

R&S 公司的无线数据通信 ZigBee 测量解决方案

Wireless Data Communication ZigBee Test Solution from Rohde & Schwarz

罗德与斯瓦茨中国有限公司 甘秉鸿

摘要 根据 IEEE 802.15.4 的标准需求以及 ZigBee 的基本原理的介绍, 全面介绍了罗德与施瓦茨公司对无线数据通信 ZigBee 完整而成熟的测试解决方案。

关键词 IEEE 802.15.4, ZigBee, Half-Sine

罗德与斯瓦茨中国有限公司

www.rohde-schwarz.com

目 录

1	前言	4
2	无线数据通信 ZigBee 基本原理及测试需求	4
2.1	ZigBee 简介	4
2.2	ZigBee 技术特点	4
2.3	ZigBee 联盟及标准介绍	5
2.3	ZigBee 基本原理	6
2.3.1	ZigBee 工作频段和物理信道	6
2.3.2	ZigBee 调制技术和数据速率	7
2.3.3	2.4GHz 频段的 ZigBee 技术介绍	8
2.3.3.1	映射和扩频	8
2.3.3.2	OQPSK 调制方式	9
2.3.3.3	Half-Sine 脉冲成型滤波器	11
2.3.3.4	ZigBee 帧结构	12
2.4	ZigBee 测试需求	13
3	R&S 相关产品介绍	14
3.1	任意矢量信号的产生	14
3.2	任意矢量信号的分析	15
3.3	功率测量	16
4	无线数据通信 ZigBee 测试解决方案	18
4.1	整机类指标	18
4.1.1	发射机性能测试	18
4.1.1.1	设置 FSQ, 准备测试	19
4.1.1.1.1	导入 Half-Sine 脉冲成型滤波器	19
4.1.1.1.2	创建用户自定义滤波器设置	19
4.1.1.1.3	针对 ZigBee 测试设置 FSQ	20
4.1.1.1.4	创建用户自定义标准 ZigBee	20
4.1.1.2	发信机输出功率	20
4.1.1.3	发信机频谱发射模板及杂散发射测试	23
4.1.1.4	ACLR 测试	23
4.1.1.5	Power Rise/Fall 测试	25

4.1.1.6	CCDF 测试	26
4.1.1.7	发射机调制特性测试	28
4.1.2	接收机测试	30
4.1.2.1	信号产生	30
4.1.2.2	使用 WinIQSIM 进行单载波操作	30
4.1.2.2	调制特性设置	31
4.1.2.3	数据面板设置	32
4.1.2.3.1	Unframed 数据发射	32
4.1.2.3.2	framed 数据发射	33
4.1.2.4	使用 WinIQSIM 进行 ZigBee 帧结构设置	35
5	小结	39
6	参考文献	39
7	订货信息	40

1 前言

罗德与施瓦茨公司(Rohde & Schwarz)是欧洲最大的电子测量仪器生产厂商,一直活跃在测试与测量、信息及通信技术领域中,本文着重介绍任意矢量信号的产生方案、任意矢量信号的分析方案以及 ZigBee 的测试方案。

作为全球领先的测试与测量设备厂商,R&S 公司时刻关注着无线数据通信的发展,目前可提供 ZigBee 的信号产生和信号分析的全套解决方案——信号源、频谱仪。信号源能够产生配置灵活的任意矢量调制信号,频谱仪可对任意矢量调制信号进行调制域、频域、时域测量分析。

2 无线数据通信 ZigBee 基本原理及测试需求

2.1 ZigBee 简介

无线网络是一个庞大的家族,各种无线技术,能有不同的应用方面。发展至今,无线网络也各不相同。那么其中的短距离无线家族分支的成员除了蓝牙之外,还有一种技术是无线 ZigBee 技术。

ZigBee 技术是一种应用于短距离范围内,低传输数据速率下的各种电子设备之间的无线通信技术。ZigBee 名字来源于蜂群使用的赖以生存和发展的通信方式,蜜蜂通过跳 ZigZag 形状的舞蹈来通知发现的新食物源的位置、距离和方向等信息,以此作为新一代无线通讯技术的名称。ZigBee 过去又称为“HomeRF Lite”、“RF-EasyLink”或“FireFly”无线电技术,目前统一称为 ZigBee 技术。

2.2 ZigBee 技术特点

自从马可尼发明无线电以来,无线通信技术一直向着不断提高数据速率和传输距离的方向发展。例如:广域网范围内的第三代移动通信网络(3G)目的在于提供多媒体无线服务,局域网范围内的标准从 IEEE802.11 的 1Mbit/s 到 IEEE802.11g 的 54Mbit/s 的数据速率。而当前得到广泛研究的 ZigBee 技术则致力于提供一种廉价的固定、便携或者移动设备使用的极低复杂度、成本和功耗的低速率无线通信技术。这种无线通信技术具有如下特点:

- ✓ 功耗低:在低耗电待机模式下,两节普通 5 号干电池可使用 6 个月到 2 年,免去了充电或者频繁更换电池的麻烦。这也是 ZigBee 的支持者所一直引以为豪的独特优势。

- ✓ 数据传输可靠: ZigBee 的媒体接入控制层 (MAC 层) 采用 talk-when-ready 的碰撞避免机制。在这种完全确认的数据传输机制下, 当有数据传送需求时则立刻传送, 发送的每个数据包都必须等待接收方的确认信息, 并进行确认信息回复, 若没有得到确认信息的回复就表示发生了碰撞, 将再传一次, 采用这种方法可以提高系统信息传输的可靠性。同时为需要固定带宽的通信业务预留了专用时隙, 避免了发送数据时的竞争和冲突。同时 ZigBee 针对时延敏感的应用做了优化, 通信时延和休眠状态激活的时延都非常短。
- ✓ 网络容量大: ZigBee 低速率、低功耗和短距离传输的特点使它非常适宜支持简单器件。一个 ZigBee 的网络最多包括有 255 个 ZigBee 网路节点, 其中一个为主控 (Master) 设备, 其余则是从属 (Slave) 设备。若是通过网络协调器 (Network Coordinator), 整个网络最多可以支持超过 64000 个 ZigBee 网路节点, 再加上各个 Network Coordinator 可互相连接, 整个 ZigBee 网络节点数目将十分可观。
- ✓ 兼容性: ZigBee 技术与现有的控制网络标准无缝集成。通过网络协调器 (Coordinator) 自动建立网络, 采用载波侦听/冲突检测 (CSMA-CA) 方式进行信道接入。为了可靠传递, 还提供全握手协议。
- ✓ 安全性: ZigBee 提供了数据完整性检查和鉴权功能, 采用 AES-128 加密算法。
- ✓ 实现成本低: ZigBee 数据传输速率低, 协议简单, 所以大大降低了成本。且免收专利费;
- ✓ 时延短: 通常时延都在 15 毫秒至 30 毫秒之间;
- ✓ 有效范围小: 有效覆盖范围 10 ~ 75 米之间, 具体依据实际发射功率的大小和各种不同的应用模式而定, 基本上能够覆盖普通的家庭或办公室环境;

2.3 ZigBee 联盟及标准介绍

ZigBee 技术最初是由 13 家通信及传感器领域的知名厂商于 2004 年底共同发起制定的。同时成立了 ZigBee 联盟以避免标准混乱带来的内部争斗。

ZigBee 技术是基于 IEEE802.15.4 底层协议的网络通信标准, 工作在工业开放频段 (ISM) 上。在标准规范的制订方面, 主要是 IEEE 802.15.4 小组与 ZigBee Alliance 两个组织, 两者分别制订硬件与软件标准, 两者的角色分工就如同 IEEE 802.11 小组与 Wi-Fi 之关系。在 IEEE 802.15.4 方面, 2000 年 12 月 IEEE 成立了 802.15.4 小组, 负责制订 MAC 与 PHY (物理层) 规范, 在 2003 年 5 月通过 802.15.4 标准, 802.15.4 任务小组目前在着手制订 802.15.4b 标准, 此标准主要是加强 802.15.4 标准, 包括: 解决标准有争议的地方、降低复杂度、提高适应性并考虑新频段的分配等。ZigBee 建立在 802.15.4 标准之上, 它确定了可以在不同制造商之间共享的应用纲要。

802.15.4 仅仅定义了实体层和介质访问层，并不足以保证不同的设备之间可以对话，于是便有了 ZigBee 联盟。

2.3 ZigBee 基本原理

2.3.1 ZigBee 工作频段和物理信道

ZigBee 兼容的产品工作在 IEEE802.15.4 的 PHY 上，其频段是免费开放的，分别为 2.4GHz（全球）、915MHz（美国）和 868MHz（欧洲）。

频带	使用范围	数据传输率	信道数
2.4 GHz	ISM	250 kbps	16
868 MHz	欧洲	20 kbps	1
915 MHz	ISM	40 kbps	10

图 1 ZigBee 工作频段和数据传输速率

采用 ZigBee 技术的产品可以在 2.4GHz 上提供 250kbit/s（16 个信道）、在 915MHz 提供 40kbit/s（10 个信道）和在 868MHz 上提供 20kbit/s（1 个信道）的传输速率。其物理信道分配如下图 2 所示：

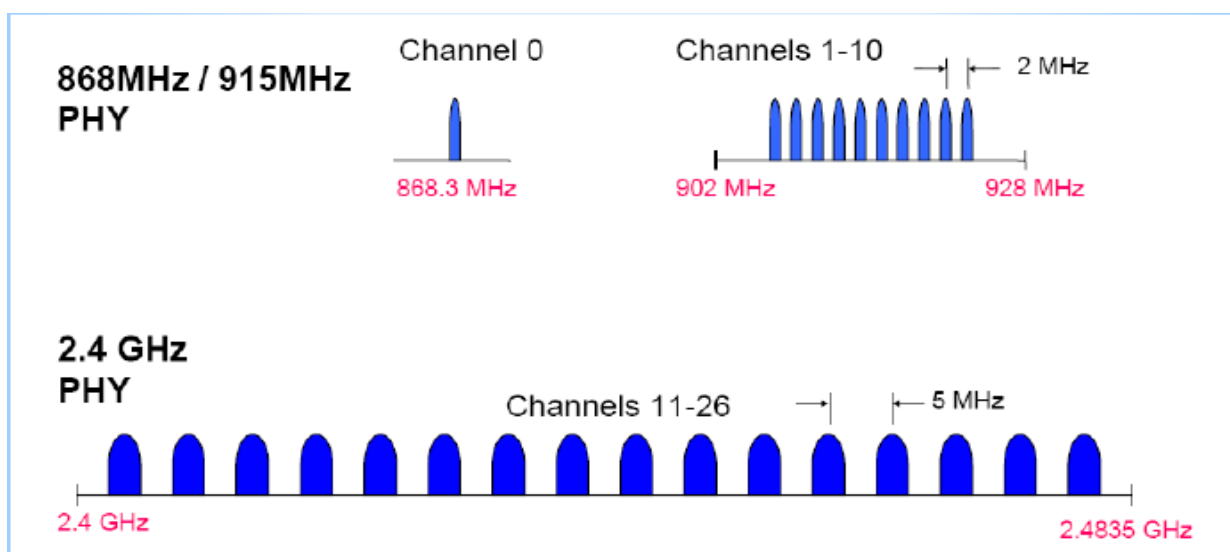


图 2 ZigBee 的物理信道分配

其中，根据物理信道分配图，不难得出各种技术的中心频率如下：

- ✓ 868MHz 的频段： $F_c = 868.3\text{MHz}$, $k=0$
- ✓ 915MHz 的频段： $F_c = 906 + 2(k-1)\text{MHz}$, $k=1,2,\dots,10$
- ✓ 2.4GHz 的频段： $F_c = 2405 + 5(k-11)\text{MHz}$, $k=11,12,\dots,26$

ZigBee 的传输范围依赖于输出功率和信道环境，介于 10m 到 100m 之间，一般是 30m 左右。由于 ZigBee 使用的是开放频段，已有多种无线通讯技术使用。因此为避免被干扰，各个频段均采用直接序列扩频技术。同时，PHY 的直接序列扩频技术允许设备无需闭环同步。

2.3.2 ZigBee 调制技术和数据速率

IEEE 802.15.4 标准根据频段不同，采用了不同的技术，如表 1 和表 2 所示：

表 1 IEEE 802.15.4 频带宽度、调制类型和数据速率

PHY (MHz)	Frequency band (MHz)	Spreading parameters		Data parameters		
		Chip rate (kchip/s)	Modulation	Bit rate (kb/s)	Symbol rate (ksymbol/s)	Symbols
868/915	868-868.6	300	BPSK	20	20	Binary
	902-928	600	BPSK	40	40	Binary
2450	2400-2483.5	2000	O-QPSK	250	62.5	16-ary Orthogonal

表 2 IEEE 802.15.4 频带宽度、调制类型和脉冲成型滤波器

Band	Frequency (MHz)	Chip Rate (kchip/s)	Modulation Type	Pulse shaping filter
868/915	868 - 868.6	300	BPSK	RRC (root raised cosine)
	902 - 928	600	BPSK	RRC
2450	2400 - 2483.5	2000	OQPSK	Half-Sine

在这 3 个不同频段，都采用相位调制技术，2.4GHz 采用较高阶的 OQPSK 调制技术以达到 250kbit/s 的速率，并降低工作时间，以减少功率消耗。而在 915MHz 和 868MHz 方面，则采用 BPSK 的调制技术。相比较 2.4GHz 频段，900MHz 频段为低频频段，无线传播的损失较少，传输距离较长，其次，此频段过去主要是室内无绳电话使用的频段，现在因室内无绳电话转到 2.4GHz，干扰反而比较少。

