

R&S 雷达信号产生和分析方案

1. 概述

雷达系统的基本结构主要由五部分构成：发射机，接收机，发射天线，接收天线，显示装置。其中发射机和接收机是最为重要的组成部分。

为了研究雷达系统的发射机和接收机，有必要模拟雷达信号的产生并对雷达信号进行分析。从信号形式上区分，雷达信号主要有连续波雷达和脉冲雷达等形式，而目前绝大多数雷达都采用脉冲信号的形式。

为此 R&S 公司推出了一系列可以模拟脉冲雷达信号产生和分析脉冲雷达信号的测试与测量仪器。

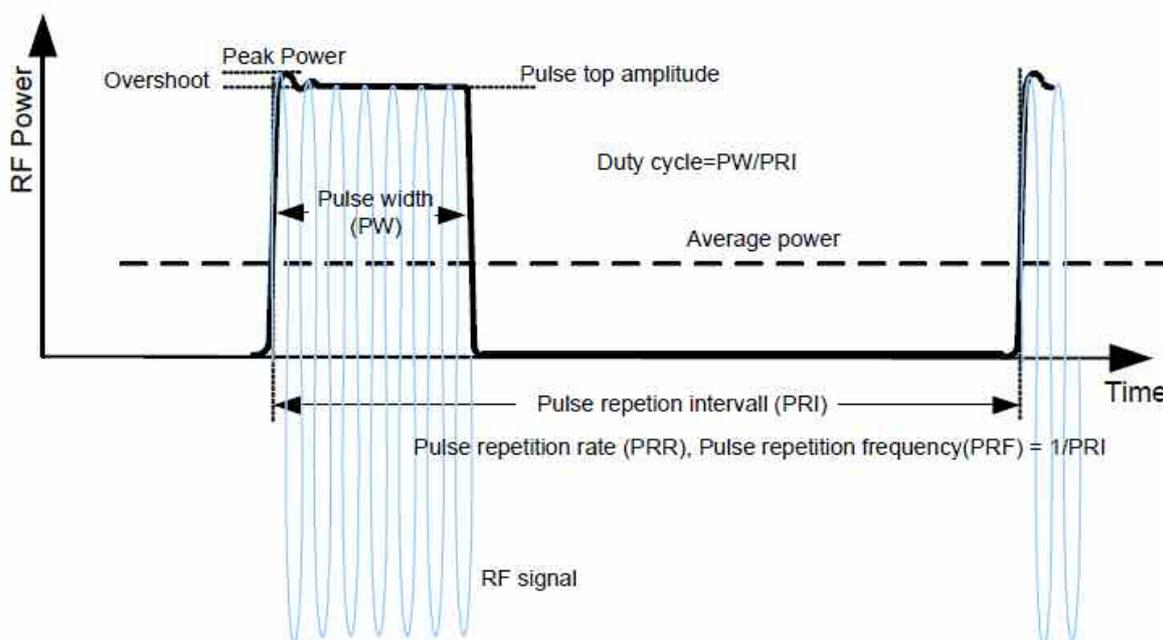


图 1：脉冲调制信号

2. 雷达信号的产生

R&S SMF100A 微波信号源可以产生线性调频信号和任意脉冲序列，可以模拟雷达信号的生成。

2.1 R&S SMF100A 的主要性能及特点：

2.1.1 R&S SMF100A 主要性能指标

频率范围	100kHz ~ 22 /43.5GHz
SSB 相噪	- 115 dBc (10 GHz; @ 10 kHz; 1 Hz BW)
输出功率	+ 27 dBm @ 10 GHz
谐波	- 55 dBc @ 10 dBm
非谐波	- 62 dBc (3 GHz < f ≤ 10 GHz)
脉冲调制	>80 dB 开关比; 20 ns 脉宽
设置时间短	电平设置时间 < 3 ms , 频率设置时间 < 4 ms
宽带噪声	< - 148 dBc @ 10 GHz
调制方式	AM/LOG AM/FM/PhiM/脉冲 /ASK/FSK/PSK

2.1.2 R&S SMF100A 的主要技术特点

- 1) 直接产生线性调频雷达信号，
- 2) 输出信号相位可调，调节步进 0.1 度；
- 3) 输出信号频率改变时，可保持相位连续；
- 4) 可以产生单脉冲，双脉冲
- 5) 直接产生任意脉冲序列雷达信号
- 6) 可以连接 R&S NRP-Z81 宽带功率探头进行功率分析

2.2 R&S SMF100A 产生脉冲雷达信号及测试方案

2.2.1 R&S SMF100A 产生双脉冲和脉冲序列

R&S SMF100A 是目前唯一可以产生双脉冲以及可编辑任意脉冲序列的模拟微波信号源。每个脉冲的持续时间和脉冲关断期都可以自行设定；任意脉冲序列的开关时间可以设置的范围从 5ns 到 5ms。

