

罗德与施瓦茨

全方位的汽车电子 测试解决方案

 **ROHDE & SCHWARZ**




目录

T-box 测试解决方案.....	7
T-Box 测试.....	8
蜂窝模块 (2G/3G/4G) 射频测试.....	8
衰落性能测试.....	8
蓝牙低功耗射频测试.....	9
应用测试/IP分析和IP加密分析.....	10
CMWRun 自动化测试软件.....	11
Literature	12
Ordering Information	13
Typical configuration.....	13
e-call 测试解决方案.....	14
eCall & Era-Glonass 简介.....	15
eCall & Era-Glonass呼叫流程.....	15
eCall & Era-Glonass测试方案.....	16
eCall & Era-Glonass测试规范.....	16
CMWRun自动化测试软件.....	17
Literature	18
Ordering Information	19
Typical configuration.....	19
车联网测试解决方案.....	20
车联网技术背景.....	21
车联网介绍.....	22
车联网概念.....	22
车联网体系架构.....	23
V2X技术.....	23
车联网中的无线通信技术.....	24
车联网V2X关键的通信技术DSRC和C-V2X.....	24
RFID技术.....	31
蜂窝通信技术.....	31
GNSS卫星导航技术.....	32
汽车中的WLAN无线通信.....	33
汽车中的Bluetooth无线通信.....	33
汽车中的NFC近场通信.....	34
车联网测试解决方案.....	35
DSRC/IEEE 802.11p测试解决方案.....	35
C-V2X测试解决方案.....	39
RFID测试解决方案.....	43

车载导航测试.....	43
车内无线连接测试.....	45
车联网无线通信记录与回放测试.....	47
车联网典型应用配置.....	48
小结.....	49
参考文献.....	49
WLAN和Bluetooth无线覆盖测试方案.....	50
车载无线通信背景.....	51
汽车中的复杂电磁环境.....	52
WLAN及Bluetooth在汽车中的应用.....	53
汽车中的WLAN无线通信.....	53
汽车中的Bluetooth无线通信.....	54
车内WLAN和Bluetooth受到的干扰.....	55
车内WLAN和Bluetooth的覆盖测试.....	56
车内WLAN和Bluetooth的覆盖测试.....	56
车内WLAN和Bluetooth的干扰查找测试.....	59
车内WLAN和Bluetooth无线通信认证测试.....	60
车内WLAN和Bluetooth的记录与回放测试.....	61
车内WLAN/Bluetooth覆盖测试的典型配置.....	62
小结.....	63
参考文献.....	63
车载雷达测试解决方案.....	64
车载雷达测试的需求分析.....	65
发射频谱和信号质量测试.....	67
雷达信号产生.....	68
动态目标模拟.....	69
生产线测试和校准方案.....	70
雷达生产线和整车自动测试系统.....	71
车载影音娱乐平台解决方案.....	73
车载音视频测试需求分析.....	74
车载收音机的测试.....	74
音频分析仪UPV和UPP.....	75
音频分析仪UPP.....	75
多通道扩展能力.....	76
射频信号源R&S®SMBV100A.....	77
射频广播电视信号源R&S®SFE100.....	77
车内声学测试.....	77
屏幕和电视测试方案.....	78
R&S®BTC 广播电视信号产生与视频分析一体.....	78
RED认证测试.....	79
产线自动化测试.....	80

整车产线自动化测试系统 ATSI100	81
车载导航测试解决方案	82
概述车载卫星导航技术背景.....	83
卫星导航系统及定位原理.....	84
卫星导航系统组成.....	84
卫星导航系统频段划分.....	84
卫星导航定位原理.....	85
卫星导航测速原理.....	85
卫星导航授时原理.....	86
全球卫星导航定位系统 GNSS 介绍.....	87
GPS	87
GLONASS	88
GLONASS	88
BeiDou	89
SBAS	89
GBAS	90
实时卫星导航模拟器.....	91
实时卫星导航模拟的必要性.....	91
R&S公司的实时卫星导航模拟器SMBV100A	91
R&S公司的实时高端卫星导航模拟器SMW200A	92
车载导航接收机测试.....	93
标准接收机测试.....	94
特殊条件下的测试.....	96
特殊事件下的测试.....	98
先进的接收机测试.....	99
车载导航自动化测试.....	101
车载导航的记录与回放测试.....	101
被盗车辆跟踪 (SVT) 测试.....	102
车载导航语音识别测试.....	102
eCall/ERA-Glonass 测试.....	103
车载导航 RED 测试.....	103
车载导航测试典型应用配置.....	104
小结.....	105
参考文献.....	105
车身电子测试解决方案	106
应用需求.....	107
基于 CompactPCI 和 PXI 的开放测试平台.....	107
TSVP 的技术特点.....	108
ICT 和 FCT 集成于统一平台.....	108
前面板使用标准连接器.....	108
级联扩展.....	108
模拟总线.....	108

浮地测量机制.....	109
功能完善的软件平台GTSL.....	109
R&S®CompactTSVP的主要功能模块.....	110
ICT测试配置方案示例.....	114
FCT测试ECU模块的方案.....	115
ECU测试方案示例.....	115
汽车信息娱乐测试平台配置示例.....	116
汽车总线测试解决方案.....	117
汽车总线测试需求分析.....	118
车载以太网测试.....	119
R&S的车载以太网测试方案.....	119
百兆车载以太网的测试项以及DUT模式设定.....	119
千兆以太网的测试项目.....	120
测试项目详解.....	120
R&S一致性分析选件及优势.....	121
100BASE-T1 T&D 测试方案 RTx-K57	123
其他汽车串行总线测试方案.....	124
R&S汽车电子测试方案.....	124
触发与解码.....	125
浮地信号测试应用.....	126
RTH浮地测试方案 使用电池供电、通道/端口隔离的手持示波器 RTH1000	126
BMS系统测试解决方案车内.....	127
BMS系统简介.....	128
BMS系统主要功能.....	129
R&S BMS测试系统.....	130
R&S BMS测试系统基本功能.....	130
R&S BMS测试系统硬件组成.....	130
R&S BMS测试系统软件设计.....	132
测试用例.....	133
系统配置.....	138
汽车钥匙及胎压监测测试方案.....	140
汽车钥匙及胎压监测技术背景.....	141
汽车钥匙工作原理.....	142
RKE模式.....	142
PKE模式.....	143
蓝牙车钥匙.....	145
胎压监测TPMS工作原理.....	146
汽车钥匙及胎压监测系统测试方案.....	147
RKE测试方案.....	147
PKE测试方案.....	150
蓝牙车钥匙测试方案.....	151

RKE/PKE及TPMS自定义系统测试方案.....	151
RKE/PKE及TPMS自定义OTA系统测试方案.....	152
RKE/PKE及TPMS自定义全自动化测试方案.....	153
RKE/PKE及TPMS记录与回放测试方案.....	153
汽车钥匙及胎压监测典型应用配置.....	154
小结.....	155
参考文献.....	155
汽车整车及零部件EMC测试方案.....	156
汽车EMC测试标准.....	157
R&S测试方案 - 整车EMC测试.....	160
EMI测量接收机.....	161
整车辐射骚扰测试.....	162
射频切换平台.....	162
R&S测试方案 - 零部件EMC测试.....	164
TS9975系统 - 零部件EMI测试.....	164
EMI测量接收机.....	165
射频切换平台.....	165
TS9982系统 - 零部件EMS测试.....	167
信号发生器.....	168
功率探头.....	168
功率放大器.....	169
EMC测试软件  EMC32	171
服务内容.....	174

T-box测试解决方案

相关产品:

- J ➤ CMW500
- J ➤ CMW270
- J ➤ UPV
- J ➤ UPP
- J ➤ SMBV
- J ➤ SMW
- J ➤ FSV
- J ➤ Product

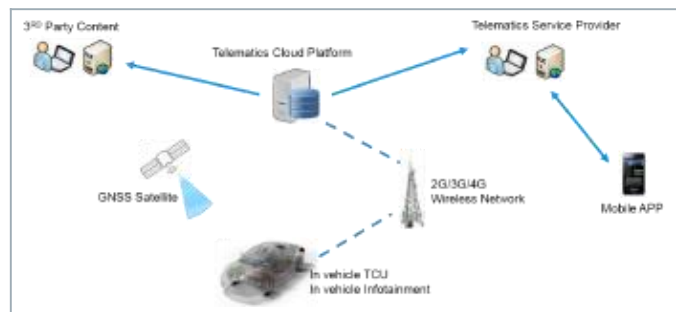
方案说明:

Please find the most up-to-date document on our homepage

<http://www.rohde-schwarz.com/appnote/1XXyyy>.

T-Box测试

Tbox是Telematics control unit的简称，它是未来车联网的核心部件，包括车与车之间的连接V2V (vehicle to vehicle) 和车与公共设施之间的连接V2I (vehicle to Infrastructure)。从功能模块上来讲，Tbox承担了同网络之间的无线通信的功能，一般通过蜂窝网络来对车进行控制以及车身信息获取，包括位置信息，故障信息，充电信息获取，车内远程空调启动，充电控制等。

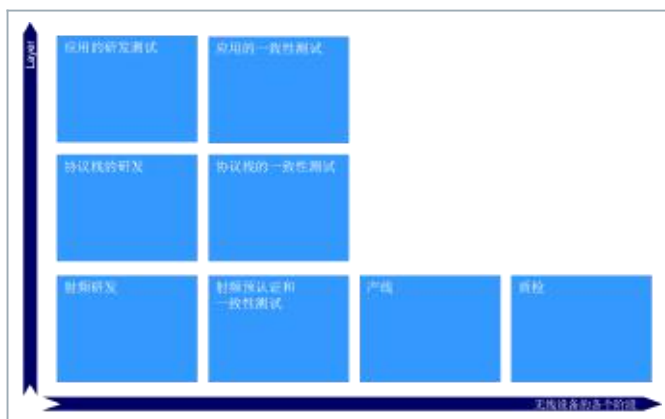


因此研发阶段针对Tbox的测试主要是Tbox无线模块的测试，包括无线模块本身的发射和接收的指标测试，如功率，灵敏度等，这部分属于硬件的测试。还包括实际应用的测试，例如测试TCU与服务器之间IP连接的延迟，速率等测试，这部分属于性能测试。

蜂窝模块 (2G/3G/4G) 射频测试

蜂窝通信模块是Tbox的最重要的部分，一般蜂窝模块的射频测试需要参考各个蜂窝技术标准的协会制定的射频测试规范来进行。由于测试项目较多，我们就不在这里逐个列出，不过一般的发射机测试项目包括：最大功率，频率误差，误差矢量幅度，频谱发射模板等，接收机的测试项目一般包括灵敏度，最大输入电平。

通信标准	规范	国际组织
GSM	TS 51.010	3GPP
WCDMA	TS 34.121	3GPP
TD-SCDMA	TS 34.122	3GPP
LTE	TS 36.521	3GPP
CDMA2000	C.S.0011	3GPP2
EVDO	C.S.0033	3GPP2

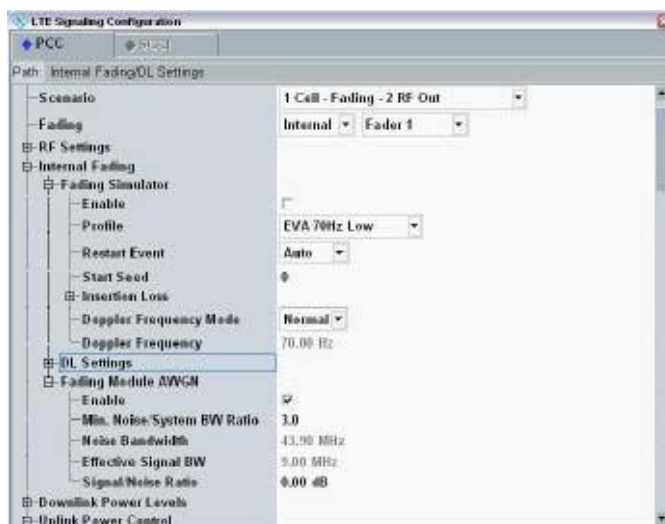


在设备的使用方面，射频研发和质检部门一般使用信令测试的仪表，产线一般使用非信令的测试仪表以保证测试效率。

同手机不同的是，手机生产厂家最终在生产线上就会完成整个测试终端的集成，而Tbox最终要在整车生产之后才会安装到整车上，Tbox与基站的射频连接会使用整车上的外部天线来提高更好的增益，因此Tbox厂家本身并不需要验证蜂窝天线的性能。

衰落性能测试

同手机等设备不同的是，Tbox大部分场景都是在运动的情况下同网络进行通信，因此在研发阶段也很有必要验证在运动等场景下的接收性能，确保在运动场景下终端的接收性能也能够达到规定的要求。例如我们后面介绍的eCall的规范就规定的在衰落场景下的性能测试用例。



CMW LTE衰落场景设置

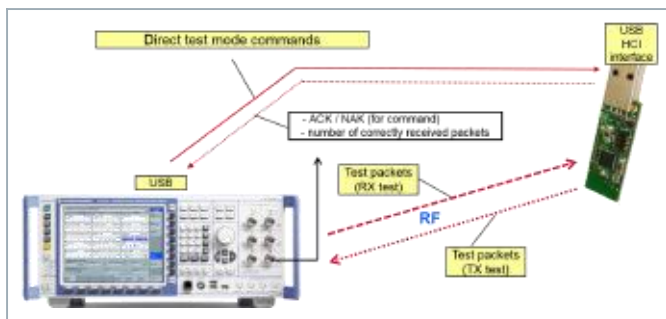
蓝牙低功耗射频测试

我们在前面介绍了经典蓝牙的测试，从蓝牙的协议规范发展来看，经历了从Bluetooth 1.0~5.0的发展过程，其中从Bluetooth 4.0开始，我们称之为低功耗蓝牙，目前的蓝牙最新版本为蓝牙5.0，在BT 4.0的基础上进行了技术上的增强，如提高了传输速率，从1Mbps提高的2Mbps，增加了覆盖范围，即采用了repetition编码，S=2 或S=8。同时也增强了广播信道的容量。针对BT 4.0或4.2协议规定了14个射频的测试项目，而针对BT5.0 协议规定了46个射频测试项目。

从测试方法的角度，目前低功耗蓝牙有三种测试方法，第一种方法我们称之为Direct test mode的测试方法，这种方法是蓝牙联盟定义的规范测试方法，在蓝牙认证，研发中都会使用这种方法，测试示意图如下，终端通过控制线（USB or USB-RS232）控制终端发射和接收反馈进行射频的发射机和接收机测试。第二种方法是传统的非信令的测试方法，即PC端控制DUT发射，CMW显示终端的发射机的测试结果。CMW发射一定数量的BLE数据包，DUT统计接收到的正确的数据包，DUT侧统计得到PER的测试结果。这种方法适用于产线的测试和部分无法使用Direct test mode模式的测试。

车载设备一般都可以使用前两种方法来进行测试，因为车载设备的DUT一般都有控制接口，例如底层蓝牙接口或者CAN接口。

使用前两种方法的一个前提条件是DUT必须有一个控制接口，对于没有任何控制接口的蓝牙低功耗设备，我们就可以考虑使用第三种方法，即广播信道的测试方法。首先这种方法只能在广播信道上进行射频指标的测试，但是优势是在DUT没有任何控制接口的情况下也可以进行测试。但是由于测试方法比较特殊，因此CMW需要特别的硬件配置。



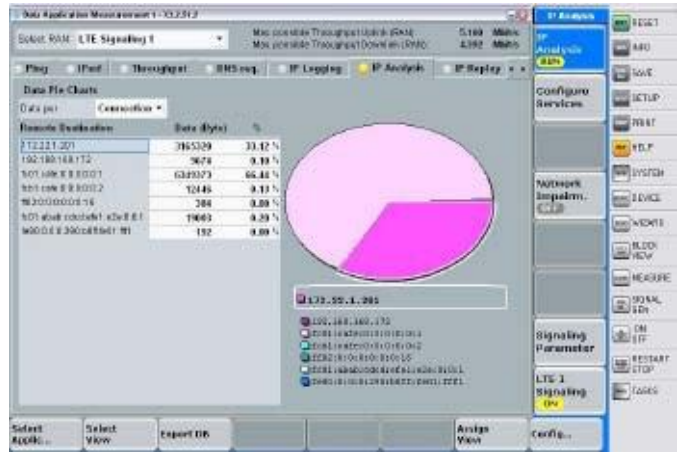
应用测试/IP分析和IP加密分析

Tbox在研发阶段除了上述的射频测试用于验证终端的硬件指标是否合格以外，还需要进行应用测试，从用户体验的角度来验证Tbox的功能，例如验证Tbox是否可以和运营商的网络正常连接，通信延迟，速率是否达到要求。更进一步的，可以验证Tbox中的各个应用的流量统计，总流量统计等功能。

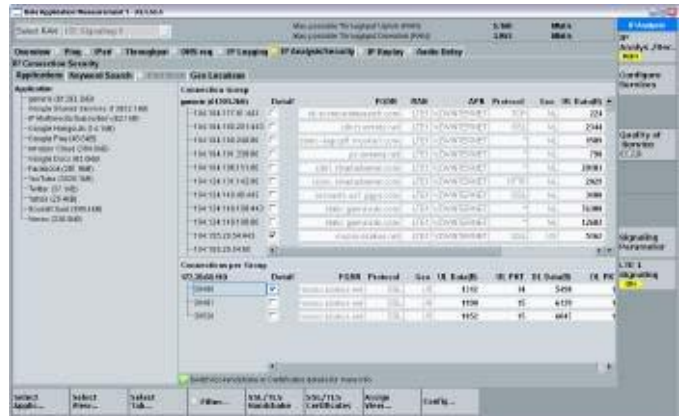
T-box在实际中普遍采用内置esim的方式，即没有实体sim卡，而是把Sim卡的信息写到芯片中来实现用户的鉴权加密。由于esim一般都与运营商签订合同，所以内置的esim信息无法接入到CMW500的模拟网络，这个时候需要改写芯片的esim信息，改成兼容CMW500的加密和鉴权参数，或者能提供外置的sim卡插槽，插入测试sim卡同样可以。

应用测试的Setup如下图所示：

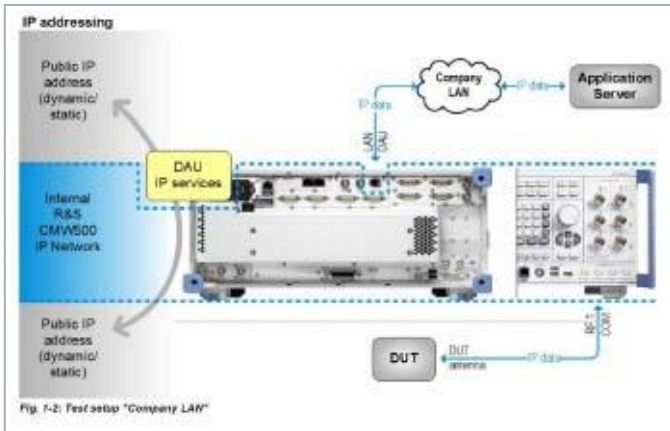
DUT为客户的T-Box，由于T-Box一般需要向云服务器发起业务，因此需要将CMW500的LAN DAU接口连接到公网，这样T-box可以通过CMW500模拟基站连接到正常的云服务器上。与正常基站的区别是，CMW500在模拟基站的同事，可以对T-Box整个IP数据流进行统计（如统计一定时间内的数据吞吐量，系统时延，丢包等），分析（统计每个IP连接，应用，协议所产生的数据流量行为）以及加密分析（IP端口分析，服务器地址分析，加密证书分析等）。并且以地理化的形式将服务器的地址显示在地图上，并且可以通过关键词搜索去检索如密码等信息是否经过加密传输还是明文传输。



IP吞吐量统计结果



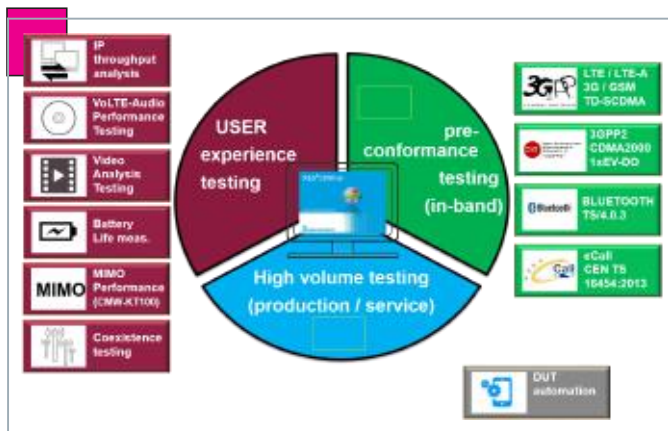
IP加密分析测试结果



CMW应用测试连接图

CMWRun 自动化测试软件

我们在前面提到了Tbox的射频测试，Wifi的射频测试，蓝牙的射频测试以及各种应用测试。除了手动测试之外，部分场景也需要自动化测试以满足回归测试以及部分生产测试的需求，这个时候就需要使用到R&S的CMWrun自动化测试软件。CMWrun自动化测试软件的功能如下，其中绿色的部分是我们前面介绍到的信令方法的自动化测试功能，包括蜂窝和非蜂窝的测试。蓝色部分是针对芯片的生产自动化测试功能。深红色的是用户体验测试，如功耗测试，吞吐量测试等功能。



CMWrun一般安装在额外的电脑上，电脑通过网线或者GPIB控制CMW500进行自动化测试，测试完成之后可以自动化输出测试报告。报告可以是csv, pdf, txt等格式。

6.2.5 Configured UE Transmitted Output Power	UL Modulation, #RB	Limit	Measured	Unit	Status
6.2.5 Configured UE Transmitted Output Power @ Band7					
UE Configured Maximum OutputPower: @ULCH: 30810, BW: 10 MHz, P-max: -10dBm	QPSK, 12 (RB_Pos:LOW)	-17.70 ~ -2.90	-9.32	dBm	Passed
UE Configured Maximum OutputPower: @ULCH: 30810, BW: 10 MHz, P-max: 10dBm	QPSK, 12 (RB_Pos:LOW)	-1.20 ~ 16.70	11.24	dBm	Passed
UE Configured Maximum OutputPower: @ULCH: 30810, BW: 10 MHz, P-max: 15dBm	QPSK, 12 (RB_Pos:LOW)	9.30 ~ 20.70	16.24	dBm	Passed

6.3.2 Minimum Output Power	UL Modulation, #RB	Limit	Measured	Unit	Status
6.3.2 Minimum Output Power @ Band7					
UE Minimum OutputPower: @ULCH: 30810, BW: 10 MHz	QPSK, 56 (RB_Pos:HIGH)	-1 ~ -20.00	-17.84	dBm	Passed

6.5.1 Frequency Error	UL Modulation, #RB	Limit	Measured	Unit	Status
6.5.1 Frequency Error @ Band7					
Frequency Error: @ULCH: 30810, BW: 10 MHz	QPSK, 56 (RB_Pos:HIGH)	-1 ~ 17.51	0.14	Hz	Passed

CMWrun自动化测试报告

Literature

CMW_LTE_UE_UserManual

CMW-WCDMA_UE_UserManual

Ordering Information

Typical configuration

Typical configuration for T-box

CMW#1 2RF.A.M

Typ	Material	Materialtext Englisch
CMW500	1201.0002K50	CMW500 WIDEB. RADIO COMM. TESTER
CMW-PS505	1208.8921.06	CMW- PS50 5 CMW500 BASIC ASSEMBLY
CMW-S052S	1202.4201.20	CMW-S052S SOLID STATE DRIVE H052S
CMW-S100A	1202.4701.02	CMW-S100A BB MEASUREMENT H100A
CMW-S550N	1202.4801.15	CMW-S550N BB FLEXIBLE LINK MB H550N
CMW-S570B	1202.5008.03	CMW-S570B RF TRX H570B
CMW-S590D	1202.5108.03	CMW-S590D RF FRONTEND (ADV.) H590D
CMW-S600B	1201.0102.03	CMW-S600B CMW500 FP WITH MMI H600B
CMW-B110A	1202.5508.02	CMW- B110 A BB GENERATOR H110A
CMW-B500I	1208.7954.10	CMW-B500I SIGNAL. UNIT ADV. H500I
CMW-B554N	1208.8950.15	CMW - B 5 5 4 N MULT I C MW ENABLER H554N
CMW-B570B	1202.8659.03	CMW-B570B RF TRX H570B
CMW-B612A	1202.5608.02	CMW-B612A IEEE-BUS (SINGLE) H612A
CMW-B620A	1202.5808.02	CMW-B620A DVI INTERFACE
CMW-B660H	1202.7000.09	CMW-B660H OPTIONCARRIER H660H
CMW-B661H	1202.7100.09	CMW-B661H ETHERNET SWITCH H661H
CMW-B690B	1202.6004.02	CMW - B 6 9 0 B OCXO (HIGHLY STABLE) H690B
CMW-PK364	1208.7319.02	CMW-PK364 6GHZ BUNDLE UP TO 4 TRX
CMW-B450H	1202.8759.09	CMW-B450H DATA APPL. UNIT H450H
CMW-B400B	1207.8457.02	Audio Analyzer/Generator H400B (hw opt.)
CMW-B405A	1207.8257.02	Speech Codec, H405A (hw opt.)

SW

Typ	Material	Materialtext Englisch
CMW-PK50	1207.6402.02	LTE call box bundle (SL)
CMW-PK40	1207.6302.03	WCDMA call box bundle (SL)
CMW-PK20	1207.6254.02	GSM call box bundle (SL)
CMW-PK45	1207.6354.02	Application testing / IMS bundle
CMW-KT051	1203.4157.02	General purpose, CMWrun sequencer (SL)
CMW-KT053	1204.8156.02	GSM / WCDMA, CMWrun sequencer (SL)
CMW-KT055	1207.2107.02	LTE, CMWrun sequencer (SL)

e-call测试解决方案

相关产品:

- J ➤ CMW500
- J ➤ CMW270
- J ➤ UPV
- J ➤ UPP
- J ➤ SMBV
- J ➤ SMW
- J ➤ FSV
- J ➤ Product

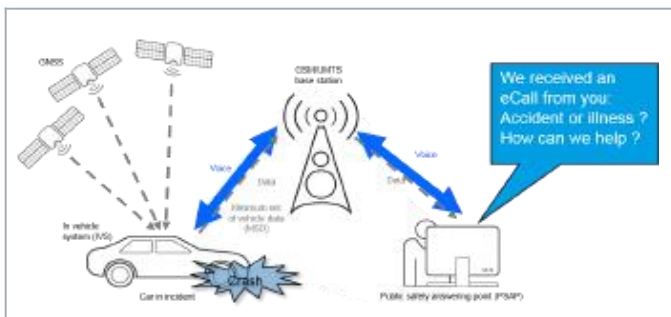
方案说明:

Please find the most up-to-date document on our homepage

<http://www.rohde-schwarz.com/appnote/1XXyyy>.

eCall & Era-Glonass 简介

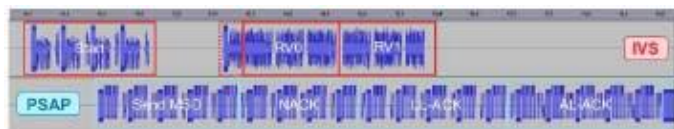
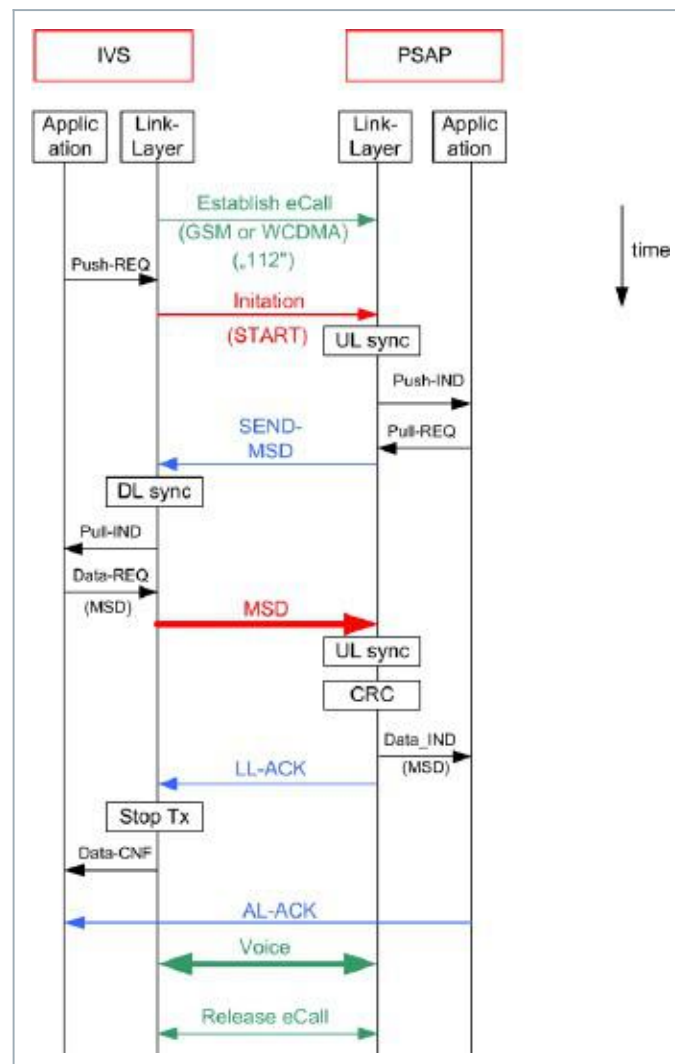
Ecall和Era-Glonass是欧盟和俄罗斯提供的一项紧急救援技术，用于减少发生事故和意外情况下的响应时间。Ecall 和Era-Glonass的事件流程如下：当事故发生，例如一些事件，如安全气囊弹出时，IVS (In Vehicle System) 会将收集到的数据MSD，如车牌号，位置信息等通过BBPM的语音电话的方式发送给公共安全应答中心PASP，PASP在解析MSD 之后启动救援服务。其中Ecall和Era-Glonass的基本原理和流程是一致的，只是技术细节上略有差异。



实际上eCall测试和Era-Glonass测试的主要待测模块就是IVS，IVS的框图如下，一方面IVS里面包含了GNSS接收机以获取当前经纬度信息，另一方面IVS包括了MSD数据处理的功能，并通过语音编码将MSD通过射频信号发送给基站。其中IVS还包括Microphone and speaker，这部分功能可以后续作为PASP和用户进一步语音沟通的一个渠道提供更丰富的信息。

eCall & Era-Glonass呼叫流程

接下来，我们介绍典型场景下的IVS和PASP之间的通讯过程。

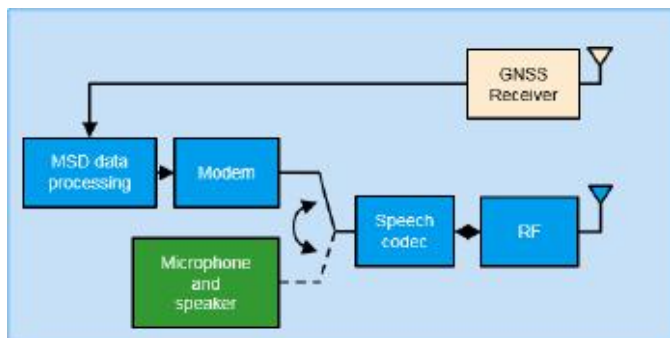


- J 当一个紧急呼叫发生，IVS会通过GSM/WCDMA紧急呼叫的方式自动呼叫PASP中心，建立一个语音连接后。START消息会持续不停发送，最多5次的initiation消息
- J 一旦PASP接收到E-call，并且解析出START消息，它开始传送SEND-MSD命令给IVS
- J 当IVS成功解调了SEND-MSD命令，它发送了一个SYNC帧，紧接着是具体的MSD消息，采用RVO版本的冗余
- J 如果PASP没有正确解析出RVO的MSD，那么它会返回NACK

IVS接收到PASP返回的NACK后，继续发送MSD消息，此时采用RV1版本的冗余

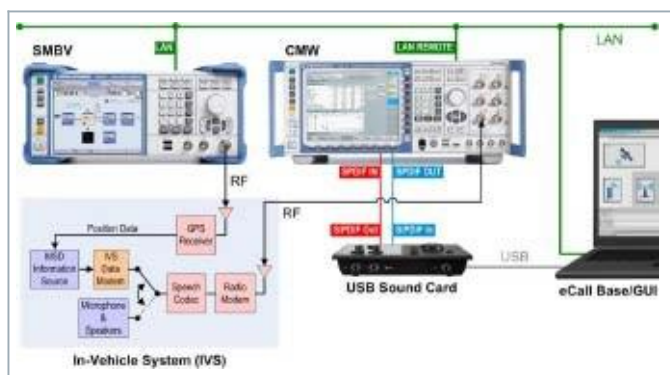
PSAP发送了AL-ACK，指示eCall已经完成，MSD消息已经完成解析。此时连接切回到语音方式。PSAP的话务员可以与车内的乘客通话。最后，GSM/WCDMA语音连接被释放

eCall & Era-Glonass测试方案



Rohde-schwarz提供完整的Ecall和Era-Glonass的测试解决方案，其中整个测试方案包括如下组建，测试setup如下：

- GNSS信号源SMBV，用于提供GNSS的实时信号产生
- CMW500，提供基站模拟器的功能
- KA094、KA095软件，安装在额外PC上用于模拟公共安全应答中心PASP
- CMWRun自动化软件，内置的KT110选项可以提供自动化测试
- CMW-Z94声卡，用于将承载MSD的语音信息发送给安装了KA094/095软件PASP模拟器。



eCall和Era-Glonass的规范比较繁杂，下面简单介绍一下eCall和era-glonass的规范情况，首先eCall和Era-Glonass的规范都分为核心规范和测试规范两大类，其中核心规范定义了eCall和Era-Glonass的通信流程，编码规范，技术需求等。而测试规范一般包括EMC，功能，音频，模块一致性测试，导航等几大类的规范。

eCall & Era-Glonass测试规范

Ecall规范如下：

Core Standards:

- J CEN EN 15722 – eCall minimum set of data (MSD)
- J CEN EN 16062 – eCall high level application requirements (HLAR)
- J CEN EN 16072 –Pan-European eCall operating requirements
- J CEN EN 16102 –operating requirements for third party support

Test Standards:

- J EUDRAFT – supplementing and amending Regulation (EU) 2015/758
- J UNDRAFT – Regulation on Accident Emergency Call Systems
- J CEN EN 16454 – eCall end to end conformance testing
- J ETIS TS 103 412 and TS 103 321 – eCall end to end conformance testing
- J ETIS TS 126 269 – in-band modem conformance testing
- J ETIS TS 103 428 – eCallHLAP Interoperability testing
- J ETIS TS 102 936-1, TS 151 010-1 and TS 134 123-1 – GSM/UMTS conformance
- J ITU-T P.1140 – Speech communication requirements for emergency calls

Era-glonass规范如下

Core Standards:

- J GOST R 54721 – General base service description
- J GOST R 54619 – Protocols of data transmission
- J GOST R 54620 – General technical requirements

Test Standards:

- J TRCU018/2011 – Technical Regulations on the safety of wheeled vehicles
- J GOST R 54618 – EMC, environmental resistance, mechanical resistance
- J GOST R 55530 – Functional
- J GOST R 55531 – Audio quality

JGOST R 55532 – Crash detection

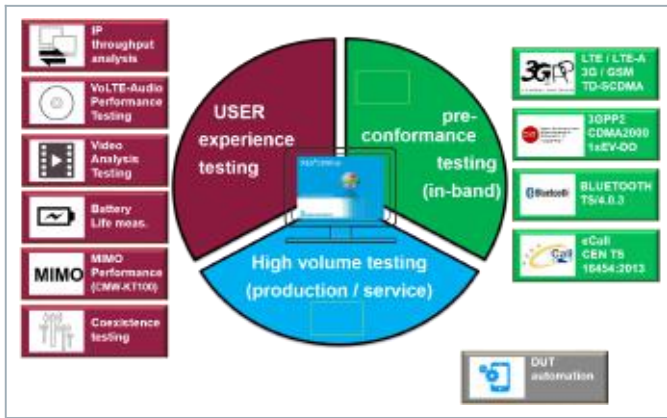
JGOST R 55533 – GSM modem, UMTS modem, In-band modem

JGOST R 55534 – Navigation module (GNSS)

关于CMW500对于eCall和Era-glonass的支持情况的详细信息，请参考eCall_ERA-Glonass_TS_Status_V_27_2016。

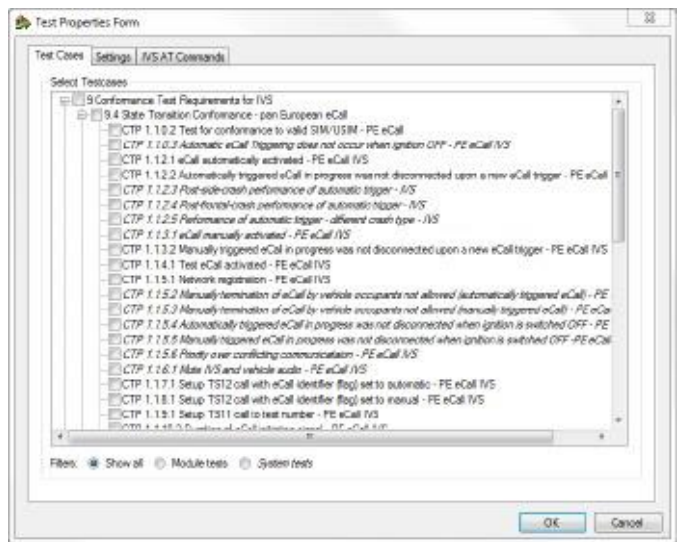
CMWRun自动化测试软件

CMWrun是一个统一的测试平台，除了可以测试射频以及应用测试之外，还可以基于KT110选件完成eCall的自动化测试。



CMWrun一般安装在额外的电脑上，电脑通过网线或者 GPIB控制CMW500进行自动化测试，测试完成之后可以自动化输出测试报告。报告可以是csv, pdf, txt等格式。

