	数值
功率 (mW) (200 欧姆参考电阻)	0.9936
功率 (mW) (100 欧姆参考电阻)	0.8939
固定值 (热敏电阻座校准报告提供)	
RHO (200 欧姆参考电阻)	0.0014
RHO (100 欧姆参考电阻)	0.33
计算结果	
计算功率比 M	0.990489647
计算输出电压反射系数 (+)	0.014505294
计算输出电压反射系数 (-)	6.020741222
输出驻波比 (+)	1.029437589
输出驻波比 (-)	-1.398347557

注意: 附有所有公式的可下载电子表格在 TEGAM 论坛可以下载

<http://geneva.tegam.com/forums/>

四、使用 1830A 测试输出驻波比(即源反射系数)的意义

验证功率计的 50 MHz 参考输出驻波比在技术指标范围内非常重要。使用 TEGAM 1830A 和 M1130A 按照上述步骤操作, 您可以确定地验证该 50 MHz, 1mW 参考输出驻波比是否超出技术指标规定范围, 从而自信地完成功率计的校准和测试任务。

同时, 这一方法可以扩展到功率校准系统中等效信号源的源反射系数 $|\Gamma_{GE}|$ 的评估, 为我们在评定功率校准不确定提供更加准确可靠的数据, 进而更加准确的进行不确定评定。