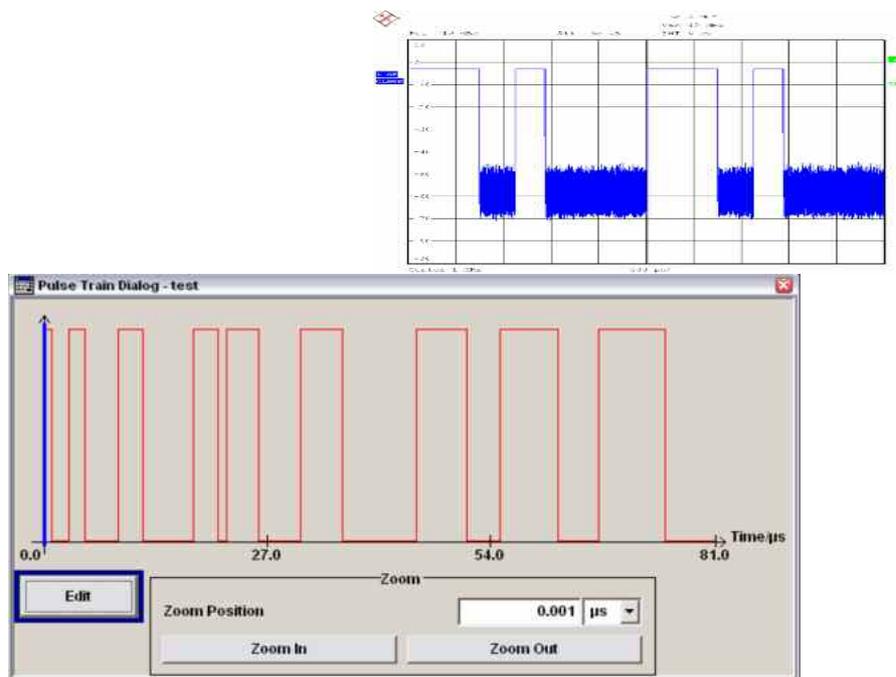


图 2: R&S SMF100A 产生双脉冲和任意脉冲序列信号

3. 雷达信号的分析

雷达信号的分析非常重要，这里提供几种手段进行雷达信号的分析，第一种，用频谱分析仪进行脉冲雷达信号分析；第二种，用功率计进行脉冲雷达信号分析；第三种，用信号源直接进行雷达脉冲信号分析。

3.1 用频谱分析仪进行雷达信号分析及系统测试

频谱分析仪可以进行一般的频域测试，包括功率，频率，频谱的相关测试；同样，频谱仪也可以在零扫宽（zero span）模式进行时域包络分析。此外，用频谱分析仪的扩展功能，如 R&S FS-K7 AM/FM/PM 选件，还可以实现调幅，调频，调相信号的解调，同时，还可以进行瞬时幅度，瞬时频率，瞬时相位的分析，以及调制质量，THD，SINAD 等参数的测试。R&S FSV 系列频谱分析仪加 R&S FS-K7 选件可以完成以上各项测试；此外，配合 FS-K30,FS-K40 选件还可以实现系统噪声系数和相位噪声测试。

3.1.1 R&S FSV 频谱分析仪的性能指标及技术特点

频率范围 9kHz (选件至 20 Hz) - 3.6 /7/13.6/30/ 40 GHz,
最大分析带宽 40MHz
直观图形界面，触摸屏操作
测试不确定度 <0.39dB (7GHz)
测试速度极快（比同类仪表快 5 倍）
TOI > 13 dBm, typ. 17 dBm (f < 3 GHz)
> 15 dBm, typ. 19 dBm (3 GHz < f < 7 GHz)
DANL typ. -159 dBm (f < 7GHz)
Phase Noise typ. -110 dBc/Hz @ 10 kHz offset (CF=500MHz)
typ. -115 dBc @ 100 kHz
typ. -150 dBc @ 10 MHz

3.1.2 R&S FSV 频谱分析仪进行脉冲信号频域测试

用频谱分析仪进行脉冲的频谱分析，设置较大的 RBW 可观察包络谱，根据包络第一零点的位置计算脉冲的脉宽；设置较小 RBW 值则也可以观察线状谱，测量脉冲的重复频率，计算脉冲的周期；在频域还可以用信道功率测量功能测量脉冲的平均功率，也可以用大的 RBW 来测量脉冲峰值功率；