由于 RRC 滤波器非常普通，绝大多数信号源和频谱仪都可以简单完成，但是采用半正弦滤波器 Half-Sine 的 OQPSK 调制技术却是一种特别的方式，因此，以下部分着重讨论 2.4GHz 频

段的 ZigBee 技术。

2.3.3 2.4GHz 频段的 ZigBee 技术介绍

2.3.3.1 映射和扩频

对于 2.4GHz 的 PHY，标准规定了数据流的映射、扩频和调制流程图如下：

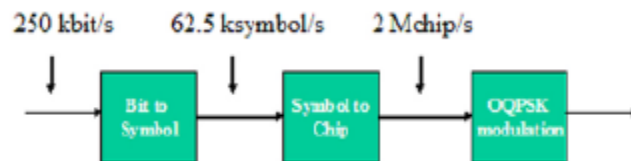


图 3 映射、扩频方框图

每 4 个 bit 映射为 1 个符号（共 16 个符号），每 1 个符号映射为 32 个码序列，每个码序列都是一组伪随机序列 PN，如下表 3 所示：

表 3 Data、Symbol、Chip 之间的映射

Data symbol (decimal)	Data symbol (binary) (b_0, b_1, b_2, b_3)	Chip values ($c_0, c_1, \dots, c_{30}, c_{31}$)
0	0000	11011001110000110101001000101110
1	1000	11101101100111000011010100100010
2	0100	00101110110110011100001101010010
3	1100	00100010111011011001110000110101
4	0010	01010010001011101101100111000011
5	1010	00110101001000101110110110011100
6	0110	11000011010100100010111011011001
7	1110	10011100001101010010001011101101
8	0001	10001100100101100000011101111011
9	1001	10111000110010010110000001110111
10	0101	01111011100011001001011000000111
11	1101	01110111101110001100100101100000
12	0011	00000111011110111000110010010110
13	1011	01100000011101111011100011001001
14	0111	10010110000001110111101110001100
15	1111	11001001011000000111011110111000

2.3.3.2 OQPSK 调制方式

OQPSK 也称为偏移四相相移键控 (offset-QPSK), 是 QPSK 的改进型。由于 QPSK 调制方式在码组 0011 或 0110 时, 产生 180° 的载波相位跳变。这种相位跳变引起包络起伏, 当通过非线性部件后, 使已经滤除的带外分量又被恢复出来, 导致频谱扩展, 增加对相邻波道的干扰。为了消除 180° 的相位跳变, 在 QPSK 基础上提出了 OQPSK。

OQPSK 是在 QPSK 基础上发展起来的一种恒包络数字调制技术。所谓恒包络技术是指已调波的包络保持为恒定, 它与多进制调制是从不同的两个角度来考虑调制技术的。恒包络技术所产生的已调波经过发送带限后, 当通过非线性部件时, 只产生很小的频谱扩展。这种形式的已调波具有两个主要特点, 其一是包络恒定或起伏很小; 其二是已调波频谱具有高频快速滚降特性, 或者说已调波旁瓣很小, 甚至几乎没有旁瓣。采用这种技术已实现了多种调制方式。

它与 QPSK 有同样的相位关系, 也是把输入码流分成两路, 然后进行正交调制。不同点在于它将同相和正交两支路的码流在时间上错开了半个码元周期。如下:

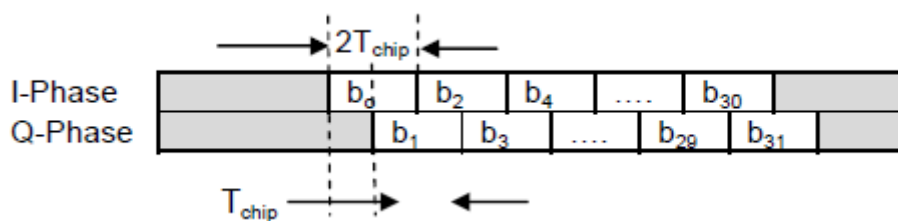


图 4 OQPSK 调制方式

由于码片速率为 2MCps , 对于 OQPSK 来说, 没 2 个码片映射为 1 个 OQPSK 符号, 因此, 当设置矢量信号分析仪的 Symbol Rate=1MHz 时, 可以看到 OQPSK 的矢量图, 从时域和矢量域来看:

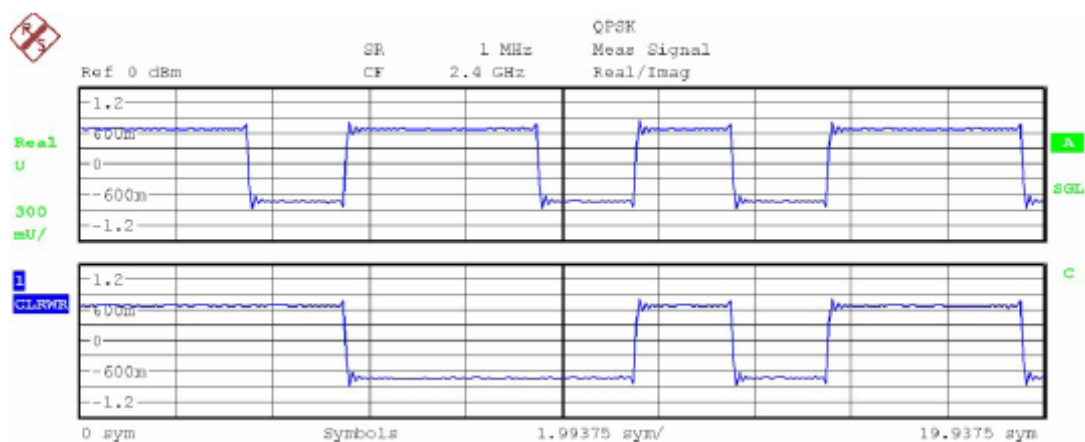


图 5 QPSK 的 I 路和 Q 路时间关系图

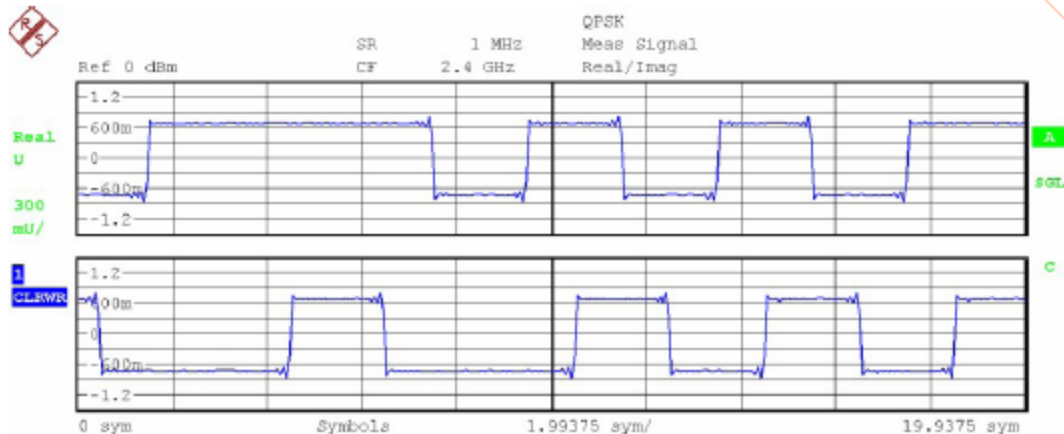


图 6 OQPSK 中的 I 路和 Q 路时间关系图

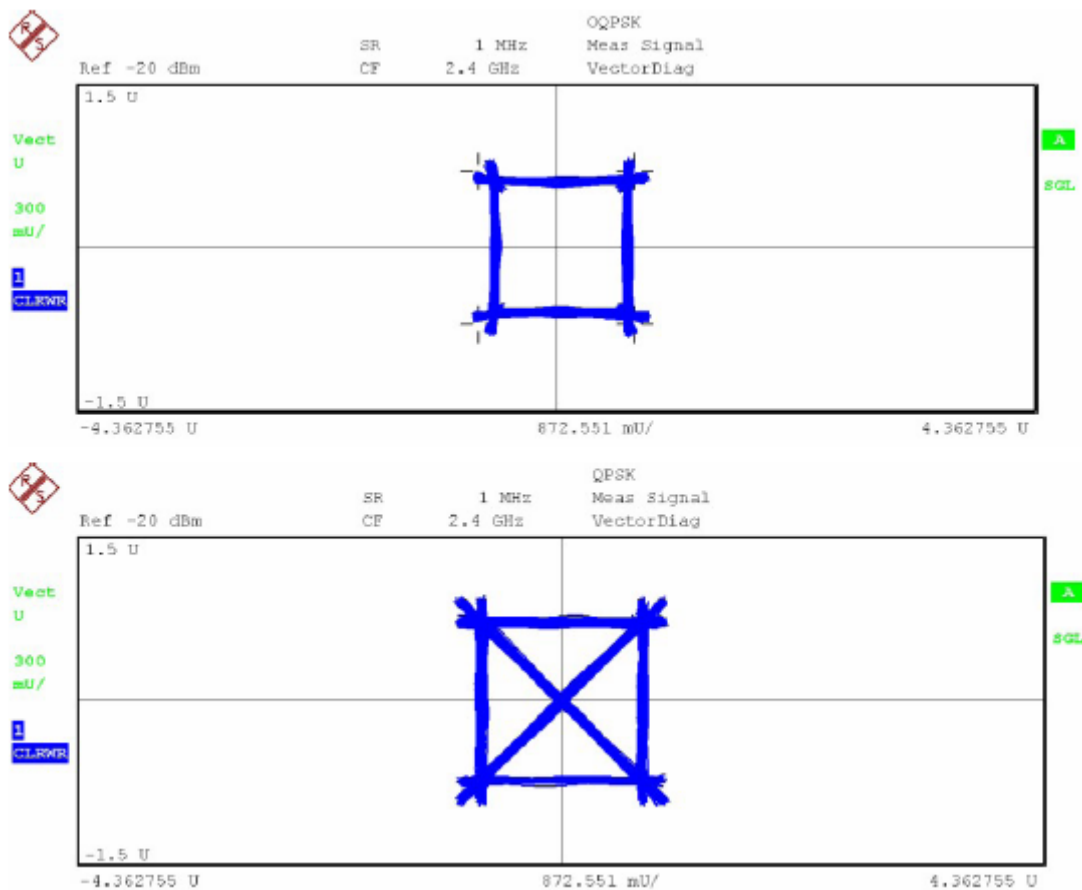


图 7 OQPSK (上) 和 QPSK (下) 的星座图比较

从上面的解调中可以看出：由于两支路码元半周期的偏移，每次只有一路可能发生极性翻转，不会发生两支路码元极性同时翻转的现象。因此，OQPSK 信号相位只能跳变 0° 、 $\pm 90^\circ$ ，不会出现 180° 的相位跳变。因此，与 QPSK 不同，OQPSK 可以避免包络过零点现象。若带宽受限的 OQPSK 信号通过非线性转发器后，就不会产生包络凹陷。

2.3.3.3 Half-Sine 脉冲成型滤波器

2.4GHz 频段的 ZigBee 使用的是半正弦成型滤波器，方程式如下：

$$p(t) = \begin{cases} \sin(\pi \frac{t}{2T_{Chip}}) & , 0 \leq t \leq 2T_{Chip} \\ 0 & , otherwise \end{cases}$$

