

# 新型毫米波全频段功率计

周 宝 庆

(中国科学院上海技术物理研究所, 上海)

**摘要**——报道一种新型毫米波全频段量热式功率计的工作原理、基本结构和主要技术性能, 并简要阐述了它的设计考虑。

**关键词**——毫米波, 功率计。

## 1. 前 言

毫米波功率计是毫米波测量技术中的关键仪器。已有的功率计型类繁多, 性能各异, 但付诸实用均有其局限和不足之处: 它们大多工作带宽有限, 对应毫米波各波段功率测量要配用不同功率座, 成本较高; 一般工作频率低于 100 GHz, 适于短毫米波段功率测量的产品目前还很稀缺; 它们的功率量程小, 大多不超过 100 mW, 少数也只到 300 mW, 瞬时过载易烧毁; 传统的量热式功率计时间常数大。为此, 我们对各类功率计作了综合分析和比较, 吸取它们的优点和技术特色, 克服其缺陷, 设计出一种新型毫米波量热式功率计。新的仪器只用一个功率座就可覆盖毫米波全频段, 即可以超宽带工作, 功率量程扩大到瓦级, 可测连续波功率和脉冲功率, 又兼有高效率、高灵敏度等良好性能, 还可用直流进行校正。该仪器不仅可用于通常测量, 还可作为实验室较高精度的测量标准。

## 2. 工作原理和基本结构

微波功率测量的实质是将微波电磁振荡能量转变成易于测量的能量形式。鉴于电磁波能量容易转变成热能, 而量热计法适用于整个电磁波频谱范围, 因而我们采用了量热计法, 它对波长较短的毫米波段尤为适宜。本量热式功率座采用干式负载对称双臂结构, 将高吸收材料做成楔形负载片, 置于对称的波导双臂中央, 作为主量热体和参考量热体, 它们有相同的热结构。被测辐射从工作臂输入波导后, 被兼作主量热体的全匹配负载吸收转变成热能, 使主量热体温度升高。对称的参考臂上的参考量热体仍处于原来状态, 这样便在两个量热体之间产生一个稳定温差, 由跨接在它们之间的温差电偶检测出温差电势, 该温差电势与输入功率成正比, 即为被测功率的量度。设置对称的双臂结构, 是为了用比较法测量功率, 而无须知道温差电偶的绝对温差、负载的比热、密度和热损耗的绝对数值。测量过程可归结

为:将馈至负载的毫米波能量产生的热效应与已知直流功率产生的热效应进行比较,根据事先测好的直流校正曲线,即可由温差电势确定被测毫米波功率的大小。

### 3. 主要设计考虑

(1) 无论是匹配负载型或薄膜半导体类型的功率计,为了使它们的阻抗与所用波段波导的特性阻抗相匹配,不同波段要配不同功率座,故工作频带有限。我们采用特制材料做成的楔形渐变负载片,它对毫米波各波段都有良好的吸收性能,是近似于黑体的全匹配负载,所以只需要一个功率座;在其固定的输入波导端口接不同波段的渐变过渡波导段,便可扩展到毫米波全频段超宽带工作。当频率高于 40GHz 时,量热部分的负载系统处于过模状态,经过十倍波长以上的线性渐变传输线,基本工作模式为 TEM 模,高次模已衰减到极小,并可忽略不计。理论分析和实验证实,这种过模传输线与黑体负载的组合结构的传输损耗比基模还小,随着频率提高,实际效率不会明显下降,保证了超宽带工作的要求。

(2) 通常毫米波功率计都将温差电偶或热敏元件置于波导中央(电场强度最大处),容易被击穿,故承受功率容量有限,量程范围不大。我们将高温稳定性及承受功率能力极好的吸收负载兼作量热体,由它承受毫米波能量,再将它与参考负载之间的温差传递给温差电偶,因此功率量程可扩大到瓦级,瞬时过载承受能力增强,提高了可靠性。

(3) 选用了 Bi-Sb 薄膜温差电偶,其温差电势大,内阻值小,灵敏度比常用的 Ag-康铜、Ni-Cr 等温差电偶提高 2~10 倍,达到  $50\sim 100\mu\text{V}/\text{mW}$ 。直接接数字电压表可测量小到  $50\mu\text{W}$  的功率,如配上带放大器的指示器,则可测到  $1\mu\text{W}$  的微小功率。

(4) 采用干式负载量热计以取代传统的薄壁波导式量热计。后者时间常数大,读数慢,测量不方便,尤其对波长较短的毫米波段,要制作厚度小于 0.3mm 的薄壁长波导,工艺相当困难,而干式负载量热计体积小、重量轻、热容量可大大降低,时间常数可缩短近一个数量级,使精度高的量热式功率计也适用于通常的测量。

(5) 本功率计做成热对称结构,在比较法测量中维持了工作负载与参考负载的热对称,外界温度的微小变化对工作臂和参考臂产生相同的热效益,故能使周围媒质温度变化的影响降低到最小,减小了功率示值对负载发热和热损耗的依赖关系,从而可使采用比较法的量热计获得较高的测量精度,同时功率计壳体的良好导热以及有效的隔热措施确保了整个内部结构对外界的热屏蔽,可减小零漂,提高了稳定性。

### 4. 主要技术性能指标

工作频带: 26.5~170 GHz(由一个功率座完成)。

功率量程:  $50\mu\text{W}\sim 1.2\text{W}$ (连续波功率), 100 W(脉冲功率,平均功率为 1 W)。

灵敏度:  $50\sim 100\mu\text{V}/\text{mW}$ 。

有效效率:  $\eta_e \geq 97.5\%$ 。

时间常数: 20~25 s。

最大不确定度: <2%。

输入驻波比:  $<1.3$ .

## 5. 结 语

本功率计是一种新型的毫米波全频段量热式功率计. 具有高效率、高精度、宽量程、多用途、稳定可靠等良好性能, 试用结果令人满意.

## 参 考 文 献

- [1] Sucher M. et al., *IRE Trans. MTT*, 4(1958), 188.
- [2] Toshio Nemoto et al., *IEEE Trans. IM-21*, 4 (1972), 480.
- [3] Itsuo Sugiura and Hiromichi Toda, *IEEE Trans C*, (1978), 165.
- [4] Weldon H. Jackson, *Hewlett-Packard Journal*, 9 (1974), 16.
- [5] John. C. Long., *Hewlett-packard Journal*, 9 (1974), 19.

# ANEW POWER METER FOR WHOLE MILLI-METER WAVE BANDS

ZHOU BAOQING

(*Shanghai Institute of Technical Physics, Academia Sinica, Shanghai, China*)

## ABSTRACT

A new type whole millimeter wave band calorimetric power meter, its operational principle, basic structure and main performances are reported. The consideration of design is briefly given.