CTP 1.1.1.1	Expected	Measured	Unit	Status
Test for automatic activation of eCall				
Objective: Verify that when activated automatically an eCall is initiated	---	---	---	---
Turn on the IVS	---	---	---	---
Send MSD in progress	---	---	---	---
Call result	---	---	---	---
> Emergency Call	---	---	True	---
> Manual Call	---	---	False	---
> Dial Number	---	---	emergency call	---
Raw MSD received	---	---	OE	---
> Radiolcay media	---	---	3	---
> Uplink data part	---	---	3	---
> Modulation type	---	---	FAST	---
> CRC	---	---	Raw MSD data	---
			OE	
An IVS visual or audible indication of eCall activation is provided	---	Yes	Yes	Passed
Call established	---	True	True	Passed
Disconnect the IVS	---	---	OE	---
Turn off the IVS	---	---	---	---



eCall自动化测试项目

Literature

1. 1MA251_3e 《ERA-GLONASS Conformance and Performance Testing》
2. 1MA241_6e 《eCall Conformance and Performance Testing》

Ordering Information

Typical configuration

Typical configuration for eCall /era-Glonass

CMW500

Typ	Material	Materialtext Englisch
CMW500	1201.0002K50	CMW500 WIDEB. RADIO COMM. TESTER
CMW-PS505	1208.8921.06	CMW-PS505 CMW500 BASIC ASSEMBLY
CMW-S052S	1202.4201.20	CMW-S052S SOLID STATE DRIVE H052S
CMW-S100A	1202.4701.02	CMW-S100A BB MEASUREMENT H100A
CMW-S550N	1202.4801.15	CMW-S550N BB FLEXIBLE LINK MB H550N
CMW-S570B	1202.5008.03	CMW-S570B RF TRX H570B
CMW-S590D	1202.5108.03	CMW-S590D RF FRONTEND (ADV.) H590D
CMW-S600B	1201.0102.03	CMW-S600B CMW500 FP WITH MMI H600B
CMW-B500I	1208.7954.10	CMW-B500I SIGNAL. UNIT ADV. H500I
CMW-B660H	1202.7000.09	CMW-B660H OPTIONCARRIER H660H
CMW-B661H	1202.7100.09	CMW-B661H ETHERNET SWITCH H661H
CMW-B400B	1207.8457.02	Audio Analyzer/Generator H400B
CMW-B405A	1207.8257.02	Speech H405A Codec Board
CMW-B690A	1202.5908.02	OCXO, high stability

SW

Typ	Material	Materialtext Englisch
CMW-KS200	1203.0600.02	GSM GPRS EDGE R6, basic signaling
CMW-KS210	1203.9759.02	GSM GPRS EDGE R6, advanced signaling/network emulation
CMW-KS400	1203.0751.02	WCDMA Release 99,signaling/network emulation,
CMW-KS410	1203.9807.02	WCDMA Release 99, signaling/network emulation, advanced functionality

PSAP SW

Typ	Material	Materialtext Englisch
CMWPC	1201.0002K90	PC based CMW applications
CMW-S089A	1202.7900.02	GSM Fading profiles TS45.005 C.3 (excerpts)
CMW-KA094	1208.4703.02	Enabling test software for eCALL
CMW-KA095	1208.8844.02	Enabling test software for ERA GLONASS (requires CMW-KA094 licence)
CMW-KT110	1208.7431.02	CMWrun sequenzer software for eCall, ERA-GLONASS and A-GNSS (requires dedicated CMW-KA09x licenses)

Accessory

CMW-Z50	1208.7602.02	Handset (acc.)
CMW-Z94	1208.6906.02	ECALL HARDWARE SET
CMW-Z06	1209.2010.02	Multi TestSIM, 2FF/3FF/4FF, 3GPP SIM/USIM/ISIM/CSIM

SMBV

Typ	Material	Materialtext Englisch
SMBV100A	1407.6004.02	VectorSignalGenerator, base unit
SMBV-B103	1407.9603.02	Frequency range 9kHz to 3.2GHz
SMBV-B10	1407.8607.04	Baseband generator,dig. mod.+ARB(32MS), 120MHz RFBW
SMBV-B92	1407.9403.02	Hard disc
SMBV-K44	1415.8060.02	GPS
SMBV-K65	1415.8560.02	Assisted GPS
SMBV-K66	1415.8590.02	Galileo
SMBV-K91	1415.8577.02	GNSS extension to 12 satellites
SMBV-K92	1415.8583.02	GNSS enhanced (e.g. moving scenarios, multipath)
SMBV-K94	1415.8677.02	Glonass
SMBV-K96	1415.8790.02	GNSS extension to 24 satellites
SMBV-K102	1415.8819.02	GNSS extension for antenna pattern
SMBV-K103	1415.8825.02	GNSS extension for spinning and attitude simulation
SMBV-K110	1419.2373.02	Satellite-based Augmentation System (SBAS)

车联网测试解决方案

相关产品:

- J ➤ SMW200A
- J ➤ SMBV100A
- J ➤ SGT100A
- J ➤ FSW
- J ➤ FSV
- J ➤ FSVA
- J ➤ FSVR
- J ➤ TS8980
- J ➤ TS8997
- J ➤ CMW500
- J ➤ CMW270
- J ➤ CMW100
- J ➤ RTO
- J ➤ RTM
- J ➤ CMW100
- J ➤ TC2600
- J ➤ ITS100
- J ➤ IQR

方案说明:

随着移动互联网、物联网和无线传感器网络技术的广泛应用，车联网成为实现未来智能交通目标的有效途径之一。通信技术是车联网的关键核心技术，决定着车联网的整体性能。首先介绍了车联网的概念、体系架构和特点优势，接着重点阐述了车联网的通信类别、通信体系、通信标准、路由协议和通信安全技术的发展现状;然后分析了车联网通信技术发展面临的问题，最后根据物联网、移动互联网的发展趋势，对车联网通信技术的进行了详解。本文主要介绍车联网的测试解决方案，涉及智能交通ITS测试、C-V2X测试、车载导航测试、RFID智能识别测试、车内无线连接等测试，并根据用户需求，提供了不同等级的方案，包括：研发、产线和一致性认证方案。

车联网技术背景

目前，汽车市场在全世界快速发展使汽车保有量增加，然而汽车出行在给人们生活带来便利的同时也造成交通事故频频发生、城市交通拥堵、汽车能源消耗增加和环境污染等诸多问题。现有的车载服务系统在网络结构、服务模式以及技术层次上存在很多的改进空间，无法满足日益增长的客观需求。2010年通用汽车向全世界勾画了基于车联网概念的无交通堵塞、零汽车尾气排放、没有交通事故发生等未来城市交通愿景。

面对这一新兴车联网产业的汽车电子信息技术，特别是世界上的汽车工业强国，正在积极地推进车联网领域的研究与探索。欧盟IST在开展车辆间通信研究CarTalk2000项目已经获得了一些进展；德国较早地取得了车联网领域相关的车载通信系统项目的成功，现在已经开始着手研究NOW(Net-work On Wheels)项目，并取得了一些实质性的进展；日本已完成了车辆间进行通信的协同驾驶系统；美国在车联网的通信协议的研究上也取得了一些突破。与此同时，世界上汽车工业强国的各大汽车制造企业和零部件生产商也投入到了车联网的技术研究与应用之中。

伴随着汽车行驶在线信息采集、CAN总线数据共享传输、车辆远程智能控制以及车与路、车与车、车与城市网络的互相连接等先进技术的不断创新，实现强化车辆行驶安全、缓解城市拥堵压力、提高交通效率和降低汽车能源消耗等问题面的解决正在逐步实现。车联网继物联网后，将在世界上形成支撑汽车产业的巨大新兴产业。

车联网介绍

车联网概念

曾经有不少人认为，车联网就是能够在车上连接到网络，获取网络上的信息，其实，这是完全没有意义的，不然的话只需要手机拿到车上不需要“车联网”了。就像物联网一样，“联网”不仅仅是连接到网络，更应该通过连接到网络，获取“物”“车”在使用中所需要的数据，从而达到使这些工具以一种更适合人们期望的方式运行的效果。所以，在车上刷微博，看视频，那不叫车联网，那是车内上网，或者至少这些与交通安全、交通效率无关的都不是车联网的主体。

车联网就应该是为了满足车辆各个环节中的安全、效率、管理、环保以及娱乐需求，单一网络无法满足复杂应用所带来的通信性能需求，必须将不同的通信手段结合起来组件车联网，也即异构通信网络，例如使用DSRC来进行安全应用，RFID进行管理应用，蜂窝网络进行环保应用等。

车联网的概念涉及范围比较广泛，传统的理解是站在信息感知技术的角度，车联网是指车辆上的电子标签通过RFID等无线射频识别技术，实现对车辆的属性、静态和动态信息进行提取和有效利用，并对车辆运行状态进行有效的监管和提供综合性的服务。



图1 车联网情景

随着物联网的发展、自动驾驶技术的发展及汽车行业的改变，车联网也被重新定义，据车联网产业技术创新战略联盟的定义：车联网是以车内网、车际网和车载移动互联网为基础，按照约定的通信协议和数据交互标准，在车与人、车与道路、车与互联网等之间，进行无线通信和信息交换的大系统网络，通过实现对海量数据的“过滤清洗”，实现对车、人、物、路等状况的实时监控、科学调度和有效管理，进而实现智能化交通管理、智能动态信息服务和车辆智能化控制一体化网络。

车联网体系架构

根据现阶段车联网的技术发展，结构上看，车联网系统可分为三层，如下图所示：

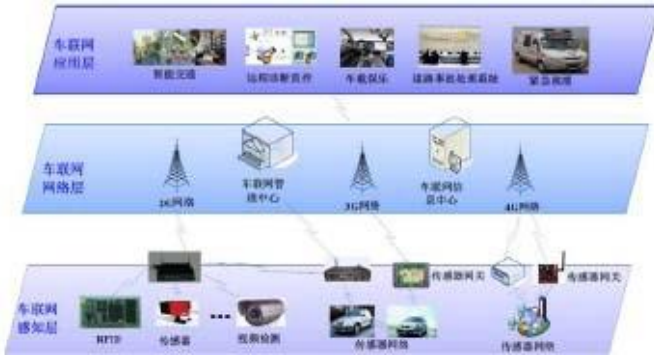


图2 车联网体系架构

感知层 (车内网或端)：汽车的智能传感器，负责采集与获取车辆的智能信息，感知行车状态与环境；是具有车内通信、车间通信、车网通信的泛在通信终端；同时让汽车具备IOV寻址和网络可信标识等能力的设备。

网络层 (车际网或管)：解决车与车 (V2V)、车与路 (V2R)、车与网 (V2N)、车与人 (V2I) 等的互联互通，实现车辆自组网及多种异构网络之间的通信与漫游，在功能和性能上保障实时性、可服务性与网络泛在性，同时它是公网与专网的统一体。

应用层 (车云网或云)：车联网是一个云架构的车辆运行信息平台，它的生态链包含了ITS、物流、客货运、危特车辆、汽修汽配、汽车租赁、企事业车辆管理、汽车制造商、4S店、车管、保险、紧急救援、移动互联网等，是多源海量信息的汇聚，因此需要虚拟化、安全认证、实时交互、海量存储等云计算功能，其应用系统也是围绕车辆的数据汇聚、计算、调度、监控、管理与应用的复合体系。

随着移动互联网、物联网和无线传感器网络技术的广泛应用，车联网日益成为实现未来智能交通及无人驾驶的有效途径之一，是当前全球研究和关注的焦点。通信技术作为车联网的基础，决定着车联网的整体性能，是车联网的关键支撑技术。

V2X技术

V2X，顾名思义就是Vehicle-to-Everything，其希望实现车辆与一切可能影响车辆的实体实现信息交互，目的是减少事故发生，减缓交通拥堵，降低环境污染以及提供其他信息服务。

根据3GPP定义的V2X车联网技术，运用D2D技术以及移动通信技术等，实现面向应用的技术。基于V2X的智能安全辅助驾驶系统，能够实现车辆之间的通信，以及车辆与行人之间的通信。车辆之间利用RFID (射频技术)、传感器、拍照设备等，来获取车辆运行信息，包括位置信息、行车环境信息等，在智能安全辅助驾驶系统架构中实现数据信息分析与处理，进而实时汇报路况，及时发出交通事故警报。

V2X主要包含Vehicle-to-Vehicle (V2V) 车与车， Vehicle-to-Infrastructure (V2I) 车与交通设施， Vehicle-to-Network (V2N) 车与网络以及Vehicle-to-Pedestrian (V2P) 车与行人。

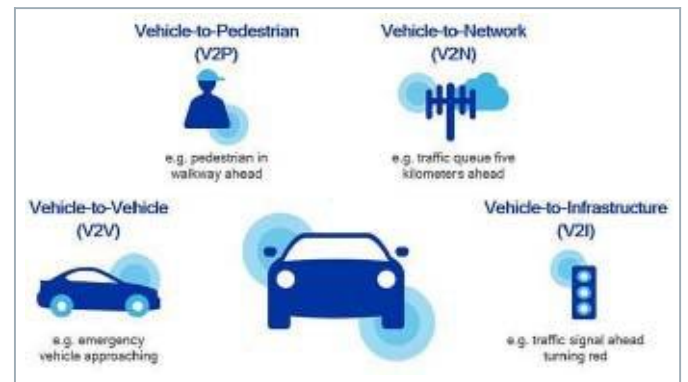


图3 V2X分类图解

与自动驾驶技术中常用的摄像头或激光雷达相比，V2X拥有更广的使用范围，它具有突破视觉死角和跨越遮挡物的信息获取能力，同时可以和其他车辆及设施共享实时驾驶状态信息，还可以通过研判算法产生预测信息。另外，V2X是唯一不受天气状况影响的车用传感技术，无论雨、雾或强光照射都不会影响其正常工作。

车联网中的无线 通信技术

汽车电子涉及的无线通信技术比较多，包括：2G、3G、4G及将来的5G通信、WLAN、Bluetooth、GPS/Glonass/Galileo/BeiDou、DSRC/LTE-V、车载雷达等，所占用的频率范围非常广泛，从LF频段(20 kHz)一直到毫米波EHF(79 GHz)频段。

车联网目前还处在不断演进的阶段，各种应用相对独立，从技术的角度而言，现阶段车联网可以建立一种混合式的架构，在这种混合架构中，长距离通信技术，如蜂窝网络2G/3G/4G/5G等，能够为人们提供即时的互联网接入；而短距离通信技术，如DSRC、C-V2X等，则能够为安全系统提供实时响应的保障以及为基于位置的信息服务提供有效支持；同时可以融合GNSS技术，对车辆进行精确定位，在一定程度上可以满足车联网的基本应用；射频识别RFID技术则可以为车辆提供身份认证等；车内无线连接用于汽车信息服务。

车联网V2X关键的通信技术DSRC和C-V2X

目前，V2X通信技术的发展主要是以IEEE 802.11p为代表的DSRC通信技术和以蜂窝为基础的C-V2X通信技术。DSRC发展较早，目前已经非常成熟，不过随着LTE技术的发展，在3GPP的推动下，基于4G网络LTE的车联网通信技术LTE-V2X也开始逐渐发展起来，该技术标准会持续演进至基于未来5G NR的NR-V2X。

DSRC/IEEE 802.11p通信

DSRC技术推动力

美国交通局USDOT (US Department of Transportation) 基于2004 - 2008年交通事故分析得出以下结论：使用V2X系统可以降低450万起碰撞事故(占多车碰撞总数的81%)，为此USDOT要求OEM厂商最迟在2019年底及以后生产的汽车要安装DSRC设备，支持V2V和V2I。至今，美国DSRC技术已经经过10余年的广泛测试，技术相对成熟。

讲V2X的历史，就必须首先提到智能交通系统ITS。1950 - 1980年，美国各州广泛兴建州际公路、高速公路，随之出现了新的问题：城市中心交通拥堵、高速碰撞事故造成众多的人员伤亡，同时又增加汽车油耗，降低空气质量。

到了1986年，来自科研机构、交通局等的专家在讨论未来交通法规时认为，未来的交通系统必须要同时要保证安全、解决拥堵并且保护环境。1990年在德克萨斯州的达拉斯市，针对这个问题的研讨达到高潮，与会者提出IVHS，即智能车辆高速系统的概念，这个概念后来发展成了智能交通系统ITS。

1991年，ITS概念成为联合运输效率法案(Intermodal Surface Transportation Efficiency Act, 简称ISTEA)的一部分。此外，ISTEA还出资66亿美元用于未来6年的ITS系统的研究及测试。

1992年，USDOT在ITS的研究中启动了自动高速系统的项目，目的是解放驾驶员的手脚，车辆需要在专门设有磁钉的道路上行驶，这也是历史上第一次实现车辆与高速公路的互联。

在自动高速系统试验之后，1997年USDOT启动智能车辆计划，目的是加快防碰撞系统的部署。在智能车辆计划的基础上，USDOT对改善交通拥堵状况和改进电子通信技术提出新的要求。2003年12月在马德里召开的第十届ITS世界大会上，USDOT宣布在5.9 GHz分配75 MHz频谱进行DSRC研

究，同时提出VII项目，项目目标是使V2V和V2I技术在小范围内应用测试。

2006年12月，USDOT与五大汽车厂商联合测试V2V和V2I在防碰撞系统中的作用，并确立新型通信为基础的安全设施，主要包含路边网络RSN和车载设备OBU。

只有当道路上有足够多的车辆支持V2V通讯，V2V的作用才能得到充分体现。为此在2014年8月，NHTSA和USDOT提出FMVSS No.150法案，法案强制要求新生产的轻型汽车(载客和轻卡)支持V2V通讯功能。

DSRC通信架构



图4 DSRC通信示意图

DSRC系统一般由三部分组成：车载单元 (On-Board Unit, 简称OBU)，路侧单元(Road-Side Unit, 简称RSU)以及专用短程通信协议。整个通信用途，主要包括车载单元OBU之间的通信 (V2V) 和车载单元OBU与路侧单元RSU及路边基础设施之间的通信 (V2I)。OBU与RSU提供车间与车路间信息的双向传输，RSU再透过光纤或行动网络将交通信息传送至后端平台。由于车间与车路通信应用情境复杂，汽车数量多少、距离与道路气候等都会影响无线网络的通信，通信速度与质量将对路人安全造成极大影响，因此车联网安全应用相关通信网络通常被要求须要具备高移动性与低延迟率，IEEE 将安全应用通讯延迟容许范围定在50 ms内，最多不超过100 ms，允许接收讯息后有足够反应时间。

J 车载单元OBU

车载单元实际上就是汽车通信车载终端，主要由通信处理器、射频收发机、GPS接收机/处理器、汽车CAN总线接口、数据存储器、显示屏等组成。主要是接收、存储、定时更新汽车行驶数据 (车速、对方车速、相对车速、行驶方向、对方行驶方向、相对方向、车距、刹车等)，向其他车辆或路侧单元发送汽车行驶数据，对行驶状况给出预警显示。

J 路侧单元RSU

路侧单元一般是指安装在路口交通设施旁或道路旁边的汽车通信设备，主要由通讯处理器、射频收发机、数据存储器

器、交换处理器、通信网关 (如需接入其他制式的网络) 等组成，一般支持较大容量的信息处理和交换，主要用于交通设施与汽车的通信，交换交通信息 (包括交通信号、路况信息等)，提示告警等。LTE-V的路侧站还可以通过有线或无线网络与其他站进行数据交换，以及通过光纤等接入交通管理中心或者TSP服务中心。

J 专用短程通信DSRC

主要采用DSRC/IEEE 802.11p通信方式。

DSRC通信协议

DSRC由物理层标准IEEE 802.11p又称为WAVE (Wireless Access in Vehicular Environment) 及网络层标准IEEE 1609所构成，在此基础上，美国汽车工程师协会SAE规范V2V与V2I信息的内容与结构，欧洲相关标准由ETSI CT-ITS所规范。IEEE 802.11p由IEEE 802.11标准扩充，DSRC技术产生基于三套标准：

J 第一个是IEEE 1609，标题为“车载环境无线接入标准系列(WAVE)”，其定义了网络的架构和流程。

J 第二个是SAE J2735和SAE J2945，它们定义了消息包中携带的信息。该数据将包括来自汽车上的传感器的信息，例如位置，行进方向，速度和刹车信息。

J 第三个标准是IEEE 802.11p，它定义了汽车相关的“专用短距离通信”(DSRC)的物理标准。

DSRC通信的协议栈如下图所示，从物理层到应用层顺序组织而成。其中应用层分为安全应用和非安全应用，涉及的网络传输协议有所不同。

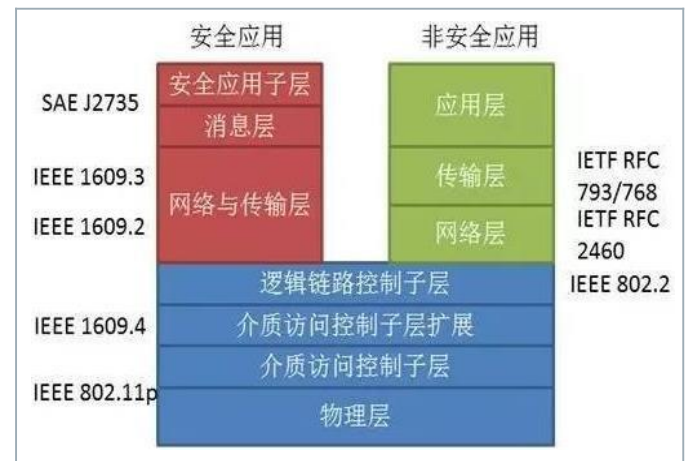


图5 DSRC通信协议栈

DSRC顶层协议栈是基于IEEE 1609标准开发的，V2V信息交互是使用轻量WSMP (WAVE Short Message Protocol) 而不是WiFi使用的TCP/IP协议，TCP/IP协议用于V2I和V2N 信息交互。DSRC底层、物理层和无线链路控制是基于IEEE 802.11p。使用IEEE 802.11系列标准的初心是利用WiFi的

生态系统，但是WIFI最初设计用于固定通讯设备，后来制定IEEE 802.11p支持移动通讯设备。

由于车辆的快速移动性，车辆与路边的网络基础设施所组成的通信链路也都是临时性的，即只在很短的时间之内存在。所以这个链路必须在极短的时间建立连接，发送数据。而IEEE802.11技术中的那些繁琐的连接认证过程耗时过长，难以使用在车联网。为此，IEEE 1609填补了高层协议的空白，形成一套完整的协议栈。IEEE 1609包括4个子协议，其中IEEE1609.1定义了资源管理，将远端的应用层与当前的车辆联系起来；IEEE1609.2为应用层和管理信息提供安全服务；IEEE1609.3是IEEE802.11p的网络层；总体上，IEEE1609.4可处理多信道通信。

DSRC频段规划

DSRC是连结车辆与车辆 (V2V)、车辆与路侧装置间的RF通用射频通信技术，在车用环境中提供公共安全和中短距离通讯服务。各个国家分配的DSRC使用频段各不相同。1999年，美国联邦通讯委员会 (FCC) 于1999年决定将5.9 GHz (5.850~5.925 GHz) 频段分配给汽车通讯使用。主要目标是使公共安全应用能够挽救生命并改善交通流量。FCC还允许在本领域提供私人服务来降低部署成本，并鼓励快速开发和采用DSRC技术和应用。

美国5.9 GHz DSRC的频段规划，以10 MHz频宽为单位，将75MHz频宽划分成七个频道，并由低频至高频分别给予172、174、175、178、180、182与184频道编号。如下图所示，频道178为控制频道 (CCH)，剩余的六个频道为服务频道 (SCH)，其包含两个公共安全专用服务频道 (频道172为车辆与车辆间公共安全专用服务频道，频道184为交叉路口公共安全专用服务频道)、两个中距离公共安全、私用共享服务频道 (频道174与176)，以及两个短距离公共安全/私用共享服务频道 (频道180与182)。

欧洲为DSRC划分了专用频道5855-5925 MHz，其中30 MHz用于主动安全应用；日本则选择将755.5-764.5 MHz作为智能交通系统的专用通信频段。

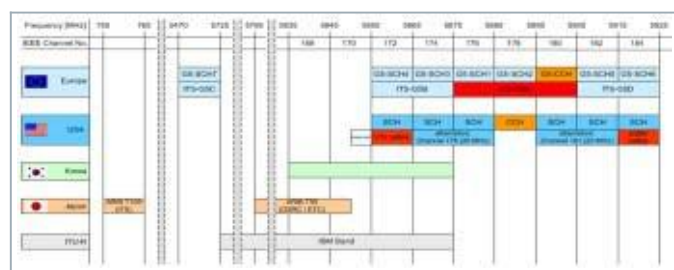


图6 DSRC频段规划

DSRC物理层

802.11p在760 MHz频段中，支持传输距离小于300米，大致可达180米左右，传输速率低于18 Mbit/s，使用5.9GHz频段通信时，传输距离最远可达1000米，以频道带宽10 MHz 为单位，传输速率最高为27 Mbit/s，允许在车速260 km/h 下进行车与车之间以及车与道路设备之间的信息传输。其美国、欧洲和日本在IEEE 802.11p上采用的空口技术，如下图所示：

	Japan	UAS	Europe
Standard/Committee	ITS-Forum	IEEE802.11p/1609.x	CEN/ETSI EN302 663
Frequency range	755-765 MHz	5850-5925 MHz	5855-5925 MHz
No. of Channels	One 10 MHz channel	Seven 10 MHz channels (Two 20 MHz channels formed by combining 10 MHz channels)	Seven 10 MHz channels
Modulation	OFDM		
Data rate per channel	3-18 Mbit/s	3-27 Mbit/s	3-27 Mbit/s
Output power	20 dBm (Antenna input)	23-33 dBm (EIRP)	23-33 dBm (EIRP)
Communication	One direction multicasting service (broadcast without ACK)	One direction multicasting service, One to Multi communication, Simplex communication (broadcast without ACK, multicast, unicast with ACK)	
Upper protocol	ARIB STD-T109	WAVE (IEEE 1609)/TCP/IP	ETSI EN 302 665 (incl. e.g. GeoNetworking) TCP/UDP/IP

图7 IEEE 802.11p各国空口技术一览

802.11p物理层架构与802.11a大致相同，采用OFDM调制技术，且52个子载波可支持正交振幅调变QAM、相位移键调变PSK等调制技术，同时搭配向前纠错校正技术 (Forward Error Correction, FEC)，减少信息重新传输所发生的延迟情况，能够因应在高速移动下信息传递的实时性。

Parameters	20 MHz Bandwidth	10 MHz Bandwidth	5 MHz Bandwidth
Bit rate (Mbit/s)	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54	3, 4.5, 6, 9, 12, 18, 24, 27	1.5, 2.25, 3, 4.5, 6, 9, 12, 13.5
Modulation mode	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM
Code rate	1/2, 2/3, 3/4	1/2, 2/3, 3/4	1/2, 2/3, 3/4
Number of subcarriers	52	52	52
Symbol duration	4 μs	8 μs	16 μs
Guard time	0.8 μs	1.6 μs	3.2 μs
FFT period	3.2 μs	6.4 μs	12.8 μs
Preamble duration	6 μs	32 μs	64 μs
Subcarrier spacing	312.5 kHz	156.25 kHz	78.125 kHz

图8 IEEE 802.11p各带宽下的物理层参数

DSRC衰落场景

车联网通信很关键的一点就是要验证在汽车移动过程当中的通信有效性，汽车在移动过程就会有多普勒平移和衰落。802.11p在标准当中其实定义了五种不同的无线信道模型，针对汽车通信领域的，如下：

- J 衰落场景1：乡村的视距（很空旷的地方可以直接看到对方车辆）
- J 衰落场景2：城市近车距（周围有楼房、有建筑物，同时也能够看到前方车辆）
- J 衰落场景3：十字路口的非视距（十字路口要左拐、右拐，看不到对方的车）
- J 衰落场景4：高速公路上面的视距，高速公路上面体现了车速移动速率非常快
- J 衰落场景5：高速公路上面的非视距，有一些阻挡、遮挡



图9 IEEE 802.11p定义的五种不同的衰落场景

802.11p在无线信道模型领域规定了五种不同的信道模型。不同的信道模型，在移动过程当中，通常都是符合瑞利分布的。

C-V2X通信

C-V2X技术推动力

车联网所采用的技术需支持多场景的业务需求，需要满足行车安全和交通效率。对于车辆主动安全，其通信要求满足如下两个条件：

- 1) 低时延，安全信息的传达必须具有最高优先级
- 2) 高可靠性，不允许安全数据包的丢失，支持不间断访问请求，及时切换和无缝连接。

LTE应用于车辆主动安全局限性明显。LTE设计模式和机制是面向人与人 (H2H) 通信，可支持传统车联网业务，但应用于基于V2X通信的车辆主动安全局限性明显

- 1) 要保证低时延，车载终端需采用永远在线的通信方式，浪费大量网络资源
- 2) 堵车等小范围聚集大量节点场景下，并发、频繁的实时数据交互，对空口信道造成压力，导致信道拥堵
- 3) 车辆节点的高移动性引起切换丢包问题，难保证可靠的通信链路和较低的通信时延
- 4) 每个车辆节点需频繁发送数据，蜂窝负载压力大

在4G如火如荼的建设潮中，LTE-Advanced Pro (4.5 G)席卷而来，峰值速率和吞吐量的技术潜力已得到充分发挥，4.5 G的发展重心转向物联网、车联网。LTE-V2X是3GPP针对车联网的第一个专有通信协议，为LTE-A国际标准三大研究方向之一。2015年2月和6月，3GPP SA1#69次会议开始了R14 LTE-V SI“基于LTE的V2X业务需求”的课题研究，标志着3GPP对LTE-V的标准化研究工作正式启动大唐基于自主研发的芯片级解决方案，于2016年11月发布了C-V2X车载终端和路侧通信测试设备，计划2017年底发布基于3GPP R14C-V2X的预商用通信模组，商用芯片研发计划已纳入日程：

- J 华为在2016推出支持C-V2X的车载终端原型机，计划2018年上半年提供C-V2X测试芯片；
- J 2017年9月1日，高通宣布C-V2X商用芯片组于2018年下半年出样；
- J 国际通信企业爱立信、英特尔、诺基亚等也积极推动C-V2X芯片和设备产业化；
- J 奥迪、丰田、上汽、长安、东风等车企纷纷联合通信企业开展C-V2X技术测试。

同时，我国于2015年启动了基于C-V2X技术的车联网频谱研究，2016年11月工业和信息化部正式划分 5905-5925MHz用于C-V2X技术试验，并通过北京-保定、重庆、浙江、吉林、湖北、上海、无锡等车联网示范区开展测试和实验验证，试验第一阶段已于2017年底前完成。中国智能交通部门联盟CITS和中国汽车工程师协会CSAE定义40个ITS用例：

- J 2016年多于40个组织开始开发ITS应用层
- J 2017年9月份发布应用层规范

根据目前产业发展状况，C-V2X有望于2018年实现规模试点或试商用。

C-V2X标准演进过程

2014年9月，LG向3GPP提交了LTE在V2X的通信应用的规范草案。随后Ericsson提交了增强LTE D2D接近服务的规范草案。2015年，3GPP的设立LTE for V2X研究专题并纳入Release 14，标志着LTE-V技术标准研究正式启动。C-V2X标准的演进如下图所示：

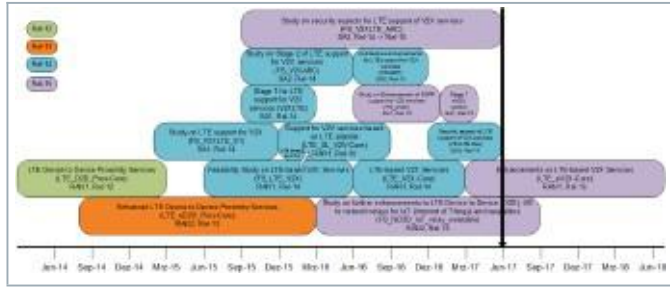


图10 3GPP定义C-V2X标准演进过程

C-V2X是由3GPP (3rd Generation Partnership Project) 定义的基于蜂窝通信的V2X技术，它包含基于LTE网络的LTE-V2X以及未来5G网络的NR-V2X系统，是DSRC技术的有力补充。它借助已存在的LTE网络设施来实现V2V、V2N、V2I、V2P的信息交互，这项技术最吸引人的地方是它能紧跟变革，适应于更复杂的安全应用场景，满足低延迟、高可靠性和满足带宽要求。

LTE-V是我国具有自主知识产权的V2X技术，华为、大唐为3GPP LTE-V标准化研究工作的主导方，是LTE-V标准化过程中SI(Study Item)和WI(Work Item)的主要报告起草人。

技术需求和标准化方面：2015年初，3GPP正式启动基于C-V2X的技术需求和标准化研究，2015年初3GPP需求工作组开展了C-V2X需求研究，3GPP无线技术工作组于2015年7月启动SI立项，于2016年6月完成结项；2016年初3GPP架构工作组启动C-V2X架构研究，于2016年底完成标准化。

J 5GAA及标准演进

2016年9月，电信行业与汽车行业的全球跨行业产业联盟—5G汽车通信技术联盟5GAA (5G Automotive Association) 成立，联盟的使命在于研发、实验和推动智能车联、智慧交通等万物互联所需的通信解决方案和应用，包括相关的标准化推进、商业机会挖掘，以及全球市场的拓展。5GAA发起方包括奥迪、宝马和戴姆勒以及五家电信通讯公司—爱立信、华为、英特尔、诺基亚、高通。目前已经有多家机构加盟该组织，已涵盖主要车企、运营商与设备商成员超过60。各公

司将在车联网通信解决方案的开发、测试、促进销售方面展开合作，并支持标准化，加快商用化和向全球市场推广。

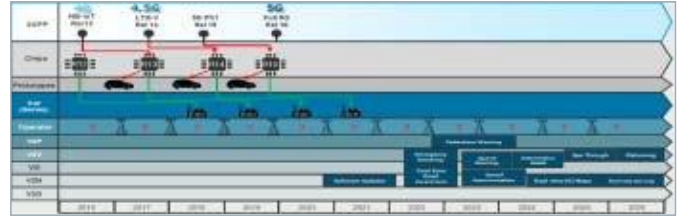


图11 5GAA定义5G V2X标准演进过程

LTE-V2X通信原理

D2D是基于蜂窝网络的端到端通信技术，距离较近的终端可不经基站中转而直接通信，D2D设备的接入认证、频带资源分配调度、通信时间和功率等则由基站进行控制。D2D通信中，每个终端都是一个网络节点，本质是一种自组网 (Ad Hoc)，具有低时延、邻近发现和支持高速移动等特性，应用于车联网车辆安全领域有先天优势。

车辆向基站提出D2D通信请求，基站接收后传输至MME，MME进行身份认证后，建立通信链路并分配传输IP地址，将用户的通信方式切换到D2D，实现信息共享、发现、广播、交换。在非基站覆盖场景下，亦可进行D2D通信，达到暂时的安全保护，但支持的车辆容量相对较小，效率不如基站覆盖场景下高。

因此，3GPP在2016年6月发布的LTE-V架构规范 (TR 23.785) 中，给出了LTE-V2X的通信架构。在V2V、V2I、V2P之间将支持点对点、点对多点的短距离设备直接通信的增强PC5接口；同时V2X的终端支持移动通信网络空中Uu接口，满足广域通信需求。

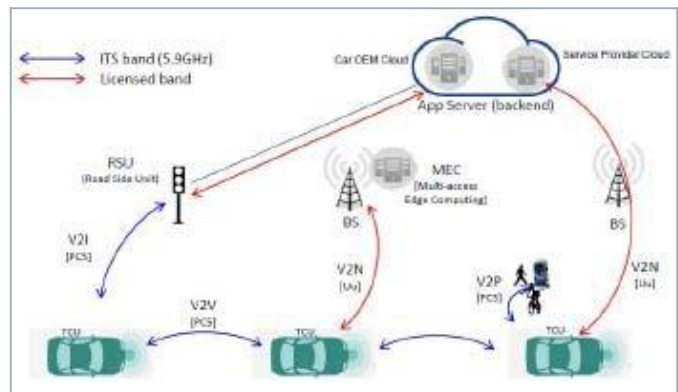


图12 LTE-V2X通信网络架构

LTE-V2X一般由三部分组成：车载单元OBU、路测单元RSU、行人、基站eNB、云服务器等。

LTE-V2X针对车联网应用场景，定义了两种通信方式：集中式 (LTE-V-Cell) 和分布式 (LTE-V-Direct)。其中，LTE-V-Cell也称广域蜂窝式，LTE-V-Direct也称短程直通式，分别对应3GPP标准中的基于Uu接口和PC5接口中的网络架构。3GPP定义了三种LTE-V2X工作场景：

J 应用场景1：仅PC5接口通信

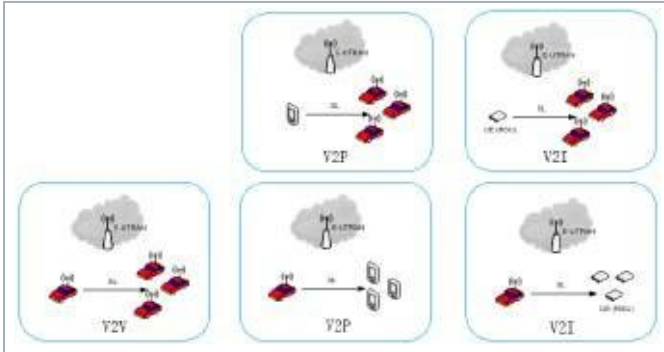


图13 LTE-V2X通信应用场景1-仅PC5接口

可独立于蜂窝网络，引入LTE-D2D通信方式，实现V2V、V2I低时延、高可靠的直接通信，满足行车安全需求。PC5接口定义了车辆之间的直接通信方式，其信道、参考信号和资源处理将会与以往工作模式有所不同。在无网络部署的区域通过PC5接口提供车联网道路服务，满足行车安全需求。在有蜂窝网络覆盖的场景下，数据传输可以在Uu接口和PC5接口之间进行灵活的无缝切换。PC5接口在3GPP R12版本上进行了多方面的增强，支持车辆之间的车辆动态信息（例如位置、速度、行驶方向等）的快速交换和高效的无线资源分配机制。

2015年12月，3GPP发布LTE-V的正式需求规范 (TR 22.185)，确定的LTE-V2V (部分适用于V2I) 具体需求指标为：

- 1) 最大时延在100 ms 以内，面向V2V防撞场景为20 ms；
- 2) 典型覆盖范围：4s响应距离以内；
- 3) 典型数据包大小50-400字节，最大数据包大小1200字节以内；
- 4) 最大发送频率为10 Hz，即每秒十次；
- 5) 最大支持相对车速为250 km/h。