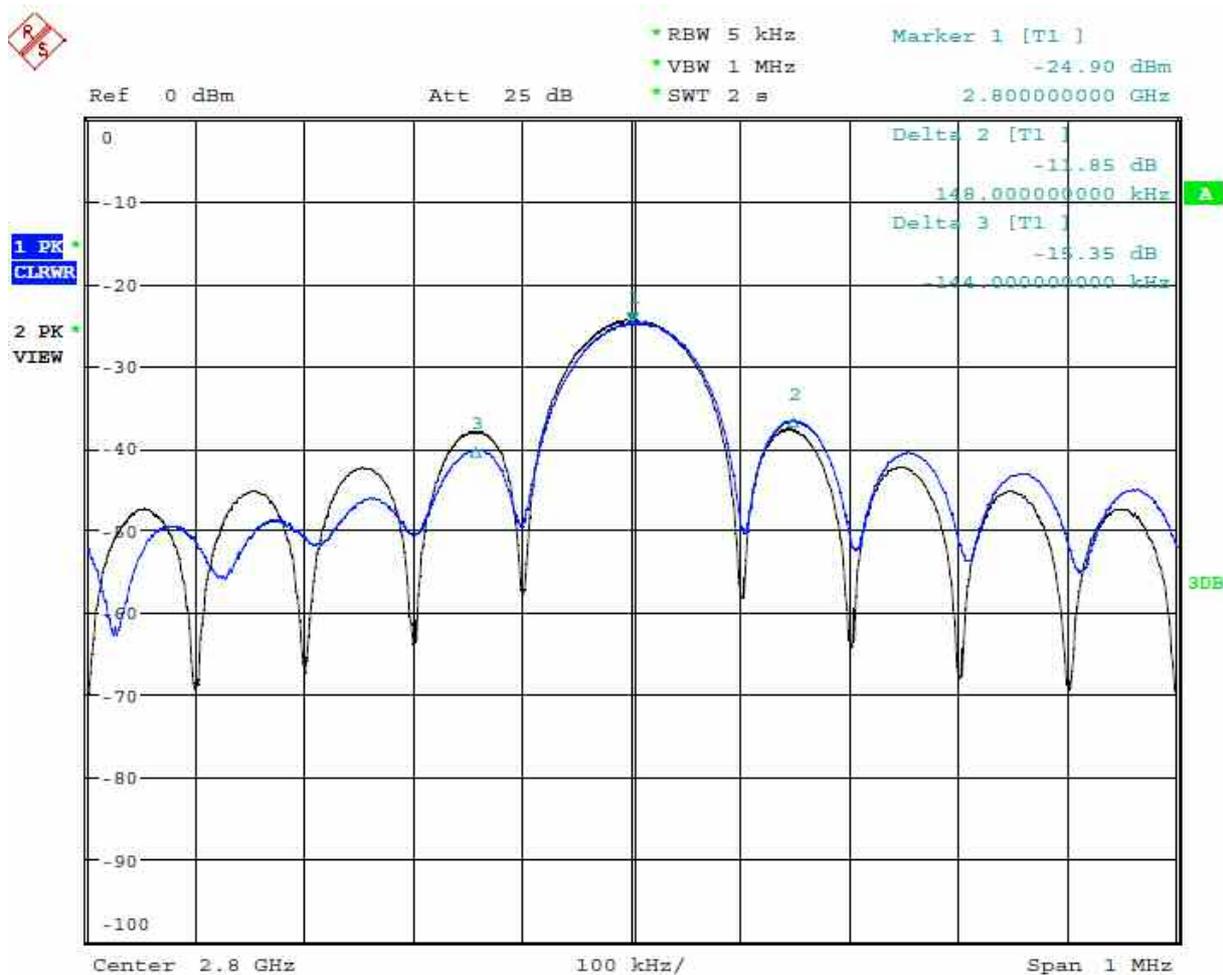


图 5: 脉冲调制信号的频谱 (包络谱)

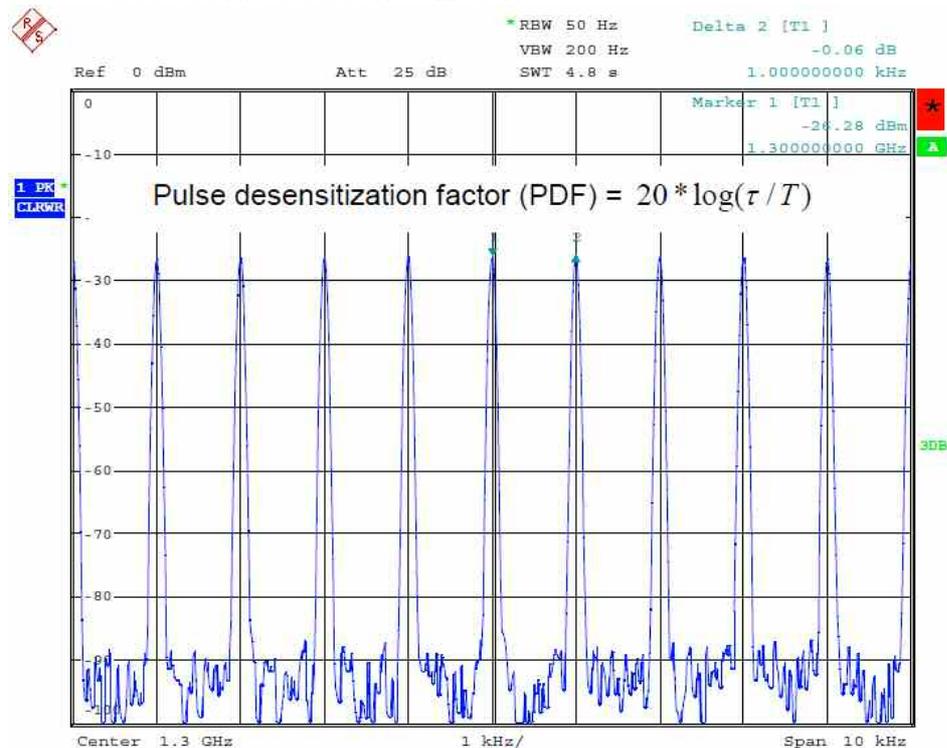


图 6: 脉冲调制信号的频谱 (线状谱)