当经过 Half-Sine 滤波器后，I 和 Q 以及星座图都发生变化，如下：

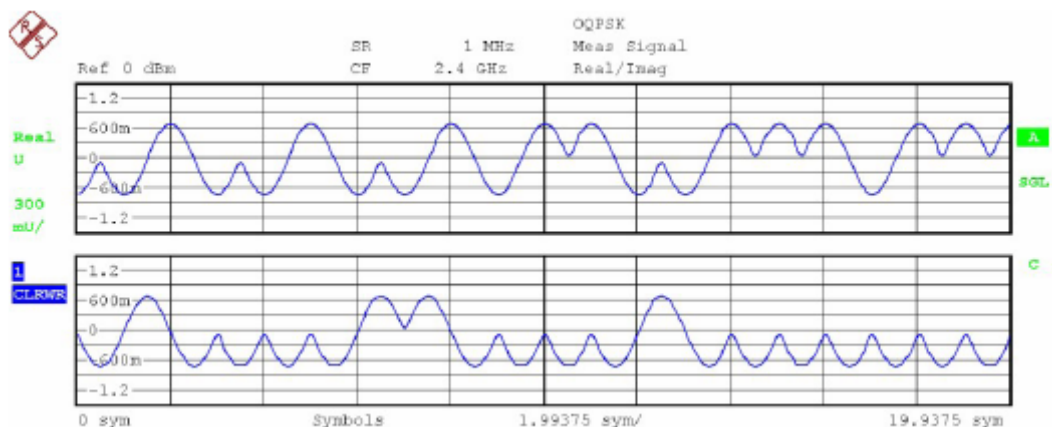


图 8 经过 Half-Sine 滤波后，I 和 Q 的显示

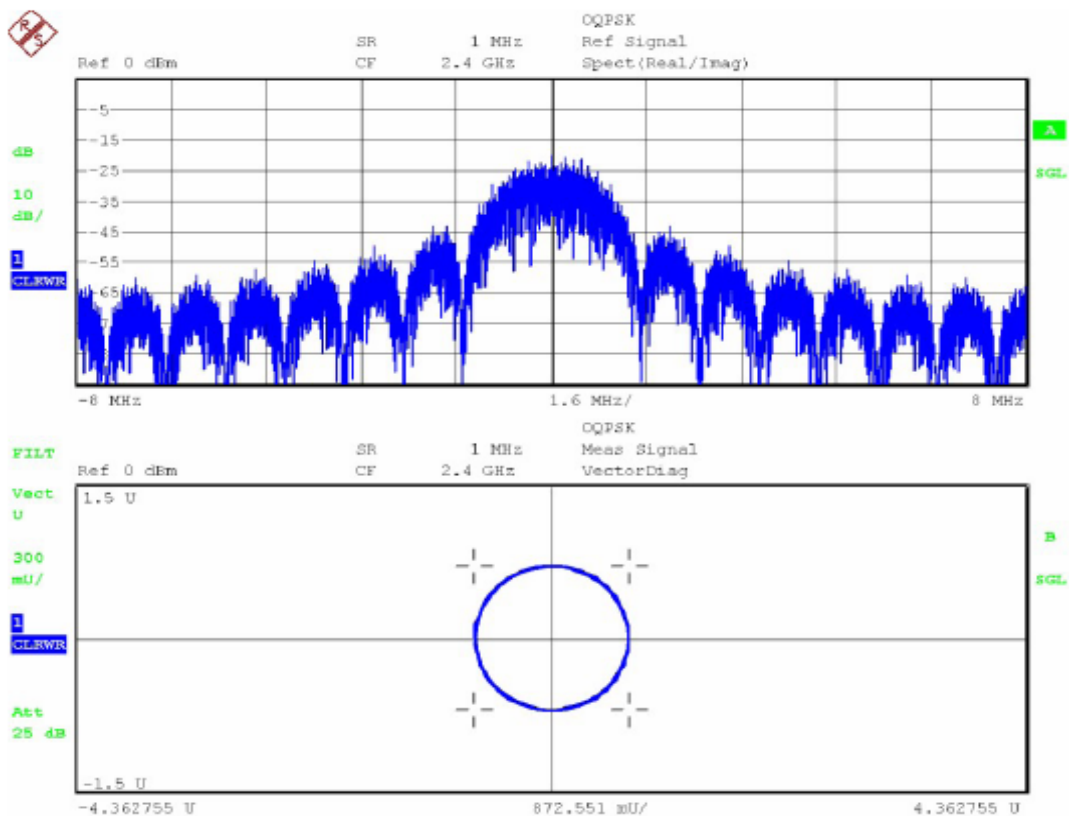


图 9 经过 Half-Sine 滤波后，频谱及星座图

2.3.3.4 ZigBee 帧结构

ZigBee 定义了四种帧结构，如下：

✓ Beacon Frame

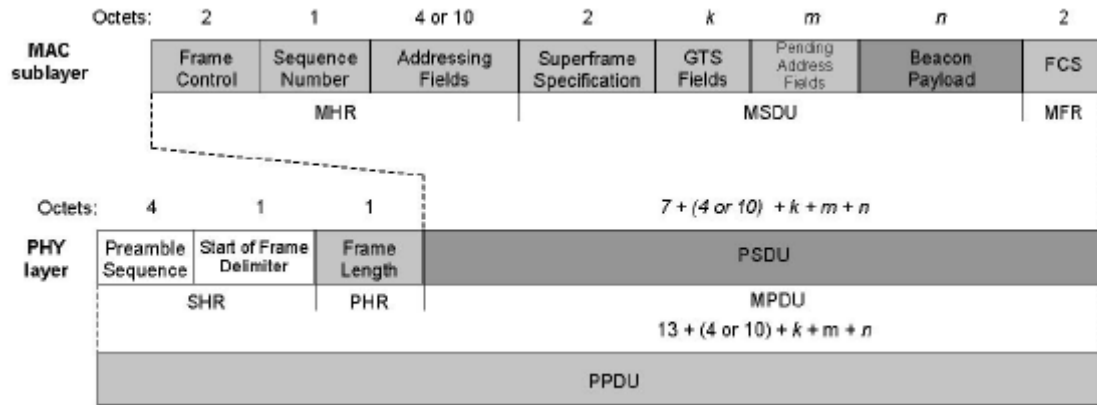


图 10 Beacon Frame 结构

✓ Data Frame

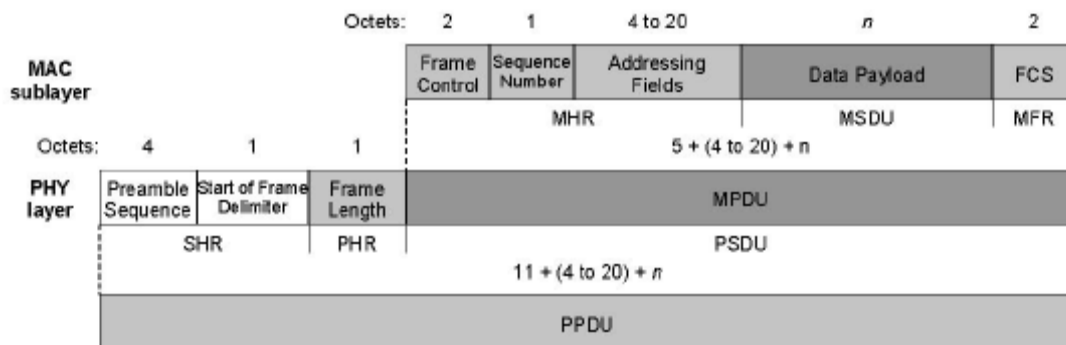


图 11 Data Frame 结构

✓ Acknowledge Frame

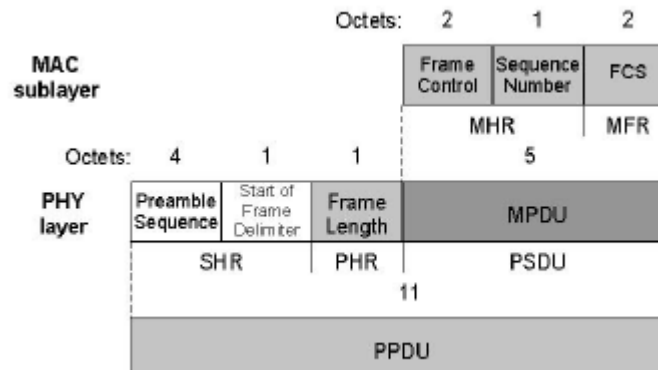


图 12 Acknowledge Frame 结构

✓ MAC Command Frame

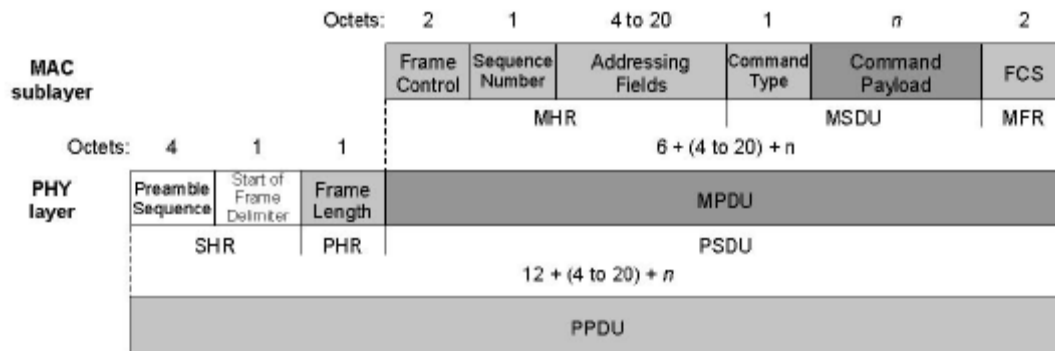


图 13 MAC Command Frame 结构

2.4 ZigBee 测试需求

根据 IEEE 802.15.4 需求，无线数据通信 ZigBee 的 PHY RF 测试项目如下：

Transmitter Test	Output Power
	Power rise/fall
	Spectrum PSD mask
	Transmission spurious
	Center Frequency Tolerance
	Constellation error
	EVM
Receiver Test	Symbol Rate Error Tolerance
	Sensitivity
	Max Input Level
	Receiver Jamming Resistance
	Energy Detect
	Link Quality Indication

3 R&S 相关产品介绍

3.1 任意矢量信号的产生

R&S 公司的任意矢量信号产生方案

	仪 器	选 件	软 件
方案 1	双通道矢量信号源 SMU200A	任意波形发生器: SMU-B10 高斯白噪声 AWGN: SMU-K62 衰落模拟: SMU-B14 BER/BLER 测试: SMU-K80	运行在 PC 机上的 软件 WinIQSIM
方案 2	矢量信号源 SMJ100A	任意波形发生器: SMJ-B10 高斯白噪声: AWGN SMJ-K62 BER/BLER 测试: SMJ-K80	运行在 PC 机上的 软件 WinIQSIM
方案 3	矢量信号源 SMBV100A	任意波形发生器: SMBV-B10 高斯白噪声: AWGN SMBV-K62	运行在 PC 机上的 软件 WinIQSIM

下面简要介绍一下三种方案中 R&S 公司提供的仪器及相关软件，如下：

	<p>SMU200A</p> <p>频率范围: 100kHz ... 2.2/3/4/6 GHz</p> <p>IQ 调制带宽: 内部源80 MHz / 外部源200 MHz</p> <p>相位噪声: -135dBc/Hz@20kHz</p> <p>附加功能: K62:AWGN & K80:BERT</p>
	<p>SMJ100A</p> <p>频率范围: 100kHz ... 3/6 GHz</p> <p>IQ 调制带宽: 内部源80 MHz / 外部源200 MHz</p> <p>相位噪声: -135dBc/Hz@20kHz</p> <p>附加功能: K62:AWGN & K80:BERT</p>
	<p>SMBV100A</p> <p>频率范围: 20 Hz ... 3/7/13.6/30/40 GHz</p> <p>IQ 调制带宽: 内部源120 MHz / 外部源500 MHz</p> <p>相位噪声: -128dBc/Hz@20kHz</p> <p>附加功能: K62:AWGN & K80:BERT</p>

WinIQSIM 软件

WinIQSIM 是 R&S 公司开发的运行在 PC 机上的模拟软件，它可以通过 GPIB 卡对信号源产生的信号进行灵活配置，支持 GSM、IS-95、CDMA2000、WCDMA、TD-SCDMA、WLAN802.11 等各种数字标准信号，同时也支持任意矢量调制信号的配置。

WinIQSIM 软件中目前可以用户自定义测试模式，修改任意配置，包括：符号速率，编码方式，滤波器选型及成型系数等；

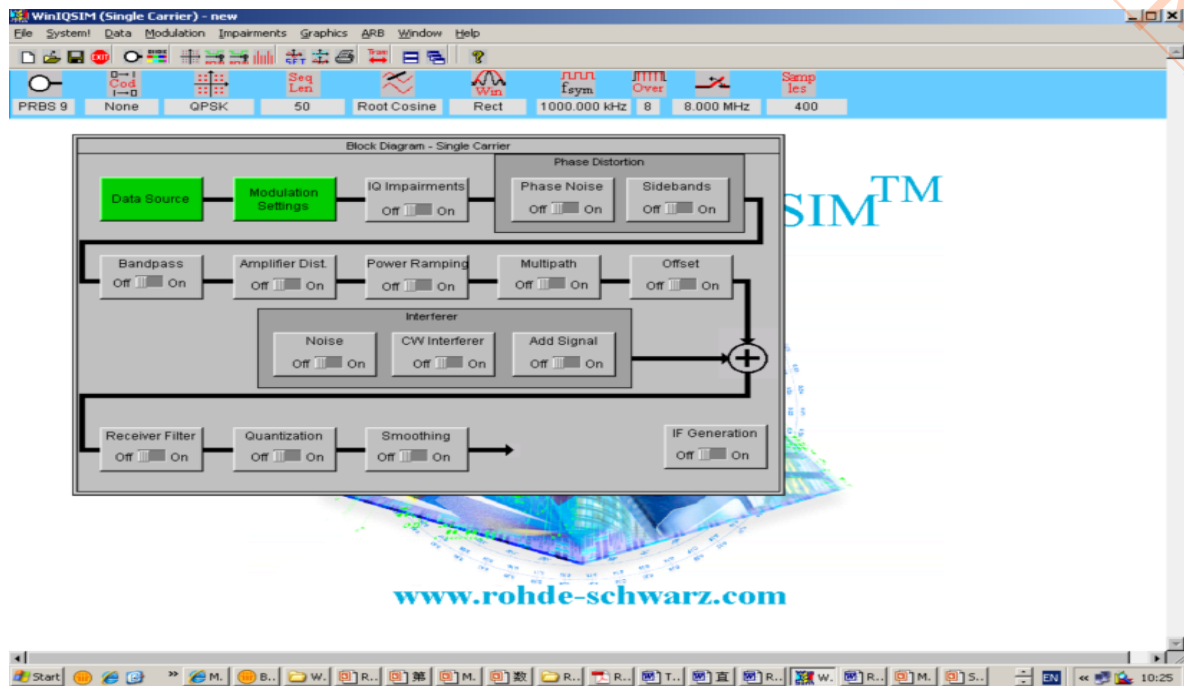


图 6 WinIQSIM 中信号流程图配置

3.2 任意矢量信号的分析

R&S 公司的任意矢量调制信号分析解决方案

	仪 器	应用选件
方案 1	顶级矢量信号分析仪 FSQ	噪声系数测试 FS-K30 相位噪声测试 FS-K40 支持功率探头 FS-K9 任意矢量信号分析 FSQ-K70
方案 2	高端矢量信号分析仪 FSG	噪声系数测试 FS-K30 相位噪声测试 FS-K40 支持功率探头 FS-K9 任意矢量信号分析 FSQ-K70
方案 3	中档矢量信号分析仪 FSV	噪声系数测试 FS-K30 相位噪声测试 FS-K40 支持功率探头 FS-K9 任意矢量信号分析 FSQ-K70