J 应用场景2：仅Uu接口

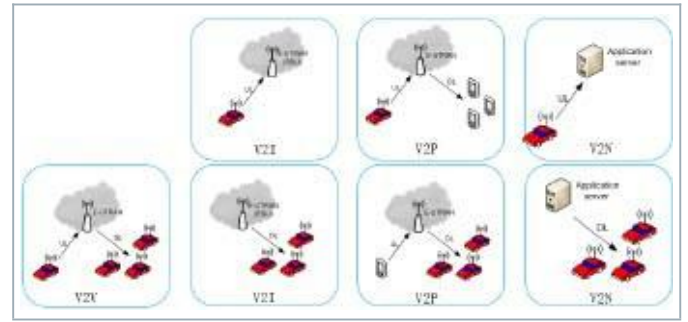


图14 LTE-V2X通信应用场景2-仅Uu接口

需要基站作为控制中心，车辆与基础设施、其他车辆之间需要通过将数据在基站进行中转来实现通信，支持大带宽、大覆盖通信，满足Telematics应用需求。LTE-V2X的Uu接口在LTE的Uu接口基础上进行了针对性的增强，例如优化了LTE广播多播技术来有效支持车联网这种广播范围小且区域灵活可变的业务，对控制信道进行裁剪以便进一步降低延迟。其需要达到的性能指标如下：

LTE峰值速率上行50 Mbps，下行100 Mbps，控制面时延≤100 ms，支持车速120-350 km/h，覆盖范围几百米至1km。相比LTE，LTE-V-Cell峰值速率大幅提升，时延更短，支持更高的移动性。LTE-V-Cell传输带宽最高可扩展至100 MHz，峰值速率上行500 Mbps，下行1 Gbps，时延用户面时延≤10ms，控制面时延≤50 ms，支持车速500km/h，覆盖范围与LTE类似。

J 应用场景3：同时支持PC5接口和Uu接口

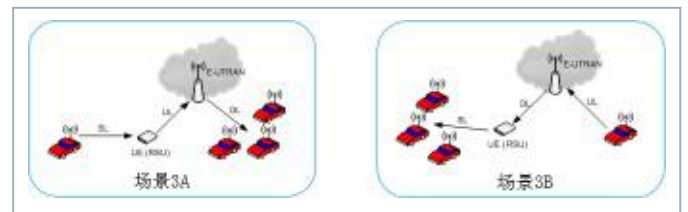


图15 LTE-V2X通信应用场景3-同时支持PC5接口和Uu接口

LTE-V2X通信频段

(1) 单载波场景

3GPP TR 36.785定义了LTE-V2X的通信频段PC5接口协议，仅用于V2V通信，主要采用E-UTRA 47专用载波频段，信道带宽有10 MHz和20 MHz两种情况。如：

E-UTRA V2X band/V2X channel bandwidth						
E-UTRA V2X Band	1.4 MHz	3 MHz	5 MHz	10 MHz	15MHz	20 MHz
47				Yes		Yes

E-UTRA V2X Band	E-UTRA Operating Band	V2X UE transmit	V2X UE receive
		$F_{UL,low} - F_{UL,high}$	$F_{DL,low} - F_{DL,high}$
47 ^{Noth 1}	47	5855 MHz - 5925 MHz	5855 MHz - 5925 MHz

Note1: The ITS spectrum is used for V2X service

图16 LTE-V2X通信单载波工作频段

(2) 多载波带间共存场景

根据规范，LTE-V2X的多载波带间共存有E-UTRA 47/3/7/8/39/41总共6个频段，如下：

E-UTRA Operating Band	V2X Operating Band	V2X UE transmit		V2X UE receive		Duplex Mode	Interface
		$F_{UL,low} - F_{UL,high}$	$F_{UL,low} - F_{UL,high}$	$F_{DL,low} - F_{DL,high}$	$F_{DL,low} - F_{DL,high}$		
47	47	5855 MHz - 5925 MHz	5855 MHz - 5925 MHz	5855 MHz - 5925 MHz	5855 MHz - 5925 MHz	TDD	PC5
3	3	1710 MHz - 1785 MHz	1710 MHz - 1785 MHz	1805 MHz - 1880 MHz	1805 MHz - 1880 MHz	FDD	Uu
7	7	2500 MHz - 2570 MHz	2500 MHz - 2570 MHz	2620 MHz - 2690 MHz	2620 MHz - 2690 MHz	FDD	Uu
8	8	880 MHz - 915 MHz	880 MHz - 915 MHz	925 MHz - 960 MHz	925 MHz - 960 MHz	FDD	Uu
39	39	1880 MHz - 1920 MHz	1880 MHz - 1920 MHz	1880 MHz - 1920 MHz	1880 MHz - 1920 MHz	TDD	Uu
41	41	2490 MHz - 2590 MHz	2490 MHz - 2590 MHz	2490 MHz - 2590 MHz	2490 MHz - 2590 MHz	TDD	Uu

图17 LTE-V2X通信多载波工作频段

在上述的6个频段中，针对多载波频段共存的应用，都需要和47号频段共存，如下图所示：

V2X concurrent configuration	Operating Band	Interface	Uplink (UL) operating band		Downlink (DL) operating band		Duplex Mode
			BS receive	UE transmit	BS transmit	UE receive	
			$F_{UL,low} - F_{UL,high}$	$F_{UL,low} - F_{UL,high}$	$F_{DL,low} - F_{DL,high}$	$F_{DL,low} - F_{DL,high}$	
V2X_3-47	3	Uu	1710 MHz - 1785 MHz	1710 MHz - 1785 MHz	1805 MHz - 1880 MHz	1805 MHz - 1880 MHz	FDD
	47	PC5	5855 MHz - 5925 MHz	5855 MHz - 5925 MHz	5855 MHz - 5925 MHz	5855 MHz - 5925 MHz	TDD
V2X_7-47	7	Uu	2500 MHz - 2570 MHz	2500 MHz - 2570 MHz	2620 MHz - 2690 MHz	2620 MHz - 2690 MHz	FDD
	47	PC5	5855 MHz - 5925 MHz	5855 MHz - 5925 MHz	5855 MHz - 5925 MHz	5855 MHz - 5925 MHz	TDD
V2X_8-47	8	Uu	880 MHz - 915 MHz	880 MHz - 915 MHz	925 MHz - 960 MHz	925 MHz - 960 MHz	FDD
	47	PC5	5855 MHz - 5925 MHz	5855 MHz - 5925 MHz	5855 MHz - 5925 MHz	5855 MHz - 5925 MHz	TDD
V2X_39-47	39	Uu	1880 MHz - 1920 MHz	1880 MHz - 1920 MHz	1880 MHz - 1920 MHz	1880 MHz - 1920 MHz	TDD
	47	PC5	5855 MHz - 5925 MHz	5855 MHz - 5925 MHz	5855 MHz - 5925 MHz	5855 MHz - 5925 MHz	TDD
V2X_41-47	41	Uu	2490 MHz - 2590 MHz	2490 MHz - 2590 MHz	2490 MHz - 2590 MHz	2490 MHz - 2590 MHz	TDD
	47	PC5	5855 MHz - 5925 MHz	5855 MHz - 5925 MHz	5855 MHz - 5925 MHz	5855 MHz - 5925 MHz	TDD

图18 LTE-V2X通信多载波频段共存配置

LTE-V2X传输模式

3GPP RAN#73会议上，列举了以下两种用于V2V通信的传输模式。

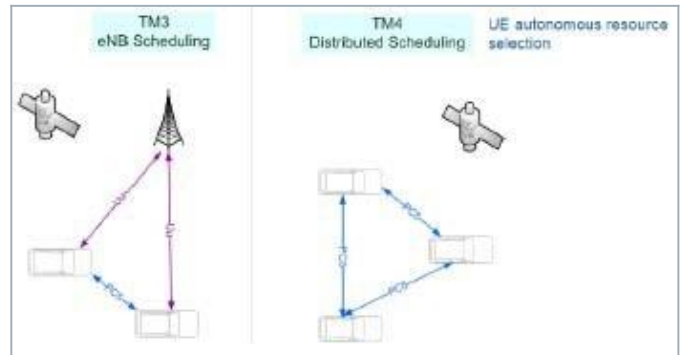


图19 LTE-V2V两种传输模式

J 传输模式TM3

借助基站eNB，通过控制信令接口Uu实现V2V数据的调度和接口管理。在这种情况下，采用动态的方式进行资源的调度，车车间采用PC5接口通信。利用全球导航卫星系统 (GNSS) 进行时间同步。

J 传输模式TM4

V2V数据的调度和接口的管理是基于车车间的分布算法实现。另外，资源的分配依赖地理信息的新机制-Zones。利用全球导航卫星系统 (GNSS) 进行时间同步。

RFID技术

RFID (Radio Frequency Identification) 技术又称电子标签、无线射频识别，是一种无线通信技术，可通过无线电信号识别特定目标并读写相关数据。车作为车联网中的信息节点，要实现与路、站场的信息交互，必须要有一个身份标识，而RFID技术是目前解决该问题最为成熟和经济的手段。在车辆上安装电子标签，可以实现道路、桥梁、停车场自动收费，结合道路上安装的RFID天线可以实现动态交通信息采集，如车辆的流量、流速等。目前国内应用最为广泛的是道桥和站场的自动收费，如广东高速联网收费系统、武汉路桥ETC收费系统，以及在建的武汉智能停车综合管理系统，都是以射频识别技术为基础的。

RFID系统主要由三部分组成，如下图所示：



图20 RFID系统组成

其中，各个部分的功能如下：

- J 标签 (Tag)：由IC芯片及一些耦合元件组成，标签含有内置天线，用于和射频天线间进行通信
- J 阅读器 (Reader，也叫读写器)：读取电子标签信息的设备。许多阅读器还带有附加的接口RS232或RS485等与外部计算机(上位机 主系统)连接，进行数据交换
- J 计算机：进行数据管理

蜂窝通信技术

车联网作为未来智能交通系统和自动驾驶的关键技术，可以全程监控每辆车和每条道路，进而改善交通效率，提高交通安全，提供更加愉悦的乘车体验。车联网的实现需要车辆之间频繁及时可靠的信息交互，因此选定合适的无线通信技术则显得极为重要。

车联网无线通信技术主要依赖两种技术：短距离无线通信和远距离的移动通信。前者主要是RFID和WiFi等短距离通信技术，专门针对车辆运动特性和时延敏感特性制定，在车辆密度适当的环境下可以提供可靠的安全信息传输服务，可以通过无线射频设备感知识别对象目标，并获取数据。而后者主要是2G/3G/4G/5G等蜂窝移动通信技术，目前车联网主要采用4G/5G蜂窝网。随着大数据、云计算、无线通信技术的快速发展，为车联网的具体服务应用提供了坚实的网络支撑。

蜂窝通信在车联网中扮演的作用，主要有如下几种情况：

- J V2X信息的传递和共享
- J 智能车路协同发展，离不开蜂窝网络通信
- J 结合MiFi (Mobile WiFi) 等设备，通过蜂窝网络连接，实现车内WiFi无线上网
- J 蜂窝移动通信技术的不断演进，可以满足车联网高密度、高复杂性的应用场景

GNSS卫星导航技术

GNSS定位系统是车载导航定位系统的关键技术，车载GNSS导航定位系统的应用由于车联网市场、无人驾驶的出现，车载导航的需求也在不断增加，正在全球迅速发展。车载GNSS导航定位系统的功能将会越来越完善，精度越来越高，从最初的标准定位SPS需求，发展到现在的高精度定位PPS需求。

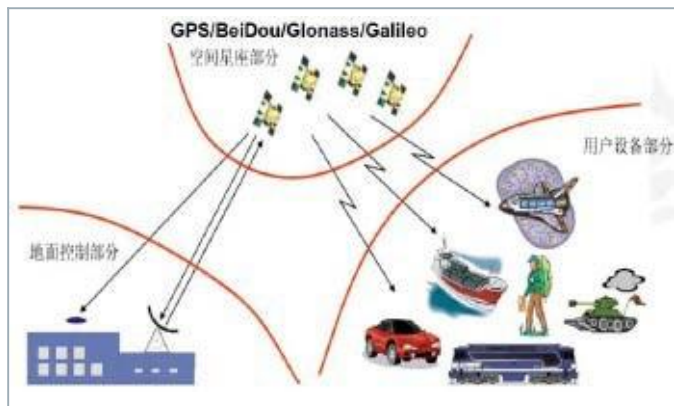
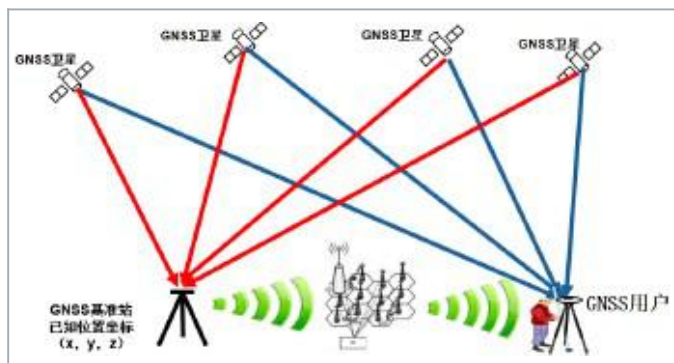


图21 GNSS系统组成

GNSS卫星导航技术在车联网中的应用，除了基本的车载导航应用外，主要提供位置信息、速度信息和时间信息，还会涉及高精度卫星导航定位PPS。其高精度导航定位的主要应用场景如下：

-] 位置信息为实现车联网业务的提供重要参考，位置信息越准确，车联网业务可靠性越高。因此，高精度定位PPS是实现车联网业务的关键技术之一
-] 对于自动驾驶的实现路径，LiDAR、毫米波雷达、摄像头、高精度地图这几类传感器可互相弥补短板，在可靠性方面实现互补。但这种组合依然有其不可预测的盲区，这时需要高精度卫星导航定位；在自动驾驶系统使用的传感器中，GNSS是所有传感器中唯一能输出绝对时间、位置和速度的传感器，而且价格相对较低



22 DGNSS/RTK接收机工作原理框图

差分定位接收机DGNSS: Differential GNSS。利用设置在坐标已知的点（基准站）上的GNSS接收机测定GPS测量定位误差，用以提高在一定范围内其它GNSS接收机（流动站）测量定位精度的方法。

载波相位动态实时接收机RTK: Real - Time Kinematic。是实时处理两个测量站载波相位观测量的差分方法，将基准站采集的载波相位发给用户接收机，进行求差解算坐标。这是一种新的常用的GNSS测量方法，以前的静态、快速静态、动态测量都需要事后进行解算才能获得厘米级的精度，而RTK是能够在野外实时得到厘米级定位精度的测量方法，它采用了载波相位动态实时差分方法，是GNSS应用的重大里程碑。本身是差分定位接收机，只是校正数据通过移动网络或私有网络实时传输到GNSS用户，而不像普通的差分定位接收机是通过将校正数据拷贝到测量接收机里面，一般RTK接收机具备载波相位测距功能。

汽车中的WLAN无线通信

WLAN无线通信涉及的标准比较多，包括IEEE 802.11a/b/g/n、IEEE 802.11ac/ad等，涉及的频率范围主要有2.4GHz频段和5GHz频段：

J 2.4 GHz频段信道划分

共14个信道，相邻信道间隔为5 MHz (特例：信道14是特别针对日本所定义，与信道13的间隔为13 MHz)。信号带宽：22 MHz，整个频段中只有三个互不重叠的物理信道。

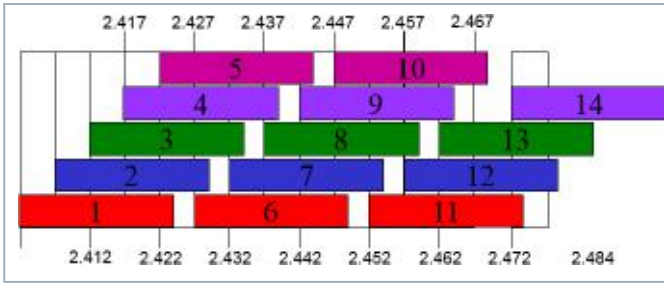


图23 WLAN无线通信之2.4 GHz频段信道划分

2.4 GHz无线技术，是一种短距离无线传输技术，2.4 GHz是全世界公开通用使用的无线频段，在2.4 GHz频段下工作可以获得更大的使用范围和更强的抗干扰能力，目前广泛应用于家用及商用领域。

J 5 GHz频段信道划分

总共涉及5.15~5.25 GHz、5.25~5.35 GHz、5.725~5.825 GHz三个频段，共300 MHz的射频信道，其中两个相邻WLAN物理信道中心频率相距20 MHz，信道带宽：16.6 MHz。每个工作信道与相邻信道都不重叠，不产生干扰。

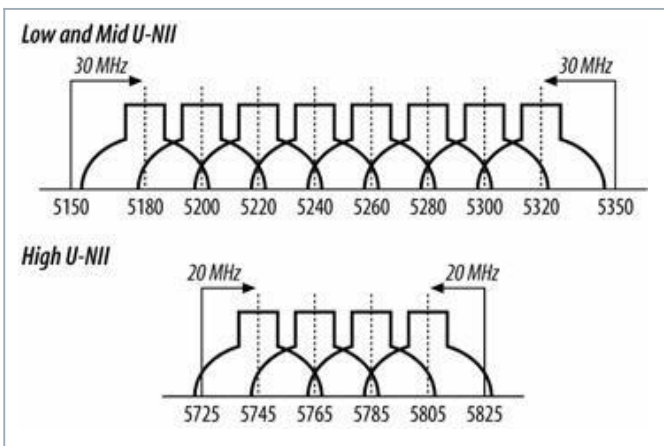


图24 WLAN无线通信之5 GHz频段信道划分

汽车中的Bluetooth无线通信

蓝牙Bluetooth，是一种工作在免费的ISM频段的短距离无线通信技术，在各种设备之间实现灵活、安全、低成本、低功耗的语音和数据通信。它采用自适应跳频技术，可以和多种无线通信共存于ISM频段。

系统工作于2.4 GHz ISM频段：2400~2483.5 MHz，采用40个射频信道，这些射频信道的中心频率按 $2402+k \times 2$ MHz ($k=0, \dots, 39$) 规则运行。如下图所示：

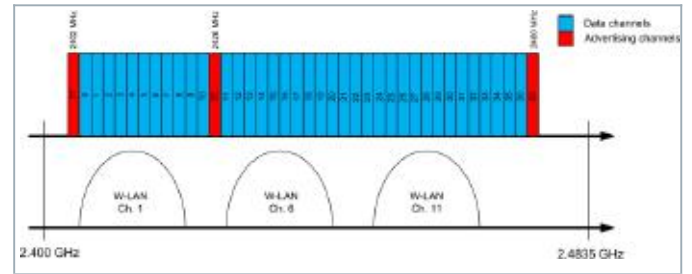


图25 Bluetooth无线通信频段划分

汽车中的NFC近场通信

近场通信NFC (Near Field Communication)是一种短距低频的无线电技术，在13.56MHz频率运行于10厘米距离内。其传输速度有106 Kbit/秒、212 Kbit/秒或者424 Kbit/秒三种。这个技术由非接触式射频识别 (RFID) 演变而来，由飞利浦半导体 (现恩智浦半导体)、诺基亚和索尼共同研制开发，其基础是RFID及互连技术。近场通信已通过成为ISO/IEC IS 18092国际标准、EMCA-340标准与ETSI TS 102 190标准。NFC系统包括主动轮询单元Polling Device和被动监听单元Listening Device两种。

最早将NFC与汽车联系起来，其实要倒推到2010年，在诺基亚联合手机制造商与汽车制造商成立汽车互联联盟CCC (Car Connectivity Consortium)的时候。此时，CCC的目标之一就是能够制定出普适的标准，推行NFC在汽车上的应用。典型的应用如：汽车无钥匙进入、汽车无线支付、无线投屏、车载终端无线充电等等。

NFC工作模式

NFC有三种工作模式：NFC-A，NFC-B，NFC-F。三种方式的特点如下：

图26 NFC工作模式

NFC Type		Coding	Modulation	Data rate	Frequency
NFC-A	Uplink	Modified Miller	2-ASK 100%	106 kbit/s	13.56 MHz
	Downlink	Manchester	Load modulation (ASK)	106 kbit/s	13.56 MHz ± 848 kHz subcarrier
NFC-B	Uplink	NRZ-L	2-ASK 10%	106 kbit/s	13.56 MHz
	Downlink	NRZ-L	Load modulation (BPSK)	106 kbit/s	13.56 MHz ± 848 kHz subcarrier
NFC-F	Uplink	Manchester	2-ASK 10%	212/424 kbit/s	13.56 MHz
	Downlink	Manchester	Load modulation (BPSK)	212/424 kbit/s	13.56 MHz

车联网测试解决方案

根据上文提到的车联网的介绍，本章主要介绍车联网中所涉及的各种无线通信测试，包括：DSRC、C-V2X、2G/3G/4G/5G、GNSS、WLAN、Bluetooth和NFC等。

DSRC/IEEE 802.11p测试解决方案

罗德与施瓦茨提供专用设备针对IEEE 802.11p测试信号的产生和分析，包括研发测试方案、产线测试方案和一致性测试方案，如下图所示：



图27 DSRC/IEEE 802.11p测试方案一览

DSRC/IEEE 802.11p研发测试方案

针对研发测试，罗德与施瓦茨公司提供高端的信号源和频谱仪方案，用于验证802.11p模块的性能测试，包括发射机测试和接收机测试，其中，SMW200A用于接收机测试，FSW用于发射机测试，针对802.11p模块的GNSS测试，可以使用SMBV100A或者SMW200A测试。

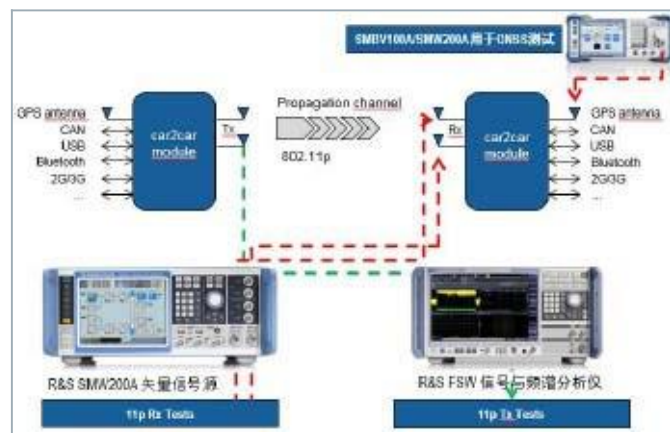


图28 DSRC/IEEE 802.11p研发测试方案框图

DSRC/IEEE 802.11p发射机测试

发射机的测试可分为两部分：调制质量和频谱质量。其中频谱质量需要使用FSW/FSV-K91p选件完成测试，测试内容包括：频谱发射模板SEM、杂散发射、占用带宽OBW、邻道功率泄露比ACLR等；调制质量包括：EVM、频谱平坦度、载波泄露等。

J 频谱发射模板SEM：测试802.11p模块发射信号在规定频段内信号功率分布情况；

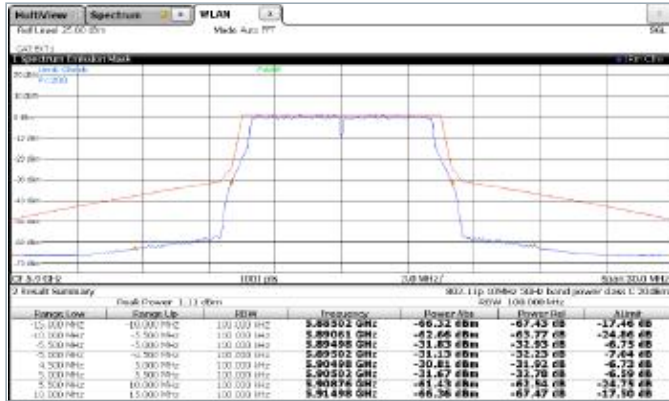


图29 DSRC/IEEE 802.11p频谱发射模板测试

J 杂散发射：除去带外辐射，由谐波、寄生辐射、交调及频率变换等引起的无用辐射效应；

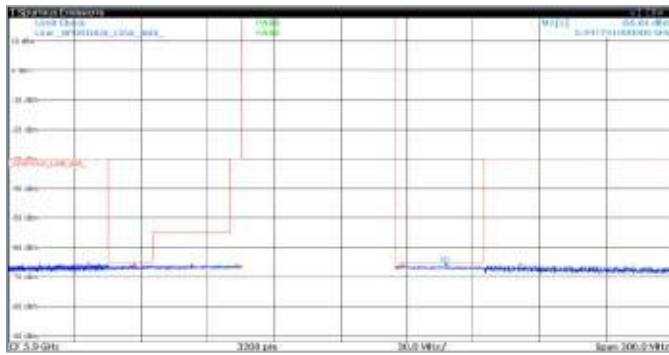


图30 DSRC/IEEE 802.11p杂散发射测试

J EVM：主要针对802.11p的信号分析，采用FSW/FSV-K91p选件可直接完成测试

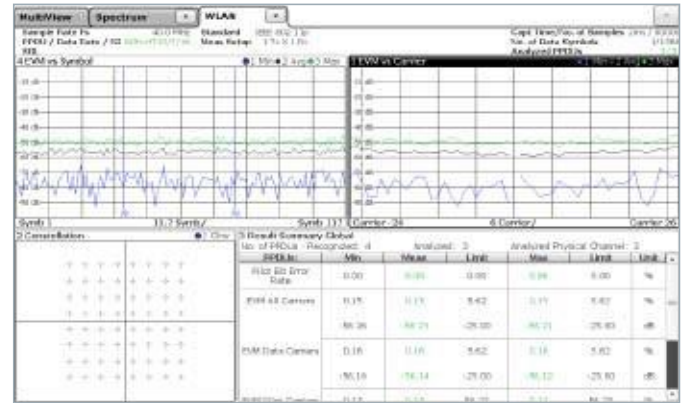


图31 DSRC/IEEE 802.11p EVM测试

J 频谱平坦度：主要验证每个子载波的幅度平坦度特性

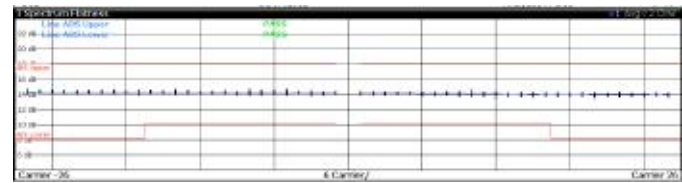


图32 DSRC/IEEE 802.11p 频谱平坦度测试

J 载波泄露：802.11p没有使用DC子载波，因此，载波泄露会影响DUT的效率

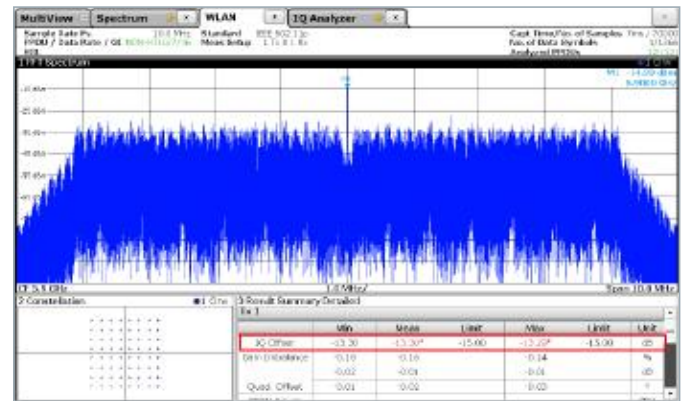


图33 DSRC/IEEE 802.11p 载波泄露测试

DSRC/IEEE 802.11p接收机测试

接收测试，主要使用矢量源SMW发送802.11p模块需要的调制信号，用于接收机的灵敏度以及抗干扰性能测试，保证802.11p模块正确的接收和解码。其测试内容包括：灵敏度、最大接收电平、邻信道抑制比、非邻信道抑制比、空闲信道评估CCA等。

针对802.11p的接收机测试，需要信号源产生用于测试的物理层信号配置和MAC帧配置，如下：

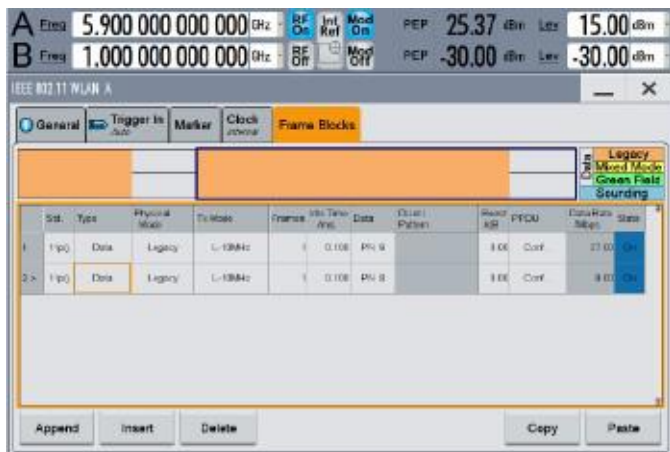


图34 DSRC/IEEE 802.11p信号物理层设置

J 接收灵敏度：验证802.11p模块在最小输入电平下的工作能力；根据规范ETSI EN 302 571的需求，802.11p模块按照不同调制方式下的接收灵敏度如下

Modulation	Coding Rate	20MHz (dBm)	10MHz (dBm)	5MHz (dBm)
BPSK	1/2	-82	-85	-88
BPSK	3/4	-81	-84	-87
QPSK	1/2	-79	-82	-85
QPSK	3/4	-77	-80	-83
16QAM	1/2	-74	-77	-80
16QAM	3/4	-70	-73	-76
64QAM	2/3	-66	-69	-72
64QAM	3/4	-65	-68	-71

图35 DSRC/IEEE 802.11p 接收灵敏度需求

J 最大输入功率：验证802.11p模块在大信号输入条件下的工作能力；根据规范ETSI EN 302 571的需求，802.11p模块在-30dBm功率下，误包率PER不能超过10%

J 邻信道/非邻信道抑制比：验证802.11p接收机在相邻信道或非相邻信道有干扰的情况下的工作能力；根据规范ETSI EN 302 571的需求，802.11p接收机在邻信道和非邻信道的抑制比需求如下

Modulation	Coding Rate	Adjacent channel rejection (dB)	Nonadjacent channel rejection (dB)
BPSK	1/2	28	42
BPSK	3/4	27	41
QPSK	1/2	25	39
QPSK	3/4	23	37
16QAM	1/2	20	34
16QAM	3/4	18	30
64QAM	2/3	12	26
64QAM	3/4	11	25

图36 DSRC/IEEE 802.11p 邻信道/非邻信道抑制比需求

J 空闲信道评估CCA：验证802.11p接收机判断信道是否被占用还是空闲的能力，如果被占用，802.11物理层将指示CCA为繁忙标识；测试方法如下：

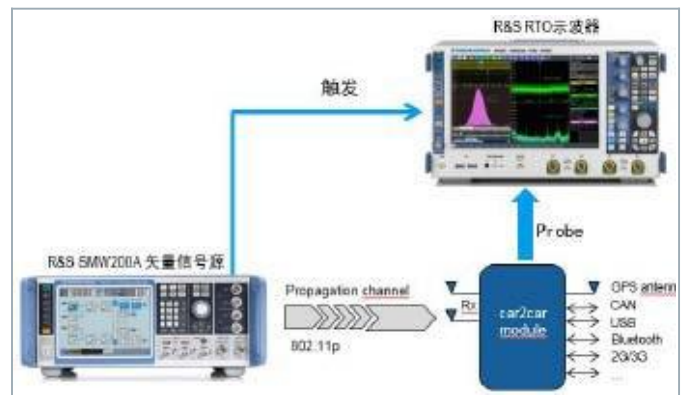


图37 DSRC/IEEE 802.11p空闲信道评估测试框图

DSRC/IEEE 802.11p衰落场景测试

汽车通信很关键的一点就是要验证在汽车移动过程当中的通信有效性。汽车在移动过程当中会带来多普勒平移和衰落，我们一定希望能够在实验室就可以模拟这样一个衰落场景和环境。SMW200A专门提供针对802.11p的衰落场景，如下：

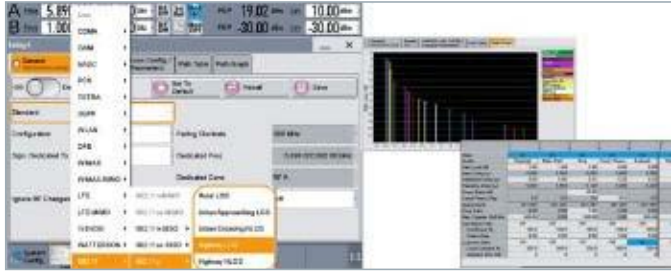


图38 DSRC/IEEE 802.11p衰落场景设置

DSRC/IEEE 802.11p一致性测试系统

罗德与施瓦茨公司的R&S ITS100测试系统，可以用于测试DSRC/IEEE 802.11p通信的一致性测试，基本配置包括：

- J R&S®SMW200A矢量信号源
- J R&S®FSV30矢量信号与频谱分析仪（可选FSW）
- J R&S®OSP-ITS 天线开关/合路器+滤波器
- J R&S®NRP-Z81, R&S®NRP-Z31功率计
- J Control PC, 线缆, 机柜

针对带有GNSS接收模块及特别需求的被测件，可以选配如下仪表：

- J R&S®SMBV100A GNSS卫星导航模拟器（可选SMW200A）
- J R&S®NGMO 电源（针对特殊条件及DUT自动化）

测试平台如下：



图39 DSRC/IEEE 802.11p一致性测试系统

罗德与施瓦茨公司的R&S ITS100测试系统，特色如下：

- J 业界第一个、且目前唯一的全自动化(802.11p)测试系统
- J 支持ETSI EN 302 571标准的R&TTE测试
- J 支持最新的RED测试
- J 支持C2CCC组织定义的多径衰落下性能测试

目前，该系统已经全面支持欧洲、美国、日本等国家的DSRC规范测试：

- J 欧洲-RF ITS ETSI EN regulatory test cases (RED):
Reference ETSI EN 302 571 V2.0.2
- J 欧洲-RF ITS C2CCC Performance test cases: Reference ETSI EN 302 571 V2.0.2
- J 美国-RF ITS IEEE test cases: Reference IEEE 802.11-2012
- J 日本-RF ITS TELEC test cases: Reference TELEC T257 (V2.0)
- J 日本-RF ITS ARIB test cases: Reference ARIB STD-T109 (V1.2)

DSRC/IEEE 802.11p产线测试方案

罗德与施瓦茨公司使用无线通信综测仪CMW500或CMW100结合TS7124屏蔽箱，可以用于802.11p技术的产线测试，如下图所示：



图40 DSRC/IEEE 802.11p产线测试（基于CMW500或CMW100平台）

方案的特色如下：

- J 紧凑型交钥匙测试解决方案，包括：校准、认证或终测；
- J 接收机、发射机和天线测试，包括：蜂窝通信和非蜂窝通信；
- J 测试时间优化，最大化产能设计；
- J 占用空间小、灵活性强；
- J 全自动化测试，远程控制方案；

DSRC/IEEE 802.11p 自动化测试方案

针对自动测试，罗德与施瓦茨公司提供R&S CONTEST 自动化测试软件，并结合开关OSP，可以用于上述测试方案的自动化测试方法，下图所示：

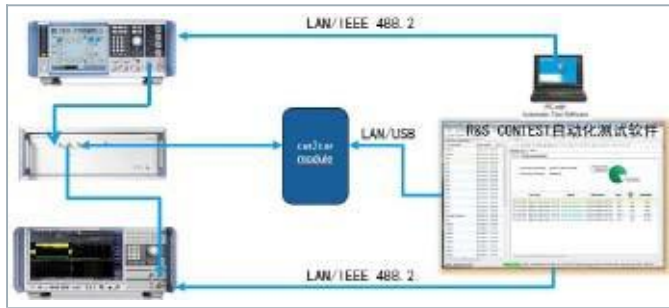


图41 DSRC/IEEE 802.11p 自动化测试框图

本方案同样可以用于CMW500/CMW100，或者经济型的SMBV+FSV/FPS测试平台。另外，开关OSP可以使用各种耦合器滤波器分离元器件代替。

C-V2X测试解决方案

目前的C-V2X标准，还不是特别完善，目前3GPP规定了LTE-V2X TM4的具体测试规范。由于C-V2X标准中，LTE-V2X-Cell蜂窝移动通信在其中扮演非常重要的作用，主要体现在传统车联网Telematics的应用上。因此，C-V2X的测试方案，主要从两个方面展开，一是传统车联网Telematics的测试，即LTE-V2X-Cell蜂窝通信的测试解决方案；另一个领域是目前规范探讨最成熟的LTE-V2V TM4的测试解决方案。

LTE-V2X-Cell研发测试方案

罗德与施瓦茨提供一整套完整的设备用于传统车联网Telematics的无线通信的测试，包括研发测试方案、产线测试方案和一致性测试方案，如下图所示：



图42 蜂窝通信设备测试方案一览

针对研发测试，罗德与施瓦茨公司提供高端的信号源和频谱仪方案，用于验证蜂窝通信模块的性能测试，包括发射机测试和接收机测试，其中，SMW200A用于接收机测试，FSW用于发射机测试，针对蜂窝通信模块的GNSS测试，可以使用SMBV100A或者SMW200A测试。

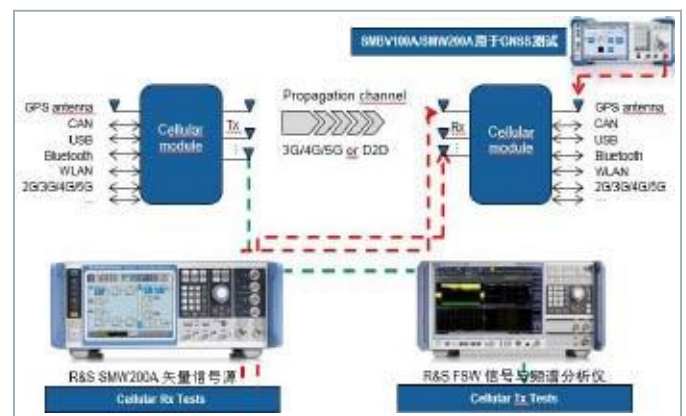


图43 蜂窝通信设备研发测试方案框图

LTE-V2X-Cell发射机测试

发射机的测试可分为两大部分：调制质量和频谱质量。其中，频谱质量需要使用FSW/FSV配置2G/3G/4G选项完成测试，测试内容包括：频谱发射模板SEM、杂散发射、占用带宽OBW、邻道功率泄露比ACLR等；调制质量包括：EVM、频谱平坦度、载波泄露等。

