

中功率计校准规范

1 范围

本校准规范适用于频率范围为1 MHz~40 GHz,功率范围为0.1 W~500 W 的各种类型的射频和微波中功率计的校准。

2 概述

中功率计是用来测量微波信号功率的仪器,基于其接入系统方式的不同,可分为通过式和终端式两种类型。

通过式中功率计通常由小功率计和定向耦合器组成,利用定向耦合器旁臂耦合部分功率,经检测后指示出通过功率的量值。

终端式中功率计是一种可作为终端负载吸收功率,同时指示出功率量值的测量仪器。按测量原理可分为量热计式中功率计、热偶式中功率计等。

3 计量特性

直流功率范围: 0.1 W~9 W;

校准因子测量不确定度: 2.0%~9% ($k=2$);

电压驻波比: 大于1.00。

注: 以上指标不是用于合格性判别,仅供参考。

4 校准条件

4.1 校准环境条件

环境温度: $(23\pm 5)^{\circ}\text{C}$;

相对湿度: 不大于80%;

供电电源: 电压 $(220\pm 11)\text{ V}$, 频率 $(50\pm 1)\text{ Hz}$;

其他: 周围无影响校准系统正常工作的机械振动和电磁干扰。

4.2 校准用设备

校准所用设备必须经过法定计量技术机构检定合格并在有效期内,或经注册校准实验室的校准,并在用户规定的建议复校时间间隔内。

校准用主要设备如下:

4.2.1 信号发生器

频率范围: 1MHz~40 GHz;

频率稳定度: 优于 $1\times 10^{-5}/5\text{ min}$;

幅度稳定度: 优于0.01 dB/5 min;

输出功率范围: -70 dBm~+20 dBm。

4.2.2 功率放大器

频率范围：1 MHz~40 GHz;

输出功率：0.1 W~500 W;

谐波抑制：小于一20 dBc;

输出电压驻波比：小于2.5。

4.2.3 标准功率计

频率范围：1 MHz~40 GHz;

功率量程：0.1 W~500 W;

电压驻波比：小于1.3;

校准因子不确定度：1.5%~3.0% (k=2)。

4.2.4 稳幅器

功率稳定度：优于0.5%/5 min。

4.2.5 直流稳压电源

直流输出电压：0 V~30 V,连续可调;

直流输出电流：0 A~1 A;

纹波有效值：小于10 μ V。

4.2.6 直流电流表

测量范围：0 A~2 A,0.5级。

4.2.7 定向耦合器

频率范围：1 MHz~40 GHz;

耦合度：大于20 dB;

输出端电压驻波比：小于1.2。

4.2.8 数字多用表

测量范围：0.1 V~100 V;

直流电压最大允许误差： ± 5.1 mV;

电阻最大允许误差： ± 14 m Ω 。

4.2.9 功率计

频率范围：1 MHz～40 GHz;

功率范围：1mW～100 mW;

校准因子不确定度：2.0%～3.0% (k=2)。

4.2.10 匹配负载

频率范围：1 MHz～40 GHz;

电压驻波比：小于1.3。

4.2.11 矢量网络分析仪

频率范围：1 MHz～40 GHz;

电压驻波比：小于1.1。

4.2.12 标量网络分析仪

频率范围：1 MHz～40 GHz;

电压驻波比：小于1.2。

5 校准项目和校准方法

中功率计的校准项目见表1。

表1 校准项目

校准项目名称	类 型
外观及工作正常性检查	功能检查
直流功率	量值校准
校准因子/射频功率	量值校准
电压驻波比	量值校准

5.1 外观及工作正常性检查

- 5.1.1 被校中功率计应有说明书、原校准证书及全部配套附件。
- 5.1.2 被校中功率计的外观应完好，各开关、按键等应调节正常，仪表不应有影响电气性能的机械损伤。
- 5.1.3 被校中功率计通电后应正常工作，并按其技术说明书规定时间预热，预热后指示正常，零点稳定可调。
- 5.1.4 校准前，如中功率计具有内部自校准功能，则应首先运行仪器内部自校准。

5.2 直流功率校准

热偶式、干负载量热式中功率计需要进行直流功率校准，常用的校准方法有电流电压法和电阻电压法。

5.2.1 电流电压法

校准步骤如下：

- a) 调准被校中功率计的零点，按图1连接校准设备；

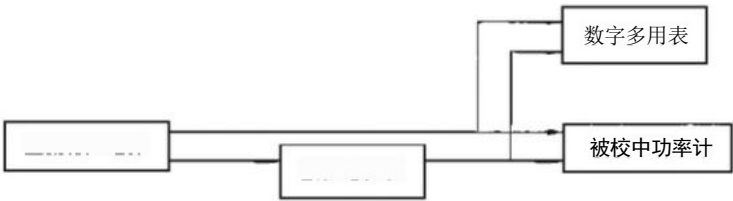


图1 电流电压法校准框图

- b) 调节直流稳压电源电压输出，使被校中功率计指示在被校功率值上；
- c) 待被校中功率计的示值稳定后，分别记录被校中功率计示值 P_x 、数字多用表示值 U 和电流表示值 I 于附录 A 中的表 A.1；
- d) 按式(1)计算加到被校中功率计的直流功率 P_{oc}

$$P_x = UI \quad (1)$$

式中:

P_c ——加到被校中功率计的直流功率, W;

I ——电流表的示值, A;

U ——数字多用表的电压示值, V。

c) 按式(2)计算被校中功率计的示值 P 。的引用误差, 将其记录于附录 A 中的表 A.1:

$$\delta = \frac{P_u - P_{DC}}{S} \quad (2)$$

式中:

δ ——被校中功率计的引用误差;

P_a ——被校中功率计的示值, W;

S ——被校中功率计的量程, W。

D 改变直流稳压电源电压输出, 重复步骤 b)~e), 校准功率值应根据高、中、低原则在被校中功率计量程内至少选择三个点。

5.2.2 电阻电压法

校准步骤如下:

a) 调准被校中功率计的零点, 按图2连接校准设备;



图 2 电阻测量框图

b) 数字多用表的电阻量程设置为自动量程, 用四线电阻法测量被校中功率计的直流电阻, 记录示值 R 于附录 A 中的表 A.2;

c) 按图3连接校准设备, 选择直流功率校准值, 根据高、中、低原则在被校中功率计量程内至少选择三个点, 记录直流功率校准值 P_c 于附录 A中的表 A.2;

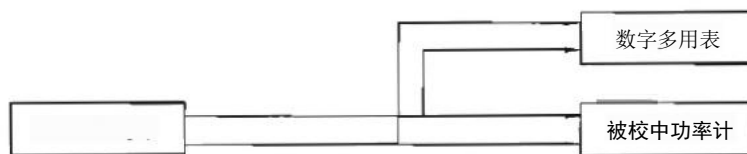


图3 电阻电压法校准框图

d) 按式 (3) 计算直流功率所对应的电压值 U_c , 将其记录于附录A 中的表A. 2:

$$U_c = \sqrt{P_c X_R} \quad (3)$$

式中：

R——数字多用表的电阻示值， Ω ；

U_c ——电压计算值，V。

e) 根据计算得出的电压值 U_c 调节直流稳压电源的电压输出，用数字多用表测量输出电压值 U ，待被校中功率计的示值稳定后，记录被校中功率计的示值 P_x 、电压测量值 U 于附录 A 中的表 A.2；

f) 按式(4)计算直流功率 P_{dc} ，将其记录于附录 A 中的表 A.2：

$$P_{dc} = \frac{U^2}{R} \quad (4)$$

g) 按式(2)计算被校中功率计的示值 P_x 的引用误差，将其记录于附录 A 中的表 A.2；

h) 改变直流稳压电源电压输出，重复步骤 e)～g)。

5.3 校准因子/射频功率校准

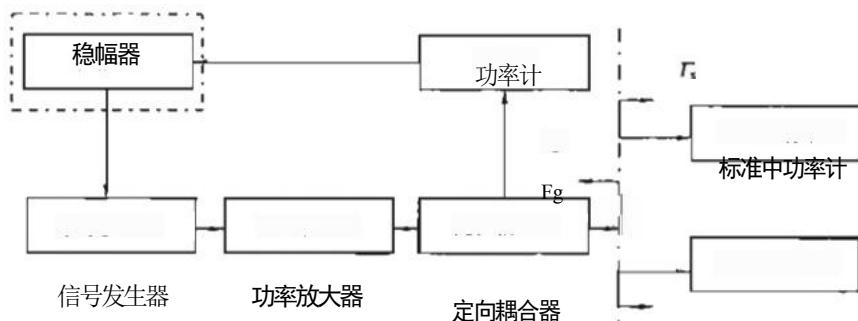
终端式中功率计的校准因子或射频功率采用交替比较法或传递标准法校准。通过式中功率计有两个端口(输入端口、输出端口)，校准输出端口的校准因子或射频功率采用直接测量法校准；校准输入端口的校准因子或射频功率采用通过式中功率计输出端连接负载作为终端式中功率计来进行校准。

5.3.1 交替比较法

交替比较法是利用高一级的标准中功率计校准被校中功率计。

校准步骤如下：

a) 按图4连接校准设备；



被校中功率计

测试端面 π

图4 交替比较法校准框图

- b) 设置信号发生器和功率放大器的射频输出开关到“OFF”位置，设置信号发生器的功率电平为最小值；
- c) 按要求设置信号发生器的频率；
- d) 将标准中功率计连接到测试端面；