下面简要介绍一下三种方案中 R&S 公司提供的仪器，用户可以根据自己的需要分别进行选择。



FSQ
 Frequency Range: 20 Hz ... 3,6 / 8 / 26,5 / 40 GHz
 Demodulation bandwidth: 28 MHz / extendable to 120 MHz
 16 Msamples I / Q memory, extendable to 705 MSamples
 Signal analysis w/ dynamic range of a high-end SPA (FSU)



FSG
 Frequency Range: 9 kHz ... 8 / 13,6 GHz
 TOI: typ. +21 dBm
 Phase noise: typ. -105 dBc (1Hz) at 10 kHz offset
 Display linearity: < 0.1 dB



FSV
 Frequency Range: 20 Hz ... 8 / 7 / 13,6 / 30 / 40 GHz
 TOI: typ. +15 dBm
 Phase noise: typ. -106 dBc (1Hz) at 10 kHz offset
 Demodulation bandwidth 28 MHz, 4 MSample

3.3 功率测量

R&S 公司的功率测试解决方案

	仪 器	基站测试固件
方案	功率计 NRP	NRP 标配

下面简要介绍 R&S 的功率计 NRP:



图 7 功率传感器 R&S NRP

顶级测量精度以及对任何调制宽带信号高达 90dB 的动态范围是 R&S®NRP 功率计最重要的特性。如果您想要满足更多的需求，如第三代移动无线电的宽带调制类型，则 R&S®智能探头技术中的通用型探头是您不二的选择。此外，R&S®NRP 还适合处理正处于 WLAN（无线局域网）讨论阶段的高于 100 MHz 的 RF 带宽。

主要指标：

- 智能探头— 即插即用
- 创新的多路探头技术
- 90 dB 的动态范围
- 高测试准确度和速度
- 常见时分系统的多时隙测量（例如，GSM/EDGE、DECT）
- 通过 Γ 和 S 参数的校准处理外部组件
- 在基本单元上可同时控制操作高达四个探头
- 通过 IEEE 总线和 USB 远程控制
- 电池供电（可选）。
- 以太网（LAN）接口（可选）
- 通过 USB 接口从 PC 直接操作探头
- 两年校准周期

R&S NRP 可以直接连接到频谱仪、信号源及网络分析仪上进行功率测试，给功率测量带来极大的便利；

4 无线数据通信 ZigBee 测试解决方案

根据 IEEE 802.15.4 测试规范，ZigBee 系统的测试主要需要信号源、频谱仪等。R&S 提供上述的所有仪表及相应的选件。首先，将 ZigBee 待测指标分类，如下：

类别	指标	
整机类	发射机	Output Power Power rise/fall Spectrum PSD mask Transmission spurious Center Frequency Tolerance Constellation error EVM
	接收机	Symbol Rate Error Tolerance Sensitivity Max Input Level Receiver Jamming Resistance Energy Detect Link Quality Indication

4.1 整机类指标

无线数据通信 ZigBee 的整机性能测试包括发射机和接收机性能的测试：

4.1.1 发射机性能测试

- ✓ Output Power
- ✓ Power rise/fall
- ✓ Spectrum PSD mask
- ✓ Transmission spurious
- ✓ Center Frequency Tolerance
- ✓ Constellation error
- ✓ EVM

发射机测试原理：分析发射机发射信号，首先要用一个理想的接收机把发射信号变成数字的基带信号，然后在数字域进行信号处理，得出相应的指标。实际测试时，一般利用高性能的频谱仪或信号分析仪作为理想接收机。经过理想接收机并 AD 转换后得到 IQ 数据，对这些数据进行一系列的脉冲成形滤波、内插、同步、抽取就会得到初始的测量信号，然后还需要对测量信号进行幅度、相位和频率、时间的修正得到修正测量信号，另外，对测量信号进行解扰解扩解调再调制再扩频再加扰，再经过成形滤波器就得到了参考信号。然后，通过修正测量信号和参考信号的比较计算，就可以得到信道内测量的各个指标。

发信机测试位于 ZigBee 的输出口，测试信号为射频信号。以上测试项目较为全面的评价了 ZigBee 的发信机特性。

ZigBee 测试规范主要依据 IEEE 802.15.4 标准，R&S 公司提供了符合 IEEE 802.15.4 标准规定的发射机测试方案，R&S 的高性能频谱分析仪结合任意解调选件 FS-K70 可以全面测试相关项目，并可以优化参考电平和衰减，免去用户手动调整的烦恼。除按照标准设定的自动测试外，该系列选件也允许用户改变任何一项参数以便满足用户特殊的测试需求。

4.1.1.1 设置 FSQ，准备测试

矢量信号分析仪选件 FSQ-K70 预定义 root-raised cosine, Gauss Filters 等滤波器，不过，对于特殊滤波器，例如 ZigBee 滤波器 Half-Sine，FSQ 可以导入用户自定义滤波器。

首先，可以通过 Matlab 设计任意滤波器；

然后，通过 Filtwiz 工具转换成 FSQ-K70 的形式导入；

注：此工具可以免费从 R&S 网站上下载。

4.1.1.1.1 导入 Half-Sine 脉冲成型滤波器

首先，将已经转换为 FSQ-K70 形式的滤波器存进 U 盘；然后，按如下方式导入：

- ✓ 按 HOME VSA;
- ✓ 选择 NEXT 键;
- ✓ 按 IMPORT-FILTER;
- ✓ 选择自己定义的滤波器，如 ZigBee，按 ENTER;

4.1.1.1.2 创建用户自定义滤波器设置

准备定义发射滤波器、接收滤波器及测量滤波器，如下：

- ✓ 按 PRESET VSA;
- ✓ 按 HOME VSA—MODULATION SETTINGS—NEXT—NEW USER SET;
- ✓ 按 ENTER—选择发射滤波器 TX Filter;
- ✓ 选择 ZigBee, 按 ENTER, 激活接收滤波器 RX Filter;
- ✓ 按照相同的方法, 选择滤波器类型 NONE 作为接收和测量滤波器;
- ✓ 按 SAVE USER SET, 保存新的滤波器设置 USER(x), x 是创建的滤波器个数;

4.1.1.1.3 针对 ZigBee 测试设置 FSQ

设置调制类型, 调制速率及滤波器, 如下:

- ✓ 按 HOME VSA—MODULATION SETTINGS;
- ✓ 设置符号速率 Symbol Rate=1MHz;
- ✓ 在 MODULATION FILTER 里选择滤波器 USER(x);
- ✓ 在 MODULATION & MAPPING 里选择调制方式 PSK—OQPSK;
- ✓ 设置 POINTS/SYMB=16;

4.1.1.1.4 创建用户自定义标准 ZigBee

为了方便以后调用, 目前的设置可以保存为用户自定义的标准设置, 如下:

- ✓ 按 HOME VSA—DIGITAL STANDARDS—NEXT—SAVE AS STANDARD;

4.1.1.2 发信机输出功率

根据 IEEE 802.15.4 定义, ZigBee 发射功率应不干扰其他设备和系统, 因此, ZigBee 的输出功率一定要满足指标要求, 其指标测试因此也就显得很重要。同时, R&S 提供多种测试方案, 一是功率计测试; 二是频谱仪直接进行功率测量。

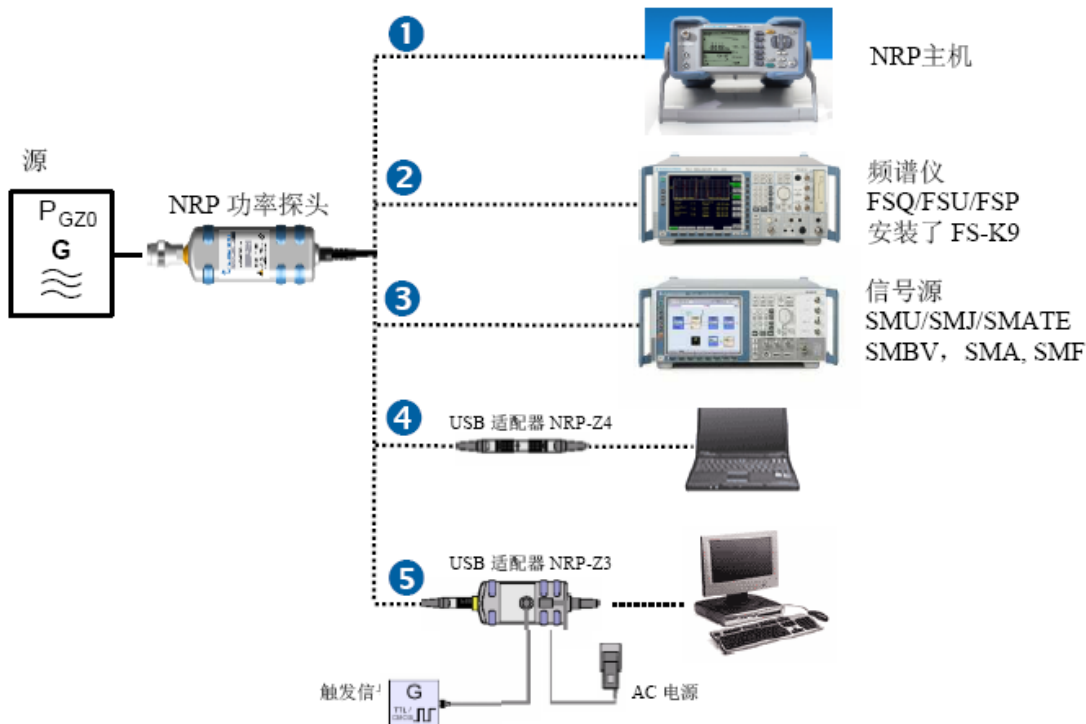


图 8 NRP 功率探头的多种连接方式

从图中还可看出，R&S 的功率探头具有多种连接方式，不仅可连接功率计主机，还可连接频谱仪、信号源、电脑等，提供了极大的方便性。能够完成此功能测试的功率探头有很多种，如下：

探头	探头类型	频率范围	功率范围
NRP-Z11	多通道	10 MHz ~ 8 GHz	-67 dBm ~ +23 dBm
NRP-Z21	多通道	10 MHz ~ 18 GHz	-67 dBm ~ +23 dBm
NRP-Z22	多通道	10 MHz ~ 18 GHz	-57 dBm ~ +33 dBm
NRP-Z23	多通道	10 MHz ~ 18 GHz	-47 dBm ~ +42 dBm
NRP-Z24	多通道	10 MHz ~ 18 GHz	-42 dBm ~ +45 dBm
NRP-Z51	热耦	DC ~ 18 GHz	-30 dBm ~ +20 dBm
NRP-Z55	热耦	DC ~ 40 GHz	-30 dBm ~ +20 dBm
NRP-Z91	多通道	9 kHz ~ 6 GHz	-67 dBm ~ +23 dBm
NRP-Z27	带功分器	DC ~ 18 GHz	-24 dBm ~ +26 dBm
NRP-Z37	带功分器	DC ~ 26.5 GHz	-24 dBm ~ +26 dBm
NRP-Z81	宽带功率计	50MHz ~ 18 GHz	-60 dBm ~ +20 dBm

图 9 R&S NRP-Z 系列功率探头

NRP-Z 系列测试的结果包括：射频输出平均功率及峰值功率，R&S 推荐的测量方案为：

NRP-Z81:

✓ **NRP : 功率计 (NRP-Z81 : 峰值功率探头)**

NRP 功率计，其峰值智能功率探头 NRP-Z81 可支持平均功率和峰值功率的测试，带宽可达 30MHz，采样分辨率为 12.5ns。此外，NRP-Z81 还可通过 USB 接口直接与 PC 连接使用，免费软件 Power Viewer plus 可支持各类功率测试操作模式，包括了平均功率，峰值功率和突发脉冲信号功率的测试。



图 10 功率测试结果显示

频谱仪可以进行时域功率测量，如下：

进入 Time Domain Power→选择 IF POWER 触发→调整 RBW（至少大于信号带宽），测试结果如图 11 所示：

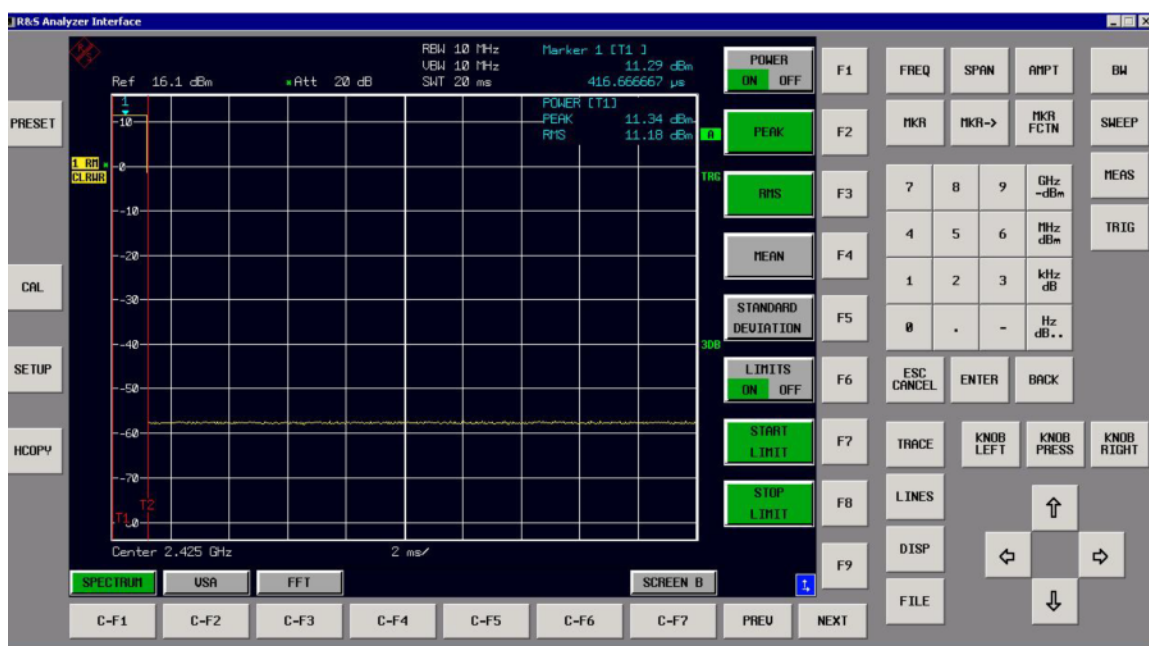


图 11 时域功率测试结果显示

4.1.1.3 发信机频谱发射模板及杂散发射测试

对于无线数据通信 ZigBee 来说，发射机的频谱发射模板及杂散发射特性直接影响其对其他现存的无线电业务造成干扰，因此，发射机的频谱发射模板及杂散发射特性测试也是较为重要的测试需求，如下：