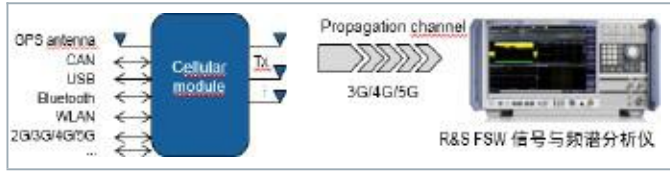


图44 蜂窝通信设备发射机框图

根据3GPP规范要求，本方案提供的测试项目如下：

- J 信道功率 (Channel Power)
- J ACLR, SEM, OBW, Spurious
- J 载波频率误差 (Carrier Frequency Error)
- J 符号时钟误差 (Symbol Clock Error)
- J 导频误码率 (Pilot BER)
- J EVM vs. Carrier/Symbol
- J IQ偏移和不平衡 (IQ offset & imbalance)
- J 群时延 (Group Delay)
- J PVT

R&S FSW/FSV频谱仪可以进行多任务测试，一次性完成2G/3G/4G等不同通信制式的测试，大大提高了测试的效率：



图45 FSW/FSV进行多任务测试

LTE-V2X-Cell接收机测试

接收测试，主要使用矢量信号源SMW发送GSM、WCDMA、LTE等通信信号，用于接收机的灵敏度以及抗干扰性能测试，保证蜂窝通信模块正确的接收和解码。其测试内容包括：灵敏度、邻信道抑制比、阻塞特性、动态范围、MIMO和Beamforming特性测试以及衰落场景下的性能评估等。



图46 蜂窝通信设备接收机测试框图

根据3GPP规范要求，本方案可以提供的测试项目如下：

- J 基本的接收测试
 - 参考灵敏度 (Sensitivity)
 - 动态范围 (Dynamic Range)
 - 阻塞特性 (Blocking)
 - 在信道选择性 (ICS)
 - 衰落影响 (Fading)
 - 邻信道选择性 (ACS)
 - MIMO、Beamforming测试

J 衰落条件下的接收测试

- 可重复性的实时信道衰落
- 预定义3GPP 2G/3G/4G衰落场景
- 支持自定义衰落场景，可配置速度、多径数和衰落模型
- 单表支持MIMO、Beamforming衰落模拟

LTE-V2X-Cell 5G NR测试方案

5G的测试，需要高频、高带宽的仪表才能进行测试，罗德与施瓦茨公司提供一整套的关于5G的测试，其中，包括研发测试、产线测试、Sub 6GHz的测试、毫米波测试、Massive MIMO测试等内容，如下：



图47 蜂窝通信设备5G NR测试方案一览

LTE-V2X-Cell产线测试方案

罗德与施瓦茨公司的CMW平台可以一键完成发射机和接收机的测试，同时，在信令模式下，不需要控制芯片，只需要和产品保持信令连接即可完成测试，如下图所示，CMW500一键完成LTE通信的发射机和接收机测试结果截图：

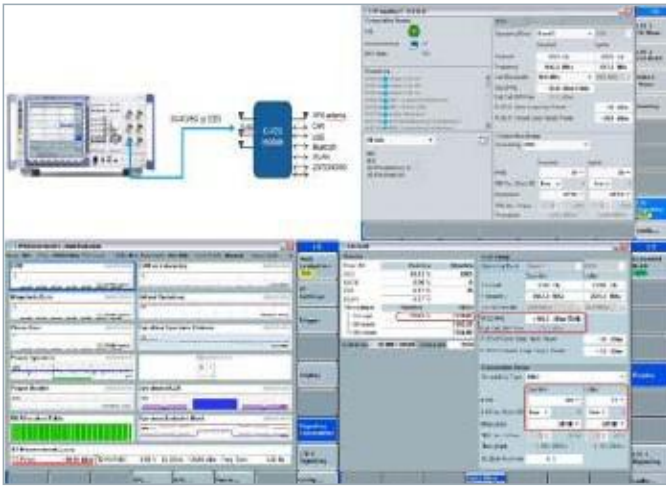


图48 LTE信令模式下的连接和一键测试功能

5G Sub 6 GHz的测试、可以使用CMW100直接完成测试，其特点如下：

- J 连续频率覆盖6 GHz，带宽高达160 MHz
- J 多种通信制式集合，支持蜂窝和非蜂窝 (GSM, WCDMA, LTE, WLAN, BT, other)
- J 可并行测试8个射频端口
- J 高的测量性能和测量精度
- J 支持宽范围的速度优化，减少测试时间，优化测试效率

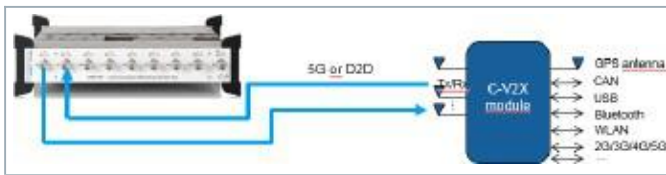


图49 5G NR非信令模式下测试框图

LTE-V2X-Cell一致性测试方案

罗德与施瓦茨公司的 TS8980测试系统，可以用于测试蜂窝通信设备的一致性认证测试。业界唯一的GSM、WCDMA、LTE测试平台，通过集成和升级CMW综测仪，可轻松升级至5G测试方案，同时，该测试系统提供用户界面友好、功能强大的R&S CONTEST测试软件，用于一致性认证的自动化测试，如下：

- TS8980系统功能强大，有如下特点：
 - J LTE (Rel. 8 and Rel. 9) and LTE-Advanced (PRO)
 - J WCDMA (Rel. 99 to Rel. 9 incl. HSPA, R7 MIMO, (DB-)DC-HSDPA)
 - J GSM (Rel. 99 to Rel. 9 incl. GPRS, EDGE, DARP, VAMOS)
 - J 支持运营商可接受的定制测试计划 VzW, at&t, Sprint, USCC, CMCC, CT...
 - J 支持法规测试 acc. to R&TTE / RED and TELEC
 - J 用户界面友好、功能强大的 R&S CONTEST 软件
 - J 并行测试
 - J Optional RRM / IRAT: LTE FDD, LTE TDD, WCDMA, GSM, C2K, TD-SCDMA
 - J 根据此方案，用户可按照3GPP规范的需求，完成所有测试，如下：

RAI	Spec. No.	Topic
	TS 25.132	Speech and video telephony terminal acoustic test specification
GSM	TS 51.019	RF & RRM & Protocol & GNSS
WCDMA	TS 34.121	RF & RRM test (FDD)
WCDMA	TS 34.121	Protocol Test
TD-SCDMA	TS 34.122	RF & RRM test (TDD)
WCDMA	TS 34.171	Assisted Global Positioning System (A-GPS); (FDD)
WCDMA	TS 34.172	Assisted Global Navigation Satellite Systems (A-GNSS); (FDD)
WCDMA	TS 34.229	Internet Protocol multimedia call control protocol based on Session Initiation Protocol (SIP) and Session Description Protocol (SDP)
LTE	TS 36.521-1	RF conformance test
LTE	TS 36.521-3	RRM conformance test
LTE	TS 36.523	Protocol conformance test
LTE	TS 36.571	UE positioning conformance test

图50 蜂窝通信设备一致性认证测试规范一览

在暗室或者屏蔽房进行测试，优势可以屏蔽外界干扰，同时校准空中电平损耗。另外，由于车载导航接收机本身的尺寸并不大，因此，可以使用DST200屏蔽房或者TS7124屏蔽室等完成。

车载导航的接收机测试，包括：标准的接收机性能测试、特殊条件下的接收机测试、特殊事件测试以及先进的接收机测试方案，如下图所示：



图57 车载导航接收机测试项目

RTK GNSS接收机测试

RTK GNSS接收机具备高精度定位功能，大多数都会采用双频/多频接收机的定位方式，目的是提高定位精度。其测试框图如下：



图58 DNSS/RTK接收机测试框图

eCall/ERA-GLONASS测试

eCall/ERA-Glonass测试框图如下：

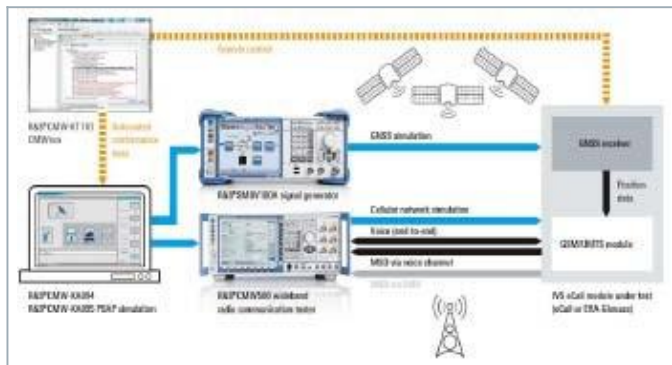


图59 eCall/ERA-Glonass测试框图

系统模拟在任何eCall/ERA-GLONASS测试规范中都是一项关键技术，有助于确保测试例的精确重现，并且使组件研发团队能够利用自动化的可重复测试，对性能开展可靠的基准测试。

车联网LBS测试

车联网LBS定位，主要是基于蜂窝通信网络获取终端的大致位置信息，然后快速搜索卫星信号，提供定位时间和定位精度。罗德与施瓦茨公司提供的基于SMBV卫星导航模拟器和CMW无线通信综测仪平台相结合的方式，完成TS-LBS测试，其测试框图如下：

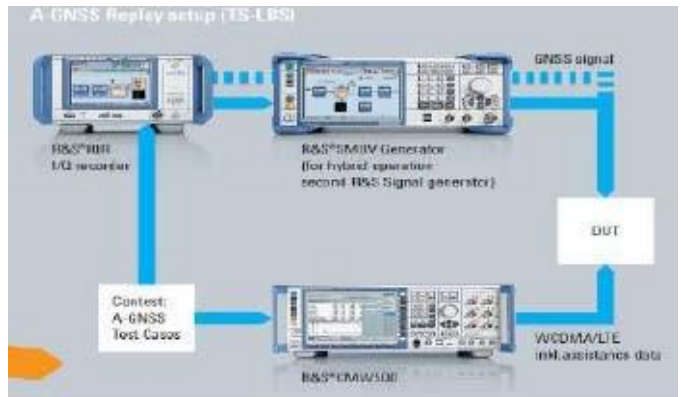


图60 车联网TS-LBS测试框图

GNSS RED测试

RED – 新的无线电设备规程，自2016年6月13日起全面取代旧的 RTTED 1999/5/EC，即R&TTE规程，转换期为1年，也即2017年6月13日起强制执行，参考规范ETSI EN 303 413。其测试框图如下：

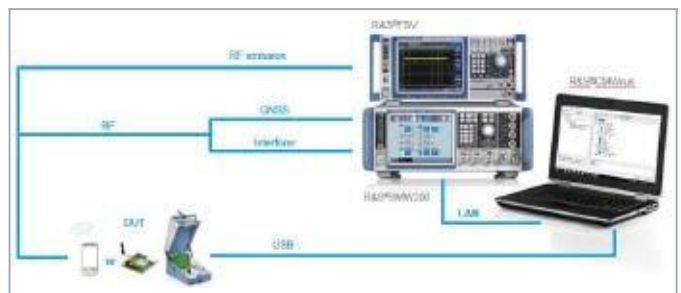


图61 车载导航RED测试框图

车内无线连接测试

汽车内部无线连接，主要包括WLAN、Bluetooth和NFC等几种无线通信方式。罗德与施瓦茨公司提供符合测试规范需求的各种等级的测试方案，包括：研发非信令测试、研发信令测试及线测试三种方案，如下示：



图62 车内无线连接测试方案一览

WLAN测试

WLAN的测试，主要基于CMW500平台，可以提供信令的快速连接及一键测试，其测试框图如下：

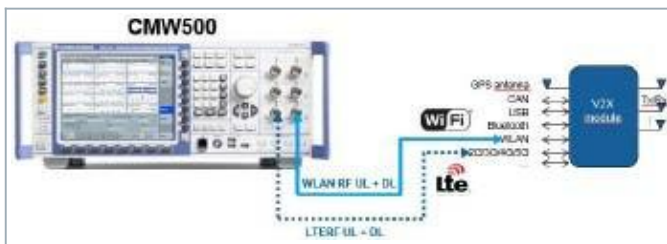


图63 车内WLAN无线连接测试框图

CMW500可提供WLAN发射机和接收机的测试结果，如下：

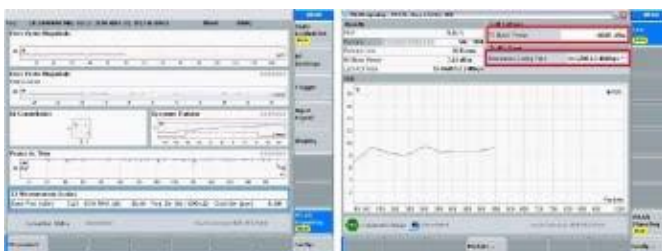


图64 车内WLAN无线连接测试结果显示

Bluetooth测试

Bluetooth的测试，同样基于CMW500平台，可以提供信令的快速连接及一键测试，其测试框图如下：



图65 车内Bluetooth无线连接测试框图

CMW500可提供蓝牙的发射机和接收机测试结果，如下：



图66 车内Bluetooth无线连接测试结果显示

上述是通过CMW进行蓝牙综测间接反映蓝牙的无线射频性能高，不过针对蓝牙语音通信，可以直接通过语音质量评估MOS打分，直接获取蓝牙语音通信性能。如下图所示：



图67 车内蓝牙语音质量评估框图

WLAN及Bluetooth一致性认证测试

R&S TS8997无线连接测试认证系统，符合ETSI EN 300328 V1.8.1/V1.9.1(2.4GHz频段)和ETSI EN 301893 V1.7.1/V1.8.1(5GHz频段)的认证测试，包括：WLAN 802.11a/b/g/n/ac和Bluetooth的测试。

R&S TS8997基本平台是信号源和频谱仪组成，为了符合WLAN和Bluetooth的一致性认证测试，可以在机柜里面配置CMW500平台，提供信令的快速连接及一键测试，其测试框图如下：



图68 车内WLAN级Bluetooth无线连接一致性认证测试

R&S®TS8997可测量2.4 GHz和5 GHz频段范围内的宽带无线设备 (例如带有无线电接口的设备) 中通常采用的技术，包括WLAN 802.11a/b/g/n/ac和Bluetooth无线通信技术。该测试系统可满足的测试需求，如下：

J 符合ETSI EN 300 328的测试用例

射频输出功率
占空比, Tx系列, Tx-间隙
驻留时间、最小频率占用、跳频系列 (仅适用于跳频DUT)
跳频分离
煤质利用 (Medium Utilization-MU) 因子
自适应
占用信道带宽
发射机带外辐射干扰
发射机杂散辐射干扰
接收机杂散
接收机阻塞
地理定位能力

J 符合ETSI EN 301 893的测试用例

载频精度
占用信道带宽
射频输出功率, 发射功率控制 (TPC), 功率谱密度
发射机杂散
接收机杂散
动态频率选择 (DFS)
自适应
接收机阻塞
用户访问限制
地理定位能力

NFC测试

NFC的测试，包括轮询模式测试和监听模式测试，主要基于信号源SMBV、频谱仪FSV/FSW(或者示波器RTO)，结合自动测试软件FS-K112PC。

J NFC轮询模式测试

下图的测试框图中，根据用户的测试需求，可使用FSV/FSW代替RTO完成测试：

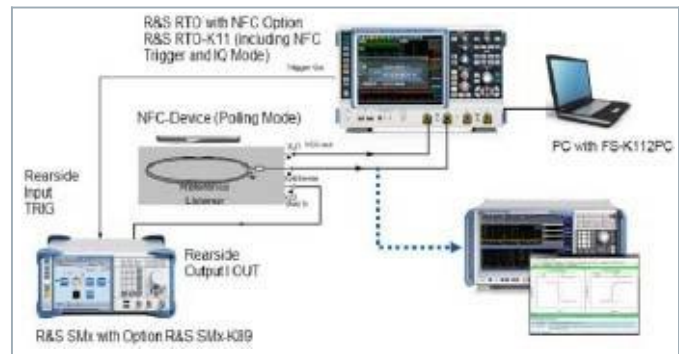


图69 车内NFC无线连接轮询模式测试框图

J NFC监听模式测试

和轮询模式类似，也可使用FSW/FSV代替RTO完成测试，如下：

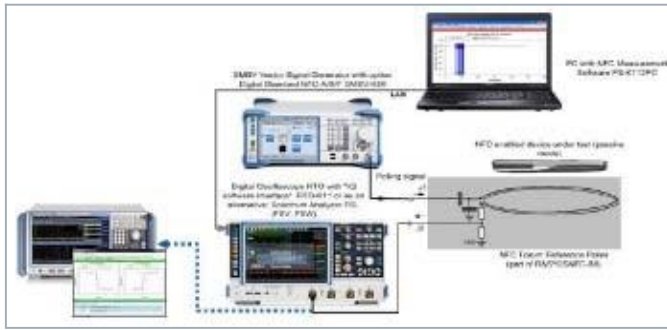


图70 车内NFC无线连接监听模式测试框图

上述两种模式的测试，都是基于FS-K112PC软件完成。罗德与施瓦茨公司的NFC测试方案，可完成NFC-A，NFC-B，NFC-F三种模式下的测试项目，如下：

- J 主动查询模式
- J 载波频率精度（Carrier Frequency Accuracy）
- J 功率测量（Power Level measurement）
- J 波形特征测量（Waveform Characteristic Measurement）
- J 负载调制灵敏度（Load Modulation Sensitivity）
- J 门限值测试（Threshold level test）
- J 被动收听模式
- J 负载调制测量（Load Modulation Measurement）
- J 功率接收测试（Power reception test）
- J 帧延迟时间（Frame delay time）

车联网无线通信记录与回放测试

车联网中涉及的无线通信制式非常多。罗德与施瓦茨公司提供不受通信制式影响的记录回放测试方案，基于IQR记录仪，结合频谱仪和信号源，可完成在频谱仪信号源工作频段及带宽内的所有信号的记录与回放，如下：

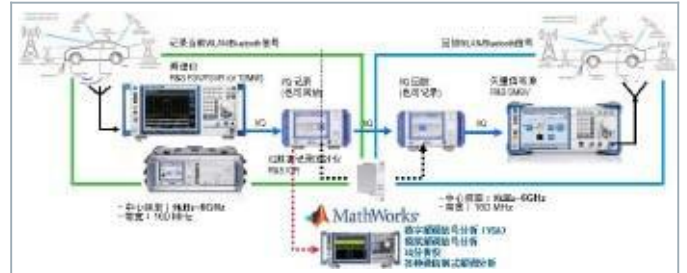


图71 车联网无线信号记录与回放测试框图

车联网典型应用配置

DSRC & C-V2X通信测试配置

测试项目		DSRC IEEE 802.11p 测试解决方案			C-V2X测试解决方案		
产品型号	产品名称	研发	一致性	产线	研发	一致性	产线
SMW00A	矢量信号源	●			●		
SMBV100A	矢量信号源			●			○
SGT100A	矢量信号源						
FSW	信号与频谱分析仪	●			●		
FSV/A/R	信号与频谱分析仪			●			○
CMW500	无线通信综测仪	○		○	●		●
CMW270	无线通信综测仪	○					
CMW100	无线通信综测仪	○		○			●
ITS100	ITS测试系统		●		●		
TS8980	通信测试系统				○	●	
RTO	示波器	●					
RTM	示波器	○					

RFID、GNSS、WLAN/Bluetooth/NFC通信测试配置

测试项目		DFID	GNSS	WLAN	Bluetooth	NFC
产品型号	产品名称	测试方案	测试方案	测试方案	测试方案	测试方案
SMW00A	矢量信号源		●	○	○	○
SMBV100A	矢量信号源	●	○	○	○	●
SGT100A	矢量信号源			○	○	
FSW	信号与频谱分析仪		●	○	○	○
FSV/A/R	信号与频谱分析仪	●	○	○	○	●
CMW500	无线通信综测仪		●	●	●	
CMW270	无线通信综测仪		○	○	○	
CMW100	无线通信综测仪			○	○	
TC2600	RFID信令单元	●				
TS8980	无线设备认证系统			●	●	
RTO	通信测试系统					○

注1: ●表示推荐仪表, ○表示可选仪表

注2: 测试项目需要配合相应选件才能完成, 部分测试项目需要用户提供相应的测试附件

注3: 具体测试仪器的性能、选件等详情, 请联系R&S公司的技术支持, 详细参数可参考产品手册

小结

目前，汽车技术正在经历一次快速的演变，这种演变由四个大趋势推动：为所有人提供移动性、为所有人打造更洁净的世界、为所有人提供安全性、将所有人都连接起来。智能汽车技术与以往的汽车相比，汽车正变得更安全、更高能效、并能提供更令人愉悦的驾驶体验，如今，汽车已经成为驾驶者个人生活空间的延伸。

汽车行业的新兴技术推动应用纷纷涌现，覆盖从20kHz到79GHz的宽广频率范围。业界的工程师需要能够在此频率范围进行测量的测试设备。各种射频/微波子系统在高速总线两侧一起运行，任何一侧的干扰都会妨碍车辆驾驶，有可能导致安全问题。

车联网是目前汽车电子的主流方向，涉及众多的通信方式，本文主要从车联网的驱动力、车联网概念开始，探讨了车联网的关键技术，同时，也简要介绍了车联网中的其他通信方式，如：RFID、GNSS、车内WiFi、Bluetooth和NFC等通信方式，并着重介绍了罗德与施瓦茨公司关于车联网的测试解决方案，包括了用于研发的测试方案，产线的经济型方案，以及一致性认证的全套方案。

罗德与施瓦茨公司是欧洲最大的测试仪器生产商，为欧洲各大品牌的汽车制造厂、零部件厂提供可靠的测试仪器和完善的解决方案，为客户在研发设计，生产测试各个环节提供最先进的技术和有力的支持。罗德与施瓦茨公司不仅具备汽车钥匙的测试方案，同时，我们提供全面的、系统的汽车电子测试方案，包括：车身电子系统、车载信息娱乐系统、安全辅助系统、智能交通与车联网、汽车总线以及电磁兼容测试解决方案。

欢迎您与我们联系，以获得对您下一代汽车设计有益的帮助。

参考文献

- [1] Vector Signal Generator R&S SMW200A Specifications
- [2] Vector Signal Generator R&S SMBV100A Specifications
- [3] Vector Signal Generator R&S SGT100A Specifications
- [4] Vector Signal Analyzer R&S FSW Specifications
- [5] Vector Signal Analyzer R&S FSV Specifications
- [6] Vector Signal Analyzer R&S FPS Specifications
- [7] Wireless Communication Tester R&S CMW500 Specifications
- [8] Wireless Communication Tester R&S CMW100 Specifications
- [9] 开启超凡视野

WLAN和Bluetooth无线覆盖 测试方案

相关产品:

- J ➤ SMBV100A
- J ➤ SGT100A
- J ➤ FSV
- J ➤ SGT100A
- J ➤ FSVA
- J ➤ FSVR
- J ➤ FSH
- J ➤ FPH
- J ➤ CMW500
- J ➤ CMW270
- J ➤ CMW290
- J ➤ MNT100
- J ➤ TSMW
- J ➤ TSME
- J ➤ TSMA
- J ➤ ROMES4
- J ➤ UPV
- J ➤ UPP
- J ➤ TS8997
- J ➤ IQR

方案说明:

智能和互联汽车不再是未来的幻想，而是令人兴奋的事实。随着电子技术的发展，精密导航、安全和信息娱乐等功能特性在汽车中日渐普及，这个行业正见证着汽车技术与能源技术的最快融合。本文主要介绍WLAN和Bluetooth的无线覆盖测试及干扰查找定位，提出了以罗德与施瓦茨公司的信号源、频谱仪、综测仪和路测设备为基础的汽车WLAN和Bluetooth无线覆盖测试解决方案。

车载无线通信 背景

在科学技术进步和市场巨大需求的背景下，汽车已经不再是简单的代步工具，而是集安全、环保、舒适、娱乐、办公及服务于一体的电子信息化汽车。汽车功能开始向多样化、集成化趋势发展，这就进一步提高了对车内信息传输和通信的要求。车载无线通信技术是将汽车技术、电子技术、计算机技术、无线通信技术紧密结合，整合各种不同的应用系统而产生的一种新型技术，主要实现汽车状况实时检测、车内无线移动办公、GPS全球定位、汽车行驶导航、车辆指挥调度、环境数据采集、车内娱乐等功能。

智能互联汽车已经不再是未来的概念。每当新车发布，领先的汽车制造商也会同时推出越来越复杂的导航、安全和信息娱乐功能。人工智能正在走进新一代汽车，在雷达、激光雷达、摄像头、传感器和各类通信网络中均有应用。

汽车中的复杂电磁环境

随着车联网时代的到来，车载无线通信技术开始逐渐应用于汽车电子。目前的车载无线通信主要由车载导航模块、车载无线通信模块、安全报警模块、行车状态记录模块、多媒体播放模块、数据采集模块、语音识别模块、地理信息系统等模块组成。下图为目前常见的车载无线通信技术：



图1 车载无线通信技术

汽车电子涉及的无线通信技术比较多，包括：2G、3G、4G及将来的5G通信、WLAN、Bluetooth、GPS/Glonass/Galileo/BeiDou、DSRC/LTE-V、车载雷达等，所占用的频率范围非常广泛，从LF频段（20kHz）一直到毫米波EHF

（79GHz）频段。任何其他机器都不会像汽车这样拥有如此复杂的通信系统 既必须协同工作，又不能相互干扰或干扰外部环境。如下图所示：



图2 车载无线通信频率范围

WLAN及Bluetooth 在汽车中的应用

随着车载互联系统功能的日益强大，车载WLAN和Bluetooth无线通信功能，不仅可让车内乘客使用手机、电脑等设备共享无线网络，随时随地享受无线网络带来的信息，也可正常行驶中用蓝牙技术与手机连接进行免提通话，达到解放双手，降低交通事故隐患的目的。同时，车载WLAN和Bluetooth通信也可随时随地将汽车的故障信息、胎压等信息通过智能手机进行语音播报，告知车主，扮演着汽车的私家保健医生。

汽车中的WLAN无线通信

WLAN是一种基于IEEE 802.11标准的无线局域网，可以将个人电脑、手持设备（如PAD、手机）等终端以无线方式互相连接的技术，由Wi-Fi联盟(Wi-Fi Alliance)所持有。

车载WLAN是面向公交、客车、私家车、游轮等公共交通工具推出的特种上网设备，WLAN终端通过无线接入互联网获取信息、娱乐或移动办公的业务模式。车载WLAN设备是通过上行3G/4G的接入，让公共交通工具上的客户能使用WLAN上网。



图3 车载WLAN无线通信

WLAN无线通信涉及的标准比较多，包括IEEE 802.11a/b/g/n、IEEE 802.11ac/ad等，涉及的频率范围主要有2.4 GHz频段和5GHz频段：

J 2.4 GHz频段信道划分

共14个信道，相邻信道间隔为5 MHz (特例：信道14是特别针对日本所定义，与信道13的间隔为13 MHz)。信号带宽：22 MHz，整个频段中只有三个互不重叠的物理信道。

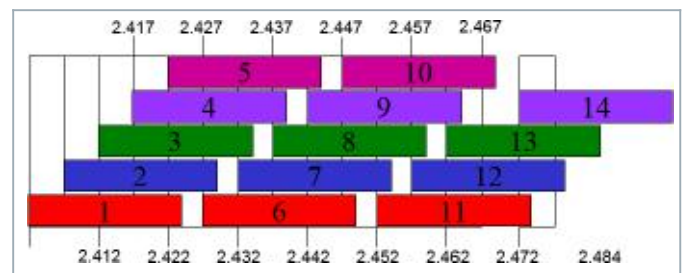


图4 WLAN无线通信之2.4 GHz频段信道划分

2.4GHz无线技术，是一种短距离无线传输技术，2.4GHz是全世界公开通用使用的无线频段，在2.4GHz频段下工作可以获得更大的使用范围和更强的抗干扰能力，目前广泛应用于家用及商用领域。它整体的频宽胜于其他ISM频段，这就提高了整体数据传输速率，允许系统共存，允许双向传输，且抗干扰性强，传输距离远（短距离无线技术范围）。随着越来越多的技术选择了2.4GHz频段，逐渐使得该频段日益拥挤。

J 5 GHz频段信道划分

总共涉及5.15~5.25 GHz、5.25~5.35 GHz、5.725~5.825 GHz三个频段，共300 MHz的射频信道，其中两个相邻WLAN物理信道中心频率相距20 MHz，信道带宽：16.6 MHz。每个工作信道与相邻信道都不重叠，不产生干扰。

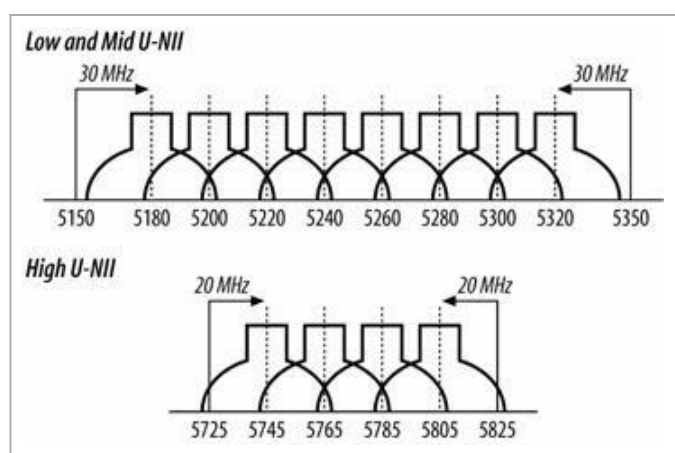


图5 WLAN无线通信之5 GHz频段信道划分

由于2.4 GHz频带已经被到处使用，采用5 GHz的频带让802.11a/n/ac等具有更少冲突的优点。不过高载波频率也带来了负面效果，5 GHz几乎被限制在直线范围内使用，这导致必须使用更多的接入点，同样还意味着5 GHz不能传播得像2.4 GHz那么远，因为它更容易被吸收。

汽车中的Bluetooth无线通信

蓝牙Bluetooth，是一种工作在免费的ISM频段的短距离无线通信技术，在各种设备之间实现灵活、安全、低成本、低功耗的语音和数据通信。它采用自适应跳频技术，可以和多种无线通信共存于ISM频段。

蓝牙通信主要是在车辆内部空间使用，即通信的距离在数米以内。蓝牙采用的通用传输方式特点是抗噪性强、数据传输速度快。车内语音通话以及设备接口、使用遥控钥匙打开车门、与车内检测系统交换数据等一般多采用蓝牙技术。



图6 车载Bluetooth无线通信

系统工作于2.4 GHz ISM频段：2400~2483.5 MHz，采用40个射频信道，这些射频信道的中心频率按 $2402+k \times 2$ MHz ($k=0, \dots, 39$) 规则运行。如下图所示：

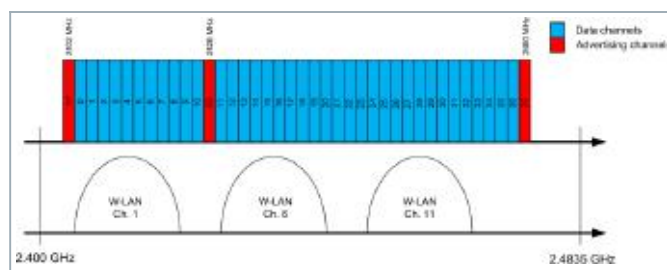


图7 Bluetooth无线通信频段划分

车内WLAN和Bluetooth受到的干扰

车载WLAN和Bluetooth无线信号的覆盖性能会影响用户感受及行驶安全，例如，是否车内任何一点都能无缝连接WLAN网络？是否车内任何地方都能享受Bluetooth电话？是否车载任何地方的故障信息都能通过WLAN和Bluetooth网络反馈给车主，以确保行车安全？

车载WLAN和Bluetooth无线覆盖取决于两部分的性能。一是本身硬件电路的性能，包括：天线、电缆、射频元器件等都需要根据设计技术指标工作，从而确保整体的工作性能。二是空中信号的覆盖验证及干扰查找。本文主要探讨车载无线信号的覆盖及干扰源查找。

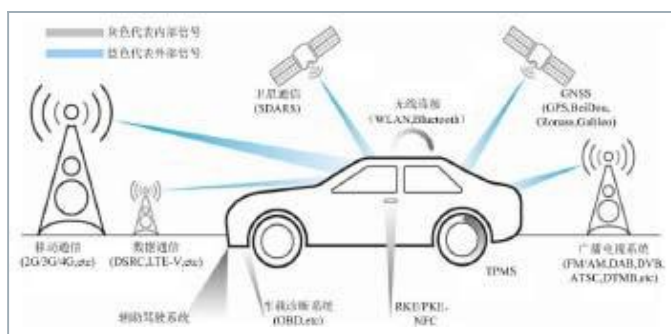


图8 汽车无线通信示意图

汽车本身空间并不大，车内WLAN和Bluetooth无线覆盖通常都很好，但是，由于存在各种干扰及设计问题，会导致车内WLAN和Bluetooth的性能受到极大影响，主要体现在如下几个方面：

J 内部干扰：工作在2.4 GHz频段的WLAN和Bluetooth无线通信，本身工作频段就有重叠，很多时候不仅存在WLAN和Bluetooth各自的干扰，也有他们之间的干扰。另外，也有工作在WLAN和Bluetooth附近频段的各种电子设备，如：3G/4G、DSRC等。

J 外部干扰：车联网的普及，车辆间的通信及车辆与其他设备之间的通信，外界的信号进入车内部后，由于频段相近或者这些信号的谐波和互调成分会造成WLAN和Bluetooth无线通信的覆盖性能下降。例如，蜂窝和WLAN通信可能会遇到其他汽车、周围环境和基站大功率发射机带来的干

扰。这些干扰会导致掉话、数据会话断开、切换失败和拒绝服务。现代通信系统中存在的这样或那样的问题，在汽车通信系统中都有。

例如，2.4 GHz频段的干扰，主要包括：ZigBee、TD-LTE Band38/40、LTE-FDD Band7 DL/UL等，如下：

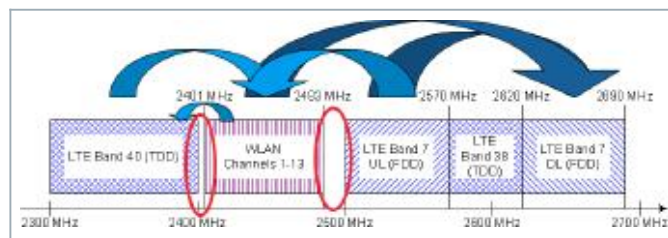


图9 2.4 GHz无线频段WLAN、Bluetooth和LTE设备之间的共存

5 GHz频段的干扰，主要包括：LTE-FDD Band3/4/9/10的三次谐波、TD-LTE Band35/36/37/30的三次谐波、LTE-FDD Band1/2/5 UL的三次谐波、DSRC通信、各种工作在ISM U-NII频段的雷达等，如下：

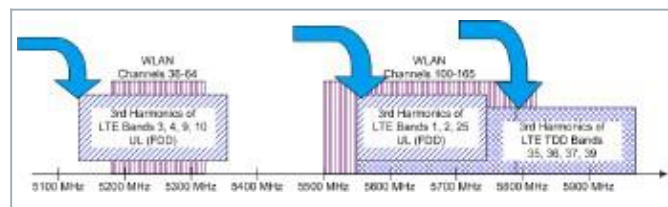


图10 5 GHz无线频段WLAN和LTE设备之间的共存

这些干扰可能是一大安全隐患，所以必须进行认真的网络规划和测试来确保优化的网络运行。

车内WLAN和Bluetooth的覆盖测试

网络规划和测试时为了保证WLAN和Bluetooth的覆盖，同时减少潜在的相关干扰。本章主要介绍WLAN/Bluetooth无线通信的覆盖测试及干扰查找测试。

车内WLAN和Bluetooth的覆盖测试

为了优化网络性能，我们不仅需要使用频谱分析仪测试和验证电缆和天线系统的回波损耗，同时，也需要验证网络的覆盖范围。如果发生干扰，我们需要确定问题位置，找到缓和措施，同时验证传输信号质量符合技术规范。

在实际信号到达天线前，基站/发射机在路径上部署有滤波器和放大器，发射机和天线之间的元器件将导致信号衰落。有时频谱分析和功率测量可能无法揭露所有潜在的问题。这时就需要一个更深入的信号分析方法。例如，放大器略微过度激励就可能致信噪比（S/N）降低，并增加下行链路上的比特误码率。

为了调查问题的根本原因，我们需要了解调制域中的信号特性。调制域分析提供了误差矢量幅度（EVM）等关键性能指标（KPI），用来确定发射机链的路径是否导致下行链路的SNR下降。

汽车中的WLAN无线覆盖测试

汽车中的WLAN无线覆盖测试，可以采用R & S公司的ROMES4软件配合无线网卡，直接在车辆里面完成测试，具体的测试框图如下：



图11 使用ROMES4软件进行车载WLAN覆盖测试框图

在设计目标覆盖区域内进行覆盖电平检查。每20平方米检查地点不应少于1个，检查点的选取应均匀分布，并且能够反映该区域的覆盖情况。每个检查点至少观察10秒，记录相应的SNR值。

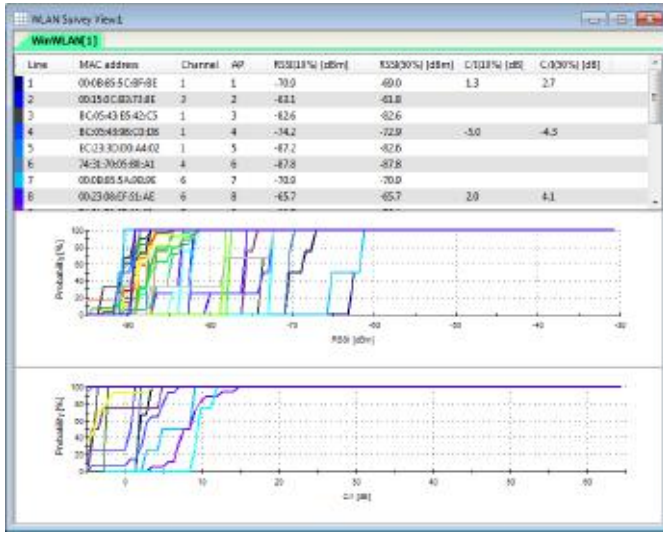


图12 使用ROMES4软件进行WLAN覆盖测试S/N值

同时，还可以并行显示2.4 GHz网络和5 GHz网络的分布情况以及各个WLAN网络的特性，包括每个网络采用的频点、接入制式、传输速率、RSSI等信息，如下图所示：

