

ZVL 在射频产品测量中的应用

ZVL application for RF product measurement

罗德与施瓦茨中国有限公司 付国映

摘要：罗德与施瓦茨公司的集矢量网络分析、频谱分析、信号分析、接收机功能于一体的仪器 ZVL 可以满足普通低端射频产品的基本射频测试需求。

Abstract: ZVL integrated vector network analysis, spectrum analysis, signal analysis and receiver functions into one box instrument, which can fulfill basic measurement requirement of general RF product.

关键词：S 参数；噪声系数；电磁兼容；接收机；OFDM；调频

Key Words: S parameter; Noise Figure; EMC; Receiver; OFDM; FM

1 引言

在射频产品的研发和生产过程中，往往需要进行射频信号的频谱分析、信号的解调分析、接收灵敏度测试和硬件电路的 S 参数测试，工程师以此来优化和检验产品的设计，使得产品的性能达到最佳状态；为了保证产品的电磁兼容设计符合规范也需要做电磁兼容摸底测试，即预认证测试。因此，频谱分析仪、矢量网络分析仪、测量接收机、噪声系数分析仪和信号分析仪必不可少，对于研制普通射频产品的单位来说，非常昂贵的测试仪器投资在短时间内很难收回，罗德与施瓦茨公司的集上述测量功能于一身的测量仪器 ZVL 性价比高，能够很好地解决这个问题。

2 ZVL 特性

ZVL 标准配置是一台经济型的矢量网络分析仪^[1]，具有反射 S 参数测试，如阻抗、史密斯圆图、反射系数、驻波比、返波损耗，也能够测试传输 S 参数，如增益、损耗、群延迟等，传输 S 参数测量的动态范围可以达到 123dB，测量精度高、速度快。S 参数测试包括反射 S 参数和传输 S 参数。ZVL 体积小，重量轻，携带方便，耗电量小，节约能源。它有两个型号，ZVL3 和 ZVL6，频率范围分别为 9kHz~3GHz 和 9kHz~6GHz。可以使用电池供电，用于外场测试。

ZVL 在矢量网络分析仪的基础之上增加选件后，相当于经济型的频谱分析仪 FSL，其技术指标^[2]如表 1 所示。

表 1：FSL 频谱分析技术指标

| | 性能指标 |
|------------------|--|
| 频率范围 | 9kHz~3GHz/6GHz |
| 本底噪声 (f=1GHz) | <-140dBm (1Hz) 典型值-163dBm (1Hz) 带预放 |
| 相位噪声 | -100dBc/Hz@10kHz, f=500MHz |
| IP3 | 典型值 12dBm |
| 频率精度 | 1ppm/标配, 0.1ppm/ZVL-B4 选件 |
| 电平精度 | 0.5dB (95%置信度) |
| 检波器 | 正/负峰值、自动峰值、RMS、准峰值、 取样、平均值 |
| 信号分析解调带宽 | 20MHz |
| 支持信号分析标准 | 蓝牙、WCDMA、WiFi、WiMAX |
| 其它功能 | 断点测试、光谱图、AM/FM/PhM 解调 |

3 ZVL 的应用实例

3.1 射频模块测试

射频产品中常见的模块包括滤波器、功率放大器、天线、低噪声放大器、变频器等。这些模块端口的特性阻抗一般为 50 欧姆，如果模块之间的阻抗不匹配，一部分信号被传输，另外一部分被反射，模块之间端口阻抗偏离越多，反射越厉害，传输的信号就越少了，阻抗为 0 和无穷大时信号被全部反射，设计者总是希望反射越小越好。在硬件设计过程中测试每个模块的 S 参数是进一步调整模块的设计的重要依据。

例如，在手机设计过程中，天线与匹配电路端口匹配良好与否直接关系着发射机和接收机的性能。手机天线接头是非常见的 N 接头或 SMA，测试时需要用一根转接线连接到仪器测试端口，ZVL 校准后具有端口自动延伸，能够将校准面自动延伸到天线端口，消除转接线带来的测量误差，直接反映手机天线的特性。

3.2 电路板诊断

电路板的不同模块之间、一个系统中不同电路板之间因为时钟信号线等布线不合理往往会互相发生干扰，造成整个系统不稳定和性能下降。例如，GPS 接收机的灵敏度非常高，电路板的杂散信号、时钟信号的谐波有可能落在 GPS 的工作频段，这个干扰信号会通过天线进入 GPS 接收机而影响灵敏度，天线摆在不同位置对灵敏度的影响程度还不一样。因此，电路板诊断对射频产品性能优化非常重要。

