

射频测试和测量

本期要目—射频功率测量

- 1 写在前面的话
- 2 射频功率的定义
- 3 通过式功率计在测试中的应用
- 4 新产品发布——新型的数字功率计

写在前面的话

尊敬的用户：

在这一期里，我们重点讨论射频功率测量问题。

几乎从第一台无线电发射机诞生开始，设计工程师就关心其射频功率的测量问题。在无线电发射系统中，射频功率的测量和电子电路中电压/电流的测量一样普遍。

对于射频功率，传统的方法只是测量其平均值功率，这是和通信的制式有关的。通过近二十年的技术发展，已经确定采用数字调制作为各种通信系统的调制方式。这就给功率测量带来了新的课题。

在本期中，我们首先讨论射频功率的定义，然后介绍通过式功率计对于无线电制造商和运营商的应用；最后介绍一种最新的数字射频通过式功率计。

欢迎来电探讨各种射频测试和测量问题。

谢谢大家的鼓励和支持！

上海竞驰电子科技有限公司

<http://www.jingchi.net>

电话：021-64518990

传真：021-64518992

邮箱：online@jingchi.net

射频功率的定义

内容提要：

在传统的通信系统中，通常采用 AM，FM 或 PM 调制方式。这些发射机的射频功率测量可以用线性功率计完成。

在现代通信系统中，已经确定了采用数字调制方式，其射频功率的测试方法也随之改变了。

在本文中，讨论了数字调制信号的射频功率的定义，理解了这些定义将有助于射频功率的正确测量。

模拟调制的射频信号：

图 1 所示为连续波信号的波形，其特点是峰值包络是恒定的，FM 和 PM 信号也同样。



图 1、连续波（CW）信号的波形

这类信号常见于双向无线电对讲机、寻呼发射机和调频广播等，可采用传统的连续波（CW）功率计进行功率测量，通常用平均功率来表征其输出功率。

图 2 所示为调幅（AM）信号的波形，如电视图象调制。这类信号也可以用连续波功率计进行测量，如电视图象功率的测量，是在 75% 的调幅度下测出其平均功率，再乘上 1.68，所得结果即是峰值功率（又称同步顶功率）。



图 2、调制度为 75% 的调幅（AM）信号的波形

连续波功率计的代表产品是 BIRD 公司的 43 型功率计（见图 3）。它采用了 BIRD 公司的 Thruline® 专利

技术，自发明以来已经有超过 25 万台在全世界范围得到应用。但是 43 采用了线性二极管检波技术，其动态范围只有 7dB（5 倍），因此已经无法满足高速发展的通信测量的需求了。



图 3、连续波功率计的代表产品——BIRD 43

数字调制的射频功率的定义：

图 4 所示为数字调制的射频信号。定义如下：

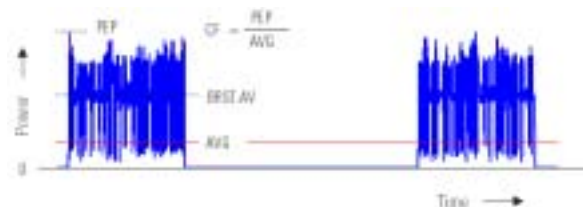


图 4、数字调制的射频信号

平均功率（AVG）：

载频功率的平均值（热等效功率，相当于电压测量中的真有效值）。

平均突发功率（BRST AV）：

周期性载频突发功率的平均值，与突发脉冲信号的宽度 t 及重复率 $1/T$ 有关：

$$\text{平均突发功率} = \text{平均功率} \times T/t$$

峰值因子或峰均功率比（CF）：

峰值包络功率和平均功率之比： $CF = PEP/AVG$

峰值包络功率（PEP）：

载频功率的峰值。

互补积累分布函数（CCDF）：

正向功率超过给定的门限值的概率。

射频通过式功率计的应用

通过式功率计的历史

早在 1952 年，BIRD 公司的创始人 J. Raymond Bird 发明了通过式功率计原理——ThruLine[®]，从此，通过式功率测量法成为射频功率测量的工业标准一直至今。通过式功率测量法的原理如下：