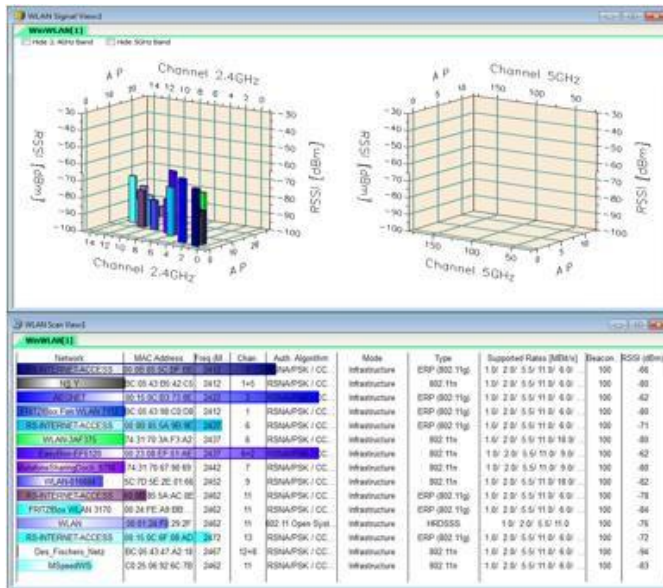


图13 WLAN无线多个接入点信息测试

另外，ROMES4软件也可以查看相同信道及共享信道的WLAN网络，也可检测相互间的干扰情况，如下：

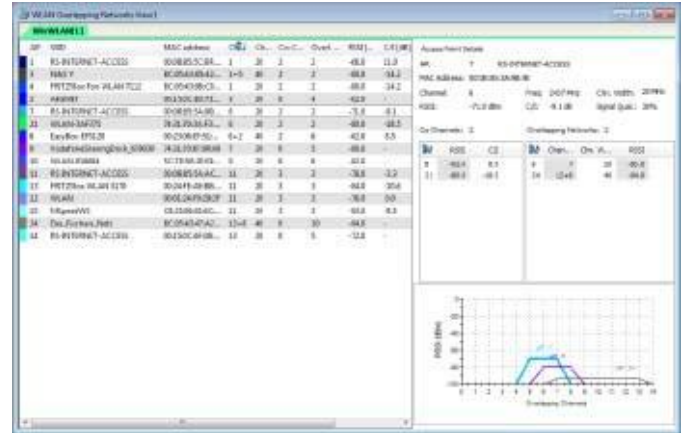


图14 WLAN无线接入共存干扰测试

汽车中的Bluetooth无线覆盖测试

汽车中的Bluetooth无线覆盖测试，可以采用R&S公司的CMW无线综合测试仪配合天线，直接在车辆里面完成测试，具体的测试框图如下：



图15 车载Bluetooth无线通信覆盖测试

通过CMW500/290/270可以直接进行蓝牙的信令测试，非常方便，同时，还能直接给出蓝牙的发射机和接收机测试结果显示，如下图所示：

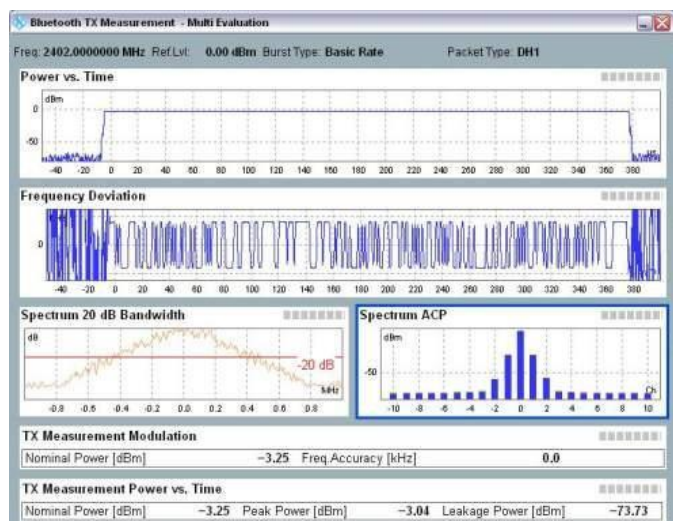


图16 车载Bluetooth无线通信发射机和接收机测试结果显示

上述是通过CMW进行蓝牙综测间接反映蓝牙的覆盖范围，不过针对蓝牙语音通信，可以直接通过语音质量评估MOS打分，直接获取蓝牙语音通信的覆盖性能。



图17 车内蓝牙语音质量评估框图

通过人工头完成车内音响设备的语音质量评估打分 (MOS值)，直接反映车内蓝牙设备的覆盖，评估算法包括：PEAQ、PESQ、POLQA。其中，可根据声音大小需求，决定是否需要配置音频功放。

车内WLAN和Bluetooth的干扰查找测试

车内的信号很复杂。例如，商业服务的 WLAN会干扰车载 WLAN，汽车和乘客智能手机的蓝牙功能也会相互干扰。为了优化网络质量，需要判断干扰源并进行定位。

干扰诊断，可通过两种方式进行，一种是判断车内存在哪些无线电信号。另外一种是在WLAN和Bluetooth工作频段内查找相关干扰信号。

车载无线电信号频谱监测

汽车内存在种类繁多的无线电信号，在准确查找WLAN和Bluetooth的相关干扰源之前，首先需要监测车内存在的无线电信号。

无线电信号的监测，可以使用手持频谱仪结合全向天线的方式进行场强分布测试，如下图所示：



图18 手持仪表FSH/FPH/MNT100结合全向天线TS-EMF的场强测试

车载无线频谱监测，很多时候需要监测很长一段时间，才能具体反映车内的无线电信号分布情况。此时，可以配合TS-EMF自动测试软件RFEX，进行记录，然后进行后期处理，如下图所示：

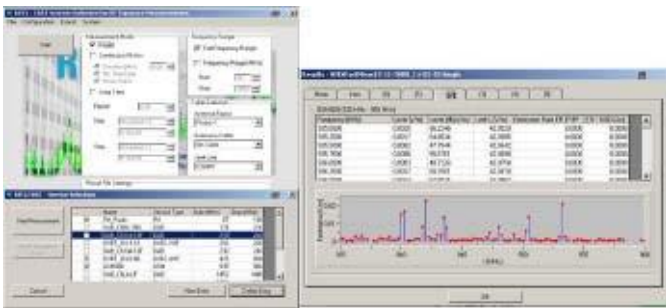


图19 RFEX软件进行自动化频谱监测测试

RFEX，可自动进行频谱监测，同时，该软件提供具体关注的频段及通信制式，并能输出测试报告。

车内WLAN和Bluetooth工作频段内的干扰源查找

干扰源的种类很多，由于普通频谱仪是超外差结构，只能测试频域和功率域或者时域和功率域的关系，无法同时测试时域、频域和功率域，因此有时无法通过频谱监测就能判断是否存在干扰，例如：蓝牙信号本身就是跳频工作方式，跳频信号的测试通过普通频谱仪是无法跟踪检测，另外，带内干扰及同频干扰等情况，也都无法通过普通超外差方式的频谱仪进行测试。下图是一个典型的跳变信号：

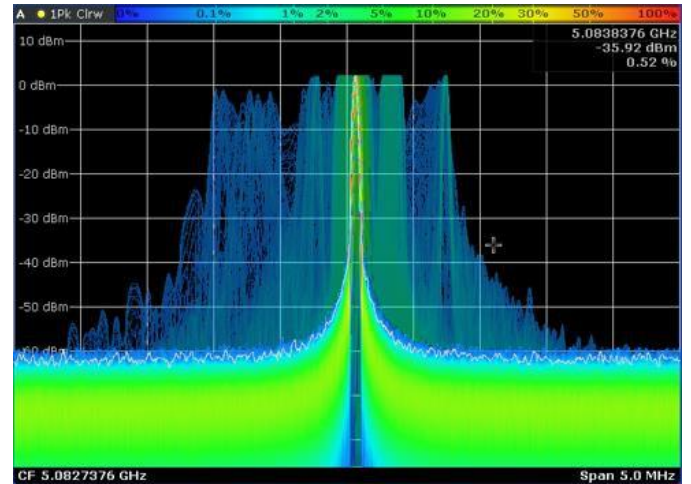


图20 普通频谱仪无法测试跳变信号

干扰诊断及查找需要进行宽带扫描，以及重点窄带、实时捕获能力。宽带扫描使用户可以识别所有可能出现问题的主要区域。之后，使用实时频谱分析功能对重点频谱图进行分析，最终识别和确定干扰信号或歇性杂散信号。



图21 车载WLAN/Bluetooth带内干扰查找测试框图

具有实时频谱仪功能的中端台式仪表FSVR及手持干扰定位查找仪表MNT100结合定向天线HE400，能够准确区分占用相同频率但在不同时间出现的多个信号。

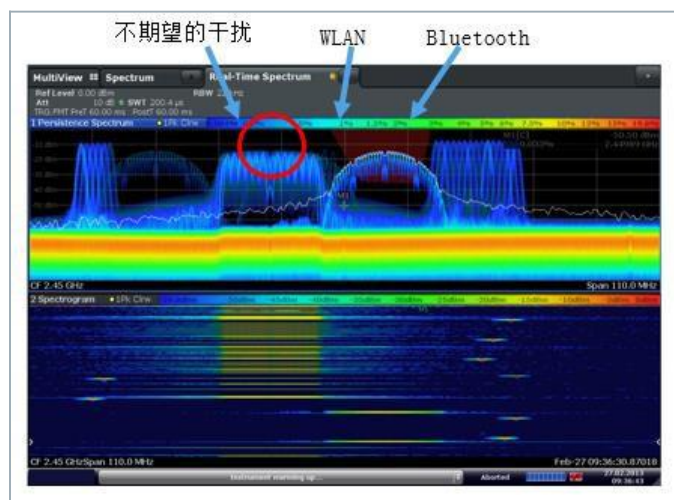


图22 带内干扰及跳频干扰查找测试结果

基于R&S公司的实时频谱仪FSVR或干扰定位查找手持仪表MNT100，并结合定向天线HE400，可快速查找相关频段内的各种干扰信号，包括同频干扰、跳频特性等。

当然，由于路测设备TSMW/TSME等都具备实时频谱测量功能，所以，也可以借用前面提到的路测设备TSMW/TSME进行干扰查找测试。

车内WLAN和Bluetooth无线通信认证测试

为了验证是否符合ETSI EN 300328（2.4 GHz频段）和ETSI EN 301893（5 GHz频段），必须对2.4 GHz和5GHz频段内的所有宽带传输系统进行测试。这些标准的最新版本要求使用专门的自动测试步骤和测试设备。

R&S®TS8997完全满足这些要求，测量使用R&S®EMC32软件平台，此软件平台是EMC测试实验室的标准解决方案。该测试系统中的主要组件包括R&S®EMC32-K97x选件以及专门针对R&S®TS8997的R&S®OSP模块，用于功率测量和路径切换。菜单式向导系统可引导用户根据被测件DUT所采用的技术和特性的需要，执行多级测量。支持各种标准所要求的所有测量，包括测量具有MIMO或自适应跳频功能的复杂被测件。

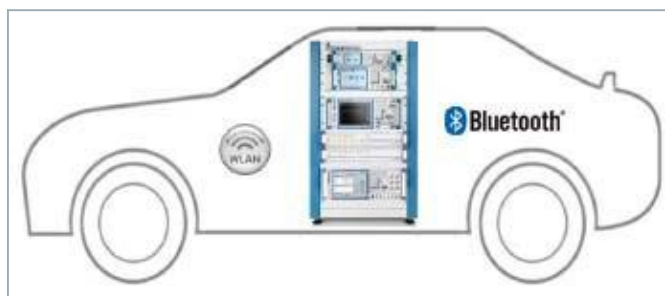


图23 车内WLAN和Bluetooth无线通信系统认证测试

车内WLAN和Bluetooth无线通信认证系统测试项目

R&S®TS8997可测量2.4 GHz和5 GHz频段范围内的宽带无线设备（例如带有无线电接口的设备）中通常采用的技术，包括WLAN 802.11 a/b/g/n/ac和Bluetooth无线通信技术。

该测试系统可满足的测试需求，如下：

J 符合ETSI EN 300 328 的测试用例

射频输出功率
占空比, TX系列, Tx-间隙
驻留时间、最小频率占用、跳频系统 (仅适用于跳频DUT)
跳频分离
煤质利用 (Medium Utilization-MU) 因子
自适应
占用信道带宽
发射机带外辐射干扰
发射机杂散辐射干扰
接收机杂散
接收机阻塞
地理定位能力

载频精度
占用信道带宽
射频输出功率, 发射功率控制 (TPC), 功率谱密度
发射机杂散
接收机杂散
动态频率选择 (DFS)
自适应
接收机阻塞
用户访问限制
地理定位能力

车内WLAN和Bluetooth的记录与回放测试

由于WLAN和Bluetooth信号都具备瞬变特性，同时，蓝牙和5.8 GHz的WLAN设备还具备跳频工作方式，常常呈现复杂的频谱特性和时变特性，不容易稳定的测量，R&S公司的宽带信号矢量采集和回放就可以很好的帮助用户捕捉和存储WLAN和Bluetooth信号，还可以通过矢量信号源进行复现，如果使用信号分析仪 FSU/FSVR，捕捉和采集带宽可以达到160 MHz，可以很好的捕捉不同频带同时出现的失真或干扰信号，也可以将捕获的IQ数据用频谱仪或Matlab进行分析。



图24 车内WLAN/Bluetooth无线信号记录与回放测试框图

车内WLAN/ Bluetooth覆盖测 试的典型配置

产品型号	产品名称	车内WLAN 无线覆盖	车内Bluetooth 无线覆盖	车内WLAN/ Bluetooth 干扰查找	车内WLAN/ Bluetooth 记录回放
➤ SMBV100A	矢量信号源				●
➤ SGT100A	矢量信号源				
➤ FSV/A	信号与频谱分析仪	○	○	○	●
➤ FSVR	实时频谱分析仪	○	○	●	
➤ FSH	信号与频谱分析仪	○	○	○	
➤ FPH	信号与频谱分析仪	○	○	○	
➤ CMW500	无线通信综测仪	○	●		
➤ CMW270	无线通信综测仪	○	○		
➤ CMW290	无线通信综测仪	○	○		
➤ MNT100	干扰定位仪	○	○	●	
➤ TSMW	路测分析仪	○		○	○
➤ TSME	路测分析仪	○		○	
➤ TSMA	路测分析仪	○		○	
➤ ROMES4	路测分析软件	●		○	
➤ UPV	音频分析仪				
➤ UPP	音频分析仪				
➤ TS8997	无线设备认证测试系统	●	●	●	
➤ IQR	IQ记录回放				●

注1: ●表示推荐仪表, ○表示可选仪表;

注2: 测试项目需要配合相应选件才能完成, 部分测试项目需要用户提供相应的测试附件;

注3: 具体测试仪器的性能、选件等详情, 请联系R&S公司的技术支持, 详细参数可参考产品手册。

小结

目前，汽车技术正在经历一次快速的演变，这种演变由四个大趋势推动：为所有人提供移动性、为所有人打造更洁净的世界、为所有人提供安全性、将所有人都连接起来。智能汽车技术与以往的汽车相比，汽车正变得更安全、更高能效、并能提供更令人愉悦的驾驶体验，如今，汽车已经成为驾驶者个人生活空间的延伸。

汽车行业的新兴技术推动应用纷纷涌现，覆盖从20kHz到79GHz的宽广频率范围。业界的工程师需要能够在此频率范围进行测量的测试设备。各种射频/微波子系统在高速总线两侧一起运行，任何一侧的干扰都会妨碍车辆驾驶，有可能导致安全问题。

车载WLAN和Bluetooth无线通信，是目前汽车常见的通信方式，本文主要从汽车涉及的无线通信频率范围开始，探讨了WLAN和Bluetooth的无线覆盖测试及如何查找干扰源。

罗德与施瓦茨公司是欧洲最大的测试仪器生产商，为欧洲各大品牌的汽车制造厂、零部件厂提供可靠的测试仪器和完善的解决方案，为客户在研发设计，生产测试各个环节提供最先进的技术和有力的支持。罗德与施瓦茨公司不仅具备汽车钥匙的测试方案，同时，我们提供全面的、系统的汽车电子测试方案，包括：车身电子系统、车载信息娱乐系统、安全辅助系统、智能交通与车联网、汽车总线以及电磁兼容测试解决方案。

欢迎您与我们联系，以获得对您下一代汽车设计有益的帮助。

参考文献

- [1] Vector Signal Generator R&S SMBV100A Specifications
- [2] Vector Signal Analyzer R&S FSV Specifications
- [3] Wireless Communication Tester R&S CMW500 Specifications
- [4] Handled Spectrum Analyzer R&S FSH Specifications
- [5] Real Time Analyzer R&S FSVR Specifications
- [6] RF Interference Locator R&S MNT100 Specifications
- [7] 开启超凡视野
- [8] Universal Radio Network Scanner R&S TSMW
- [9] Drive Test Software R&S ROMES4

车载雷达测试 解决方案

相关产品:

- J ➤ FSW
- J ➤ SMW200A
- J ➤ ARTS
- J ➤ QAR
- J ➤ FS-Z90
- J ➤ SMZ90
- J ➤ AREG

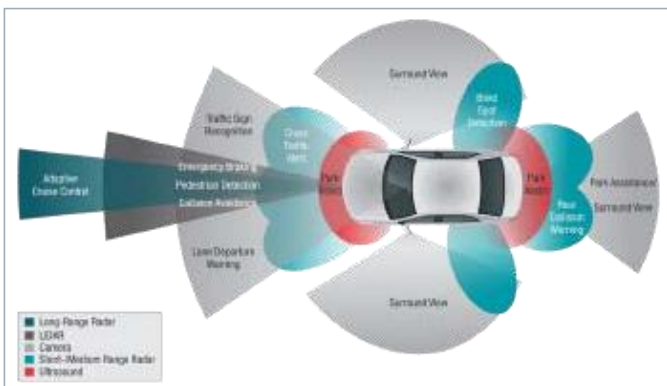
方案说明:

车载雷达子系统，是实现ADAS系统的核心组件之一。需要长时间工作在高频段、长探测距离、动态方式下，且受到多种外界条件的干扰。R&S提供的一整套测试解决方案，能够精确测试雷达的FMCW和FSK信号质量；模拟目标的反射特性，包括距离和多普勒频移，并在生产线校准雷达；分析雷达的抗干扰性能；以及测试雷达遮罩的频率和反射特性。

车载雷达测试的需求分析

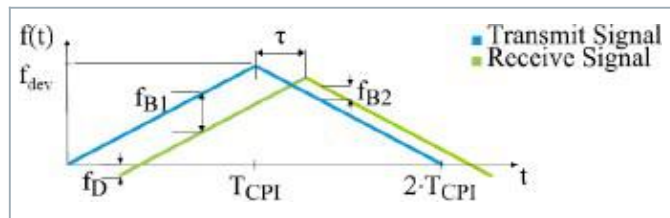
随着中国公路通车里程和汽车保有量多年来持续的大幅增长，驾驶员对交通安全的需求也在不断提升，如何提高汽车的安全性已成为汽车行业的重要任务和巨大挑战。为实现安全便捷地出行，车载雷达等安全辅助技术也得到广泛关注。

智能化的汽车不可或缺的便是对周边物体的感知。在智能化的汽车上可多达数十种雷达。国际上采用的车载防撞雷达主要有SRR (短距离雷达) 和LRR (长距离雷达)。短距离雷达有效作用距离15 m~30 m，适用于低速近距离防撞；长距离雷达有效距离100~250 m，适用于远距离防撞。目前，在20 GHz以下很难实现波束成形，而由于大气衰减和技术限制，100 GHz以上也很少使用。因此防撞雷达主要分配24 - 29/60 - 61/77 - 81 GHz这几个频段。长距离雷达主要采用77 GHz频段。



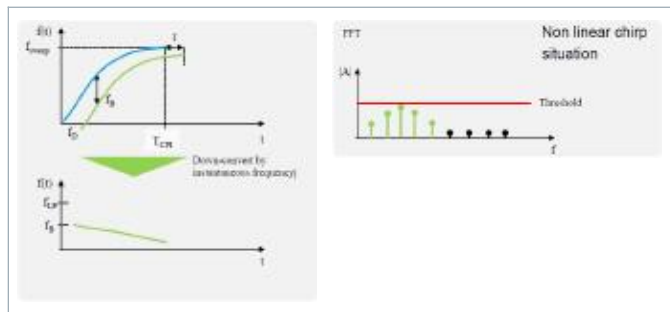
车辆ADAS系统整体示意图，车载防撞雷达主要应用于其中的自适应巡航控制、紧急刹车/行人检测和碰撞避免等方面，即中/长距离目标的距离/速度和角度探测。

汽车防撞雷达的实现原理主要是调频连续波 (FMCW) 方式，FMCW (frequency modulation continuous wave) 雷达主要通过对发射信号和反射信号做互相关，检测出其间的差拍频率和多普勒频移。实现方式简单，信号处理难度小，测量精度较高，比较适宜测量近距离目标，故作为目前车用防撞雷达的普遍选择方式。



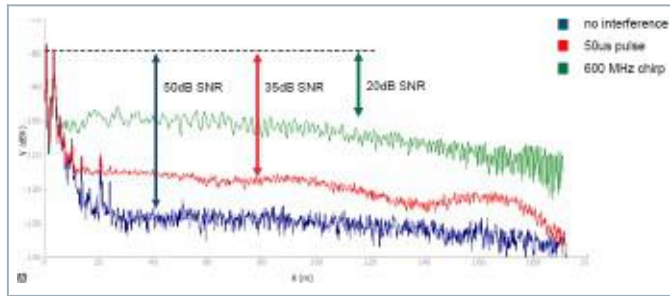
车载雷达信号及其测量结果示意图，蓝色为发射信号，绿色为反射信号，由于反射信号具有滞后特性，以及两段调频信号之间的频率差，可解出目标的距离R和径向速度v。

雷达系统的关键参数包括距离分辨率、径向速度分辨率，以及雷达探测距离和径向速度的精度等。对于FMCW雷达，其调频带宽决定了距离分辨率，相关处理时间CPI (coherent processing interval) 决定了径向速度分辨率。而距离和径向速度探测精度则主要由雷达回波信号的信噪比决定。实际上，FMCW雷达发射信号的质量在一定程度上对雷达探测精度也有很大影响，其中第一个关键因素就是调频线性度。下图是较差的调频线性度对测量结果的影响示意图，可以看到信噪比的恶化。



这一部分的解决方案是宽带频谱仪与FMCW信号分析选件，直接测量雷达发射的FMCW信号中，每一段Chirp的线性度，参考第二章。

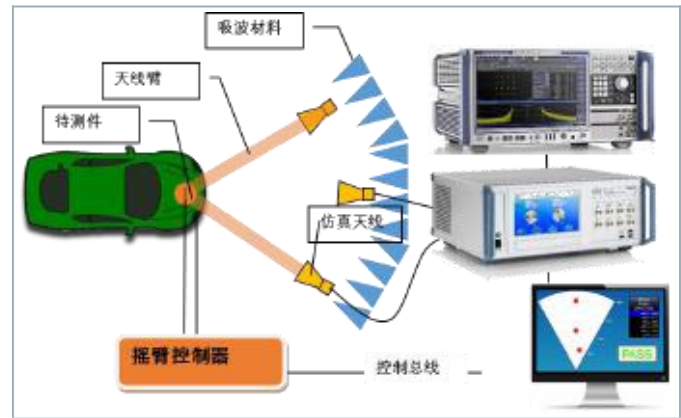
除了雷达自身的因素，外界对雷达的干扰型号也会影响到雷达测量的信噪比。下图是三种情况下的对比，分别是无干扰、脉冲干扰，以及存在扫频干扰时的雷达测量结果显示。可见由于特定干扰信号的存在，尤其是相向来车使用FMCW信号时，对雷达模块的信噪比造成较大影响。



因此需要使用特定的FMCW信号仿真干扰源，测试雷达的抗干扰能力。此类测试目前在欧洲已经成为RED指令的一部分，后续也会成为上路车辆的必测项目之一。R&S推出的测试方案是使用宽带矢量信号源与倍频器和相应软件，产生出来车的FMCW信号，实现高精度仿真测试。R&S雷达信号产生方案请见第三章。

第三，现代车载防撞雷达需要有来车角度测量的功能，因此往往选配多个发射/接收天线，以MIMO方式实现更高的探测精度和角度指示。此时需要测量的第二个内容即是MIMO天线的方向图和发射功率。需要使用仪器或实物仿真特定角度、特定RCS和多普勒频移的反射信号。此外，在ADAS系统中，雷达和控制系统需要完成动态的目标识别并做出相应的规避动作。因此动态环境的目标仿真也成为以雷达为核心的ADAS系统研发阶段的必备测试项目。

R&S在此类需求的基础上，开发了目标仿真器或回波发生器，配合屏蔽暗室、转台、软件等一系列完整的测试方案。该方案请见第四至第六章。



最后，由于车载雷达都是安装在车辆保险杠内部，因此遮罩(保险杠或车标)对雷达测量结果的影响不可忽视，微小的瑕疵都会对判断目标的方向、频率/速度、乃至探测距离精度产生劣化。无论是在研发过程中检查雷达遮罩的反射传输特性，还是在生产中检查遮罩样品的瑕疵，具有成像特性的完整测试平台能够快速、准确地检查出遮罩或徽标存在的问题。此类测试方案请见第七章。

发射频谱和信号质量测试

车载雷达的工作频段分别是24GHz、77GHz、79GHz。调频的频宽普遍在500 MHz、1 GHz及以上，因此对频谱和信号分析仪提出了新的要求：

- 1、能够覆盖77 GHz频段
- 2、具有1 GHz以上的分析带宽
- 3、具有直接测量扫频线性度的测量选件

R&S的测量方案基于高端频谱和信号分析仪FSW。具有多种选择：

在频率覆盖范围方面，可以选择直接覆盖到85 GHz的FSW85，也可以使用较低频段的FSW26或FSW43配合下变频器FS-Z90。



业界领先的FSW85信号与频谱分析仪，可直接分析85 GHz频段，无需变频。



FS-Z90下变频器，工作频段60-90 GHz，使用来自FSW的本振信号，进行六倍频以及混频，并将中频信号回传至FSW。对FSW的频段要求较低，FSW26即可使用。结构上是外置单元，可以方便地与测试天线后端相连，并固定于夹具上。

对分析带宽的需求，特定型号的FSW可以选择最高内置2 GHz分析带宽，也可以由FSW输出中频信号，选配相应的RTO示波器，利用示波器的宽带采样能力提取信号实现分析，最高可以分析5 GHz带宽，适应于未来的79 GHz频段、4 GHz带宽雷达测试需求。

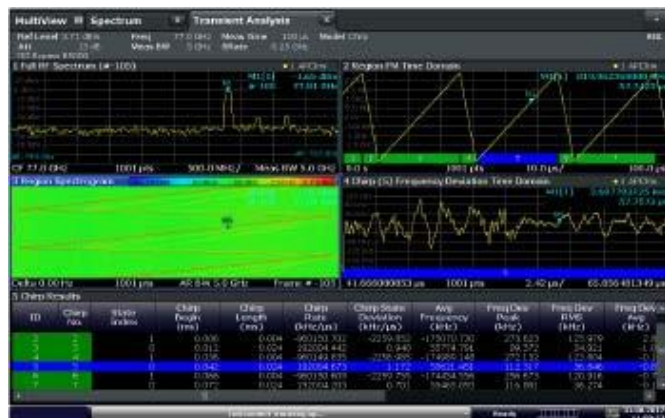


	频谱与信号分析仪	内置带宽	配合RTO示波器
直接测量	FSW85	最高2 GHz	5 GHz宽带
下变频器方案	FSW26 + FS-Z90	最高512 MHz	2 GHz宽带

测量软件方面，R&S推出了专门测量FMCW信号的测试选件FSW-K60，和FSW-K60C。

在车载雷达系统中，为了探测多个目标，雷达模块往往使用多种不同调制率的FM信号区段，构成较为复杂的Chirp序列。此时，FSW-K60C选件可以自动识别出每一段调频区段，并进行所有测试，包括起止时间、调频范围、Chirp rate 和 Chirp线性度等。

下图是FSW-K60C分析77 GHz、5 GHz带宽FMCW信号的示例，不难看出，该模块虽然用了两种调制率的FM信号，但均可被FSW-K60C识别并列于结果中。



雷达信号产生

抗干扰测试需要数字信号源产生仿真的宽带调频雷达信号。

SMW200A配合倍频器，可以仿真车辆雷达信号。

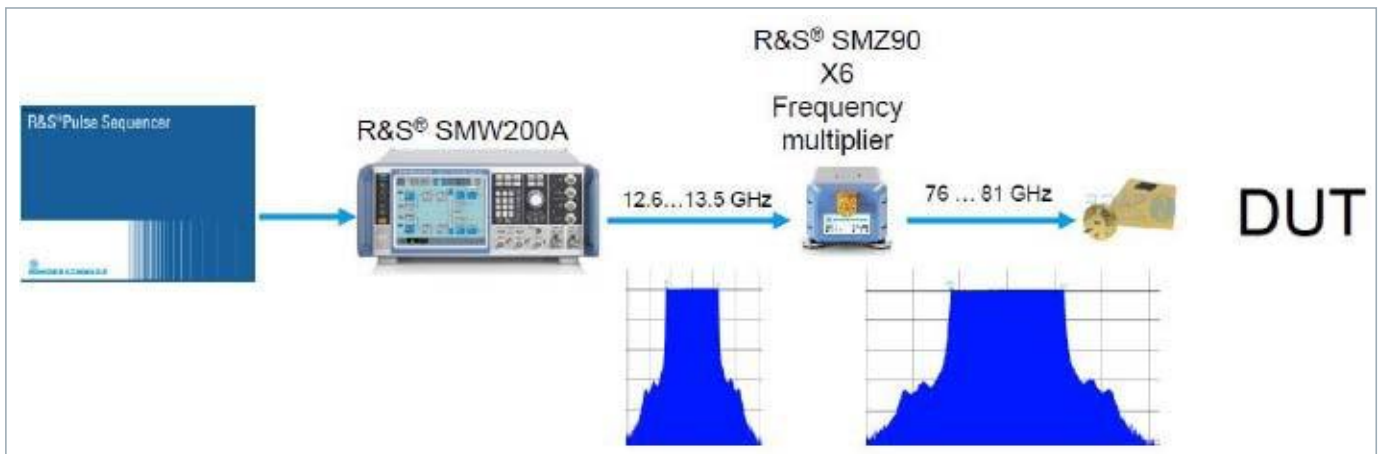
J 干扰信号包括

- 相向来车的雷达信号
- 其他干扰源的调制信号

J 使用Pulse Sequencer产生干扰信号，包括脉内调制

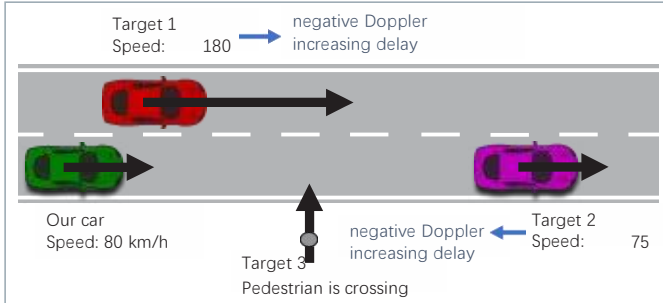
J SMW产生较低频率的信号

J 使用倍频器扩频（SMZ90，无ARB功能）



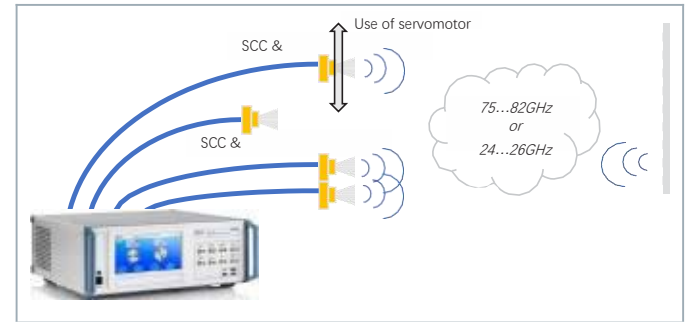
动态目标模拟

ARTS9510可以实现多目标动态仿真，例如下图所示的场景：



ARTS9510特性如下：

-] 模拟目标的动态速度
 - 多普勒频移的变化，如起步和刹车过程
-] 最多模拟4个具有不同速度曲线的目标
-] 发射单元外置，可模拟目标的不同运动方向
-] 模拟的最近距离6 m，最远2.4 km
-] 目标的最大速度±700 kph
-] 支持24/77 GHz双频段
-] 最大带宽1 GHz



ARTS测试配置可以如上图所示，使用多个TX天线，外加摇臂或滑轨，实现多方向目标仿真。从而最大程度地模拟自动驾驶应用中的多目标动态场景。

生产线测试和 校准方案

➤ AREG是近期推出的回波发生器，能够仿真多个目标的距离与多普勒频移：

J 24/77 GHz频段，4 GHz带宽范围

J 多目标配置，可配置参考距离，以及额外的3种不同的目标距离（可定制）

J 可设置多普勒频移和RCS参数

J 可选双天线或单天线（环形器）方案，用于方向识别

J 校准后可用功率计测量待测产品的EIRP

J 后面板中频输出，可配合6 GHz的频谱仪，做OBW频谱测试测试

J 后面板中频输入，可配合6 GHz频段的信号源，注入干扰信号，做抗干扰测试

J 无需与待测产品模块连接



雷达生产线和整车自动测试系统

R&S提出了完整的雷达模块生产线测试平台，主要构成如下：

- J 目标模拟器ARTS9510或AREG
- J 频谱仪FSW85，或FSW26 + 示波器RTO2064 + FSW-K60/K60C
- J 信号源SMW200A + SMZ90 + Pulse Sequence软件 (K300)
- J 功率计NRP110T和接收天线TA85，用于测试EIRP
- J 雷达测试暗室ATS1000，或屏蔽箱7124
- J 定制的摇臂、转台或滑轨，转台可以倾斜和旋转待测模块，用以测试方向图
- J 自动化测试软件QuickStep

演示平台如下所示：

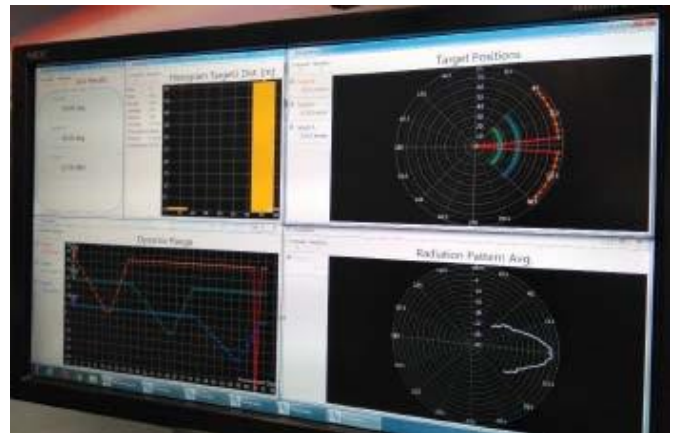


转台 (2D):

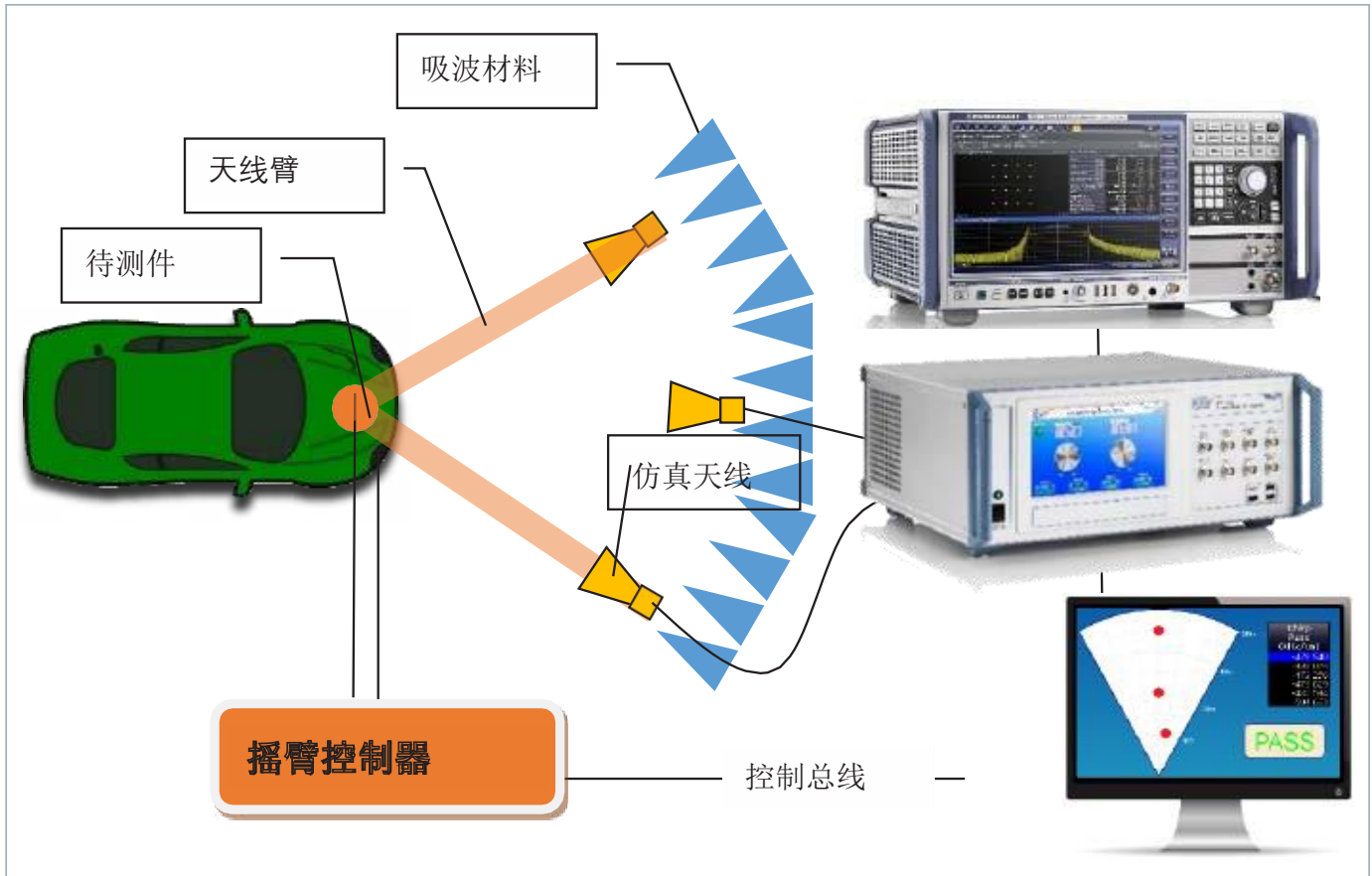


可以测试待测件的：

- J EIRP
- J 频谱和线性度
- J 信噪比
- J 角度误差



整车动态场景仿真测试，结构示意图如下：



] 仿真实车运行的场景，实现ACC，弯道跟车，切入切出等多种开环场景

] 配合HIL软件完成基于传感器输入的HIL测试

车载影音娱乐平台 解决方案

相关产品:

- J > SMBV
- J > UPV
- J > BTC
- J > TS6110
- J > SFE100
- J > UPP
- J > CMW
- J > ATSI100

方案说明:

随着汽车电子的日益发展，车载影音娱乐平台的功能愈加丰富。常规的广播测试之外，需要精确测量音频系统的输出失真和车内空间的音频特性，以保证更好的听觉感受。车载屏幕随着多媒体和汽车仪表电子化的进程，显示的信息内容更加丰富和重要。视频测试系统能够保证其图像质量、兼容性，并且检测失真、错误显示。R&S的娱乐平台解决方案，高效地排查音视频系统存在的问题，从研发测试，到生产线模块测试，最终应用到整车生产线。以卓越的性能参数、灵活的系统结合配置、快速的流水线测试效率在汽车信息娱乐测试领域大显身手。

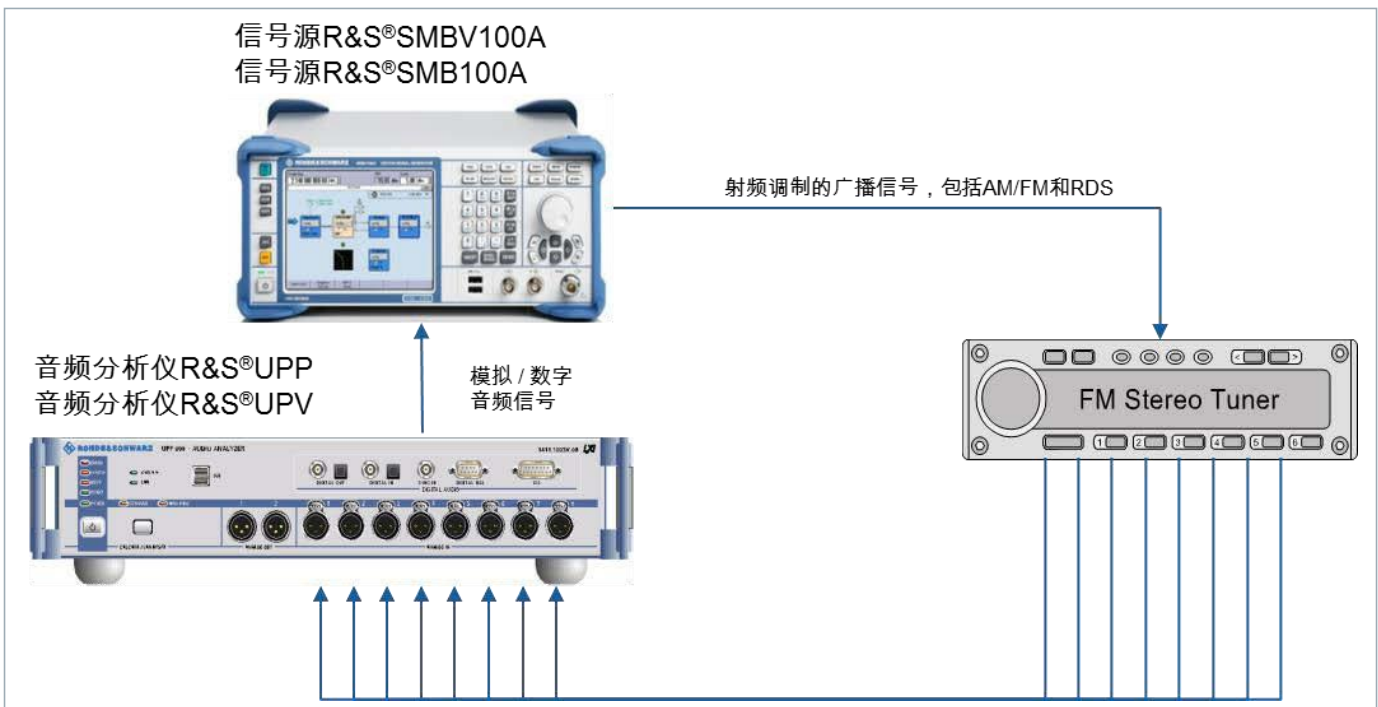
车载音视频测试需求分析

车载音视频测试主要分为：

- J 车载收音机测试，包括AM/FM以及多种数字音频广播系统，包括音频输入输出测试。R&S的仪器方案是SMBV/SFE/UPV/UPP。实现车内音频测试、收音机和导航测试。以及RED规格的收音机抗扰测试。
- J 车载屏幕输出、视频播放器的测试。R&S对应的测试方案是BTC/VTE/VTC等仪器，可进行电视接收测试和屏幕输出质量测试，以及符合RED规格的抗扰度测试。

车载收音机的测试

车载收音机的测试方案，包括音频分析仪、射频信号源，系统结构图如下所示：



音频分析仪UPV和UPP

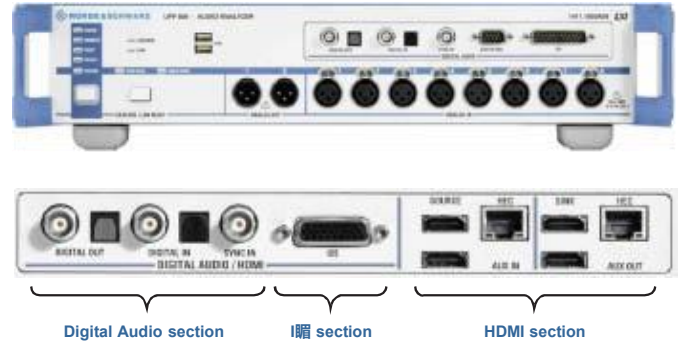


-] 用一台仪器完成所有测试
-] 信号发生
-] 正弦波信号
-] 双通道正弦波信号
-] 双音（调制失真测试）
-] 多种噪声信号
-] 任意波和WAV文件

性能参数

-] 频率范围：发生器最高185 kHz，分析仪最高250 kHz
-] 动态范围：140 dB (模拟), >170 dB (数字)
-] 选配数字AES/EBU、S/P DIF接口、I²S接口与通用串行接口
-] 空置插槽，用于扩展硬件选件，可选配8或16通道分析
-] Windows操作系统 增强的图形化窗口显示
-] 同时提供多种不同的测量结果

音频分析仪UPP



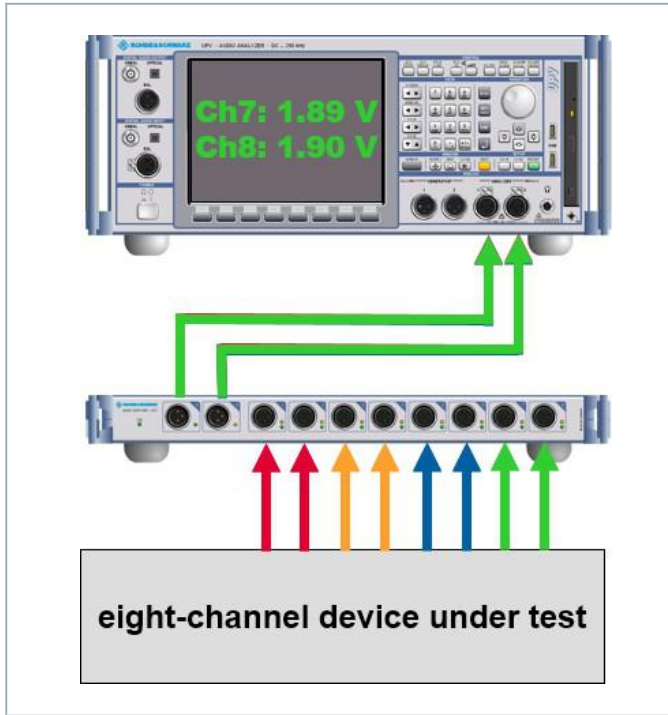
] 多通道音频测量

- 2通道音频源+8通道 (选配)
- 可选择2/4/8路分析仪
- 80 kHz源/分析频率范围
- 支持数字接口 AES/EBU、S/P DIF、I²S
- HDMI接口8通道音频分析
- Windows操作系统 增强的图形化窗口显示
- 同时提供多种不同的测量结果

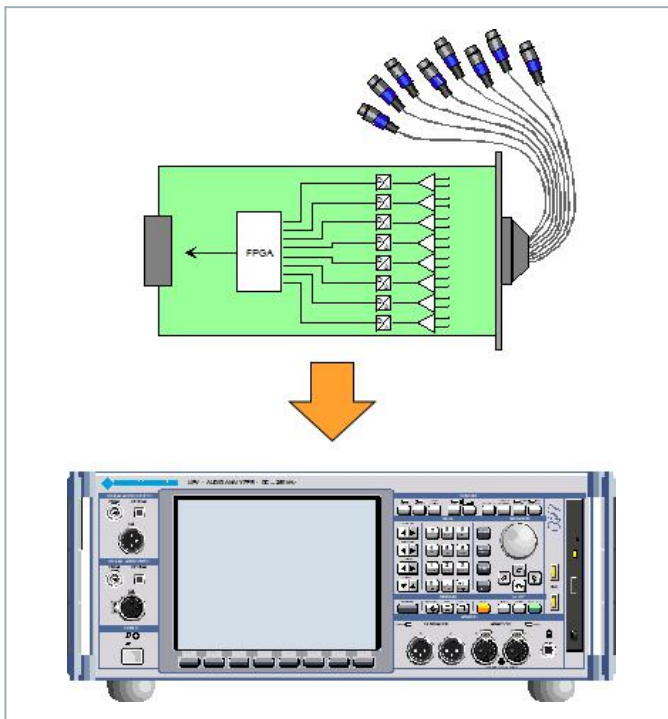
多通道扩展能力

JUPP多台级联，最大32路同时分析能力

JUPV + UPZ切换开关，8通道平衡口音频分析



J UPV-B48 8或16通道分析



射频信号源R&S®SMBV100A



主要参数和特点

- J 3 GHz/6 GHz频段
- J 160 MHz信号带宽/外部输入500 MHz带宽
- J -120 dBm ~ +18 dBm 功率范围
- J 支持多种模拟/数字广播制式
 - AM/FM立体声/RDS
 - DAB/DAB +
 - XM radio/Sirius
 - HD-radio
 - 多载波CW单音
- J 完整的卫星导航系统的模拟功能
 - GPS、北斗、Glonass、Galileo
 - 最多24颗卫星、路径导航
 - 环境遮挡、天线和车身遮蔽
 - HIL测试支持
- J 支持多种通信标准
 - 3GPP/LTE/WLAN
 - 自定义调制方式 (ASK/FSK/QAM)

射频广播电视信号源R&S®SFE100



专用于广播电视测试的发射机，支持多种地面广播和电视标准，输出频率高达3 GHz

- J AM/FM/RDS
- J DAB/DAB+
- J SXM/HD radio
- J DTMB
- J DVB-T/T2
- J 用于
- J 信噪比测试
- J 接收门限测试

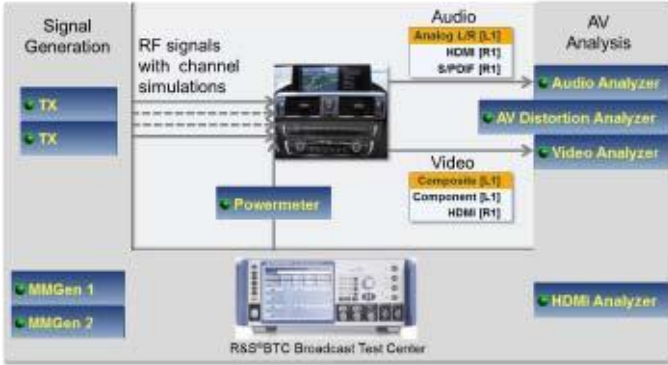
车内声学测试

典型的车内声学环境测试系统，使用人工耳接收声音，通过功放传输给音频分析仪，与车内音响播放的声音相比较，测量其响度、频响、失真等参数。

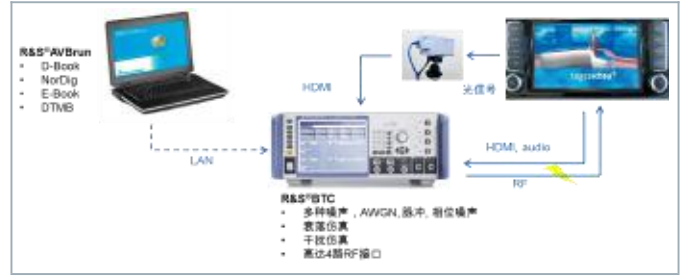


屏幕和电视 测试方案

车载广播电视的端到端方案，R&S推出了BTC广播电视测试中心，支持当前所有主流的广播和电视标准，具有完善的信道仿真和加扰功能，以及可以插入VTC系列的视频分析板卡，实现单机完整的测试台解决方案。



- 最新传输模拟技术
- 集成自动测试功能
- BTC配合摄像头和AVBrun实现车载电视的端到端性能验证环境



此外，BTC具有强大的高级测试功能：

- 干扰和共存测试—接收机对多种不同频段和制式信号的抗扰能力
- 多天线和MIMO测试—需要模拟多路车载天线的接收信号
- 衰落/多径仿真—信道衰落和多径传输时延/多普勒频移

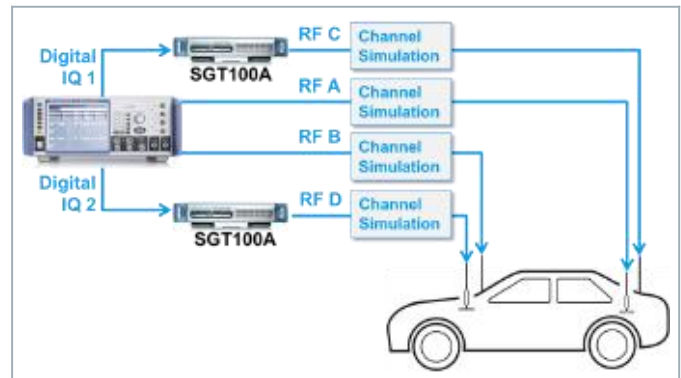
例如下图，可以实现信号混合分配、实现多天线接收机的MIMO测试

R&S®BTC广播电视信号产生与视频分析一体



从激励源到分析仪，单机实现完整的端到端测试

- 支持大多数广播电视标准
- AM/FM RDS, DRM(+), HD Radio, DAB, T-DMB, DVB-T/T2
- ISDB-T/TB/-TSB,...
- 内置码流发生器
- 高端RF信号产生性能
- 双路独立的RF源 (加SGT100A可扩展到4路), 160 MHz带宽



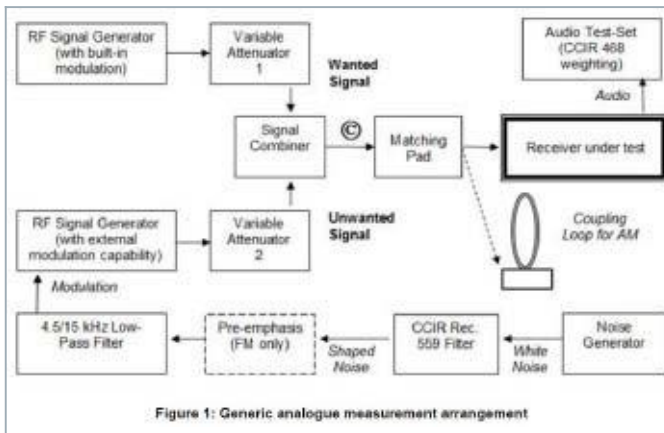
RED认证测试

2017年起，欧盟地面接收机测试规范EN 303 340，EN 303 345开始实施需要对广播和电视接收机做共存测试，验证在其他通信信号存在的条件下，广播和电视接收机的接收性能。其中DVB-T/T2与LTE (EN 303 340) AM/FM，DAB，DRM (EN 303 345) 以上共存测试可以由单台R&S®BTC完成。EN 303 340是对地面数字电视的测试要求，主要测试DVB-T/T2与LTE信号的共存测试，需要测试环境提供主信号与干扰信号，且具有较高的内部信号产生特性。

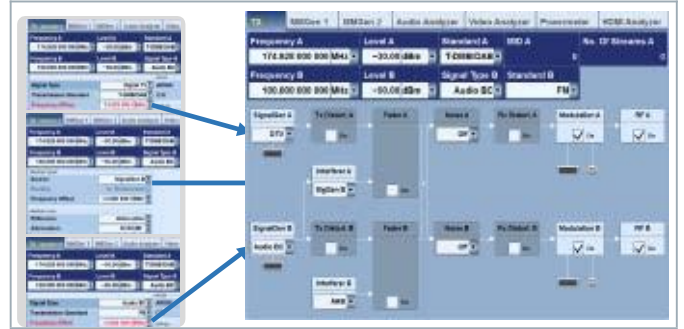
而RED认证测试EN 30-3 345，则是对对AM，FM，DAB，DRM等等收音机的一致性测试要求，该测试要求仪器内部产生CCIR59信号。

- 邻频的灵敏度与阻塞测试
- 带外辐射
- 灵敏度

EN303 345测试示意图如下：



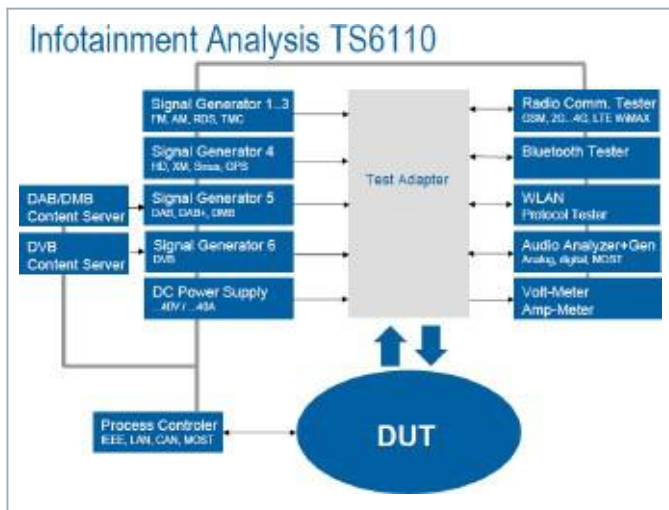
BTC的干扰信号功能，可以在同一个基带上附带不同的干扰信号，且保证互调特性，完美适配于此类测试：



产线自动化测试

系统选件和配置:

R&S汽车电子测试系统TS6110专为研发应用设计



整车产线自动化 测试系统ATSI100

该系统特别为整车生产线定制，在测试深度和测试耗时之间取得平衡。



J 专门用于对车载信息娱乐系统，进行快速全面的生产测试的系统

J 在生产各个阶段测试使用

J 涵盖车载信息娱乐系统中所有现代化标准

J AM、FM信号源

J DAB转发器

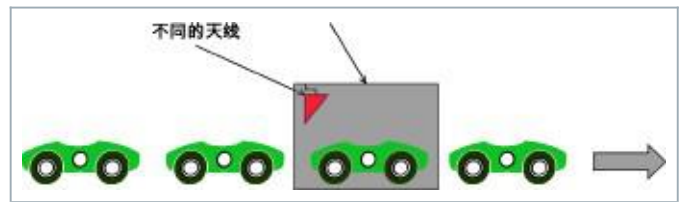
J PAL/NTSC TV信号源

J DVB-T转发器

J 喇叭测试

J 音频分析

J 无钥匙进入系统 (ISM)



J 系统使用多种天线固定在组装流水线的上方，与其他测试功能（如ABS等）并行测试

J 完全自动化的测试，可以并行地执行其他测试 信息娱乐系统零测试时间

J R&S的ATSI系统也允许分布式测试，来进一步提高测试速度并优化吞吐量

车载导航测试 解决方案

相关产品:

- J > SMW200A
- J > SMBV100A
- J > FSW
- J > FSV
- J > FSVA
- J > CMW500
- J > UPV
- J > UPP
- J > IQR

方案说明:

GNSS定位系统是车载导航定位系统的关键技术，车载GNSS导航定位系统的应用正在全球迅速发展。车载GNSS导航定位系统的功能将会越来越完善，精度越来越高，集成度越来越大。本文主要介绍GNSS卫星导航定位系统，提出了以罗德与施瓦茨公司的卫星导航模拟器SMBV100A为基础的车载导航测试解决方案以及高端导航模拟器SMW200A为主的先进车载导航测试方案。

概述车载卫星导航技术背景

车载导航的目的就是要告诉车主三个信息：现在在哪里？要去哪里？怎么去？因此，车载导航首先是要定位，然后是测试，最后是通过电子地图引导车主如何行进。在此过程中，GNSS全球卫星导航定位系统是车载导航的关键技术。

车载卫星导航系统是近年来发展很快的一种安装在车辆上用于对车辆进行导航的系统，就是利用车载卫星导航接收机配合电子地图来进行的，它能方便且准确地告诉驾驶者去往目的地的最短或者最快路径，是驾驶员的好帮手。

汽车导航装置在20世纪80年代问世，而真正进入市场是在20世纪90年代初期。由于全球定位系统的全面投入应用，车载导航装置才得以推广，其发展过程大致可分为三代。第一代：使用简易的传感器进行概率测定和显示本车位置。第二代：能自动控索和显示到达目的地的推荐路线，输入交叉路口的信息和接近通过交叉路口时利用声音进行导航。第三代：与地面交通管理系统联机，显示最佳路线。

GNSS市场在很多因素的驱动下正在快速发展，其中车载导航的广泛应用，以及基于位置跟踪应用的普及等等。同时，由于车联网市场、无人驾驶的出现，车载导航的要求也在不断增加，从最初的标准定位SPS（Standard Positioning System）需求，发展到现在的高精度定位PPS（Precise Positioning System）需求。



图1 车载导航

卫星导航系统及定位原理

卫星导航系统组成

卫星导航定位系统主要由空间部分、地面控制部分和用户设备三大部分组成，如下图所示：

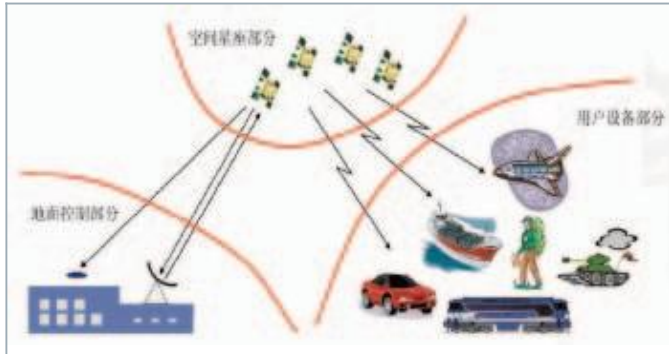


图2 GNSS卫星导航系统组成

其中：

- 空间部分：包括GNSS工作卫星和备份卫星
- 地面控制部分：控制整个系统和时间，负责轨道监测和预报
- 用户设备部分：主要是各种型号接收机

卫星导航系统频段划分

各种不同的卫星导航定位系统的频段有所不同，具体可参见下图所示：

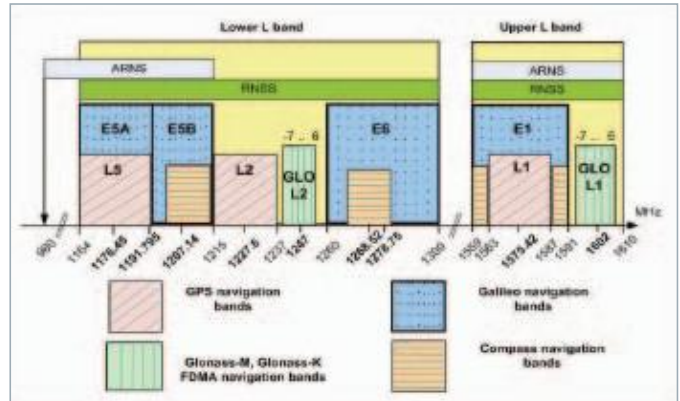


图3 GNSS卫星导航系统频段划分

卫星导航定位原理

GNSS的定位原理，简单来说，就是利用几何与物理的一些基本原理，利用空间分布的卫星以及卫星与地面点间距离交汇出地面点位置的方法。因此，若假定卫星的位置已知，通过一定的方法我们又准确测定出地面点A至卫星间的距离，那么A点一定位于以卫星为中心，以所测得距离为半径的球上。若我们能同时测得点A至另两颗卫星的距离，则该点一定处在三个球相交的两个点上。根据地理知识，我们很容易确定其中一个点是我们所需要的点。

以上假设，需要知道已知卫星的位置同时还得测定接收机到三颗卫星的距离，即可实现定位，但是由于卫星大多是分布在两万公里高空的运动载体，只能是在同一时间测定三个距离才可定位，要实现同步必须具有统一的时间基准，从解析几何角度出发，GNSS定位需要包括确定一个点的三维坐标与实现同步的四个未知参数，因此，必须通过测定到至少4颗卫星才能定位，如下图的方程所示：

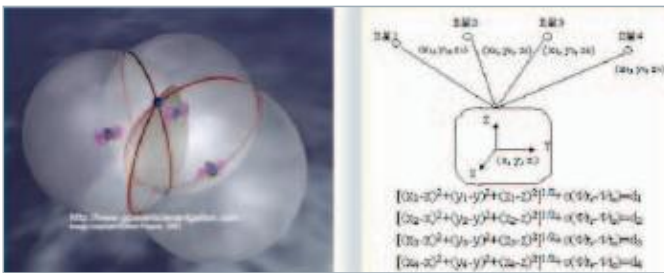


图4 卫星导航定位原理

确定卫星三维坐标

卫星导航定位是以卫星为已知的基准点，通过测量站星间的距离，解算用户的位置。而卫星的在轨参数信息主要包含在卫星的导航电文中。

GPS卫星导航电文是用户利用GPS定位和导航所必须的基础数据。它主要提供了卫星在空间的位置、卫星的工作状态、卫星钟的修正参数、电离层延迟修正参数等重要信息。这些信息是以二进制码的形式按规定格式编码，并按帧发给用户接收机，因此又称之为数据码 (D码)。

确定站星间的距离

距离测量主要采用两种方法：一是测量GNSS卫星发射的测距码信号到达用户接收机的传播时间，即伪距测量；二是测量具有载波多普勒频移的GNSS卫星载波信号与接收机产生的参考载波信号之间的相位差，即载波相位测量。通过4颗或4颗以上的卫星同时进行伪距或载波相位测量即可推算出接收机的三维位置。

卫星导航测速原理

利用位置差分测速

基于GNSS定位后的结果。假设于历元 t_1 和 t_2 测定的载体实时位置分别为 $X_1(t_1)$ 和 $X_2(t_2)$ ，则其运动速度可简单地表示为：

$$\begin{bmatrix} \dot{X} \\ \dot{Y} \\ \dot{Z} \end{bmatrix} = \frac{1}{t_2 - t_1} \begin{bmatrix} X_2(t_2) \\ Y_2(t_2) \\ Z_2(t_2) \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} X_1(t_1) \\ Y_1(t_1) \\ Z_1(t_1) \end{bmatrix}$$

那么这段时间的速度可以表示为：

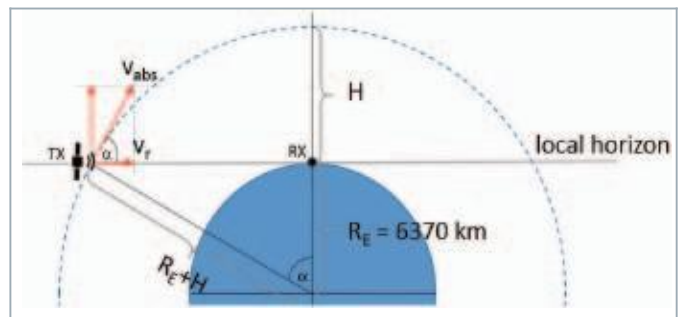
$$v_s = (\dot{X}^2 + \dot{Y}^2 + \dot{Z}^2)^{1/2}$$

此方法得到的速度是平均速度，时间间隔过长时，测试结果并不稳定，无法表示瞬时速度。

利用多普勒频移测速

当GNSS接收机载体和GNSS卫星之间存在相对运动时，接收机接收到的GNSS载波信号频率，与卫星发射的载波信号的频率是不同的，其间的频率差值，称为多普勒频移。利用GNSS原始多普勒频移观测值，直接计算速度。

首先，根据卫星的轨道高度、轨道周期，计算卫星的线速度：



$$v_s = \frac{r_s d\theta}{dt} \approx 26560 \text{ km} \times 1.458 \times 10^{-4} \approx 3874 \text{ m/s}$$

$$v_{d \max} = \frac{v_s r_e}{r_s} = \frac{3874 \times 6368}{26560} \approx 929 \text{ m/s}$$

$$f_{dr} = \frac{f_r v_{dm}}{c} = \frac{1575.42 \times 929}{3 \times 10^8} \approx 4.9 \text{ kHz}$$

GNSS导航接收机会从捕获的GNSS导航电文中计算多普勒频移 v_{dm} ，根据多普勒频移计算瞬时速度： $v_{dm} = f_{dr}^* f / f_r$

其中， f_{dr} 是多普勒频移（由接收机捕获所得）， f_r 是GNSS卫星导航信号频率；

卫星导航授时原理

单站授时法

应用一台GNSS接收机在一个已知坐标的观测站上进行测时。

假设于历元 t 由观测站 T_i 至观测卫星 s_j 所得伪距：

$$\tilde{\rho} = \sqrt{(X_s - X)^2 + (Y_s - Y)^2 + (Z_s - Z)^2} - \delta_{t_r} \times c + \delta_{t_s} \times c - d_{ion} - d_{trop}$$

由于站星在协议地球坐标系中的坐标已知，几何距离已知，卫星钟差和大气折射改正可根据导航电文中给出的参数推算，则可计算接收机的钟差。

至少同步观测4颗卫星，以便在确定观测站位置的同时，确定接收机钟差。单站单机测时的目的在于确定用户时钟相对GNSS时的偏差，进一步根据导航电文给出的信息，计算相应的协调时（UTC）。

共视授时法

在两个测站上各设一台GPS接收机，同步观测同一卫星，来测定两用户时钟的相对偏差，达到高精度时间比对的目的。

$$\tilde{\rho}_1 = \sqrt{(X_s - X_1)^2 + (Y_s - Y_1)^2 + (Z_s - Z_1)^2} - \delta_{t_{r1}} \times c + \delta_{t_{s1}} \times c - d_{ion} - d_{trop}$$

观测误差为：

$$\tilde{\rho}_2 = \sqrt{(X_s - X_2)^2 + (Y_s - Y_2)^2 + (Z_s - Z_2)^2} - \delta_{t_{r2}} \times c + \delta_{t_{s2}} \times c - d_{ion} - d_{trop}$$

当观测站坐标已知时，两站用户时钟的相对钟差为：

$$\Delta\tilde{\rho} = \Delta\rho - \Delta\delta_{t_r} \times c + \Delta\delta_{t_s} \times c - d_{ion} - d_{trop}$$

共视法可消除卫星钟差影响，同时卫星轨道误差和大气折射误差也将明显减弱，相对钟差精度较高。

全球卫星导航定位系统GNSS介绍

GPS

GPS (Global Positioning System) 即全球定位系统, 属于美国建设、维护的卫星导航系统, 也是目前应用最为广泛的卫星导航系统。它是一个被动式定位的卫星导航定位系统, 由美国陆海空三军于20世纪70年代联合研制。

全球卫星导航系统主要由GNSS、SBAS和GBAS三个系统共同组成, 如下:

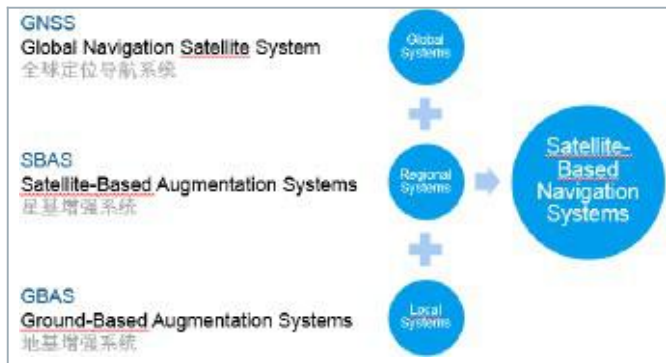


图5 卫星导航系统组成

其中, SBAS即星基增强系统, GBAS为地基增强系统。下面分别介绍每个系统。

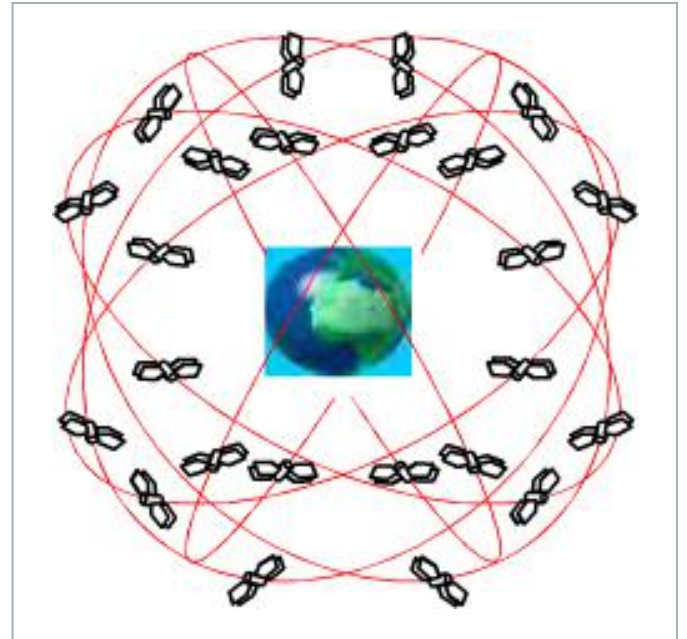


图6 GPS卫星星座

GPS由32颗卫星组成, 均匀分布在6个轨道平面内, 轨道倾角为55度, 卫星距离地球表面的平均高度约为20000公里, 运行速度为3800 m/s, 运行周期为11时58分。每颗卫星可覆盖全球约38%的面积, 卫星的分布可以保证在地球上任何地点、任何时刻, 同时能观测到4颗卫星。

GPS卫星发射两种频率的载波信号, 即频率为1575.42 MHz的L1载波和频率为1227.60 MHz的L2载波, 在L1和L2上又分别调制着多种信号, 这些信号主要有: C/A码(粗捕获码)、P码(精码)和导航信息。GPS采用了信号扩频调制, 把窄带信号扩展到一个很宽的频带上发射出去, 已达到抗干扰、保密和省电的目的。

GLONASS

前苏联从80年代初开始建设的与美国GPS系统相类似的卫星定位系统，也是由卫星星座、地面监测控制站和用户设备三部分组成。Glonass系统的卫星星座由24颗卫星组成，均匀分布在3个近圆形轨道平面上，每个轨道面8颗卫星，轨道高度19100公里，运行周期11小时15分，轨道倾角64.8度。



图7 GLONASS卫星星座

与美国GPS系统不同的是Glonass系统采用频分多址方式，根据载波频率来区分卫星（GPS是码分多址，根据调制码来区分卫星）。每颗Glonass卫星发射的两种载波频率分别为： $L1 = 1602 + 0.5625 * k$ (MHz) 和 $L2 = 1246 + 0.4375 * k$ (MHz) 其中， $k = 1 \sim 24$ ，为每颗卫星的频率编号。

GLONASS

Galileo系统原理同GPS相似，可以覆盖全球的导航和定位功能，为用户提供误差不超过1米的高精度、高可靠性的定位服务。

Galileo系统的基本结构包括星座与地面设施、服务中心、用户接收机等，卫星星座由30颗卫星组成（27颗工作卫星和3颗备用卫星），卫星采用中等地球轨道，均匀分布在高度约为23616 Km的3个中高度园轨道面上，倾角为56度。

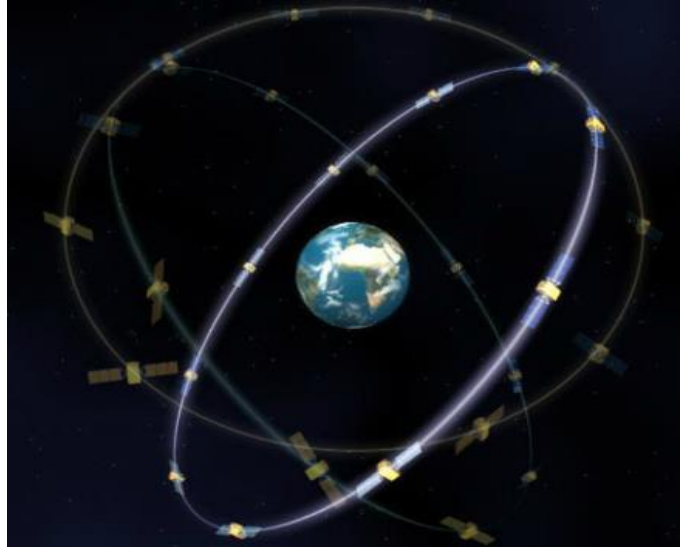


图8 GALILEO卫星星座

卫星的设计寿命为20年，卫星信号采用4种位于L波段的多载频来发射，其频率分别为：E5a: 1176.45 MHz、E5b: 1207.14 MHz、Eb: 1278.75 MHz、E1:1575.42 MHz Galileo系统的主要特点是向用户提供公开服务、安全服务、商业服务、政府服务等不同模式的多服务，它除了具有全球导航定位功能外，还具有全球搜寻救援功能。

BeiDou

BeiDou即北斗卫星导航系统，是中国自行研制的全球卫星定位与通信系统，是继GPS、Glonass之后第三个成熟的卫星导航系统。系统由空间端、地面端和用户端组成，可在全球范围内全天候、全天时为各类用户提供高精度、高可靠定位、导航、授时服务，并且具有短报文通信能力。

北斗系统的空间端由5颗静止轨道卫星和30颗非静止轨道卫星组成，地面端包括主控站、注入站和监测站等若干地面站。用户端由北斗用户端以及与其他卫星导航系统兼容的终端组成。