如图 1，把 ZVL 当作一台频谱仪，射频输入端口配上罗德与施瓦茨的探头^[3]HZ-15 和 HZ-16 可以很清楚地定位强的杂散信号来自于电路板哪些区域甚至哪个芯片管脚。

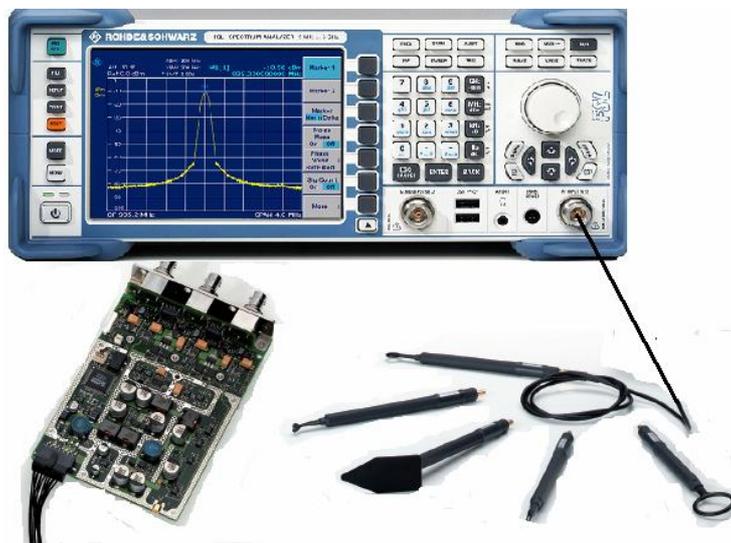


图 1：电路板诊断

3.3 噪声系数测试

无线电接收机的灵敏度是一个非常重要的指标，它反映接收机接收小信号的能力。接收机的灵敏度等于 $-174\text{dBm} + NF + 10\lg BW + S/N$ ，其中 BW 为信号带宽，S/N 为信号解调所需的信噪比，噪声系数^[4]NF 等于系统输出信噪比和输入信噪比之比，它和噪声因子 F 之间的关系为 $NF = 10\lg F$ ，单位为 dB，因为噪声因子始终大于 1，所以噪声系数 NF 始终大于 0dB。通常来说，接收机的噪声系数主要决定于第一级低噪声放大器。

不管是采用噪声系数分析仪还是频谱分析仪做噪声系数测试其原理都是基于 Y 系数法。仪器提供交替变化的 28V 和 0V 电源给噪声源，在 28V 电源工作时，噪声源产生高的噪声功率，0V 电源工作时，噪声源产生低噪声功率，ZVL 当作频谱仪，测量这两个功率值并计算他们的比值得到噪声因子。测试分为两个过程，校准和测量。校准时，如图 2，噪声源直接连接到 ZVL 射频输入端口，得到测量仪器 ZVL 内部的噪声因

子 F_2 ；测量时，如图 3，噪声源输出的噪声加到被测件，被测件的输出到 ZVL 的射频输入端口，得到被测件和测量仪器这个整体的噪声因子 F_{12} ，根据两级系统级连噪声系数公式可以得到被测件的噪声因子 F_1 和增益 G ，进而可以得到被测件的噪声系数。