对于频谱发射模板和杂散发射此二项测试都是标准测试，可以直接通过频谱分析仪直接测试，测试结果如下：

根据 IEEE 802.15.4 测试需求，可通过 Trace max hold 功能测试杂散发射，测试结果如图 12 所示：

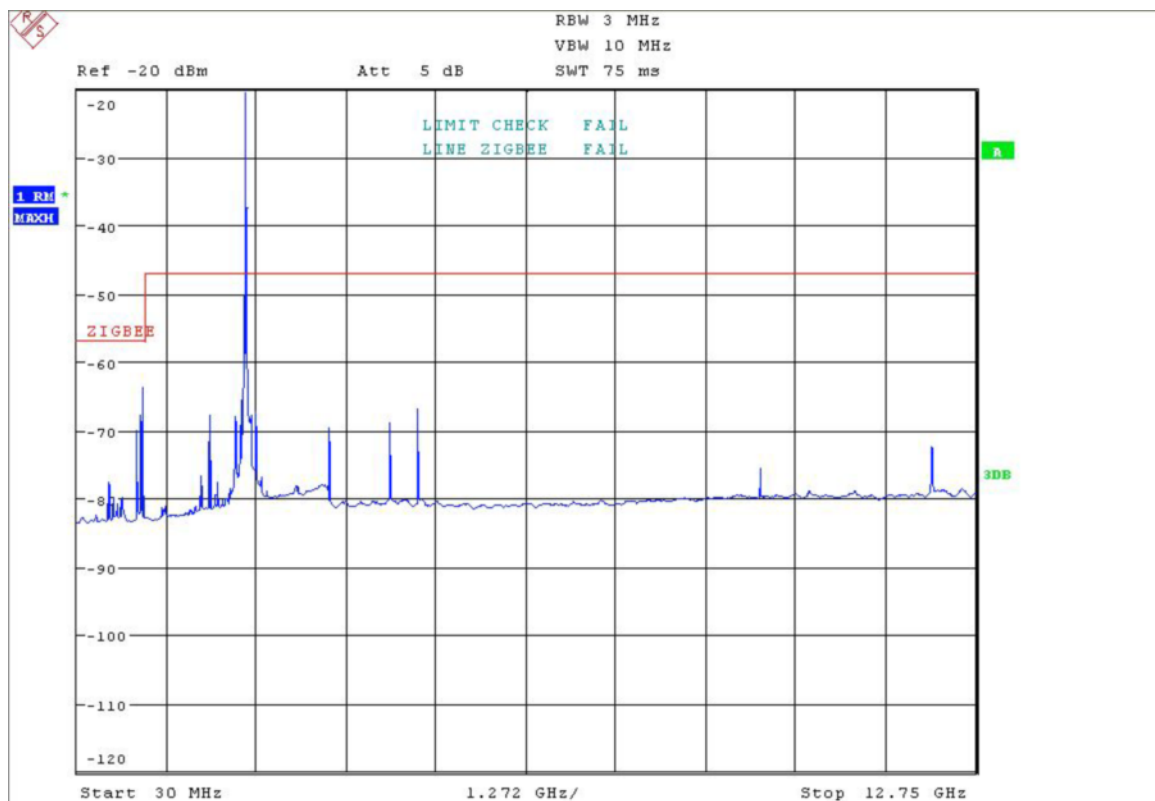


图 12 杂散发射测试

R&S 可以完成此项测试的仪器较多，如 FSU/FSQ/FSG/FSV/FSL 等。在频谱发射模板测试过程中，为了方便判断频谱效果，需要自行编制各种限值线。R&S 的频谱仪不仅提供了标准的频谱发射模板供用户选择，而且还提供了很方便的限值线编辑功能。

4.1.1.4 ACLR 测试

RS 的频谱仪和信号分析仪提供自定义的 ACLR 标准，用户可以根据需要自定义各种信道进

行测试，根据 IEEE 802.15.4 的要求，测试方法及结果如下：

首先，根据需求编辑 ACLR 测试模板：

RBW=100KHz, SPAN=16MHz

ACLR Channel BW 设置：



图 13 ACLR 信道带宽设置

ACLR Channel Spacing 设置：



图 14 ACLR 信道间隔设置

相对值测试结果:



图 15 相对值测试结果

绝对值测试结果:



图 16 绝对值测试结果

4.1.1.5 Power Rise/Fall 测试

将频谱仪带宽置于 0，就可以观察信号的时域波形，可用来测试 Power Rise/Fall 指标，测试方法和结果如下：

选择 POLARITY POS, 进行上升沿测试:

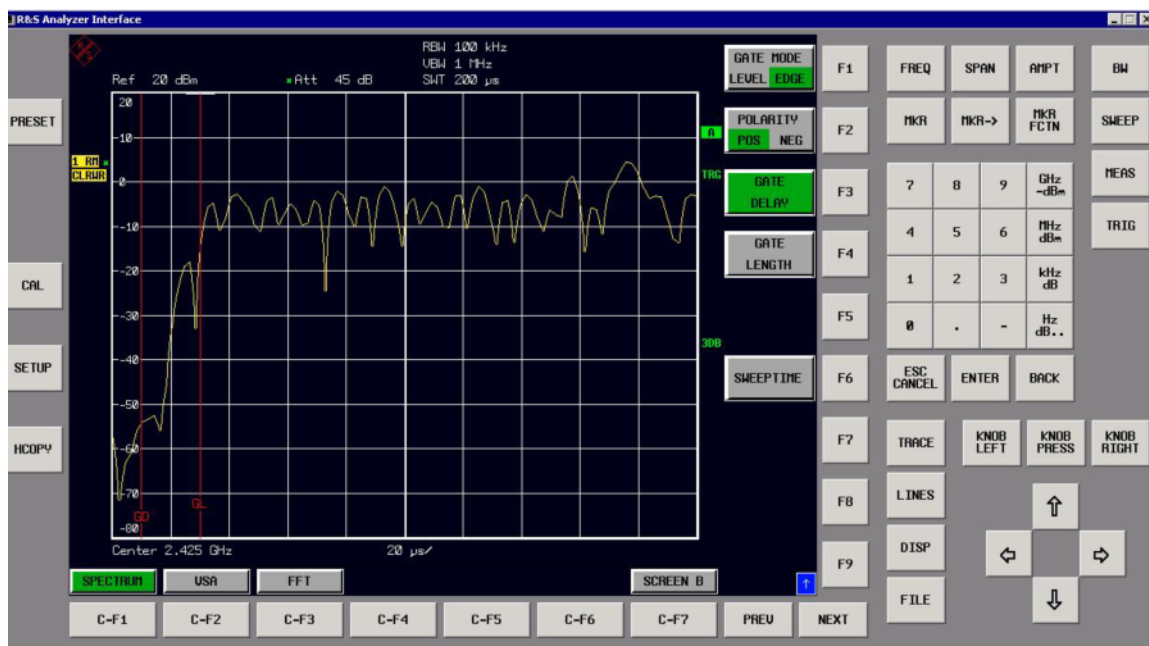


图 17 Power Rise 测试结果

选择负极性触发: POLARITY NEG, 进行下降沿测试:

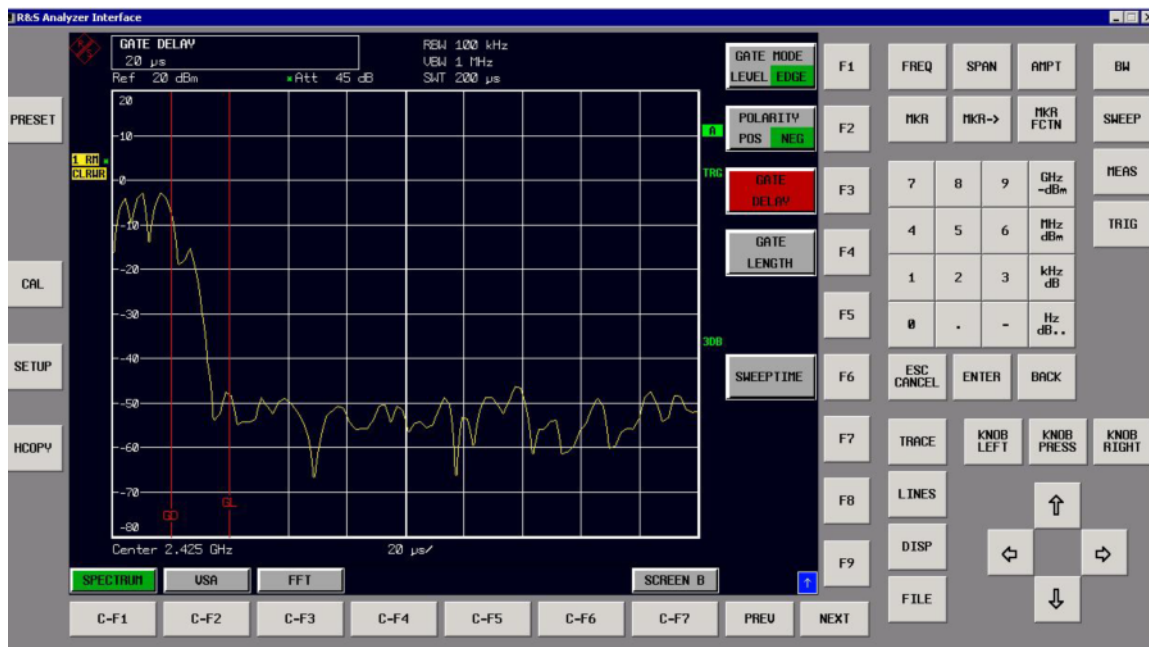


图 18 Power Fall 测试结果

4.1.1.6 CCDF 测试

RS 频谱仪提供标配的 CCDF 测试功能, 可通过时间门触发功能来完成脉冲突发信号的测量, 测试方法及结果如下:

进入 CCDF → NEXT → Gated Trigger → Gate Range: (选择 20uS → 1.185ms)

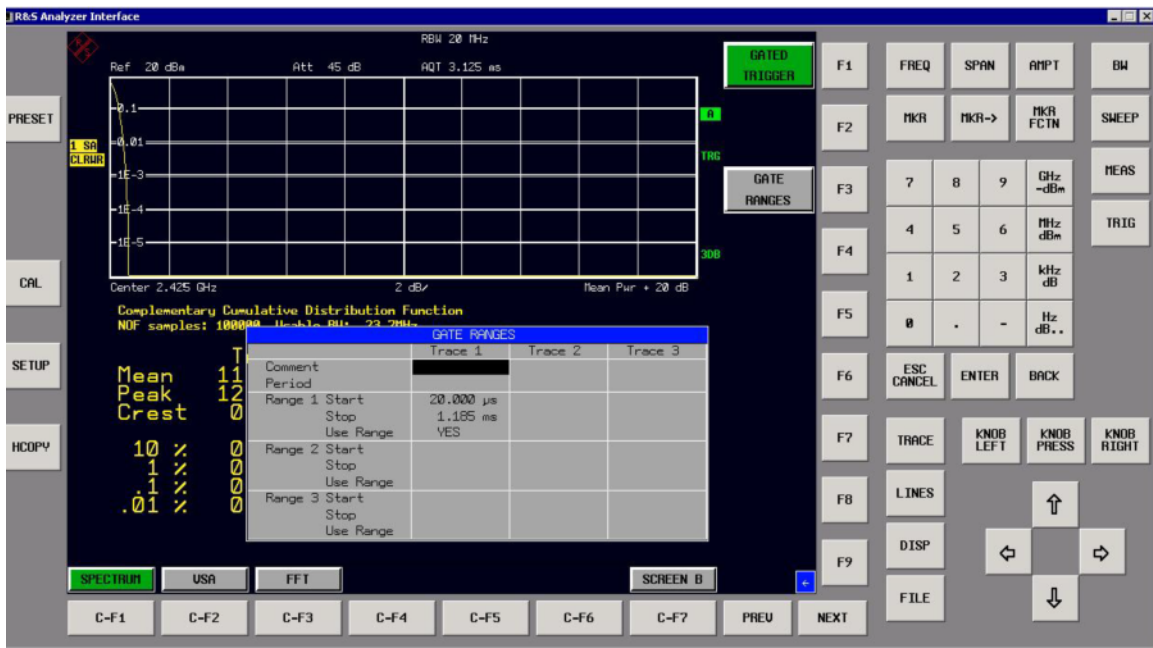


图 19 ZigBee CCDF 测试用的们触发功能

同时，更改 TRIG → IF POWER (选择合适 IF POWER)