北斗卫星信号使用如下三个频段：

- J B1: 1559.052~1591.788MHz
- J B2: 1166.22~1217.37MHz
- J B3: 1250.618~1286.423MHz

作为全球系统，北斗卫星导航系统在2012年左右已经覆盖亚太地区，将在2020年之前完成全球覆盖，其卫星星座如下图所示：



图9 BeiDou卫星工作星座

现阶段北斗卫星信号（第三阶段）的基本特征如下表所示：

信号	中心频点 (MHz)	码速率 (cps)	数据/符号速率 (bps/sps)	调制方式	服务类型	
B1-C _D	1575.42	1.023	50/100	MBOC (6,1,11)	开放	
B1-C _P			No			
B1-A	1575.42	2.046	50/100	BOC (14,2)	授权	
			No			
B2a _D	1191.795	10.23	25/50	AltBOC (15,10)	开放	
B2a _P			No			
B2b _D			50/100			
B2b _P			No			
B3	1268.52	10.23	500 bps	QPSK (10)	授权	
B3-A _D			2.5575	50/100	DOC (15,2.5)	授权
B3-A _P				No		

SBAS

SBAS，星基增强系统 (Satellite-Based Augmentation Systems)。通过地球静止轨道 (GEO) 卫星搭载卫星导航增强信号转发器，可以向用户播发星历误差、卫星钟差、电离层延迟等多种修正信息，实现对于原有卫星导航系统定位精度的改进，从而成为各航天大国竞相发展的手段。目前，全球已经建立起了多个SBAS系统，如美国的WAAS (Wide Area Augmentation System)、俄罗斯的SDCM (System for Differential Corrections and Monitoring)、欧洲的EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service)、日本的MSAS (Multi-functional Satellite Augmentation System) 以及印度的GAGAN (GPS Aided Geo Augmented Navigation)。

上述SBAS系统的工作原理大致相同。首先，由大量分布极广的差分站 (位置已知) 对导航卫星进行监测，获得原始定位数据 (伪距、卫星播发的相位等) 并送至中央处理设施 (主控站)，后者通过计算得到各卫星的各种定位修正信息，通过上行注入给GEO卫星，最后将修正信息播发给广大用户，从而达到提高定位精度的目的。

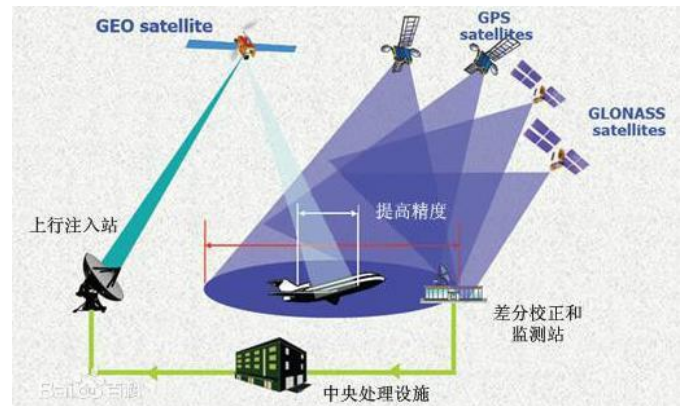


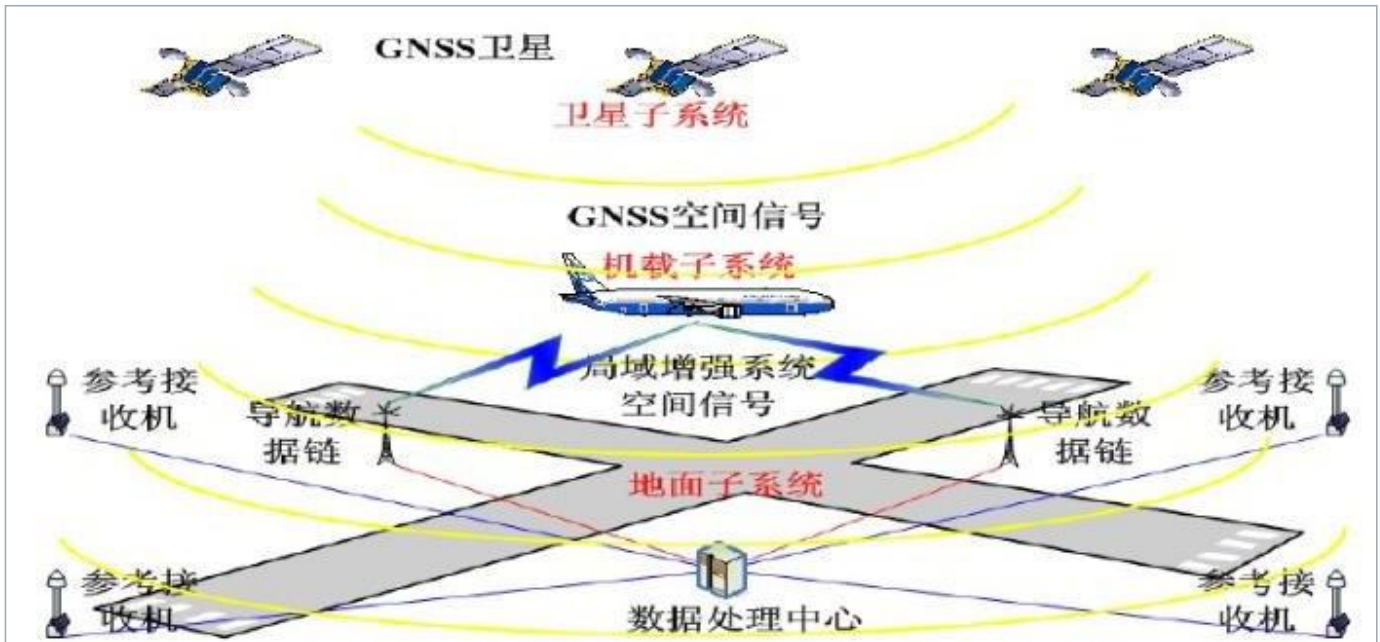
图10 SBAS系统组成

GBAS

GBAS：地基增强系统 (Ground-Based Augmentation Systems)。空中交通管理系统从现有陆基导航系统向星基导航系统过渡已成为未来发展的必然趋势。卫星导航系统可以提供全球、全天候、连续实时的导航，具备成为支持民用航空的主用导航系统的能力。为保证飞行安全，民航精密进近和着陆引导在精度、完好性和可用性等方面都对卫星导航提出了很高的要求。为此，国际民航组织提出了地基增强系统 (GBAS) 的概念，美国定义其名称为本地局域增强系统(LAAS)。

GBAS由地面站、监控设备和机载设备组成。GBAS地面站包括四对参考接收机和天线、地面数据处理设备、甚高频数据广播 (VDB) 设备和VDB天线等。地面数据处理设备通过结合来自每个参考接收机的测量值产生可见卫星的差分校正值；同时，通过实时监测导航信号本身或者是地面站的异常，形成卫星导航系统和本站自身的完好性信息；然后把FAS数据、校正值和完好性信息通过VDB播发给机载用户。机载设备为多模式接收机 (MMR)。由于机载用户和GBAS站的距离很近 (小于50公里)，它们之间的误差有很强的相关性，所以通过这种方法能够提高机载用户的定位精度和完好性。

图11 GBAS系统组成



实时卫星导航 模拟器

实时卫星导航模拟的必要性

测试导航接收机的一种方案是使用外部真实的卫星信号。这种方法虽然可以使接收机在包含多种因素影响的真实环境下进行测试，但也存在很大的缺陷，如测试环境变化剧烈且不可预知，这使得无法在保证严格一致的测试条件下执行重复测试。实际上由于需要在不同时间、地点进行验证，这使得真实卫星信号测试变得更加棘手，不仅消耗很多时间和金钱，而且有些测试项根本无法完成，像高海拔和高速度测试就变得不切实际。

导航信号模拟器克服了以上这些问题。仪表能够根据产生模拟的卫星导航信号，也可加入真实环境下接收的各种影响因素。模拟器拥有以下优势：

- J 产生的信号严格已知，接收机能够在可控的确定条件下测试；
- J 测试条件能够精确重现，这样就能在相同条件下进行多次重复测试；
- J 多种条件综合测试，实验室就能模拟任意位置和时间，任意路线下移动接收；
- J 可以节省大量的时间和费用，像接收机其中一个关键特性首次定位精度，模拟器可以在极短时间内就能模拟慕尼黑、纽约、北京或悉尼等任何城市，而这是使用真实卫星导航信号根本无法完成的任务；
- J 测试条件的构建灵活性大，从模拟单颗静态卫星，到模拟带多径和大气层效应的多颗卫星。因此，可以只在某个特定因素影响下进行测试(屏蔽其他影响)。让用户更加深入了解接收机的性能；
- J 相比于真实的导航信号，导航模拟器产生的信号几乎没有任何噪声，因此能为测试提供极佳的信噪比。一些导航模拟器(如SMBV)，用户可以自定义设置噪声分布。

基于以上原因，导航卫星模拟器是研发和生产中测试接收机功能和性能的理想选择

R&S公司的实时卫星导航模拟器 SMBV100A

R&S®SMBV是一台高性价比的通用矢量信号发生器，具备优异的射频指标，支持几乎所有的通信和广播标准。通过配置一个或多个可选选件，R&S®SMBV是一台支持GPS、Glonass、Galileo和BeiDou的全能导航模拟器。



图12 R&S®SMBV100A卫星导航模拟器

R&S®SMBV100A为接收机测试提供了强大和可靠的单表解决方案，它提供了以下关键特性：

- J 实时导航卫星模拟，支持GPS L1/L2 (C/A和P码)，Glonass L1/L2，Galileo E1 和 BeiDou B1/B2；
- J 最多可支持至24颗卫星；
- J 不限的模拟时间，带有卫星空中自动切换功能；
- J 静态卫星模拟可配置多普勒频移；
- J 模拟产生混合场景的GPS，Glonass，Galileo和BeiDou卫星；
- J 静态接收机测试支持自定义或预定义的地理位置；
- J 移动接收机测试支持自定义或预定义的行驶路线(可直接导入NMEA数据)；
- J 对单颗卫星或全部卫星进行实时动态功率控制，模拟卫星可视性变化(遮挡)。在不影响信号产生情况下激活或去激活卫星；
- J 模拟多径传播(可配置延时、功率、多普勒频移和载波相位)；
- J 支持电离层和对流层模型；
- J 通过导入Almanac文件，支持最新或早期的卫星轨道；
- J 通过导入RINEX文件，支持最新或早期的星历数据(多达12个星历集)；
- J 可设置的仰角模板，自己移除低仰角的卫星；
- J 支持自定义或预定义的A-GPS场景；
- J 单表解决方案—无需外部软件或外部电脑；

除了导航卫星模拟外，R&S®SMBV还支持数字通信标准如GSM/EDGE，3GPP/HSPA，LTE，WLAN，Wimax，Bluetooth，以及广播标准如FM stereo(带RDS)，HD Radio，Sirius和XM Satellite Radio和DAB。今天的移动终端

除了GPS/Glonass/BeiDou外还具备以上所述的一种或多种标准，因此拥有一台能够支持所有测试信号产生的单表给用户带来很大帮助。所有信号都是实时产生，无需任何外部软件。

R&S®SMBV还能选配高斯白噪声产生模块，用于在射频输出信号上叠加可控的噪声，而且还支持叠加CW阻塞干扰。

仪表所有设置都能通过SCPI命令远程控制。因此R&S®SMBV可以完成生产或者研发自动化测试，远程控制硬件接口包括以太网（TCP/IP），GPIB（IEC/IEEE）和USB。

R&S公司的实时高端卫星导航模拟器 SMW200A

R&S®SMW200A高端GNSS模拟器是罗德与施瓦茨公司卫星导航系统模拟器产品家族的一颗耀眼的新成员。它不仅具备R&S®SMBV100A几乎所有功能，同时，它还可以扩展至多达4个RF输出，可同时模拟多天线和多频段环境下的GNSS信号，最大支持144颗卫星的模拟能力，是市场上唯一一款能够内部并行模拟GNSS信号和复杂干扰环境的仪器。R&S®SMW200A的问世为罗德与施瓦茨公司开启了GNSS模拟的一个革新时代。

R&S®SMW200A高端GNSS模拟器可轻松仿真复杂且高度现实的测试场景，满足了多种多样的GNSS应用。为了测试多频段和多天线系统，用户可将72个GNSS信道分配多达4个RF输出。R&S®SMW200A不仅可以产生GPS、Glonass、Galileo和BeiDou信号，也可产生QZSS和SBAS信号。有时甚至使用多根天线并行处理以提高定位精度，其中差分GNSS(DGNSS)定位技术就可以进一步提高定位精度。这些技术主要应用于自动驾驶以及飞机着陆等场景，定位的精确性和可靠性是不可或缺的。应用于这类场景的GNSS接收机必须经过大量的测试才能部署在车辆或飞机上。



图13 R&S®SMW200A卫星导航模拟器

R&S®SMW200A高端GNSS模拟器，是市场上第一个也是唯一一个具有内部噪声发生器同时可以产生具有多个干扰源的复杂干扰场景。所有信号（GNSS，噪声和干扰）都直接在仪器中生成，无需额外的干扰源，极大地简化了测试设置。

车载导航接收机测试

车载导航接收机主要包括两类：一是车载导航模块；二是车载导航接收机；不管是哪一类产品，都可以分为直连测试和OTA空口测试；

J 车载导航直连测试

如果车载导航接收机或模块本身可以直接通过射频线缆直连，同时，提供串口的NMEA数据输出，则可以直接进行直连测试。此方式的优势是精确控制功率和屏蔽外界干扰。如下图所示：

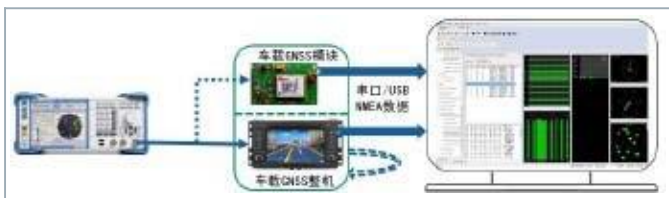


图14 车载导航接收机直连测试方框图

此方案，由于大部分车载导航接收机的射频前端配备有源放大器，因此，需要注意车载导航接收机本身的直流馈入影响。同时，在测试结果的显示上面，需要导航接收机本身提供NEMA数据的输出接口，可以使用导航芯片本身的软件进行测试，也可以使用第三方的软件，如u-center软件。如果上述两种方式都无法进行，可以使用R&S公司自带的自动化测试软件“GNSS Test Automation”。

J 车载导航OTA测试

如果车载导航接收机已经做成成品了，无法提供射频接口直连的方式，则可以使用OTA的空口测试方法。

使用此方法，需要注意外界的信号屏蔽，因此，可以在暗室或者屏蔽房的条件下进行测试，如下图所示：

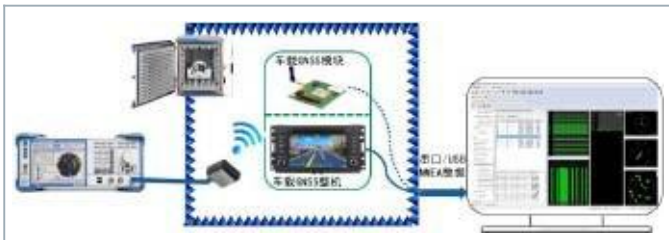


图15 车载导航接收机OTA测试方框图

在暗室或者屏蔽房进行测试，优势可以屏蔽外界干扰，同时校准空中电平损耗。另外，由于车载导航接收机本身的尺寸并不大，因此，可以使用DST200屏蔽房或者TS7124屏蔽室等完成。

车载导航的接收机测试，包括：标准的接收机性能测试、特殊条件下的接收机测试、特殊事件测试以及先进的接收机测试方案，如下图所示：



图16 车载导航接收机测试项目

标准接收机测试

标准接收机测试是指的常见的接收机测试项目，是接收机基本性能的重要保证。车载导航标准接收机的测试，包括：首次定位时间、捕获/跟踪灵敏度、静态/动态定位精度、重新捕获时间等指标。

首次定位时间TTFF

首次定位时间 (Time to first fix, TTFF) 指的是接收机首次搜星获得定位的时间，该指标非常重要，直接影响接收机用户的使用感受。测试过程中SMBV模拟固定位置的卫星星座图，用户可以把SMBV设置成“Auto Localization”模式，该模式下SMBV自动设置卫星参数，用户可以选择预定义的城市或者自定义坐标，模拟的卫星总数最多可达到24颗。对于该项测试，参考电平通常设置为高于捕获灵敏度电平。SMBV主要设置界面如下：

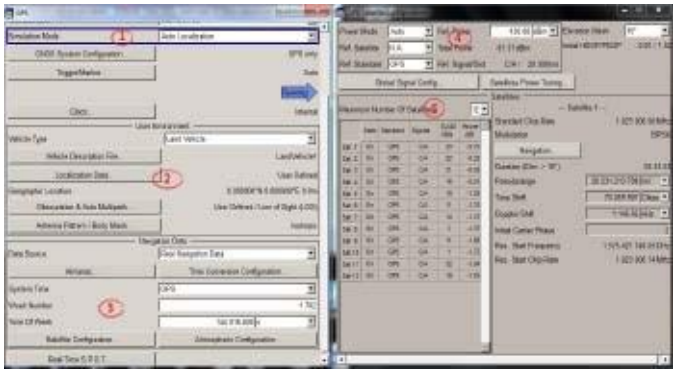


图17 首次定位时间TTFF设置界面

在首次定位时间TTFF的测试过程中，主要设置仿真模式、地理位置、UTC时间、卫星功率和数量等参数。

捕获灵敏度测试

导航接收机的灵敏度包括捕获灵敏度和跟踪灵敏度。其中，捕获灵敏度指的是接收机本身在失锁的情况下，捕获GNSS信号的最小接收电平。测试方框图如下：



图18 捕获灵敏度测试框图

在导航接收机的测试中，灵敏度有两种统计方法：

J定位精度统计法：即当定位精度小于某一个给定值的时候，计算当前的接收功率，作为接收机的灵敏度；

J CN0统计法：即通过捕获到的卫星载噪比的方式，计算当前的接收电平，作为接收机的灵敏度。其中，灵敏度和CN0直接的关系如下：

$$\text{灵敏度}_{\min} = -174 \text{ dBm/Hz} + C/N_{\min} + NF_{\text{receiver}}$$

跟踪灵敏度测试

跟踪灵敏度指的是接收机本身定位的情况下，由于卫星信号的遮挡或衰减等，造成接收机的接收电平降低，直到接收机失锁或定位精度下降到100 m左右的情况下，导航接收机所接收到最小电平。测试方框图如下：



图19 跟踪灵敏度测试框图

由于跟踪灵敏度相对比较小，大多都能达到-155 dBm左右，甚至更低，而导航模拟器本身的输出电平一般在-145 dBm左右。因此，必要的时候，可以使用外接衰减器的方式进行灵敏度测试。

生产灵敏度测试

在GNSS模块和接收机的生产测试过程中，需要检查基本的GNSS接收性能。基于 SMBV100A的GNSS生产测试仪，在L1/E1频段，模拟GPS、Glonass、Galileo和BeiDou导航标准的卫星。4颗卫星可单独激活，每个具有34 dB的动态范围。电平可在飞行中改变，不需要中断信号，这使用户能够同时为每个系统执行独立的灵敏度测试。大动态范围提供了充足的余量，以适应芯片组的差异。

除GNSS信号外，该GNSS生产测试仪还能校准具有明显更高电平的装置而进行的非常基本的测试生成纯净、电平稳定的连续波信号，或者干脆作为干扰源使用。



图20 生产灵敏度设置界面

静态定位精度测试

定位精度是指导航接收机定位的位置与真实位置的接近程度，一般需要测试其绝对精度、可重复性和移动状态下的定位精度。

为了测试绝对定位精度，SMBV模拟不同的静态位置，例如参考坐标半径内的任意位置，接收机的上报位置信息和模拟位置进行比较，计算2D和3D误差，最终误差量是不同地点误差的平均值。该测试项参考电平设置为高于捕获灵敏度电平。

和TTFF测试项一样，定位精度测试是在很多不同条件下配置不同的卫星星图重复测试得到。

动态定位精度测试

测试中SMBV模拟接收机沿指定路径移动，最佳模拟方式是“Auto Localization”，但如果用户需要完全控制卫星模拟也可以使用“User Localization”模式。

SMBV自带一些轨迹文件，但是用户也可以使用自定义waypoint文件。接收机上报位置和waypoint文件中的模拟位置进行比较，通过计算经度、纬度和高度差获得2D和3D误差。

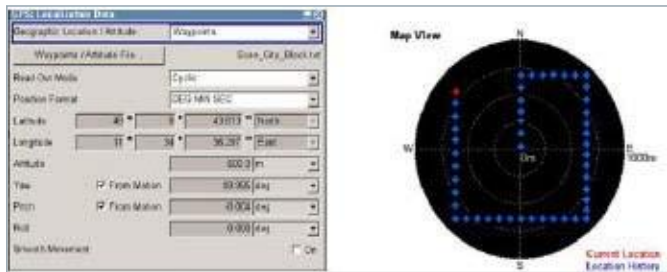


图21 动态定位精度设置界面

如何比较车载导航接收机上报的位置与导航模拟器的waypoint文件进行比较？ SMBV100A/SMW200A卫星导航模拟器自带Data Logging分析功能，可以自动生成导航模拟器的waypoint文件，然后与接收机上报的NMEA数据进行实时对比，即可完成实时的动态定位精度测试。

重新捕获时间测试

重新捕获时间是指接收机在位置信息丢失后，重新获得卫星信号和位置信息所需的时间。该项测试是为了验证接收机在短时间丢失所有信号后能在多短时间内重新捕获卫星信号，重新捕获时间对车载导航接收机来说非常重要。测试过程中SMBV配置为“User Localization”模式，先关闭所有模拟卫星信号，等待一段时间后恢复卫星可视性，参考电平通常设置为高于捕获灵敏度电平。



图22 重新捕获时间测试

重新捕获时间的测试，可采用两种方式进行，一是直接通过开关导航模拟器的射频，进行测试；二是通过导航模拟器自带的隧道模型或停车场模型完成测试。

特殊条件下的测试

标准条件下的测试只能保证接收机的基本性能，但是接收机处于复杂场景下的性能，需要做相关的特殊条件测出，例如：多径、大气层影响、遮挡效应等；

干扰条件下的测试

该项测试是为了验证非期望干扰信号如何影响接收机性能，由于卫星信号功率非常低，致使其很容易受到干扰。当接收机受到干扰信号影响时，性能指标就会下降甚至无法获取或跟踪卫星。移动终端和芯片组集成了越来越多的功能，使得干扰不可避免，导航接收机的性能必须在可能的干扰源如WLAN、蓝牙、FM立体声和移动通信标准信号下进行测试，保证导航功能的正确性。

干扰测试中需要第二台信号发生器，例如第二台SMBV。一台SMBV产生导航信号，另一台用于产生干扰信号，然后通过合路器合并。或者直接使用高端的卫星导航模拟器SMW200A单台仪表完成，如下图：



图23 干扰条件下的测试

SMBV是一台全功能的信号发生器，支持数字通信标准信号产生，包括GSM/EDGE、3GPP WCDMA、LTE、WLAN、WiMAX和Bluetooth等，广播信号像FM立体声、HD Radio和DAB等，以及各种导航卫星标准。而且内置的ARB发生器可以用来回放用户自定义的干扰信号。干扰信号的输出电平可以有很大的动态范围，并且支持频率扫描和功率扫描功能。

静态多径条件下的测试

该项测试是为了验证接收机在受到多径影响下的导航接收性能变化，尤其是定位精度、首次定位时间和重新捕获时间的下降程度。

实际环境下尤其是城市，卫星信号会受到建筑物和其他城市物体的反射，因此到达接收机的卫星信号不仅有直射信号，而且包含了每颗卫星多径后的信号，这些卫星信号以不同时延和衰减到达接收机。为了测试接收机在多径作用下的接收能力，SMBV可以模拟一颗或者多颗卫星的静态多径传播，可以为每颗卫星设定多径传播参数，SMBV最多可以模拟24条路径。设置界面如下图：

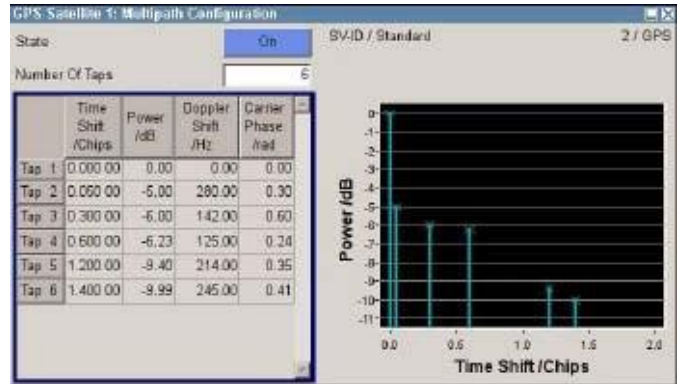


图24 静态多径条件下的测试设置界面

动态衰落场景下的测试

在很多情况下，卫星信号不能直接到达接收天线，相反地，卫星信号会建筑物、树木或地面反射。相对于直达信号，此类多径信号到达天线更迟，具有衰减，会造成显著的定位误差。

该项测试用于验证接收机沿着一个或者三个方向（经度、纬度和高度）运动路径下受到各种障碍物的阻挡或者多径条件下的接收性能，通过测试定位精度和重捕获时间，验证接收机移动时是否能很好地跟踪卫星。

测试中，SMBV不仅能模拟卫星的移动而且还可以模拟接收机的运动，因此就像接收机自己在真的移动一样。如上节所示，SMBV支持移动轨迹文件，如下图：

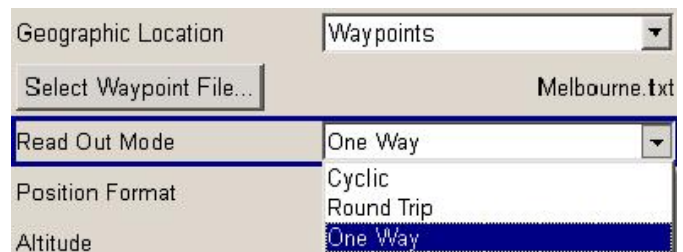


图25 动态衰落场景下的测试设置界面

SMBV支持的路径文件为Waypoint方式，包括：

J KML文件 (Google Earth输出格式)

J Waypoints文件 (R&S定义格式)

J txt文件

J NMEA文件

J xtd文件 (包括：位置、速度、姿态等信息)

为了充分验证接收机针对各种障碍物条件下的性能测试，

SMBV100A提供各种场景的模拟，特色如下：

J 用户自定义垂直障碍，建模城市环境

J 用户自定义道路平面，建模高速公路和周边环境

J 用户自定义界面建模飞机和船舶的陆地/海洋反射

J 用户自定义界面将隧道建模为全信号模糊

J 在自动定位模式下根据所建模的用户环境，自动实时更新卫星可见性和多径

J 10 Hz模糊和多径环境采样信号 (码片速率)

J 可配置的垂直障碍、道路平面和陆地/海洋区域的材料特性

J 诸如农村区域、亚城市区域、城市巷道、隧道、桥梁、高速公路之类的环境模型

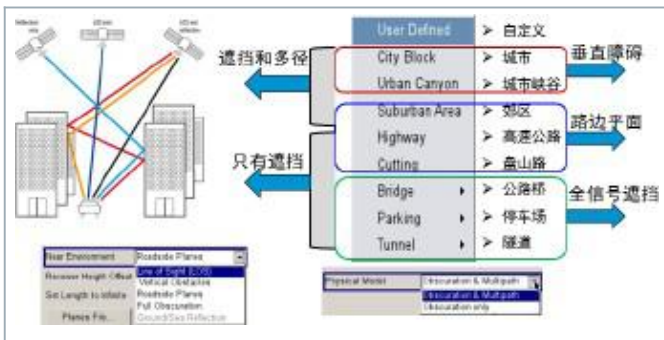


图 26 遮挡效应及多径效应的模拟

大气影响下的测试

该测试项用于验证由于大气层造成的时延对于接收机性能的影响，尤其是定位精度。卫星信号到达接收机的路线中需经过由不同特性组成的地球大气层，其中电离层和对流层占主要影响。SMBV支持模拟卫星信号在电离层和对流层中的传播特性，对于GPS，Klobuchar模型应用于电离层建模，STANAG模型应用于对流层建模，设置界面如下：



图 27 大气影响下的测试设置

车载外壳及车载导航天线方向图下的测试

该测试项用于验证车载导航安装在车内后，车身本身的屏蔽性能及车载导航自身的方向图对车载导航接收机性能所造成的影响。车身本身有没有天窗、车载导航天线并非全向接收，这些都会造成GNSS信号的接收。如何在实验室模拟这种情况？这就要求导航模拟器本身具备车身体形状的模拟及天线方向图的导入功能。

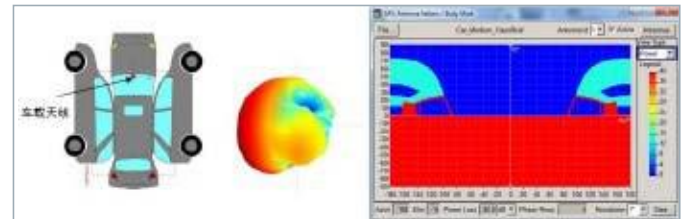


图28 车身体形状及天线方向图下的测试

特殊事件下的测试

标准条件和特殊条件下的测试保障了接收机的主要性能，不过由于地球自转的影响及接收机本身时钟性能的优劣，都会对接收机的性能再次造成影响，为了评估接收机在处理这类事件的能力，需要做闰秒插入测试及秒脉冲测试。

闰秒插入事件的测试

该项测试用于验证接收机是否能正常处理闰秒插入，考虑到地球转动的变化，世界标准时间 (UTC) 需要通过闰秒定期修正。通过插入一个闰秒，UTC年就能增加一秒时间。对比而言，GPS时间连续，无法通过闰秒修正。UTC和GPS之间的时间差通过导航信息广播。在2012年，时间差是16秒。接收机使用广播的UTC到GPS时间差提供UTC时间。一旦闰秒插入事件产生，UTC到GPS时间差增加一秒。

SMBV可以非常方便模拟闰秒插入事件，支持验证接收机能否响应插入事件和调整显示的UTC时间。SMBV工作于” User Localization” 模式。如果模拟的是过去时刻，SMBV可以自动显示下一次闰秒插入的时间 (相对应于当前模拟时间)，也可以用来显示对应的闰秒偏差。但是，用户也可以自定义设置时间和闰秒偏差。SMBV自动修改导航消息用于通知接收机闰秒插入事件的周/日，以及当前和下一个闰秒偏差。模拟的闰秒插入都是在00:00时刻发生。SMBV设置界面如下：

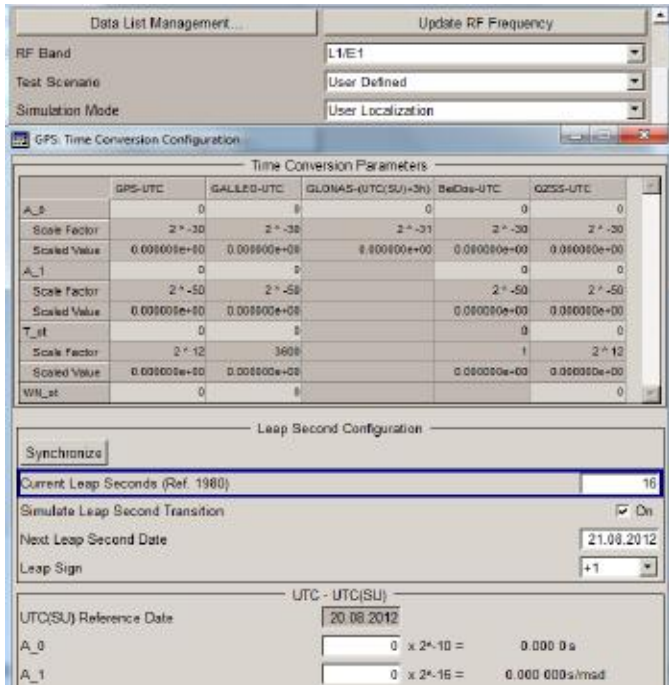


图29 闰秒插入事件测试

接收机秒脉冲性能测试

用于验证接收机秒脉冲输出精度。很多接收机能输出同步于GPS时钟 (如果是GPS接收机) 的秒脉冲信号，上升沿和GPS秒对齐。这些秒脉冲信号可以用来同步本地时钟，如CDMA2000网络就使用GPS的秒脉冲信号作为的基站间同步信号。

SMBV在Marker输出端提供一下定时信号：1PPS (1秒产生一次脉冲信号)、1PP2S (2秒产生一次脉冲信号) 和10PPS (100 ms产生一次脉冲信号)，设置界面如下：



图30 导航模拟器秒脉冲输出设置

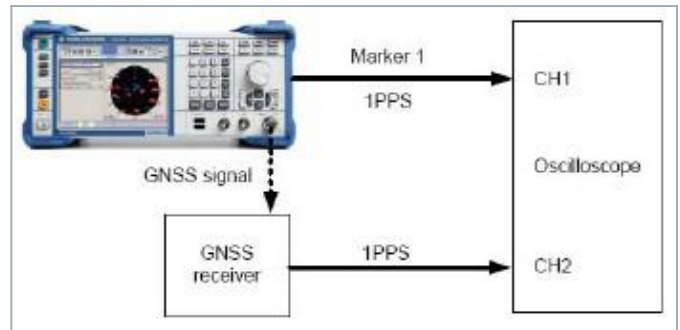


图31 导航接收机秒脉冲输出测试框图

先进的接收机测试

前面提到的接收机测试，主要是针对目前市场上主流的单频接收机或单天线接收机。而随着车联网无人驾驶时代的到来，以前的导航接收机定位精度已经无法满足市场的需求，现在越来越多的车载导航接收机都升级了相应的导航方式，包括了双频接收机、多天线接收机及动态实时差分定位接收机等。

双频接收机测试

GNSS双频接收机可同时接收同一个导航信号多个频率的载波信号。利用双频载波信号受电离层延迟影响的差异性，可以消除电离层对电磁波信号的延迟的影响。因此，GNSS双频接收机可用于长距离精密相对定位。另外，GNSS双频接收机借助于在两个频率上的观测可加速整周模糊度的解算。



图32 双频 (L1+L2/L5) 接收机测试框图

高端导航模拟器SMW200A的优势是具备双通道特性，可以两个通道同时输出不同频点的GNSS信号。由于一般的双频接收机需要做载波相位测距，因此，对于导航模拟器来说，需要不同频点的GNSS信号之间的同步性能保证很好，包括载波相位相参特性。SMW200A在仪表内部具备触发和同步，同时，由于具备到的内部带宽，可高达528 MHz，因此，载波相位相参也能非常方便地在基带完成。

车身姿态测试

普通导航接收机定位精度都在10米开外，无法确定目前汽车本身的车道或者车身朝向。为了精确评估车身姿态，需要车内安装多个接收天线，比方说三根天线，通过实时处理获取到的载波，提取车身的Roll/Pitch/Raw旋转信息。其测试框图如下：



图33 车载导航姿态测试框图

差分定位接收机DGNSS/载波相位实时动态差分接收机RTK测试

差分定位接收机DGNSS: Differential GNSS。利用设置在坐标已知的点(基准站)上的GNSS接收机测定GPS测量定位误差，用以提高在一定范围内其它GNSS接收机(流动站)测量定位精度的方法。

载波相位动态实时接收机RTK: Real-Time Kinematic。是实时处理两个测量站载波相位观测量的差分方法，将基准站采集的载波相位发给用户接收机，进行求差解算坐标。这是一种新的常用的GNSS测量方法，以前的静态、快速静态、动态测量都需要事后进行解算才能获得厘米级的精度，而RTK是能够在野外实时得到厘米级定位精度的测量方法，它采用了载波相位动态实时差分方法，是GNSS应用的重大里程碑。本身是差分定位接收机，只是校正数据通过移动网络或私有网络实时传输到GNSS用户，而不像普通的差分定位接收机是通过将校正数据拷贝到测量接收机里面，一般RTK接收机具备载波相位测距功能。其工作原理如下：

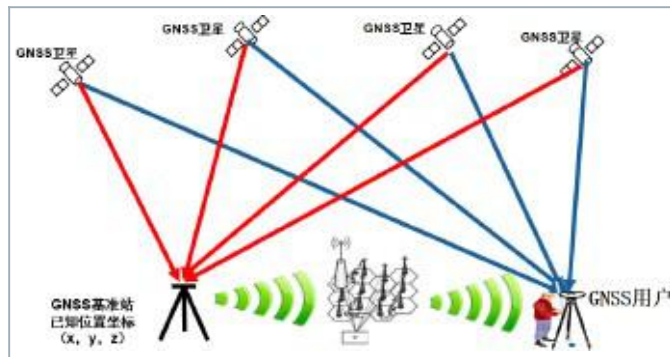


图34 DGNSS/RTK接收机工作原理框图

此类接收机，本身就是具备高精度定位功能，大多数都会采用双频/多频接收机的定位方式，目的是提高定位精度。同时，在校正数据的传输过程中，有私有网络和公有网络，私有网络主要是通过ASK/FSK/WLAN的通信方式，大多工作在ISM频段，如433 MHz。公有网络大多是基于运营商的移动通信网络，如：GSM、LTE等。其测试框图如下：



图35 DGNSS/RTK接收机测试框图

A-GNSS车载导航测试

位置服务已经成为越来越热的一门技术，也将成为以后所有移动设备（智能手机、掌上电脑等）的标配。随着人们对LBS(Location Based Services, 基于位置的服务)需求的飞速增长，无线定位技术也越来越得到重视。AGNSS (Assisted GNSS, 网络辅助GNSS) 定位技术结合了GNSS定位和蜂窝基站定位的优势，借助蜂窝网络的数据传输功能，可以达到很高的定位精度和很快的定位速度，在移动设备尤其是手机中被越来越广泛的使用。

AGNSS定位仍然是基于GNSS的，因此定位的首要步骤还是先搜索到当前地区的可用GNSS卫星。在传统GNSS定位中需要全频段搜索以找到可用卫星因而耗时较长，而AGNSS通过网络直接下载当前地区的可用卫星信息，从而提高了搜星速度。同时，也减小了设备的电量消耗。