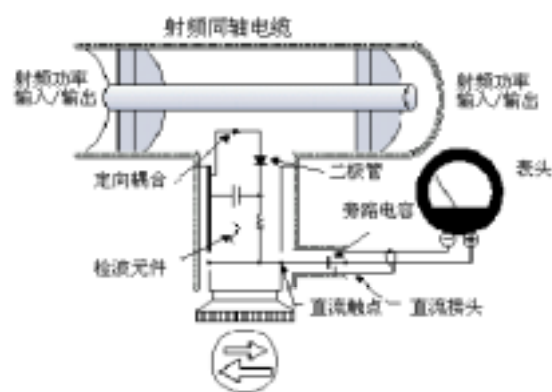


图 5、通过式功率测量法

通过式射频功率计的典型代表产品是 BIRD 公司的 43 型（见图 3），它实际上是一种信号激励装置，采用了一个无源的二极管射频传感器。在同轴线的一侧装有一个定向的，半波二极管检测波电路（见图 5），并将其接到一个已校正的表头以读出有效值功率。检波电路与传输线通过介质耦合，并根据置于传输线旁的传感器的方向取样出正向和反射功率。

通过式功率计的应用

射频功率的测量

与终端式功率计不同的是，通过式功率计真实的反映了一个发射系统中各个截面的正向功率和反射功率。

终端式功率计的输入阻抗是标准的 50Ω 。在功率测量中，终端式功率计替代了发射机的负载，也

就是说，终端式功率计将发射机的负载理想化了。所以说，终端式功率计所测得的结果是发射机在理想负载时的输出功率；如果发射天馈系统的匹配情况良好，则这个结果可以真实反映发射系统的输出情况；如果发射天馈系统的匹配不好（如 $VSWR > 1.5$ ），则终端式功率计不能真实反映发射系统的情况。

而通过式功率计则不同，它实际上是在传输线一侧放置了一个耦合探头，与发射机的工作波长相比，功率计传感器的电长度几乎可以忽略不计。所以只要将通过式功率计置于发射系统的某个截面，那么得出的结果是这个截面的正向和反射功率（VSWR）。

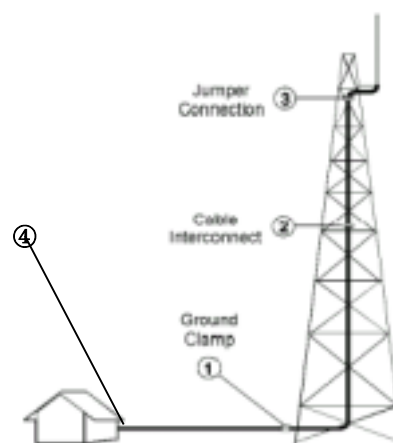


图 6、典型的发射系统

对于无线电运营商和制造商，通过式功率测量法是很有意义的，见图 6。

在一个典型的发射系统中，将通过式功率计置于不同的截面将会得到不同的测试结果：

位置④——发射机的输出端，可以考核发射机的输出功率是否在设计的范围内；这是无线电设备研发和维护工程师所关心的。

位置③——天线的输入端，可以确定发射机真正辐射到空间的信号究竟有多大；这是网络规划和优化工程师所关心的。

位置②——可以检查发射系统在某个位置的匹配情况，这是设备维护工程师所关心的。

测量无源器件的插入损耗

用二台功率计可以十分准确的测出一个无源器件的插入损耗，其精度和网络分析仪的测试结果相当（见图 7）。

这种测量方法的基本原理是替代法。即先将二台功率计用一只精密的射频转接器（如 Nf-Nf）直接连接，再用被测器件替代射频转接器，分别读出 4 个功率读数，从而计算出被测器件的准确插入损耗值。详情参见《用功率计测量插入损耗》一文（文件号：03TF-001-v1.0-AN）。