最后，测试结果如下：



图 20 ZigBee CCDF 测试结果

4.1.1.7 发射机调制特性测试

对于 ZigBee 已调信号，EVM 和星座图等测试一起完成。

误差矢量幅度（EVM）是被测信号和理论上的调制信号的差别，验证 EVM 等是否满足指标要求，主要是考察发射机按要求准确发送波形的能力。此项测试需要借助 FSQ/FSV-K70 来完成，下面以 FSQ 为例来说明：

R&S 矢量分析仪 FSQ 具有标准 28MHz 解调带宽，经扩展后可宽达 120MHz，IQ 采样点存储深度高达 705M，分析过程采用数字信号处理器硬件直接完成。其 FS-K70 及扩展解调带宽功能原理框图，如图（21）所示：

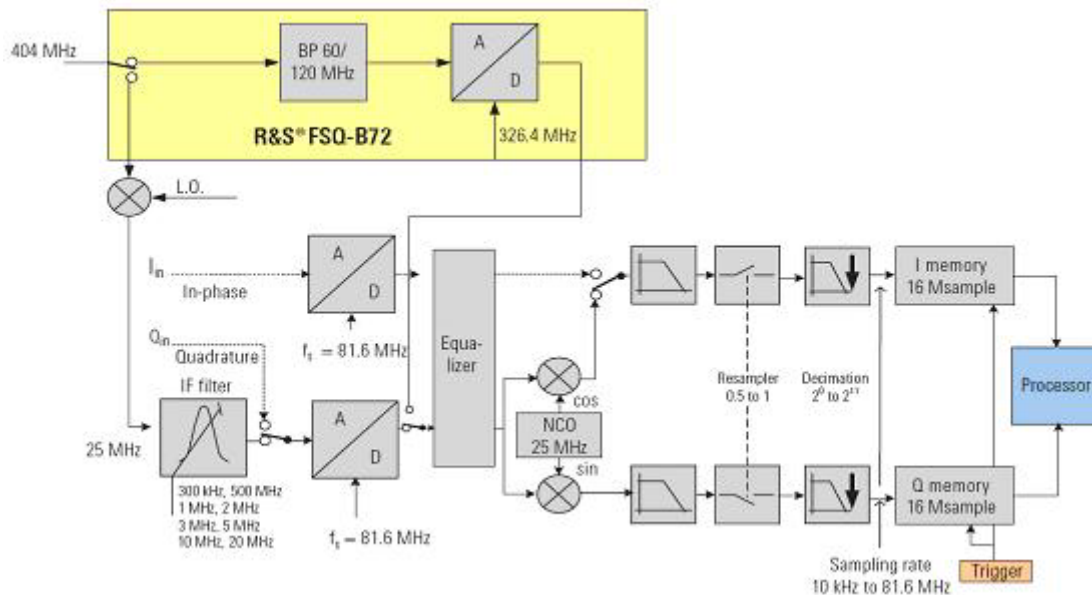


图 21 FSQ-K70 选件原理框图

选件 FSQ-K70 可以对各类数字调制信号进行分析，如 MSK，PSK，QAM 等调制方式，获得分析结果，例如 EVM，频率误差，相位误差，IQ 不理想性、眼图等，如图（22）所示。

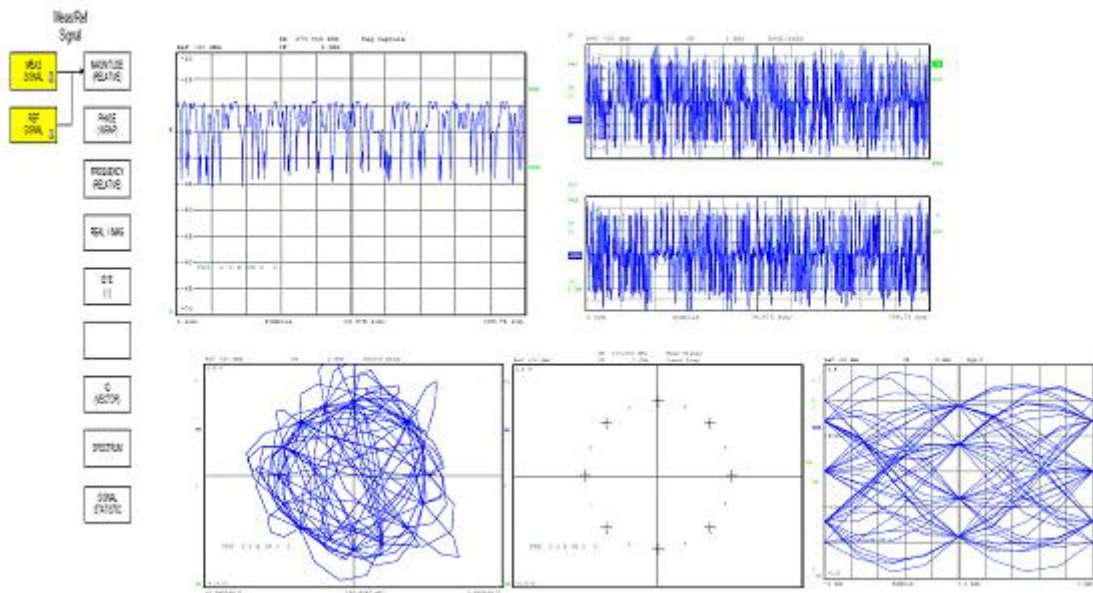


图 22 FS-K70 测量显示窗口

同时，FS-K70 的设置也是相当简便，如下：

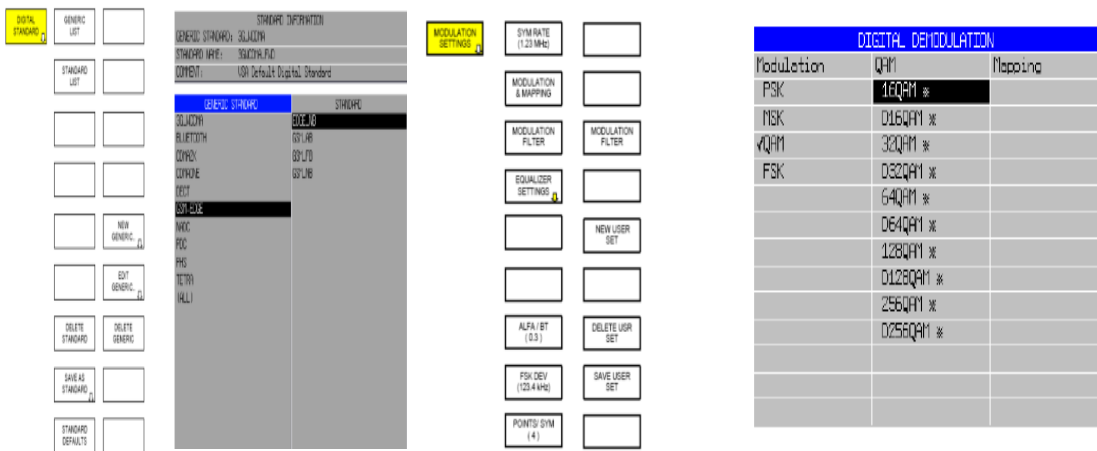


图 23 FS-K70 测试设置

测试结果如下：

SYMBOLS &
MOD ACC

- 矢量误差幅度
- 幅度误差
- 相位误差
- 载波频率误差
- 信号幅度跌落
- 原点偏差
- 增益不平衡
- 相位不平衡
- 平均功率
- 信噪比

EDGE_TSCD	Result	Peak	atSym	Unit
EVM	0.278	0.727	158	%
Magnitude Err	0.176	0.675	159	%
Phase Error	0.15	-0.36	120	deg
CarrierFreq Err	-773.63			Hz
Ampt Droop	0.01			dB
Origin Offset	-68.63			dB
Gain Imbalance	0.01			dB
Quadrature Err	0.09			deg
RFO	0.999992			
Mean Power	-27.45	-23.32	45	dBm
SNR (MER)	51.10			dB

图 24 FS-K70 测量结果显示

4.1.2 接收机测试

接收机测试的目的是为了评估无线数据通信接收部分整体的性能是否符合设计和验收要求。一般情况下，测试端口位于射频输入端口，采用标准信号源产生射频测试信号，馈入接收机，然后对输出码流进行测试以对接收机性能进行评估。

4.1.2.1 信号产生

对于这种自定义的帧结构形式的信号，可以使用 WinIQSIM 进行信号的产生。

4.1.2.2 使用 WinIQSIM 进行单载波操作

操作界面如下：

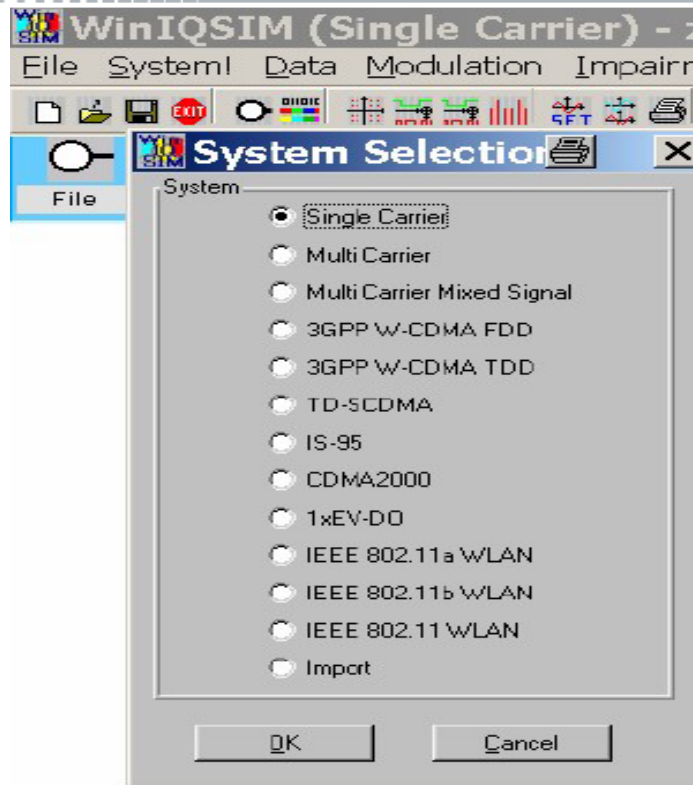


图 25 WinIQSIM 进行单载波设置

4.1.2.2 调制特性设置

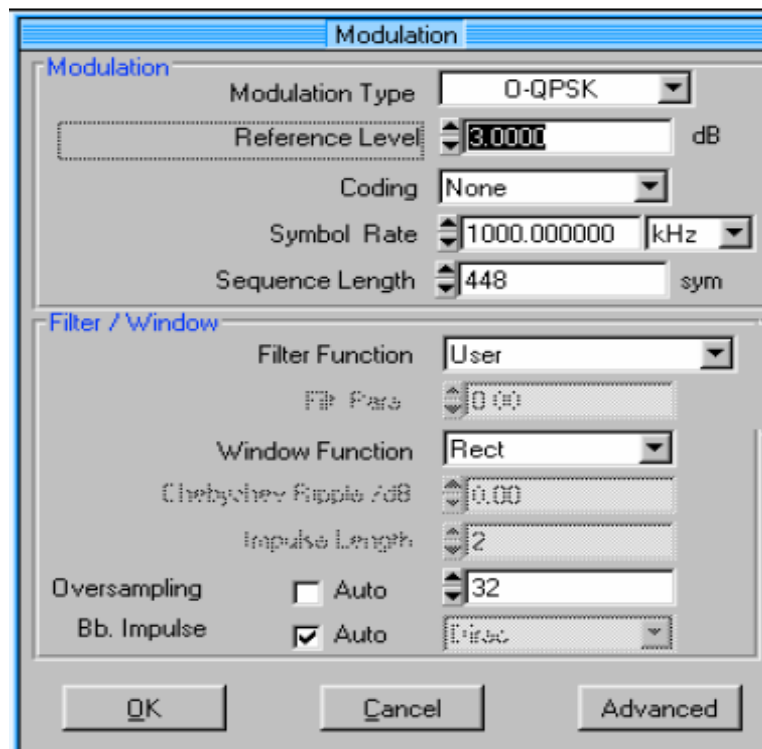


图 26 ZigBee 调制特性设置

调制类型: O-QPSK;

符号速率: 1MHz;

数据长度: 通过数据编辑器可以手动配置序列长度;

滤波器功能: 可以上载用户自定义滤波器类型, 格式为*.ifl;

4.1.2.3 数据面板设置

可以使用 WinIQSIM 进行连续没有帧结构形式的数据发送 (例如, 放大器测试), 也可以定义有帧结构形式的数据发送 (例如, 接收机测试), 以下部分将分别介绍两种操作方法。

4.1.2.3.1 Unframed 数据发射

打开数据面板, 选择伪随机数据形式, 例如 PRBS23, 如下:

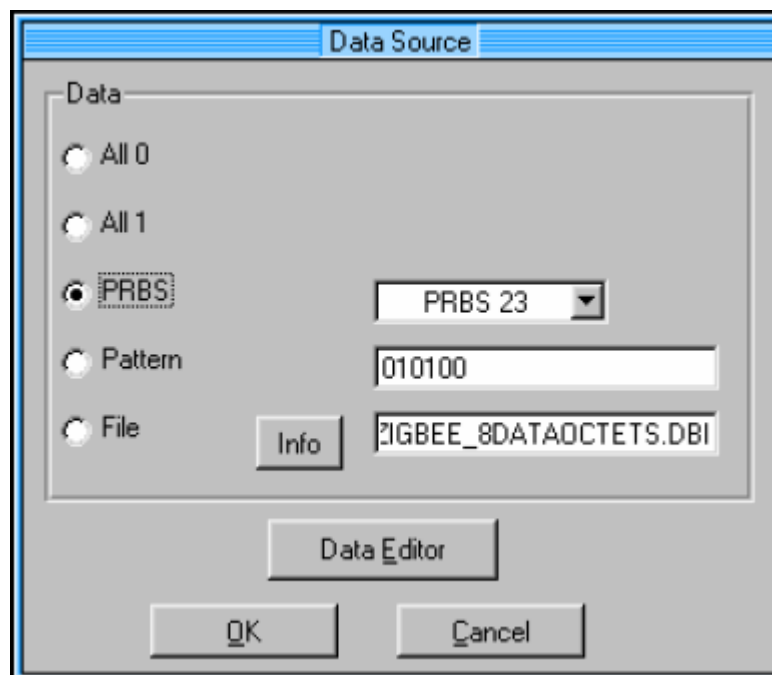


图 27 Unframed 数据发射

这种方式下的数据是连续传输, 此时, 可以专门用来做频谱特性方面的指标测量。

4.1.2.3.2 framed 数据发射

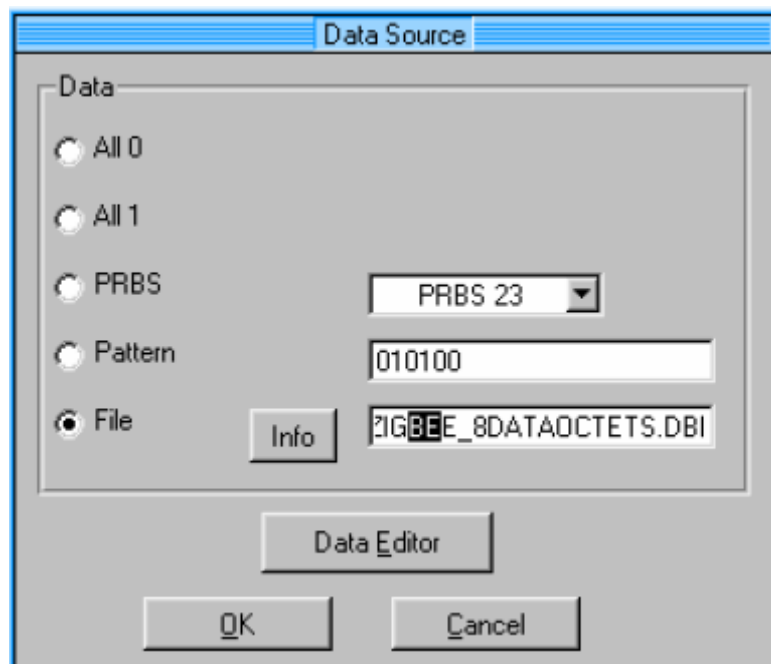


图 28 Framed 数据发射

对于帧结构形式的数据编辑，可以先通过 **File** 的方式导入用户定义好的数据文件，格式为 *.dbi。此数据文件也可以通过 WinIQSIM 的数据编辑器创建，后面部分将会介绍其方法。

为了定义在有效的帧结构包含的数据时间才发射数据，需要使用 **Power ramping**，如下：

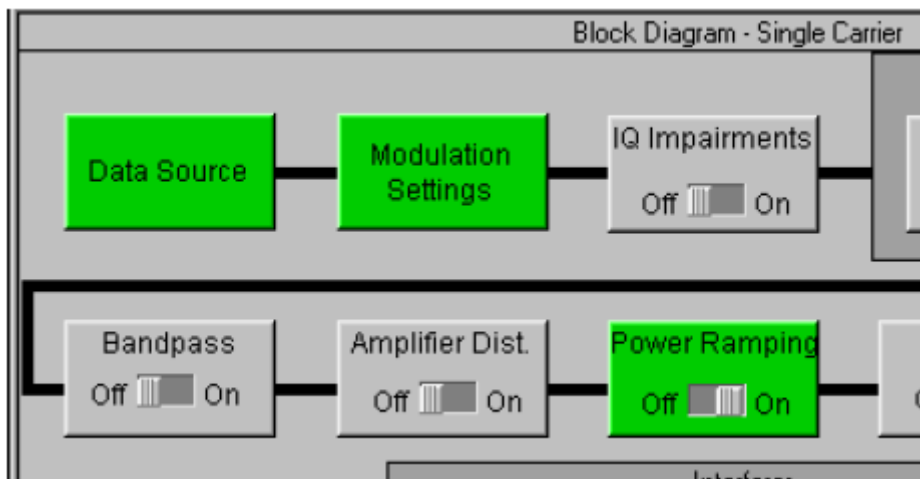


图 29 Power Ramping 开关

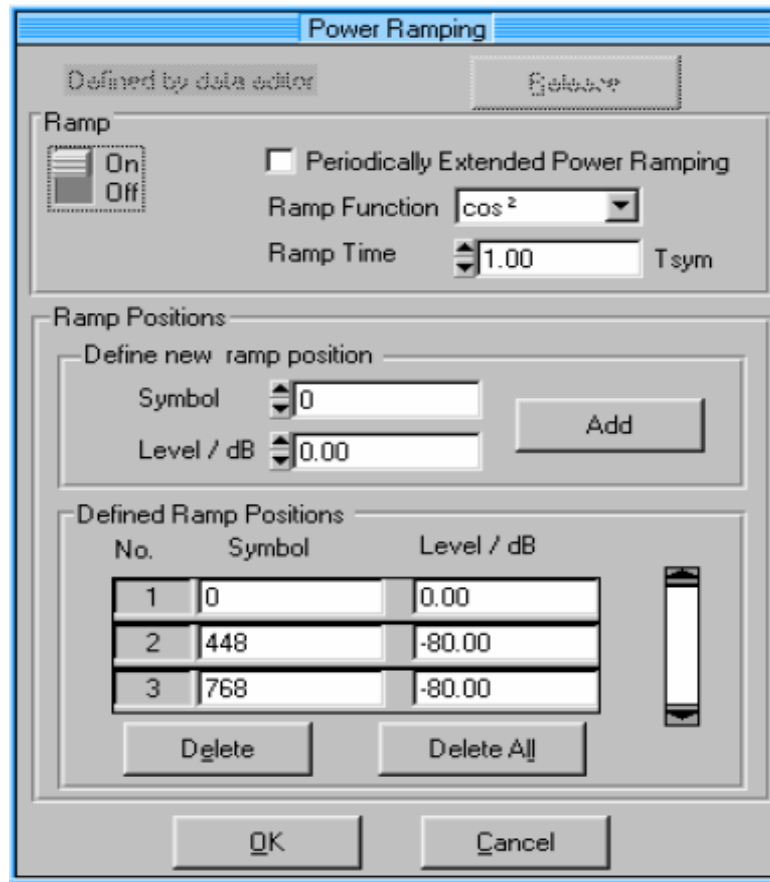


图 30 power ramping 设置

此例当中，数据文件包含的有效帧是在第一个 896chips 内（即 448 个符号），剩下的 448 符号—768 符号之间的数据都不重要，不需要调制，因此，需要给定一个高的衰减（-80dB），所以，规定后的基带信号波形如下：

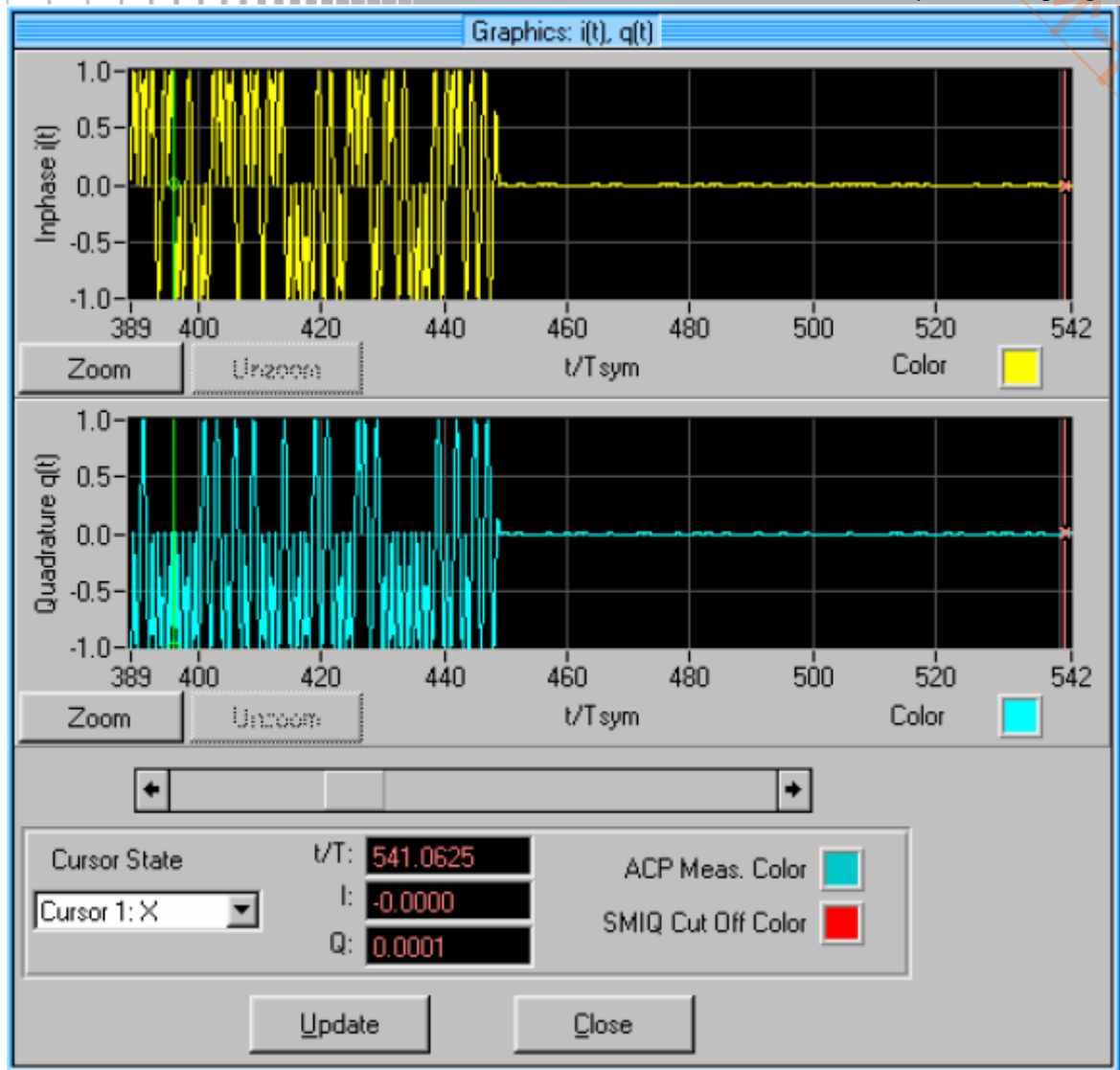


图 31 ZigBee 基带信号波形

4.1.2.4 使用 WinIQSIM 进行 ZigBee 帧结构设置

为了定义数据帧结构，可以使用数据面板中的数据编辑器来完成，如下：

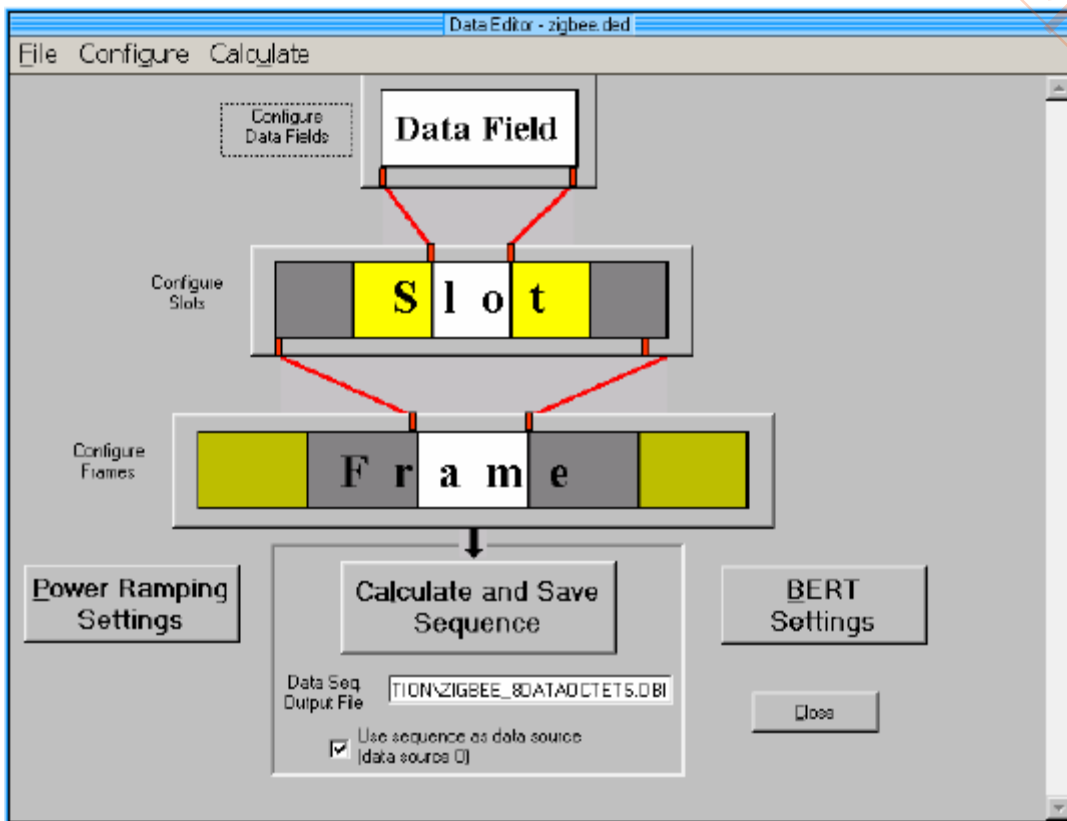


图 32 数据帧编辑器

Data Field: 包含了一系列可以使用在帧结构中高电平传输部分的数据。对于 ZigBee 而言，根据标准规定，比较适合定义 16 个数据符号作为一个长度，也就是 32 个码片长度，如下：