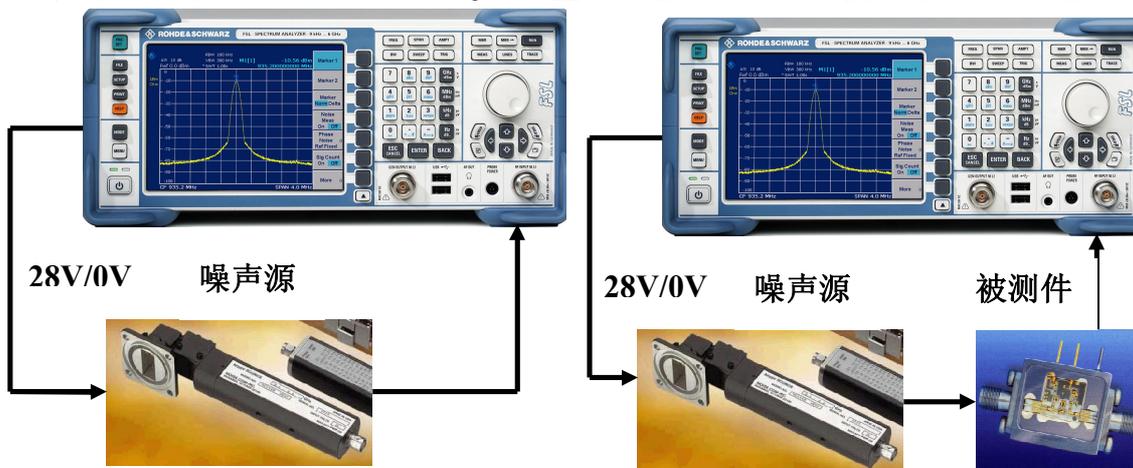


图 2：噪声系数校准

图 3：噪声系数测试

3.4 电磁兼容预测试

每个射频产品需要通过专业检测机构的电磁兼容辐射测试，要求在其工作频率之外的杂散信号必须小于一定限制值。这种测试费用比较高，如果测试不通过，需要修改产品后重新测试，这样不仅消耗了大量的人力、物力和财力，也延长了产品的研发周期。因此，专业实验室检测之前用测量接收机在实验室做电磁兼容预测试比较普遍。

测量接收机要求具有特定的峰值、准峰值和平均值检波器，也要求提供电磁兼容测试所需 6dB 带宽的 200Hz、9kHz、120kHz 和 1MHz 测量带宽选择，并能够将外部天线的传导因子输入到测量仪器之中，ZVL 具有这种特定的模式。

如图 4，用天线接收被测产品在空中的辐射信号后传输到 ZVL，ZVL 当作一台测量接收机来测量被测产品的辐射特性。

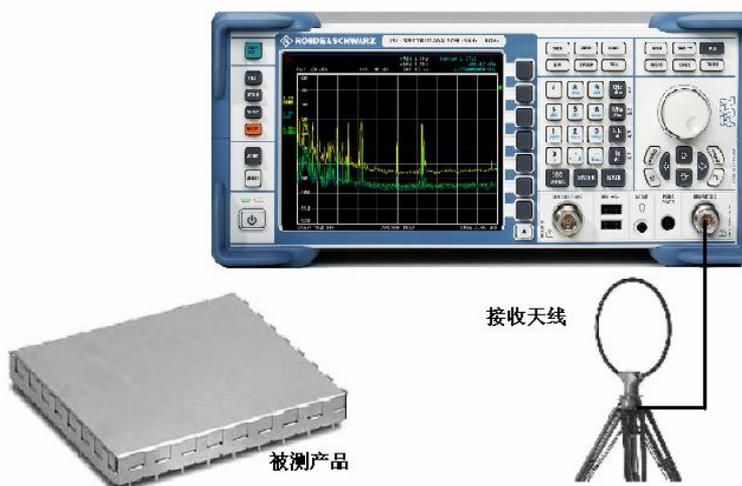


图 4：电磁兼容辐射测试

3.5 数字调制信号解调分析

数字调制信号的质量一般用误差矢量幅度 EVM 来衡量，它是误差矢量的幅度和理想矢量的幅度的比值，用 % 和 dB 来表示，它的大小直接关系着整个系统的通信容量和

传输距离，它的测量必不可少。频谱分析仪只能分析其频谱特性，必须用信号分析仪对它进行解调后才能得到调制质量特性。

如 OFDM 调制信号，它采用多载波技术，每个载波互相正交，而且每个载波的调制方式也不尽相同，例如 QPSK、16QAM、64QAM 调制，目前这种复杂的数字调制信号都采用 IQ 调制，I 和 Q 通道增益是否一样、是否有直流成分、是否完全正交相差 90 度都会影响误差矢量幅度 EVM。如图 5，显示的是 ZVL 的信号分析功能解调分析 IEEE802.11g 信号的部分结果，显示出 EVM、IQ 调制结果、频率误差、调制时钟误差、功率和峰均比等。