3.1.3 用频谱仪 Zero Span 进行脉冲信号的时域测量

在频谱仪的零频率扫宽（zero span）状态，可以分析脉冲的时域包络，此时可以从时域测量脉冲调制信号的平均功率和峰值功率，脉宽和脉冲周期等参数。

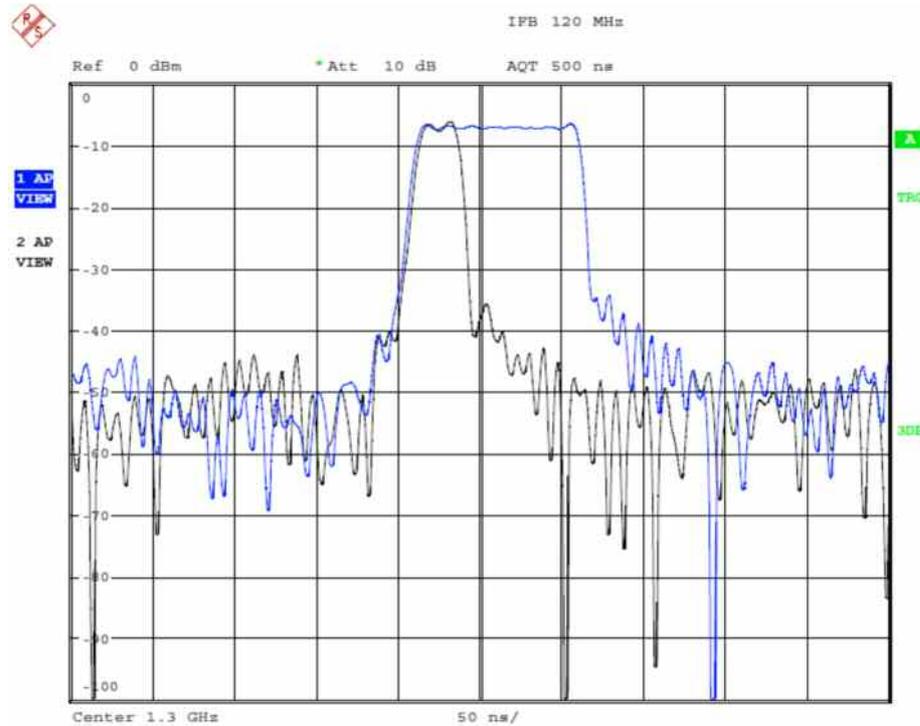


图 7：脉冲调制信号的时域包络

3.1.4 用 FS-K7 选件进行脉冲雷达信号分析

当频谱分析仪配备了 FS-K7 AM/FM/PM 解调选件，可以分析脉内的调制，比如线性调频信号的解调以及 Barker 码调制脉冲的解调。



图 8：R&S FSV + FS-K7 选件进行线性调频信号的解调

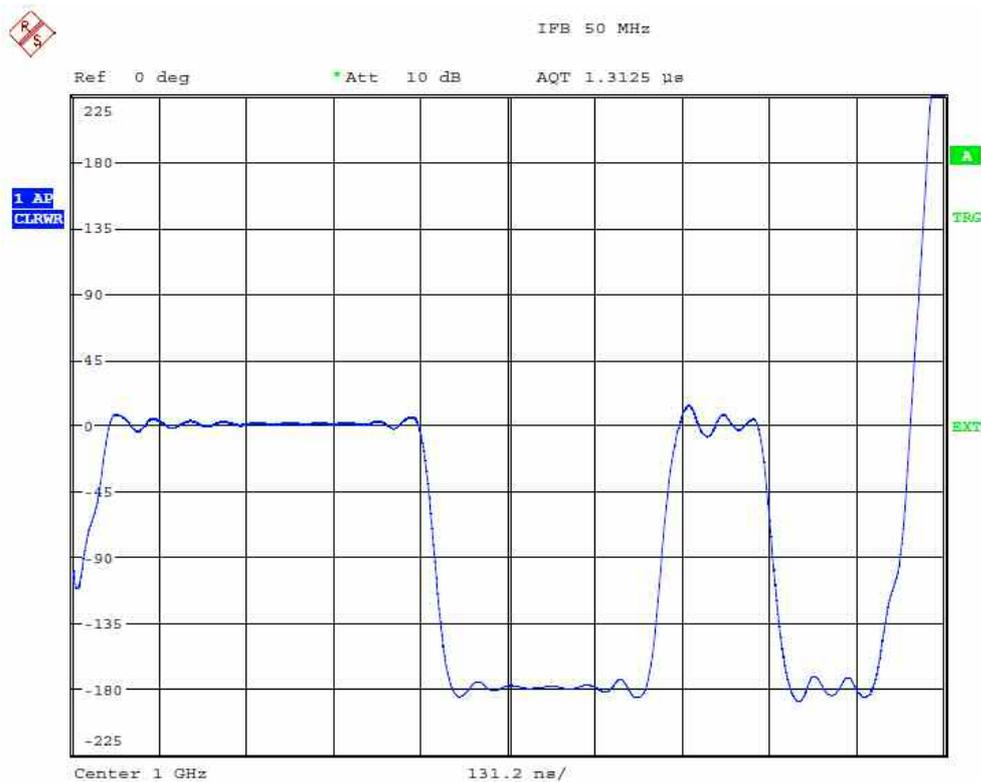