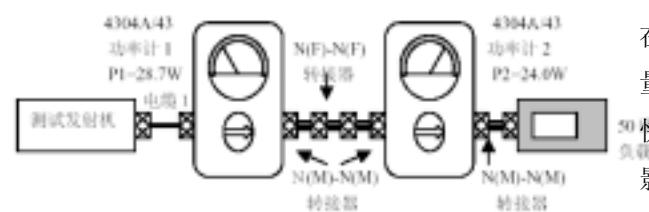


图 7a) 校准测量

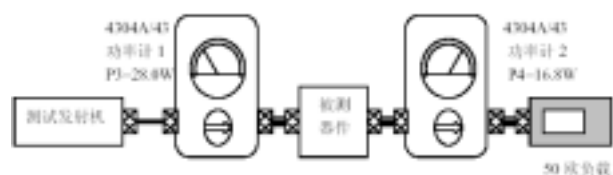


图 7b) 插入损耗测量

图 7、功率计法测量无源器件的插入损耗

用这种方法可以准确的测出一个蜂窝基站从发射输出到天线输入的全部插入损耗，这对于基站的维护是有益的。虽然用网络分析仪也可以单端测量长电缆的插入损耗，但是网络分析仪必须在同一种介质下测量，而且要准确设定电缆的相速度，否则会产生附加的测试误差；而用功率计法就不需要知道这些参数，它只是把整个系统（包括跳

线、主馈线，避雷器，定向耦合器等）一并当作一个二端口网络来对待。

测量功率放大器的线性

用功率计除了可以测量放大器的功率，增益等指标外，还可以测量放大器的线性。

在现代通信系统中，设计工程师们更关心放大器的线性指标而不是效率指标，这是与系统的工作特性有关的，尤其是在宽带通信系统（如 CDMA/WCDMA 基站和直放站）中。

放大器的线性通常用 IM3 来表征，这需要用信号源和频谱分析仪来搭建一个复杂的测试电路来完成。用通过式功率计也可以测量放大器的线性度，而且方法很简单：分别测出放大器输入和输出端的互补积累分布函数（CCDF），这二个数值越吻合，说明放大器的线性越好。

在用功率计法测量放大器的线性的同时，还能测量放大器的增益和输出功率；这对于生产线上的快速测试十分有意义。另外放大器的线性度直接影响到发射机输出频谱的纯净程度，因此也是无线电系统工程师的关注点。

测量功率放大器的峰值因子（峰均功率比）

和白噪声一样，放大器的平均功率只是其重要参数之一。鉴于多载频和数字调制系统的统计特性，峰值/平均值功率比是十分重要的参数。例如，8-VSB 的数字调制信号的峰均功率比通常为 6dB，而 CDMA 调制信号则可高达 10dB；如此高的峰值功率可能会导致放大器的饱和，这将造成数字信号的误码，所以正确测量放大器的峰均功率比对于放大器的研制和生产有着重要意义。

新产品发布——5012 数字功率传感器

概述



配合 BIRD 公司的下一代数字功率计 Model 500-EX, 天馈线分析仪及个人计算机(需要仿真数字功率计软件 VDPM), BIRD 宽带功率传感器 5012 将成为功率测试的完整解决方案。其工作频率范围宽达 350-4000MHz。

特点

- 多功能, 使用方便
- 高性能价格比
- 大动态范围
- 连接数字功率计, 天馈线分析仪和 PC
- 高方向性—30dB@3GHz, 28dB@4GHz
- 定向功率测量—正向和反向
- 宽带, 不需要外加探头

测量模式

- 真平均功率
- 平均突发功率
- 峰值功率
- 峰值因子
- CCDF

主要指标

频率范围; 350MHz-4GHz
最大功率: 150W 平均值, 400W 峰值
插入损耗: 0.05dB@1GHz; 0.1dB@4GHz
插入驻波比: 1.05@2.5GHz; 1.1@4GHz

应用

- 双向无线电(模拟和数字)
- 集群系统
- DAB,DVB
- TDMA, GSM, CDMA, WCDMA 等
- 无线本地环路(3.5 至 3.7GHz)
- ISM(半导体, 医疗, 2.45GHz)
- 战术军事通信
- 雷达