- e) 设置信号发生器和功率放大器的射频输出开关到“ON”位置；
- f) 逐渐调节信号发生器的功率电平、稳幅器的稳幅电平至稳幅状态，使标准中功率计示值达到选定值，记录标准中功率计示值 P_s ，于附录 A 中的表 A.3；
- g) 设置信号发生器和功率放大器的射频输出开关到“OFF”位置，从测试端面上断开标准中功率计，连接被校中功率计到测试端面；
- b) 设置信号发生器和功率放大器的射频开关到“ON”位置，保持稳幅状态，记录被校中功率计示值 P_w 于附录 A 中的表 A.3；

i) 按式(5)计算被校中功率计的校准因子：

$$K_u = K_s \frac{P_{bs}}{P_{ws}} \frac{|1 - \Gamma_{gs} \Gamma_u|^2}{|1 - \Gamma_{gs} \Gamma_s|^2} \quad (5)$$

式中：

K ——被校中功率计的校准因子；

K_s ——标准中功率计的校准因子；

P_w ——被校中功率计示值，W；

P_s ——标准中功率计示值，W；

$\frac{|1 - \Gamma_{gs} \Gamma_u|^2}{|1 - \Gamma_{gs} \Gamma_s|^2}$ ——失配因子，计算时视为 1；

Γ ——等效源反射系数；

r ——被校中功率计反射系数；

T ；——标准中功率计反射系数。

j) 按式(6)计算入射到被校中功率计入射端的射频功率 P_i ：

$$P_i = \frac{P_{bs}}{K_s} \frac{|1 - \Gamma_{gs} \Gamma_s|^2}{|1 - \Gamma_{gs} \Gamma_u|^2} \quad (6)$$

k) 设置信号发生器和功率放大器的射频输出开关到“OFF”位置，设置信号发生器的功率电平为最小值，从测试端面上断开被校中功率计；

l) 重复步骤 d)~k)，测量 3 次，分别计算被校中功率计校准因子 K 。和射频功率 P_i 的平均值，数据记录于附录 A 中的表 A.3；

m) 改变信号发生器频率, 重复步骤 d)~l), 在被校功率计频率范围内按高、中、低原则至少选择三个频率点。

5.3.2 传递标准法

传递标准是由定向耦合器和功率计组成, 由高一级功率标准定标, 确定出其校准因子 K 。传递标准法是利用传递标准校准被校功率计。

校准步骤如下:

a) 按图5连接校准设备:

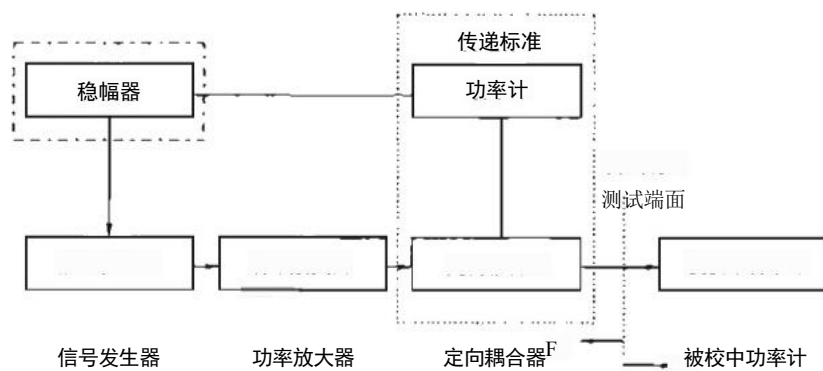


图 5 传递标准法校准框图

- b) 设置信号发生器和功率放大器的射频输出开关到“OFF”位置，设置信号发生器的功率电平为最小值；
- c) 按要求设置信号发生器的频率；
- d) 将被校中功率计连接到测试端面；
- e) 设置信号发生器和功率放大器的射频输出开关到“ON”位置；
- f) 逐渐调节信号发生器的功率电平、稳幅器的电平，使被校中功率计示值达到选定值，记录传递标准功率示值 P_s 和被校中功率计示值 P_u 于附录 A 中的表 A.4；
- g) 按式 (7) 计算被校中功率计的校准因子：

$$K_u = K_s \frac{P_{bu}}{P_s} |1 - \Gamma_{ge} \Gamma_u|^2 \quad (7)$$

式中：

K_u ——被校中功率计的校准因子；

K_s ——传递标准的校准因子；

P_u ——被校中功率计的示值，W；

P_s ——传递标准的功率示值，W；

$|1 - \Gamma_{ge} \Gamma_u|^2$ ——失配因子，计算时视为1。

- h) 按式 (8) 计算入射到被校中功率计输入端面的射频功率 P_i ；

$$P_i = \frac{P_s}{K_s} \frac{1}{|1 - \Gamma_{ge} \Gamma_u|^2}$$

(8)