图 9: R&S FSV + FS-k7 选件进行 11 位 Barker 码信号的解调

3.1.5 用 R&S FSV 频谱分析仪进行雷达系统相位噪声测试

用频谱分析仪的 FS-K40 选件可以进行信号的相位噪声测试，直接绘制相噪曲线。

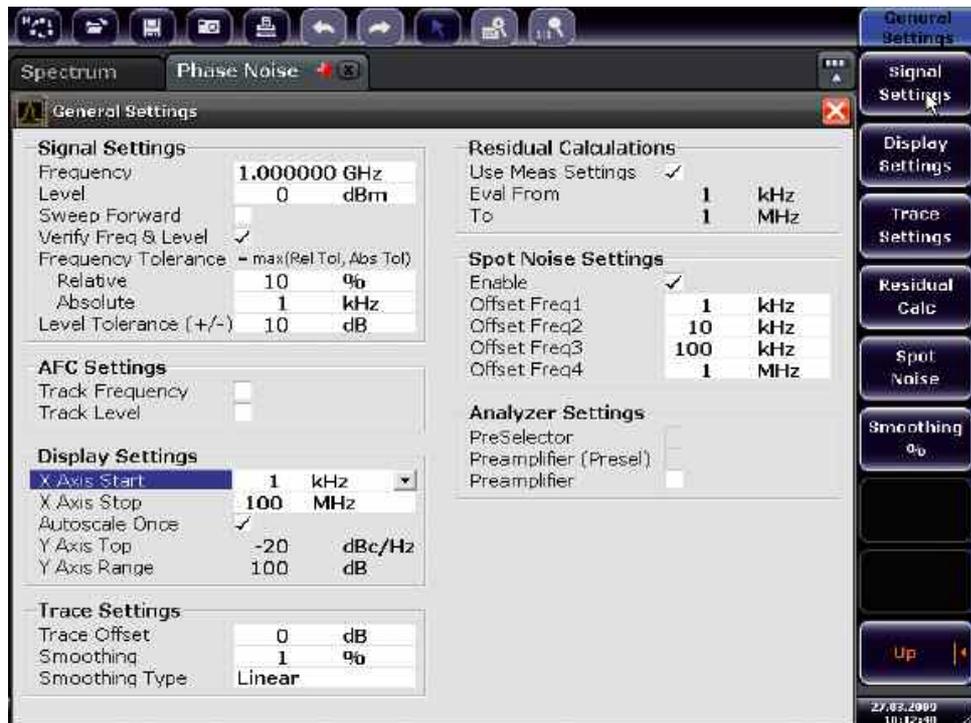


图 10: 用 R&S FSV 进行相噪测试——仪器设置



图 11: 用 R&S FSV 进行相噪测试——测试结果

3.1.6 用 R&S FSV 频谱仪进行雷达系统噪声系数测试

用频谱分析仪 FS-K30 选件加噪声源可以进行噪声系数和增益测试。

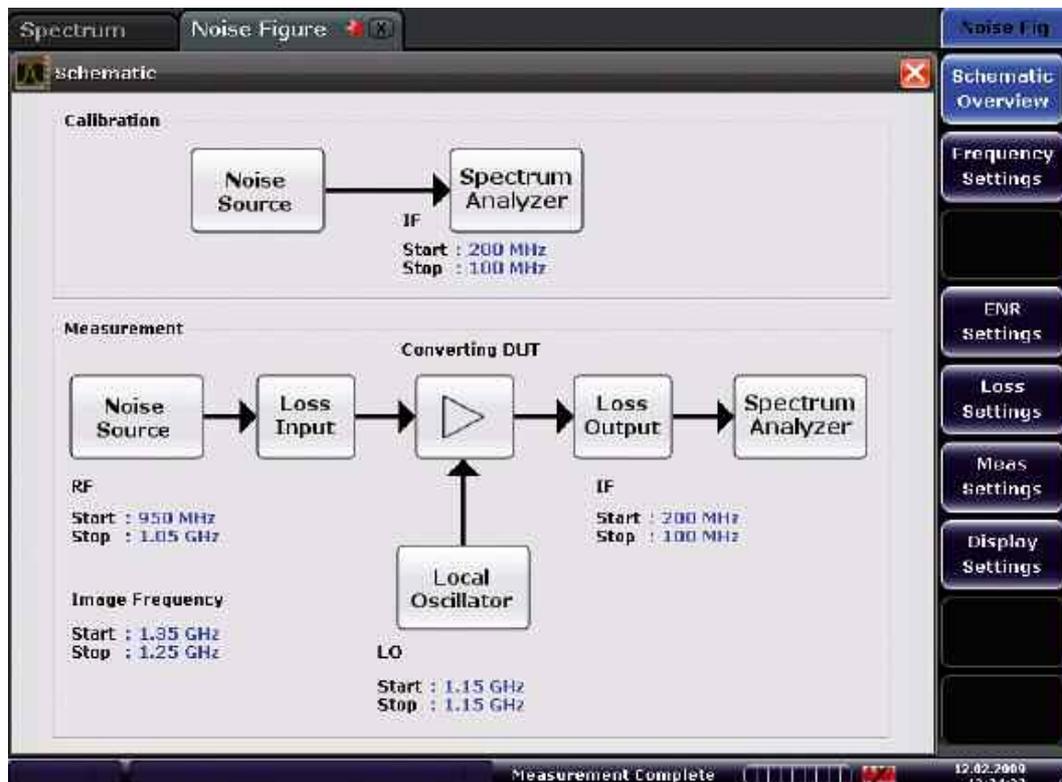


图 12: 用 R&S FSV 频谱分析仪进行噪声系数测试——测试连接图