传感器特性——一般指标

频率范围 350MHz-4GHz
最大功率 150W 平均值, 400W 峰值
阻抗 50Ω, 标称
插入损耗 0.05dB, 至 1GHz; 0.1dB, 至 4GHz
插入驻波比 1.05, 至 2.5GHz; 1.1, 至 4GHz
输入输出接口 N(f)
方向性 30dB, 至 1GHz; 28dB, 至 4GHz

功率测量特性——模拟功率

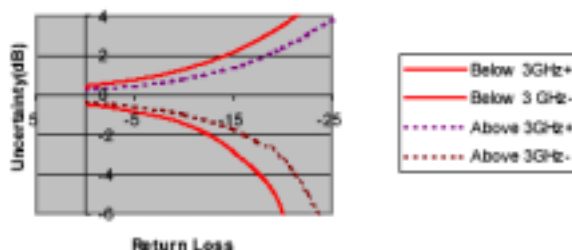
功率测量范围 0.15-150W
峰/均功率比 最大 12dB
测量不确定度 读数的±4%±0.05W(+15~+35°C)
读数的±7%±0.05W(-10~+50°C)

功率测量特性——突发平均功率

功率测量范围 2-150W
脉冲宽度 0.2μs 至 50ms, 输入占空比
1μs 至 50ms, 测量占空比
占空比 D = 脉冲宽度/周期, 0.001~1

测量不确定度 读数的 $\pm 4\% \pm 0.05/D$ W,
输入占空比(+15~+35°C);
读数的 $\pm 7\% \pm 0.05/D$ W,
输入占空比(-10~+50°C);
测量占空比时加 $\pm 2\%$

测量不确定度 见下图



功率测量特性——峰值因子 (峰/均比)

功率测量范围 0.15-150W
测量不确定度 峰值功率和平均值功率测量
不确定度的总和

接口特性

DPM 接口 EIA-232, 9600 波特
PC 接口 1 EIA-232, 9600 波特
PC 接口 2 USB 1.1

功率测量特性——峰值包络功率

功率测量范围 4-400W
测量不确定度 读数的 $\pm 7\% \pm 0.02W$, 200 μs (+15~+35°C)
读数的 $\pm 10\% \pm 0.04W$, 1 μs (+15~+35°C)
加读数的 $\pm 3\%$, 温度为-10~+15°和+35~+50°C 时
加读数的 $\pm 1.5\% \pm 0.15W$, 当周期大于 0.1s 时
加 $\pm 0.1W$, 当 $D = 0.001 \sim 0.1$ 时
加读数的 $\pm 5\%$, 当脉冲宽度小于 1 μs 时
加读数的 $\pm 10\%$, 当脉冲宽度小于 0.5 μs 时

电源

USB 端口 小于一个单位的小功率 USB 负载
直流输入 4-18VDC, 小于 0.1A

数据记录

数据容量 250 个记录
数据捕获 时间, 正向平均或峰值功率, 反射功率
取样间隔 1 ~ 1000s

功率测量特性——互补积累分布函数 (CCDF)

测量范围 0.1 ~ 100%
测量不确定度 0.2%
门限电平范围 2 ~ 400W
门限设定精度 电平的 $\pm 5\% \pm 0.5W$

物理和环境参数

工作方式 THRULINE®在线 (通过式) 功率测量
工作温度 -10°C ~ +50°C
储存温度 -40°C ~ +80°C
湿度 95% (非冷凝)
高度 4572m
尺寸/重量 120×116×33mm/544g

反射功率测量特性

测量范围 回波损耗: 0.0 ~ 23dB
驻波比: 1.15 ~ 99.99
反射系数: 0.07 ~ 1.0
最小正向功率 0.5W

配置

5012 主机(1 台); 测试电缆 Nm-Nm, 1 米(2 条); 射频转接器 DINm-Nf, DINf-Nf(各 1 只); 携带包(1 个)