i) 设置信号发生器和功率放大器的射频输出开关到“OFF”位置，设置信号发生器的功率电平为最小值，从测试端面断开被校中功率计；

j) 重复步骤d)~i)，测量3次，分别计算被校中功率计校准因子 K 。和射频功率 P 的平均值，数据记录于附录 A 中的表A. 4；

k) 改变信号发生器频率，重复步骤 d)~j)，在被校中功率计频率范围内按高、中、低原则至少选择三个频率点。

5.3.3 直接测量法

直接测量法是利用终端式中功率标准对被校通过式中功率计进行校准。

校准步骤如下：

a) 按图6连接校准设备；

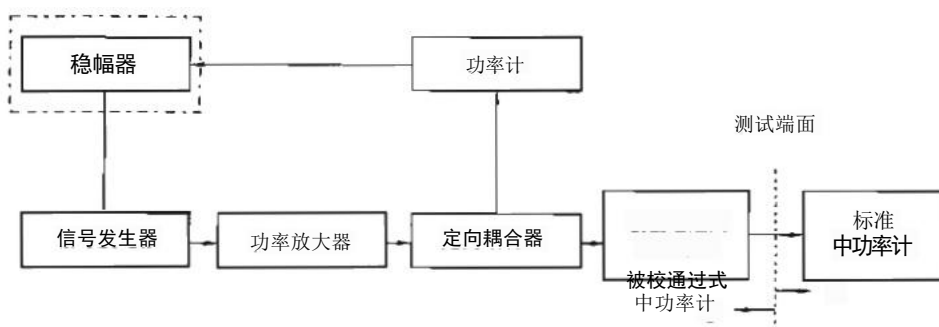


图6 直接测量法校准框图

b) 设置信号发生器和功率放大器的射频输出开关到“OFF”位置，设置信号发生器的功率电平为最小值；

c) 按要求设置信号发生器的频率；

d) 将标准中功率计连接到测试端面，设置信号发生器和功率放大器的射频输出开关到“ON”位置；

e) 逐渐调节信号发生器的功率电平、稳幅器的电平，使被校中功率计示值达到选定值，分别记录标准中功率计示值 P 和被校中功率计示值 P 于附录 A 中的表 A.3；

f) 按公式 (9) 计算被校中功率计的校准因子 K ：

$$K_u = K_s \frac{P_{bs}}{P_b} \frac{1}{|1 - \Gamma_s \Gamma_b|^2}$$

式中：

K ——被校中功率计的校准因子；

K_s ——标准中功率计的校准因子；

P ——被校中功率计示值，W；

P ——标准中功率计示值，W；

$\frac{1}{|1 - \Gamma_s \Gamma_b|^2}$ ——失配因子，计算时视为1。

g) 按公式 (10) 计算入射到被校中功率计输出端面的射频功率 P ；

(9)

(10)

h) 置信号发生器和功率放大器的射频输出开关到“OFF”位置，设置信号发生器的功率电平为最小值，从测试端面断开标准中功率计；

i) 重复步骤d)~h)，测量3次，分别计算被校中功率计校准因子 K 。和射频功率 P_1 的平均值，数据记录于附录 A 中的表 A.3；

j) 改变信号发生器频率，重复步骤 d)~i)，在被校中功率计频率范围内按高、中、低原则至少选择三个频率点。

5.4 电压驻波比校准

终端式中功率计需进行单端口的电压驻波比校准，校准框图如图7或图8所示；通过式中功率计则需校准输入端和输出端电压驻波比，可采用矢量网络分析仪进行二端口校准，校准框图如图9所示；通过式中功率计也可以在非校准端面连接负载，用单端口法分别校准两个端口。

根据校准因子/射频功率的校准频率，选择电压驻波比的校准频率。

5.4.1 标量网络分析仪法

校准步骤如下：

- a) 按图7连接校准设备；



图 7 标量网络分析仪法校准框图

- b) 选择标量网络分析仪测试通道及相应的设置参数；
c) 设置数据格式为电压驻波比(简称为VSWR)；
d) 设置信号发生器的频率、功率电平，校准频率应能覆盖被校中功率计频率范围的高、中、低端；
e) 设置标量网络分析仪的平均次数；
f) 单端口校准标量网络分析仪；
g) 在测试端口连接被校中功率计，读取电压驻波比数据，将所得结果记录于附录A中的表A.5。

5.4.2 矢量网络分析仪法

校准步骤如下：

- a) 终端式中功率计校准按图8连接校准设备，通过式中功率计按图9连接校准设备；



图 8 终端式中功率计矢量网络分析仪法校准框图



图 9 通过式中功率计矢量网络分析仪法校准框图

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。
。如要下载或阅读全文，请访问：

<https://d.book118.com/098072140064006074>