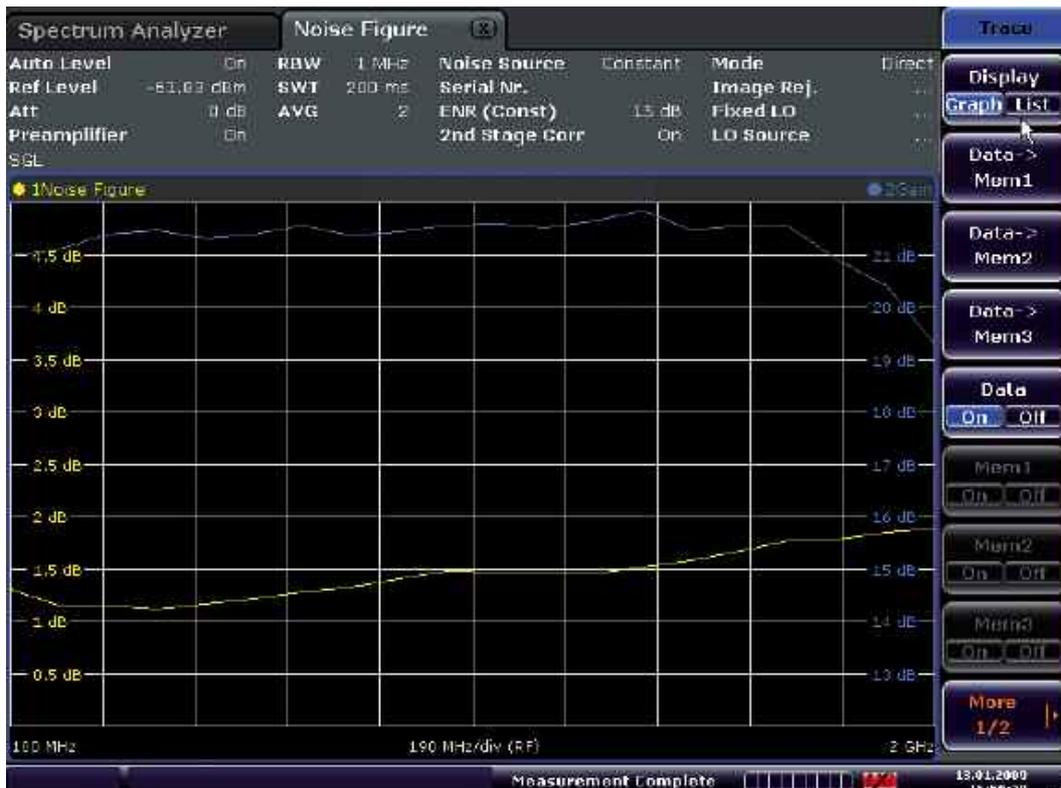


图 13: 用 R&S FSU 频谱分析仪进行噪声系数测试——测试结果

3.2 用功率计进行脉冲雷达信号测试

R&S NRP 系列功率计提供了多款探头可供选择，频率覆盖了 DC-67GHz 的频率范围，功率范围覆盖了 -67dBm 到 +45dBm 的范围。



图 14: R&S NRP 功率探头系列

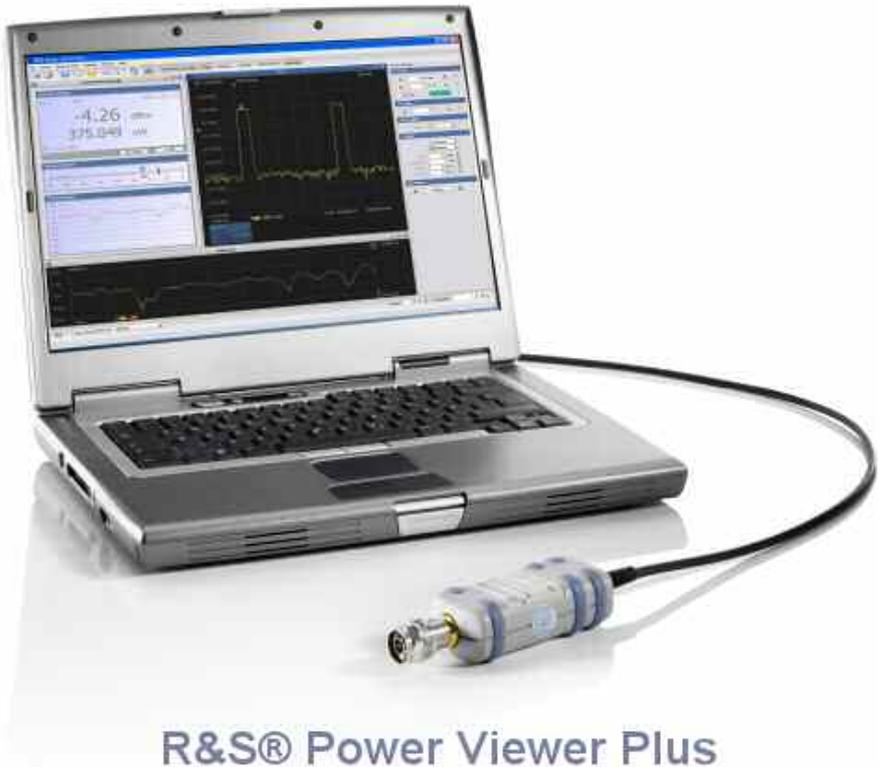
对于脉冲信号分析，推荐使用峰值功率探头 NRP-Z81, 该探头覆盖了 10MHz 至 18GHz 的频率范围，时域分辨率可达到 12.5ns。

NRP功率探头的多种连接方式