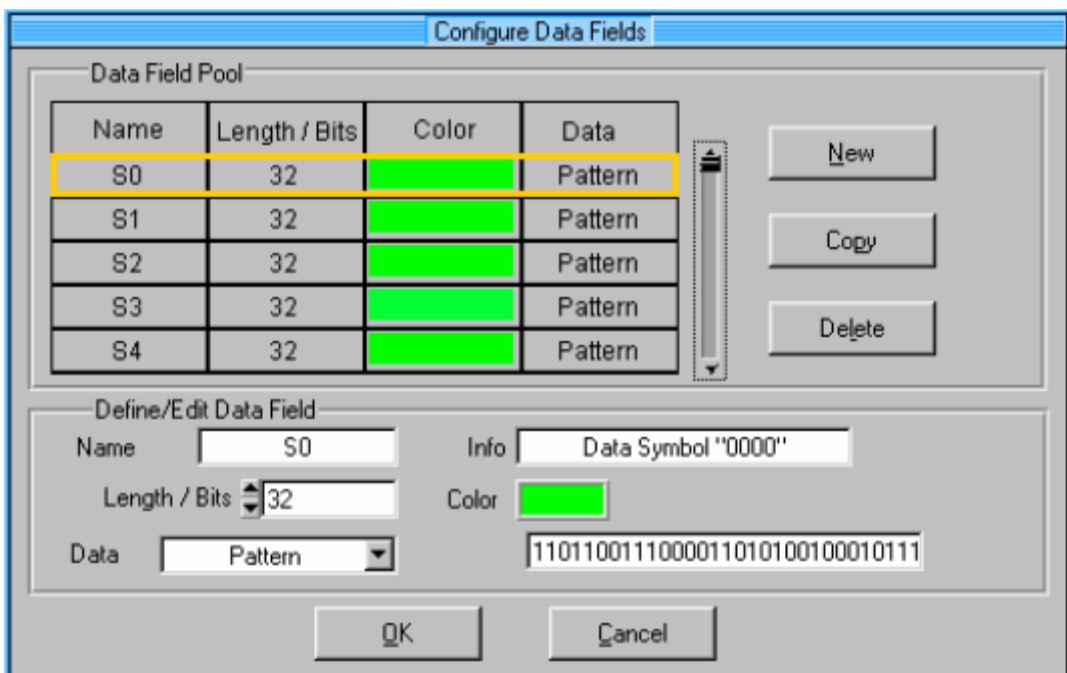


图 33 定义 ZigBee 数据域

从此图中，我们可以看出 S0 就是一个数据域，对应数据符号“0000”，而右下角：1101，1001，1100，0011，0101，0010，0010，1110 就是标准中规定的码片值。

然后，可以定义数据传输的时隙，如下：

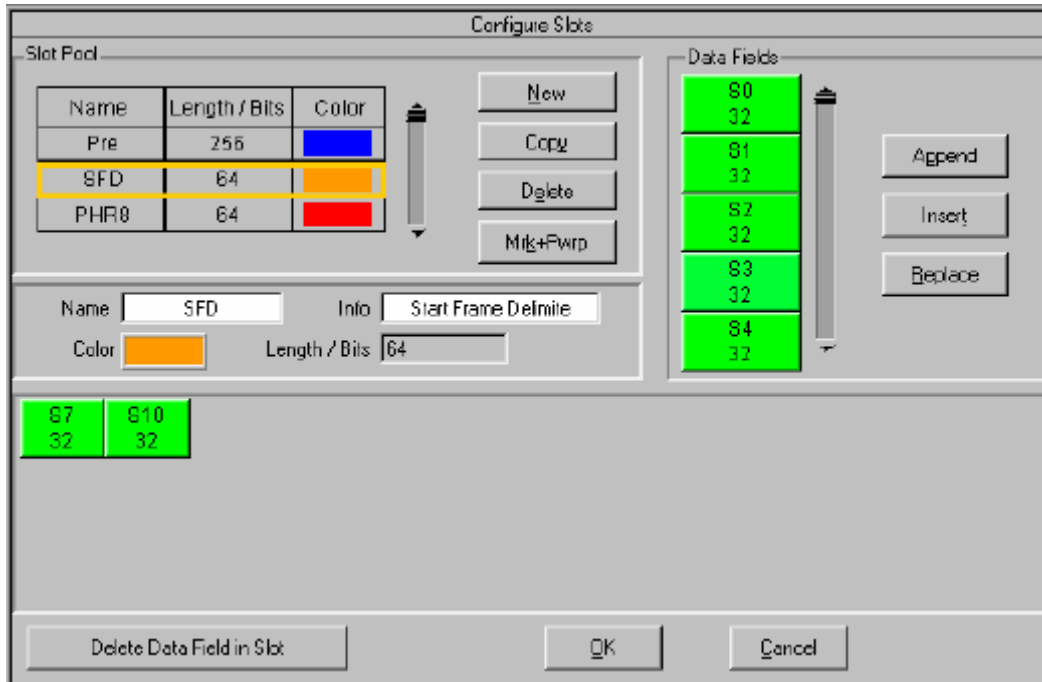


图 34 定义 ZigBee 时隙结构

一个时隙可以是几个数据域的级联，上面图中，可以看到此一个时隙作为前导 Preamble（4 个 Octet，全为“0”），一个时隙作为起始帧 SFD，一个时隙作为帧长定义，此例当中的 SFD 部分包含了一个数据域 S7（“1110”）和一个数据域 S10（“0101”），由此，就定义了起始帧 SFD 的内容是“11100101”。

最后，通过时隙的级联，就能完成一个帧的定义，如下：

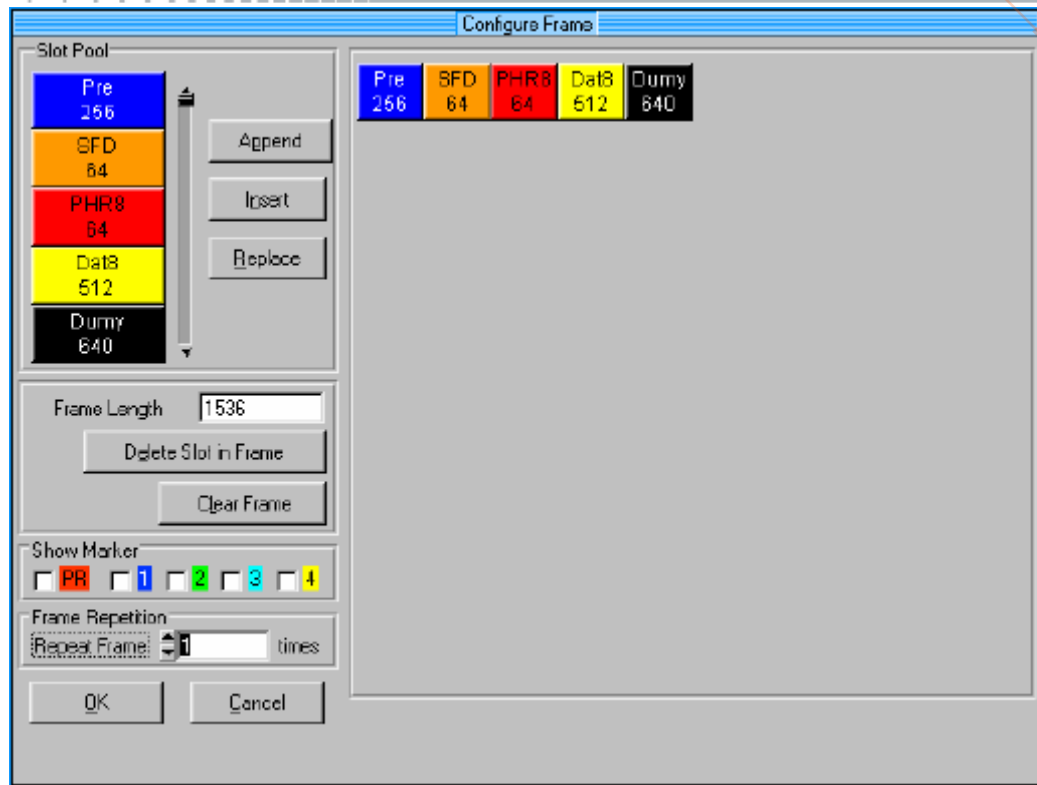


图 35 定义帧结构

从图中可看出，此时帧结构已经定义好

Pre	SFD	PHR8	Data8	Dummy
256	64	64	512	64

，在帧结构中，主要通过 Dummy 来定义突发形式，在 Dummy 部分，信号衰减为 0。

完成帧结构的定义后，可以保存所有设置，文件格式为*.ded 如下：

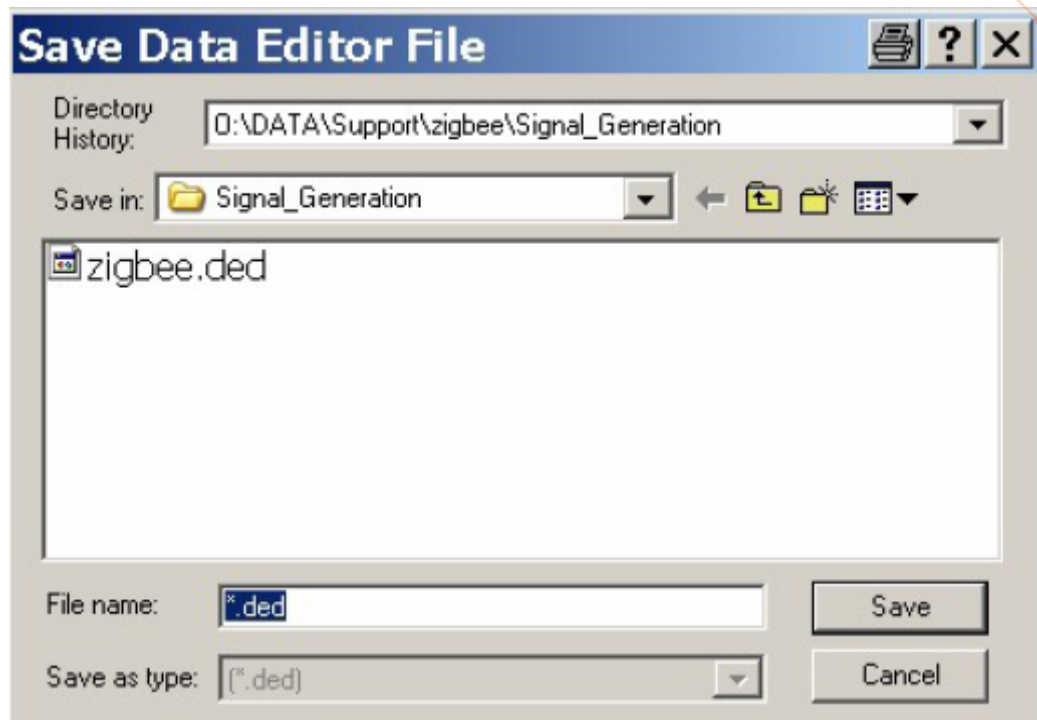


图 36 保存设置文件

这样，就已经制作完 ZigBee 数据帧结构；

5 小结

以上详细介绍了罗德与施瓦茨公司关于无线数据通信 ZigBee 的测试方案。经过实际验证，该方案具备完全的可操作性，可以作为运营商、无线数据设备厂商的参考测试文件。

罗德与施瓦茨公司自成立至今的七十多年间，一直致力于为无线电通信提供高性能的测试和测量仪器。

请访问罗德与施瓦茨公司中文网站：www.rohde-schwarz.com.cn

或就近联系罗德与施瓦茨公司各地的代表处，我们将为您提供符合您需要的测试方案和仪器。

6 参考文献

1. IEEE Standard 802.15.4-2003
2. Rohde & Schwarz Application Note (RSI03_0e)
3. Rohde & Schwarz Application Note (1EF55_2E)

4. Vector Signal Generator R&S SMU200A Specifications
5. Vector Signal Generator R&S SMJ100A Specifications
6. Vector Signal Generator R&S SMBV100A Specifications
7. Spectrum Analyzer R&S FSQ Specifications
8. Spectrum Analyzer R&S FSU Specifications
9. Spectrum Analyzer R&S FSV Specifications

7 订货信息

名称	型号	订货号
矢量信号发生器	R&S SMU200A	1141.2005.02
矢量信号发生器	R&S SMJ100A	1403.4507.02
矢量信号发生器	R&S SMBV100A	1407.6004.02
频谱分析仪	R&S FSU26	1166.1660.26
频谱分析仪	R&S FSQ26	1155.5001.26
频谱分析仪	R&S FSV30	1307.9002.30
功率计	R&S NRP	1143.8500.02