| BETA | | IEEE 802.11g | | 08.Sep12005 | |
|-----------------|---------|---------------|----------------|---------------|---------|
| Frequency: | 2.4 GHz | Ref Level: | 7.9 dBm | External Att: | 0 dB |
| Preamble Type: | OFDM | Modulation: | 48 Mbps 64 QAM | PSDU Len: | 1/1 366 |
| Result Summary | | | | | |
| Bursts: | 13 | Min | Mean | Limit | Max |
| EVM All Carr. | 1.31 | 1.59 | 7.94 | 1.91 | 7.94 |
| | -37.63 | -36.00 | -22.00 | -34.40 | -22.00 |
| EVM Data Carr. | 1.32 | 1.61 | 7.94 | 1.94 | 7.94 |
| | -37.62 | -35.88 | -22.00 | -34.26 | -22.00 |
| EVM Pilot Carr. | 1.16 | 1.30 | 39.81 | 1.60 | 39.81 |
| | -38.75 | -37.70 | -8.00 | -36.45 | -8.00 |
| IQ Offset | -53.60 | -51.67 | -15.00 | -50.88 | -15.00 |
| Gain Imbalance | -0.21 | -0.15 | | -0.09 | |
| | -0.02 | -0.01 | | -0.01 | |
| Quadrature Err | -0.12 | -0.10 | | -0.07 | |
| Freq. Err | 52.94 | 61.01 ± 60000 | | 66.83 ± 60000 | |
| Symb Clock Err | 0.01 | 0.03 ± 25 | | 0.12 ± 25 | |
| Burst Power | -3.51 | -3.51 | | -3.51 | |
| Crest Factor | 9.77 | 9.79 | | 9.80 | |

图 5: WiFi 信号解调分析

3.6 模拟调制信号解调分析

对于模拟调制信号如调幅 AM、调频 FM 和调相 PhM，经常需要分析它们的调制特性。如无线调频 FM 对讲机，其发射中心频率和调制频偏有严格的要求。中心频率不准会导致接收机的灵敏度下降，传输距离缩短；调制频偏太小，调制指数就变小，接收机的信噪比下降。调制频偏太大，接收机的信噪比有保证，但是邻道信号会受到干扰，这样会出现串音现象；发射功率太大，电池消耗量大，待机时间和工作时间缩短，对其它无线电设备造成一定干扰。发射功率偏小，传输距离受到限制。因此，调频 FM 信号的调制频率、调制频偏、载波频率和功率等指标的测量非常重要。

如图 6，显示的是 ZVL 的信号分析功能测量调频 FM 信号的解调结果，上部分显示的是调制信号对时间的关系。

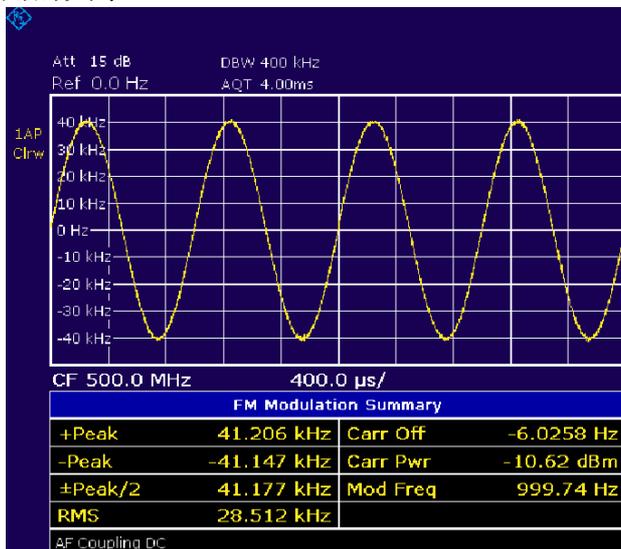


图 6: 调频 FM 信号解调分析

4 总结

除了上述的应用外，ZVL 还可以做电缆断点测试，分析 WCDMA 信号、WiMAX 信号^[5]、蓝牙信号的特性。总之，ZVL 集成多种功能于一体，是普通射频产品基本射频测试的重要选择之一。

5 参考文献

- [1] ZVL datasheet, www.rohde-schwarz.com
- [2] FSL datasheet, www.rohde-schwarz.com
- [3] HZ-15 datasheet, www.rohde-schwarz.com
- [4] 数字通信测量仪器.北京：人民邮电出版社，2007.
- [5] 1EF58 application notes, www.rohde-schwarz.com