图 15: NRP 功率计的多种操作模式

使用 POWER VIEWER PLUS 软件，PC 加 NRP-Z4 +功率探头，可以实现的无功率计主机的操作。



R&S® Power Viewer Plus

图 17: NRP 探头直接连接电脑进行脉冲信号分析

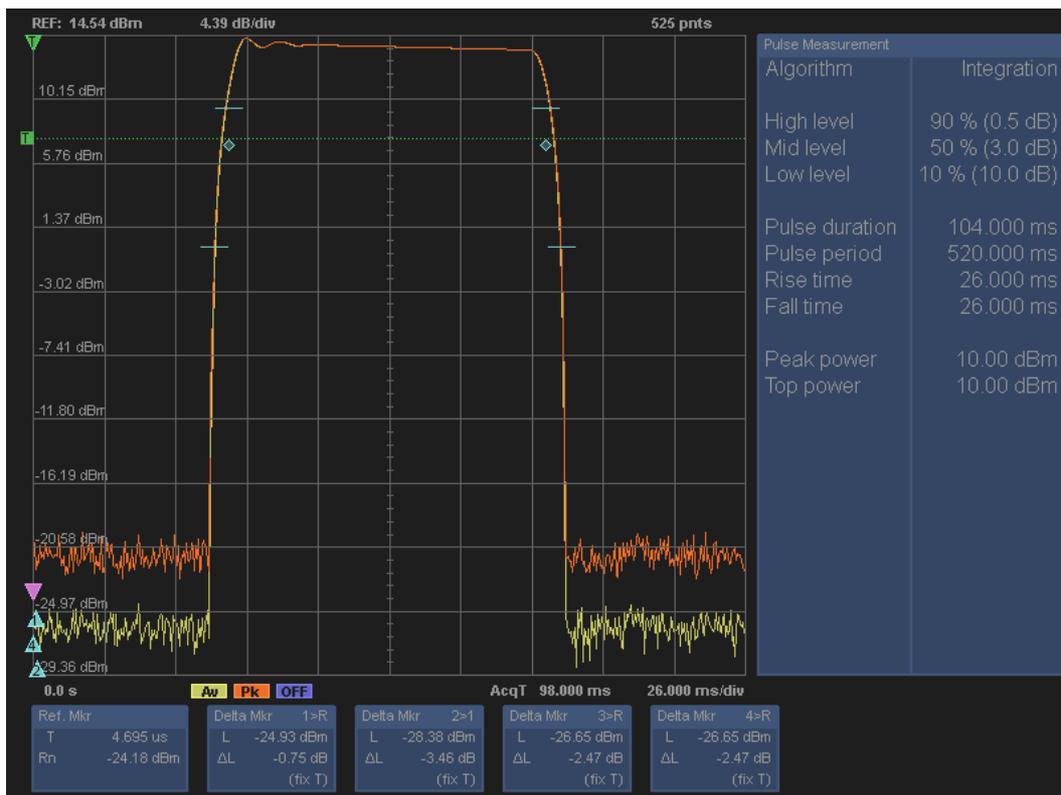


图 18: 用 PC+探头分析脉冲功率, 上升沿, 下降沿, 脉宽, 周期, 功率等参数

3.3 用 R&S SMF100A 信号源进行雷达脉冲信号分析

R&S NRP-Z 系列功率探头可以直接连接 R&S 公司信号源 SMF100A, 进行功率测量, 脉冲分析, 可以测量平均功率, 峰值功率, 脉宽, 周期, 占空比, 上升时间, 下降时间, 过冲等参数。

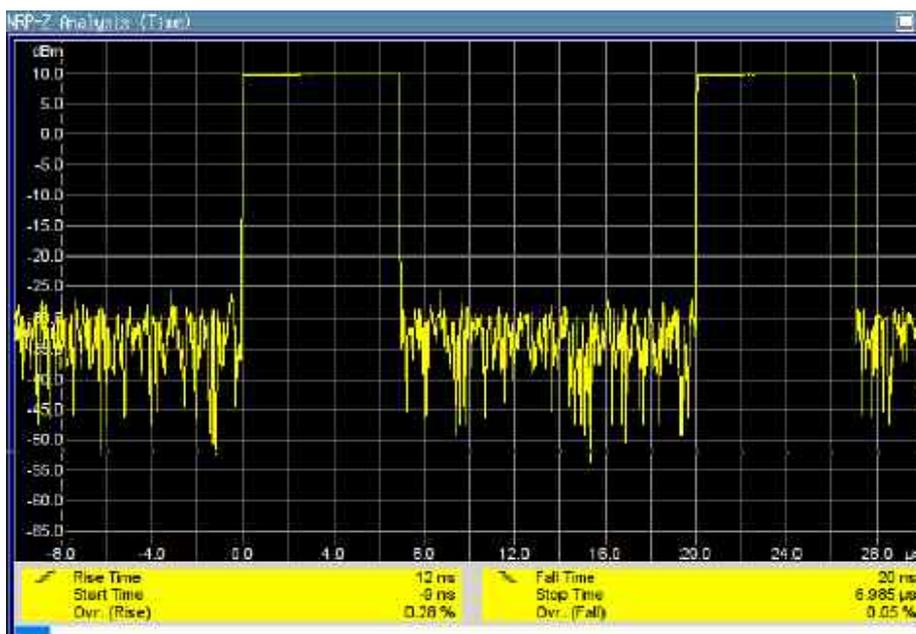


图 19: 用 SMF100A 信号源+NRP-Z81 进行脉冲测试界面

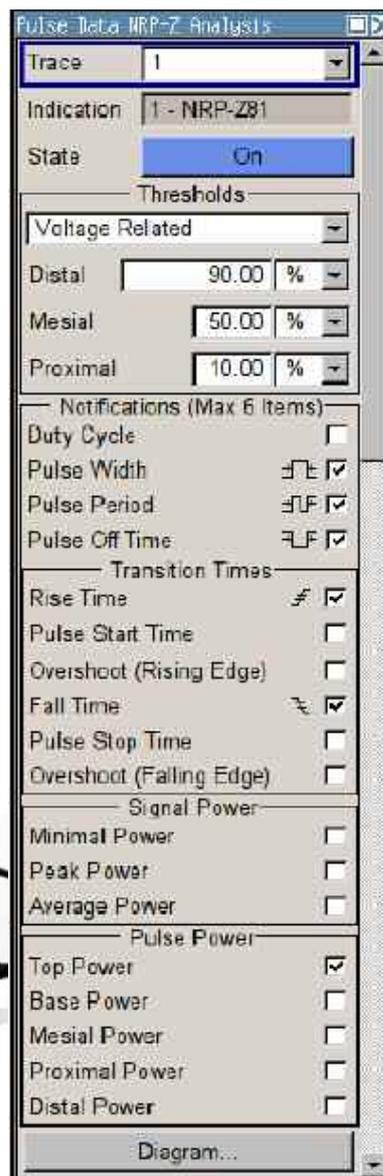
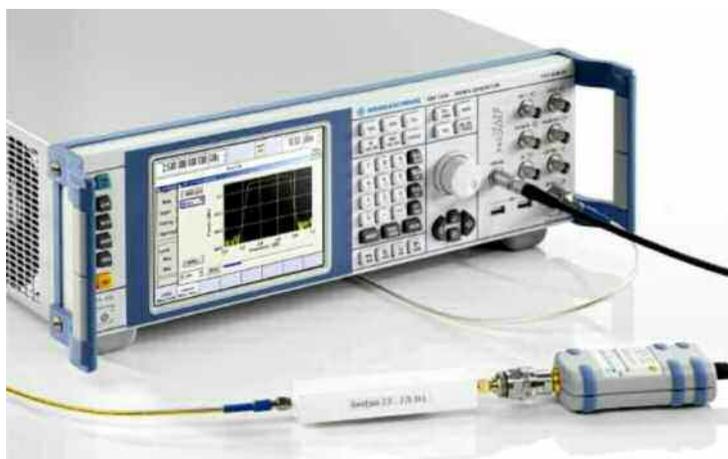


图 20: SMF100A 微波信号源+NRP 探头进行脉冲功率分析设置界面

4. 总结

综上所述，R&S 公司的微波信号源 R&S SMF100A，新一代频谱分析仪 R&S FSV，峰值功率探头 R&S NRP-Z81 提供了完整的雷达脉冲信号产生和测试方法，可以组成一套理想的雷达发射机和接收机系统的完整解决方案。