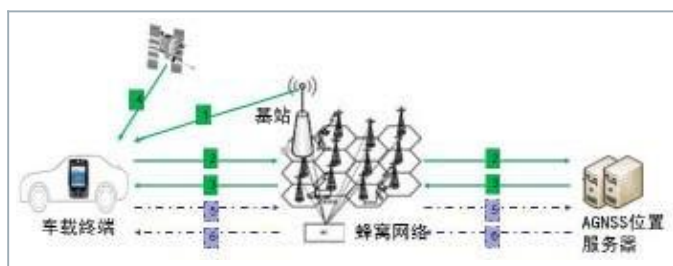


图36 A-GNSS工作原理框图

如上图所示，AGNSS从定位启动到GNSS接收器找到可用卫星的基本流程如下：

- (1) 设备从蜂窝基站获取到当前所在的小区位置（即一次COO定位）
- (2) 设备通过蜂窝网络将当前蜂窝小区位置传送给网络中的AGNSS位置服务器
- (3) AGNSS位置服务器根据当前小区位置查询该区域当前可用的卫星信息（包括卫星的频段、方位、仰角等相关信息），并返回给设备
- (4) GNSS接收器根据得到的可用卫星信息，可以快速找到当前可用的GNSS卫星。

至此，GNSS接收器已经可正常接收GNSS信号，GNSS初始化过程结束。AGNSS对定位速度的提高就主要体现在此过程中。

GNSS接收器一旦找到四颗以上的可用卫星，就可以开始接收卫星信号实现定位。接下来的过程根据位置计算所在端的不同，通常有两种方案：在移动设备端进行计算的MS-Based方式和在网络端进行计算的MS-Assisted方式。

MS-Based方式中，接下来过程与传统GPS定位完全相同，GPS接收器接收原始GPS信号，解调并进行一定处理，根据处理后的信息进行位置计算，得到最终的位置坐标。

MS-Assisted方式中，解调并处理后，接下来的过程如下图所示：

- (5) 设备将处理后的GPS信息（伪距信息）通过蜂窝网络传输给AGPS位置服务器
- (6) AGPS服务器根据伪距信息，并结合其他途径（蜂窝基站定位、参考GPS定位等）得到的辅助定位信息，计算出最终的位置坐标，返回给设备。

SMBV100A支持所有GNSS场景的A-GNSS测试用例，例如GSM、3GPP FDD、和3GPP2 (CDMA2000®)。在发生器中所有需要的设置都是自动的。除了这些预定义场景，也可以为用户定义的A-GNSS测试用例生成自定义场景。在两种情况下，按下按钮就可以生成相关辅助数据。辅助数据包含能够快速定位移动电话的A-GNSS所需要的所有导航数据。在实际中，附近基站将辅助数据传递给移动电话。这是为何完整的A-GNSS设置包含卫星模拟器以及无线通信测试仪（例如CMW500）模拟移动无线网络的原因。SMBV100A生成的辅助数据可以传输到无线通信测试仪，以便通过无线连接轮流为DUT使用。其测试方案，如下图所示：



图37 A-GNSS接收机测试框图

车载导航自动化测试

SMBV100A/SMW200A都支持自动化测试，可以在操作界面手动控制或远程控制。远程控制需要在上位机通过LAN、GPIB或USB连接SMBV。举例来说，可以有两种方式远程控制SMBV100A/SMW200A。

J 通过网络远程桌面

J 自动控制程序， SCPI命令自动配置

测试连接图如下：



图38 车载导航接收机自动化测试框图

接收机通过标准的NMEA数据上报测试结果,PC软件同时控制导航模拟器,也可以使用RS公司导航模拟器自带的自动化测试软件“GNSS Test Automation”。

车载导航的记录与回放测试

导航模拟器本身是模拟卫星信号，并非真实的卫星信号测试。在汽车路测的过程中，需要跑实际场景测试，这个时候需要花费大量的人力和物力去完成这个测试。在这种情况下，需要想办法将外场实际环境下的信号记录下来，在实验室进行慢慢的回放测试，以便查找问题。

R&S公司的宽带信号矢量采集和回放就可以很好的帮助用户捕捉和存储GNSS信号及邻道的各种干扰信号，还可以通过矢量信号源进行复现，如果使用信号分析仪FSV/FSVR，捕捉和采集带宽可以达到160 MHz，可以很好的捕捉不同频带同时出现的失真或干扰信号，也可以将捕获的IQ数据用频谱仪或Matlab进行分析。

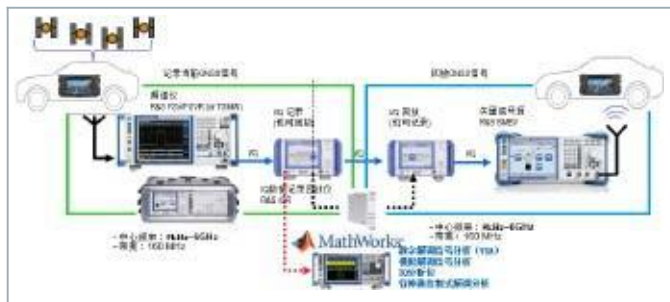


图39 车载导航记录与回放测试框图

此外，上述的测试框图，还可以用于测试GNSS军码信号。军码信号一般导航模拟器无法支持，因此，可以使用记录回放的方式捕获军码信号，捕获时间可以长达几天几夜。

被盗车辆跟踪 (SVT) 测试

汽车本身也属于昂贵的设备，在当前无线通信极其发达的时代，汽车防盗也同样很重要。现在的汽车很多都配置有被盗车辆跟踪功能SVT: Stolen Vehicle Tracking。其主要的定位方式是通过GNSS卫星导航进行定位。不过目前很多汽车也使用辅助的移动网络进行基站定位，弥补了在某些特殊情况下，如GNSS信号不佳甚至没有GNSS信号的情况下，也能进行定位。



图40 被盗车辆跟踪SVT工作原理图

安装于车内的模块，一般都具备GNSS导航定位功能和移动网络通信功能，其测试框图如下：



图41 被盗车辆跟踪SVT测试框图

车载导航语音识别测试

汽车导航的过程中，虽然有地图显示怎么走，但是大多数时候，驾驶者是不方便看导航界面，仅仅通过车载导航的语音信息就能知道如何行进。

车载导航语音的性能好坏，对于驾驶者来说，也很重要。车载导航的语音测试，同样也包括发射机和接收机测试。发射机即是车载导航播放声音质量测试，接收机即是能否快速简单识别驾驶者声音告知的地理信息等。

因此，车载导航语音的测试，主要就是音频测试，如下图所示：



图42 车载导航语音测试框图

如果仅仅是为了评估音频的质量，只需使用音频分析仪UPV对接车载导航设备即可完成测试。如果需要通过语音质量评估打分的方式来进行测试，最好使用人工耳人工嘴的方式进行。

eCall/ERA-Glonass测试

当涉及在道路上挽救生命的问题时，每一秒都可能代表着生与死的区别。泛欧洲紧急呼叫（eCall）和俄罗斯的ERAGLONASS倡议的设计目的都是缩短道路交通事故中的紧急响应时间。

欧盟委员会2011年9月8日宣布，到2015年，欧盟境内所销售的新乘用车和轻型乘用车都必须安装紧急救援呼叫系统，以最大限度地减少道路交通事故中因救援迟缓造成的人员死亡。根据欧盟委员会当日通过的一项决定，到2015年，在欧盟境内出售的所有型号的家用车和轻型乘用车都必须安装一种被称作eCall的自动紧急呼叫系统。在发生严重交通事故后，即使司机和乘客失去知觉不能拨打电话，这一系统也能够自动拨叫欧洲统一的紧急救援电话112，并且报告事故车辆所处的位置。欧盟委员会说，采用这套系统，有可能使发生道路交通事故后的救援时间节省40%以上，每年挽救数百人的生命。

而俄罗斯也要求在2017年1月后，在俄罗斯境内使用的车辆将都强制要求配备ERA-Glonas功能。

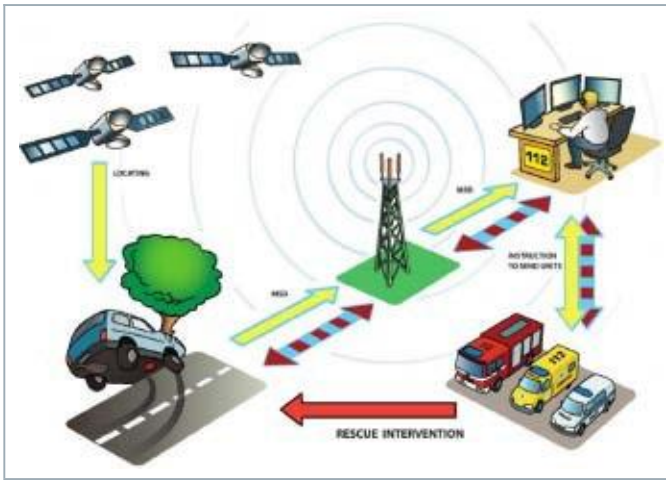


图43 eCall/ERA-Glonass工作框图

随着车联网、无人驾驶时代的来临，人身安全意识的提高，以后会有越来越多的汽车配备eCall/ERA-Glonass功能。为确保测试的质量和效率，eCall/ERA-GLONASS组件的测试规范既具有高度的可控性，又具有极高的灵活性。严格的对比性测试依靠的是绝对的测试可重复性，而这些在真实的条件下都是不可能实现的，尤其是考虑到无线通信自身不断变化的特点。系统模拟在任何eCall/ERA-GLONASS测试规范中都是一项关键技术，有助于确保测试例的精确重现，并且使组件研发团队能够利用自动化的可重复测试，对性能开展可靠的基准测试。其测试方式如下：

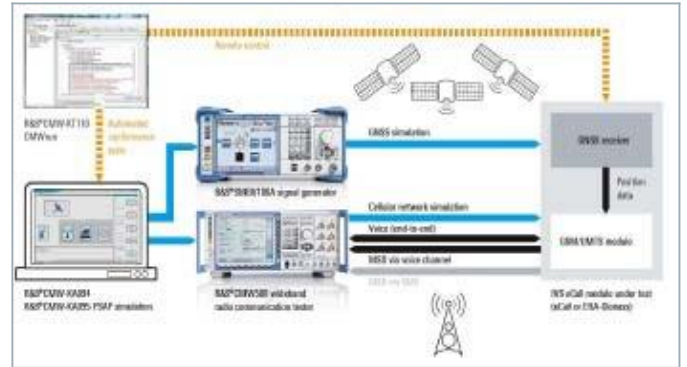


图44 eCall/ERA-Glonass测试框图

R&S公司提供的eCall/ERA-Glonass测试方案，符合如下规范：

- J EN 15722 eCall MSD
- J EN 16062 eCall high level application requirements
- J EN 16072 Pan-European eCall operating requirements
- J EN 16102 Operating requirements for third party support

车载导航RED测试

RED - 新的无线电设备规程，自2016年6月13日起全面取代旧的 RTTED 1999/5/EC，即R&TTE规程，转换期为1年，也即2017年6月13日起强制执行，参考规范ETSI EN 303 413。其测试框图如下：

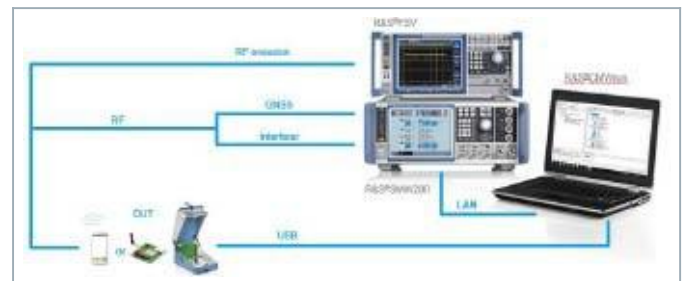


图45 车载导航RED测试框图

车载导航测试 典型应用配置

测试项目		测试仪表							
		SMBV100A	SMW200A	FSV/FSVA	FSV/R	CMW500	UPV	UPP	IQR
车载导航接收机性能测试	标准接收机测试	●	○						
	特殊条件下测试	●	○						
	特殊事件测试	●	○						
	先进接收机测试		●	●	○				
	自动化测试	●	○						
车载导航记录与回放测试		●	○						●
被盗车辆跟踪SVT测试		●	○			●			
车载导航语音识别测试		●	○				●	○	
eCall/ERA-Glonass测试		●	○			●			
车载导航RED测试			●	●	○				

注 1：●表示推荐仪表，○表示可选仪表；

注 2：测试项目需要配合相应选件才能完成，部分测试项目需要用户提供相应的测试附件；

注 3：具体测试仪表的性能、选件等详情，请联系R&S公司的技术支持，详细参数可参考产品手册。

小结

目前，汽车技术正在经历一次快速的演变，这种演变由四个大趋势推动：为所有人提供移动性、为所有人打造更洁净的世界、为所有人提供安全性、将所有人都连接起来。智能汽车技术与以往的汽车相比，汽车正变得更安全、更高能效、并能提供更令人愉悦的驾驶体验，如今，汽车已经成为驾驶者个人生活空间的延伸。

汽车行业的新兴技术推动应用纷纷涌现，覆盖从20 kHz 到79GHz的宽广频率范围。业界的工程师需要能够在此频率范围进行测量的测试设备。各种射频/微波子系统在高速总线两侧一起运行，任何一侧的干扰都会妨碍车辆驾驶，有可能导致安全问题。

本文描述了利用GNSS卫星导航模拟器进行的一系列典型车载导航接收机验证测试。在GNSS接收机测试环境中使用的标准GNSS信号仿真器可为工程师提供最大的灵活性，帮助他们实施调整和控制，轻松地进行重复测试。在这个环境中，本文中列出的测试将为车载导航接收机的测试和验证创建一个标准验证流程。灵活的信号源不仅支持GNSS接收机测试，还支持其他无线制式和标准测试。

罗德与施瓦茨公司是欧洲最大的测试仪器生产商，为欧洲各大品牌的汽车制造厂、零部件厂提供可靠的测试仪器和完善的解决方案，为客户在研发设计，生产测试各个环节提供最先进的技术和有力的支持。罗德与施瓦茨公司不仅具备汽车钥匙的测试方案，同时，我们提供全面的、系统的汽车电子测试方案，包括：车身电子系统、车载信息娱乐系统、安全辅助系统、智能交通与车联网、汽车总线以及电磁兼容测试解决方案。

欢迎您与我们联系，以获得对您下一代汽车设计有益的帮助。

参考文献

- [1] Vector Signal Generator R&S SMBV100A Specifications
- [2] Vector Signal Generator R&S SMW200A Specifications
- [3] Vector Signal Analyzer R&S FSV Specifications
- [4] Wireless Communication Tester R&S CMW500 Specifications
- [5] Real Time Analyzer R&S FSVR Specifications
- [6] Universal Radio Network Scanner R&S TSMW
- [7] 开启超凡视野
- [8] 北斗/全球卫星导航系统 (GNSS) 导航单元性能要求及测试方法
- [9] ETSI EN 303 413 V1.1.0 (2017-03)
- [10] 1GP86_2E_GNSS_Receiver_Testing
- [11] 1GP101_0E_Obscuration_and_Multipath_GNSS_Receiver_Testing

车身电子测试 解决方案

相关产品:

- J > SMW200A
- J > SMBV100A
- J > FSW
- J > FSV
- J > FSVA
- J > CMW500
- J > UPV
- J > UPP
- J > IQR

方案说明:

GNSS定位系统是车载导航定位系统的关键技术，车载GNSS导航定位系统的应用正在全球迅速发展。车载GNSS导航定位系统的功能将会越来越完善，精度越来越高，集成度越来越大。本文主要介绍GNSS卫星导航定位系统，提出了以罗德与施瓦茨公司的卫星导航模拟器SMBV100A为基础的车载导航测试解决方案以及高端导航模拟器SMW200A为主的先进车载导航测试方案。

应用需求

各个工业领域中都需要执行生产测试，并且对测试稳定性和测试效率提出了更高的要求。测试部门需要在紧凑型仪器中灵活配置所需的功能，这样就无需太多的额外成本就能满足将来的需求。例如，射频功放和雷达模块测试的产线批量测试，除射频仪器之外，自动测试系统需要多种外围设备：

- ┆ 表贴完毕的PCB组件需要进行在线测试 (ICT) 以保证产品的质量、可靠性。
- ┆ 待测件的供电和负载模拟。
- ┆ 灵活配置控制端口的电平和引脚定义、通信协议。
- ┆ 需要特定的码型发生器来产生时钟、脉冲、触发信号。
- ┆ 外围设备的控制需要各种不同的协议，例如射频开关切换、电动和气动夹具、环境温箱的控制。

基于CompactPCI和PXI的开放测试平台

R& S®Compact TSVP系列产品专为高性能自动测试环境(ATE)的应用而开发，该机箱中包括一个机械框架、数字背板、模拟背板、主电源切换和滤波，电源供电、诊断扩展装置。可以选用多种丰富的工业研究、开发、生产的测量模块。

应用领域：

- ┆ 组建高可靠性、高效率的电子产品生产自动测试环境
- ┆ 电路板组件的元器件在线测试 (ICT)
- ┆ 产品模块的功能测试 (FCT)
- ┆ 下线测试 (EOL)



TSVP的技术特点

级联扩展

J CompactTSVP和PowerTSVP可方便地进行级联扩展，每台compactTSVP最多可带4台powerTSVP，实现4000点的ICT测试。



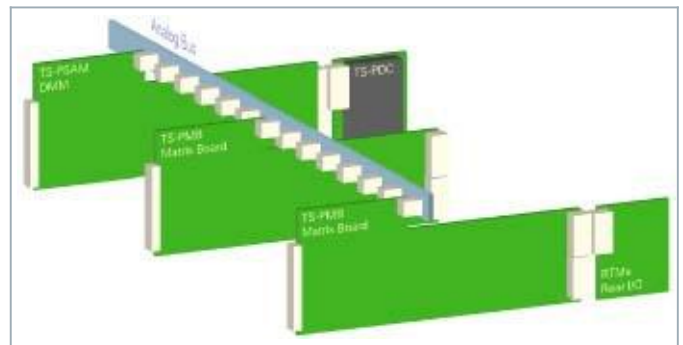
ICT和FCT集成于统一平台

同一台TSVP内可以安装开关矩阵卡和数字万用表模块，以及DUT供电模块、波形发生/分析模块、数字IO接口等。一次安装待测件，即可完成ICT、程序烧写、功能测试、整体验证等工作。大幅减少产品的生产时间和周转环节。如下图所示，针床连接完成后，TSVP控制气动夹具固定带测产品于针床上，快速完成多种ICT/FCT测试。下图是测试台连接示例(TSVP在针床之后，直接连接)：



模拟总线

J TSVP机箱内部配备模拟总线，板卡之间无需使用外置连接，从而提高测试效率，减少不稳定性。



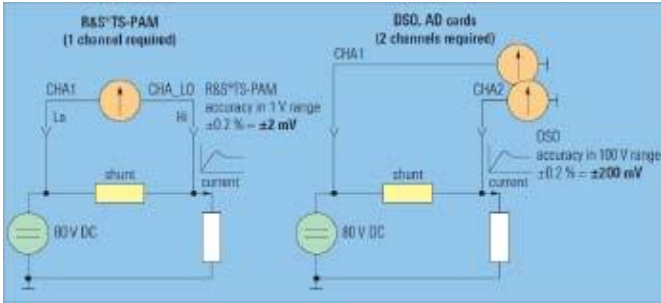
前面板使用标准连接器

便于嵌入到测试工作台，并与夹具/针床实现紧密连接，可靠性大幅提高，且容易切换各种型号的测试夹具。如下图所示，针床连接完成后，TSVP控制气动夹具固定待测产品于针床上，快速完成多种ICT/FCT测试。



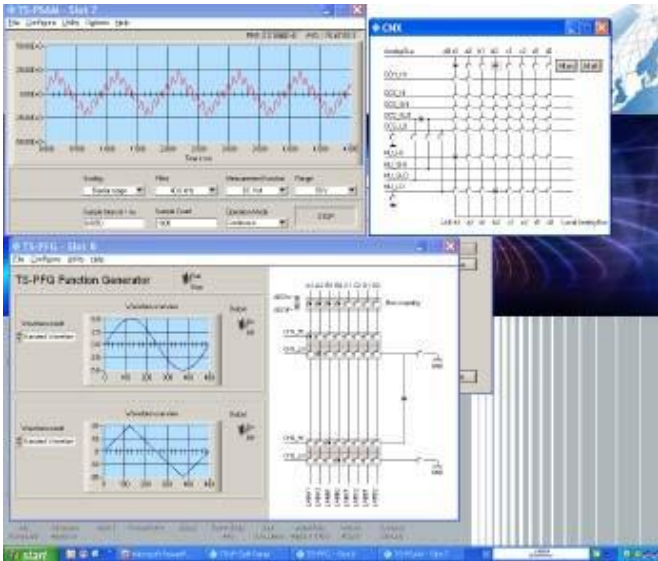
浮地测量机制

J 浮地测量机制，能够避免常规PXI板卡测试时需要考虑对地电压的问题，减少模块占用，增加测量精度。下图中TS-PAM内部与GND不连接，可以更小量程测量电阻两端的压降，从而提高精度。

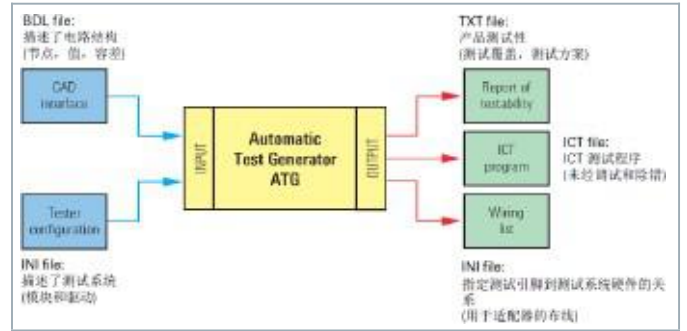


功能完善的软件平台GTSL

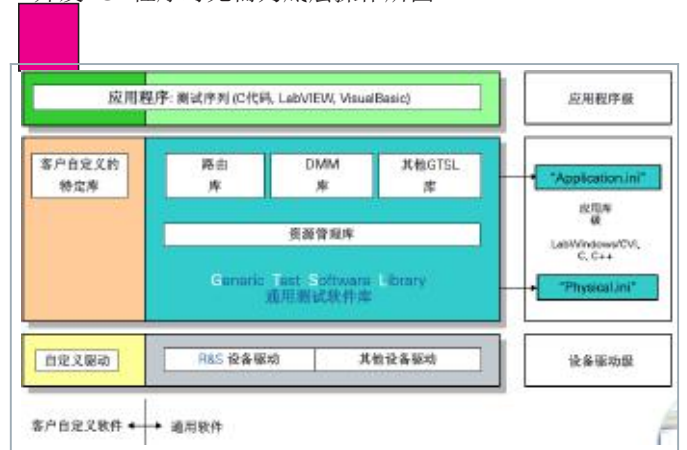
J 具有图形界面和完善的集成接口，便于手动操作和由GUI生成测试程序。下图是图形界面示例



J ICT应用中，可以使用EGTSL库自动生成测试脚本，无需编程。



J FCT应用时，调用驱动库和中层的路由库、信号分析库。开发FCT程序时无需为底层操作所困。



R&S®CompactTSVP

的主要功能模块

模块名称	功能和主要参数
<p>R&S®TS-PSC57系统控制器</p> 	<p>J R&S®CompactTSVP仪器的测试与测量计算平台</p>
<p>R&S®TS-PSC0系统控制器</p> 	<p>J 可用外部PC作为R&S®CompactTSVP机箱 J (R&S®TS-PCA3) 的系统控制器</p>
<p>R&S®TS-PSAM模拟源和测量模块</p> 	<p>J 扫描万用表和数据采集单元 J 浮地方式测量电压、电流（直流/交流）和电阻，采用2线和4线测量模式</p>
<p>R&S®TS-PICT在线测试扩展模块</p> 	<p>J 与R&S®TS-PSAM配套使用进行模拟量在线测试 J 测试R、L、C、二极管、晶体管、并联R-C J 为3、4、6线技术测量提供保护 J 电感器、电容器和阻抗测量</p>

模块名称	功能和主要参数
<p>R&S®TS-PMB开关矩阵模块</p> 	<ul style="list-style-type: none"> J R&S®TS-PMB可为功能性测试和在线测试建立测试通道，它通过R&S®CompactTSVP模拟总线为被测设备和测量模块提供全部信号路由。 J 通用型开关矩阵模块可处理高达125 V和1 A的输入信号。它提供自检功能和信号路由快速切换功能。
<p>R&S®TS-PSM1功率切换模块</p> 	<ul style="list-style-type: none"> J 电压和负载功率切换模块，通过以下配置可处理高达70 V的电压 J 8条大功率通道，最大电流16 A J 10条功率通道，最大电流2 A J 4条大功率4对1复用器通道，电流最大值16 A
<p>R&S®TS-PSM3大功率切换模块</p> 	<ul style="list-style-type: none"> J 汽车被测设备电源和负载切换，高达30 A J 8条大功率通道，最大电流30 A J 8条中等功率通道，最大电流2 A J 高达30 V的切换电压 J 配备电流探头，以总线耦合方式，实现电流测量功能。
<p>R&S®TS-PSM5大功率切换模块</p> 	<ul style="list-style-type: none"> J 汽车被测设备电源和负载切换，高达50 A J 4条大功率通道，最大电流50 A J 4条中等功率通道，最大电流2 A J 高达24 V的切换电压 J 通过电流探头和模拟总线耦合来集成电流测量

模块名称	功能和主要参数
<p>R&S®TS-PFG函数发生器模块</p> 	<ul style="list-style-type: none"> J 双通道任意波发生器，隔离输出，最大电平40 V (Vpp)，16位分辨率，采样率25 Ms/s。 J 标准波形输出，可输出频率高达1 MHz的正弦波、方波、三角波、任意波形 J 多个存储扇区和多次重复排序
<p>R&S®TS-PAM信号分析仪模块</p> 	<ul style="list-style-type: none"> J 八通道数字化仪和波形分析仪，两个独立的、浮地的数字化仪，每个采集单元的采样率高达20 Msample/s，14位分辨率。可用于震动/音频信号的采样分析。
<p>R&S®TS-PSU电源和负载模块</p> 	<ul style="list-style-type: none"> J 四象限电源/负载，配备集成测量单元，双通道，每通道供电最大50V，50W
<p>R&S®TS-PIO2模拟和数字I/O模块</p> 	<ul style="list-style-type: none"> J 模拟和数字16通道激励和测量单元，适用于混合信号测试，24位精度，±27 V电平范围

模块名称	功能和主要参数
<p>R&S®TS-PIO3B数字I/O模块</p> 	<p>配备功率输出的数字控制和线圈驱动器， R&S®TS-PIO3B是一个64通道多功能I/O模块，它提供八个端口，每个端口八条配备MOSFET输出驱动的数字I/O线。该电路通过统一控制电压驱动设备继电器，该模块的载流量非常大，适合作为通用线圈驱动器使用。一个SPI接口能够控制外部SPI模块。可用于驱动28V射频开关。电压：0 V至35 V</p>
<p>R&S®TS-PIO4数字功能测试模块</p> 	<p>可编程32路输入输出通道，40 MHz采样率，实时运行、比较。8组4通道电平，-6V~+10V，三态。</p>
<p>R&S®TS-PIO5 LVDS数字测试模块</p> 	<p>双向LVDS通道，能够提取、模拟静态或动态的数字信号编码。10路LVDS通道。板载10路RS-485 (RS-422) 兼容通道。码率200 Mbit，5 ns分辨率。</p>

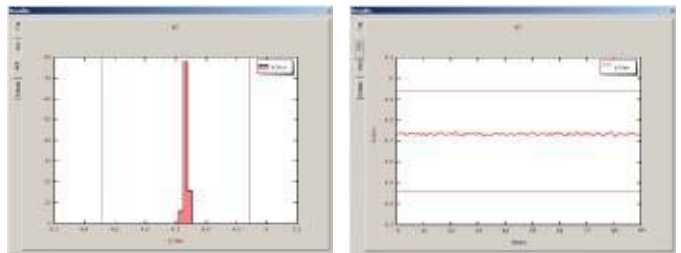
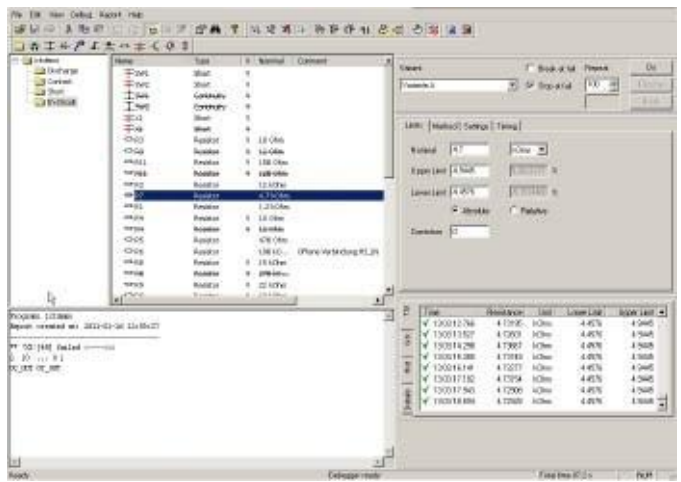
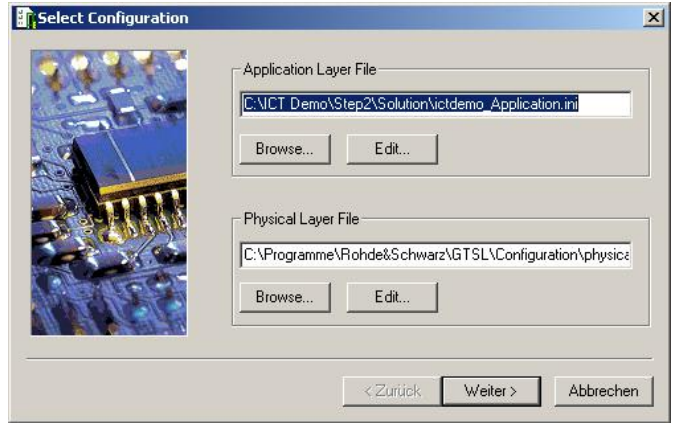
ICT测试配置方案 示例

Ctsvp机箱内板卡	数量	功能
TS-PSC57	1	工控机
TS-PSAM	1	数字万用表
TS-PICT	1	ICT测试模块
TS-PMB	根据测试点数量确定	每一TS-PMB支持90个测试点，切换
TS-PIO3B及其它附件	1	驱动气动夹具
TS-PAD3 TS-PAX1等		接口连接器组件
GTSL & EGTSL	1 license	软件许可

TSVP和针床夹具的对接如图所示。此外可以额外驱动气动控制单元TS-PVAC



之后在软件中导入电路板的bdl文件，即可自动生成测试方案，进入调试



EGTSL的调试界面，可对每一待测元器件设置上下限指标、放电和延迟时间、多次平均测量的次数和时间等，以获取稳定、高度一致的测试结果。减少虚报问题。

之后可以将测试程序集成到用户自有的工厂测试平台中，实现数据和报告的流通。

FCT测试ECU模块的方案

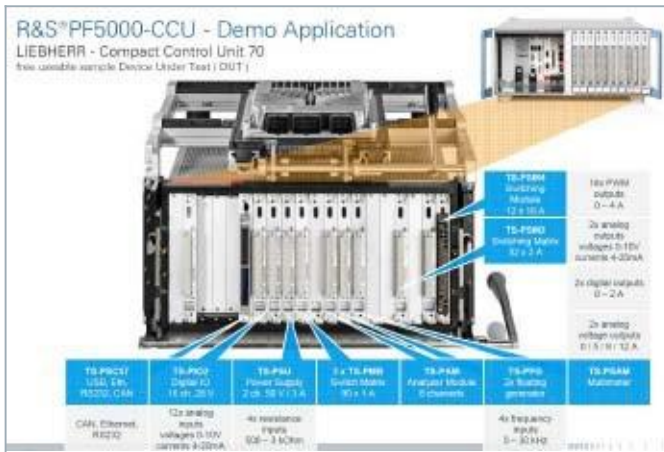
FCT测试，尤其是针对ECU的FCT测试，涉及多种信号的混合输入输出，需要进行更加复杂和高效的信号处理，同时需要用户进行二次开发。因此，TSVP的硬件设计和软件功能均提供了强大的支持。下面是一个配置示例：

ECU测试方案示例

待测产品的测试需求如下所示，其中包含了多种接口以及传感器信号、PWM信号。

Technical Data	Applications
Processor system	SPC5,644A 32-bit Power PC@150MHz
Program memory	192 kByte
Interfaces	3x CAN, 1x Ethernet, 1x RS232
Digital inputs	22
Analog inputs	16
Broad frequency inputs	4
Digital outputs	22
Analogue outputs	4
Operating voltage [VDC]	+7 ...+36
Temperature range [°C]	-40 ...+85
Protection class	IP67 und IP6K9K in gestecktem Zustand
Mechanics	Die-cast aluminium
Dimensions [mm]	254x204x39
Weight [kg]	1.5

最终的测试平台设计如下图所示，TSVP上方是待测件



此配置中，使用TSVP集成于R&S PF5000测试系统中，测试某一型号的ECU。图中配置了特定的VPC开关适配器，以实现所有板卡到夹具的稳定硬连接。

仪器的配置包括：

- J TS-PSC57, 工控机，提供串口/网口/USB/CAN接口等。
- J PS-PIO2, 测量12路模拟输入信号
- J TS-PSU, 利用其电源功能，驱动500-3kOhm的电阻器件
- J 3块TS-PMB, 实现共270点的测试点安排
- J TS-PAM, 波形分析模块，用于分析ECU传出的驱动信号
- J TS-PFG, 产生多种不同的频率提供给ECU，作为PWM仿真或音频、震动等传感器的仿真
- J TS-PSAM, 数字万用表，监控电压
- J TS-PSM4, 18路PWM大电流输出切换
- J TS-PSM2, 中等功率的电信号切换，数字和模拟电压输出切换。

软件部分，GTSL在基本驱动库的支持之外，还提供了更加丰富的自动化功能，例如：

- J 信号路由库，仅需指定起点和终点，仪器会自行选择中继连接方式。
- J 音频分析库，为TS-PAM提供复杂的音频分析功能，包括FFT和失真测量等。

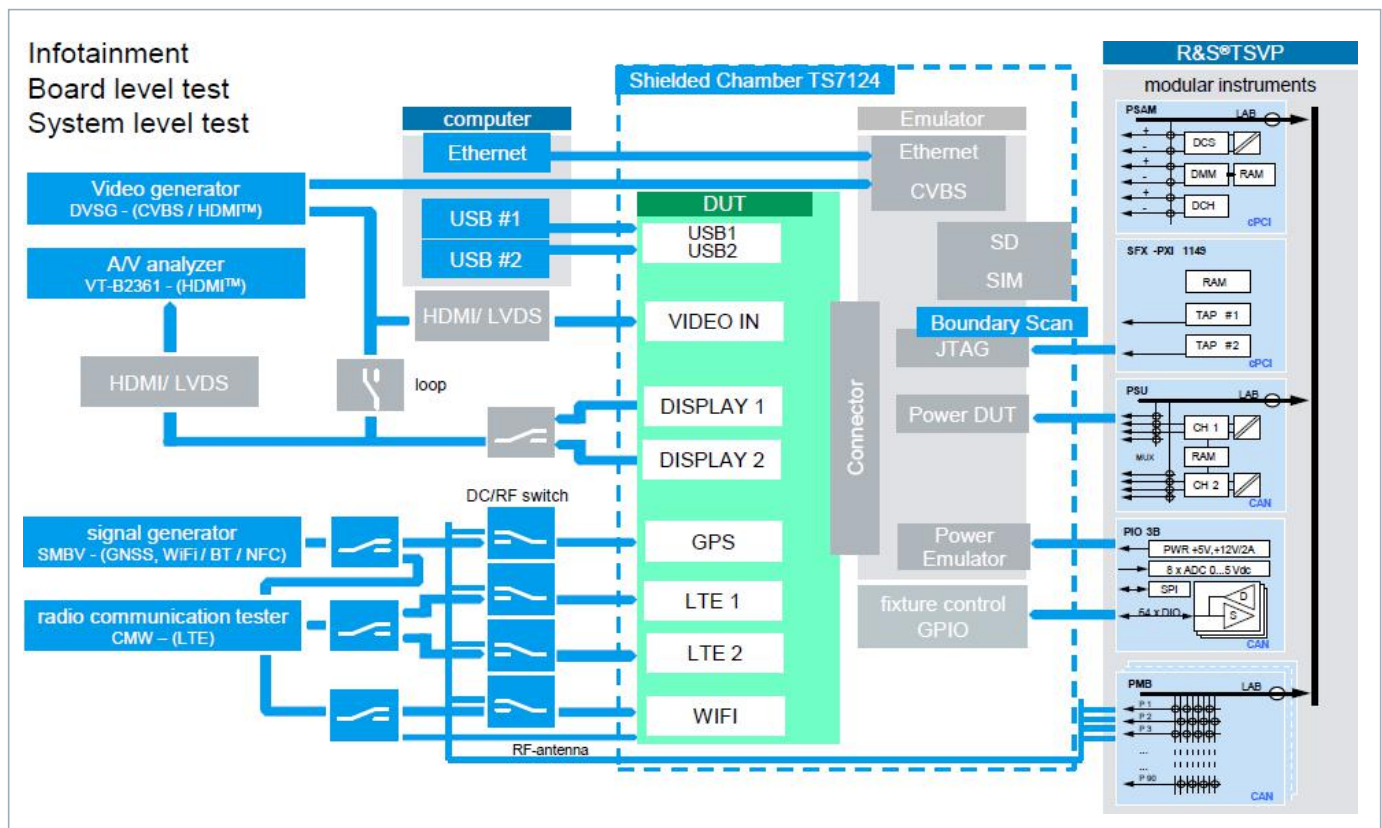
最终，TSVP可以集成到各种尺寸的测试系统框架中，实现便于集成、易于开发、功能丰富、测试结果稳定的多种测试应用。



汽车信息娱乐测试平台配置示例

下图示例中，以右侧的TSVP控制模拟器，以实现对待测T-box的连接和测试，包括：

- J 边界扫描 (JTAG),用于板载芯片的功能测试、
- J 提供DUT供电和负载仿真
- J 夹具控制



汽车总线测试 解决方案

相关产品:

J RTO

J RTE

J R&S@ZNB

J R&S@ZND

方案说明:

自动驾驶/无人驾驶技术推动汽车电子进一步向智能化发展，高级驾驶辅助系统(ADAS)、车载诊断系统(OBD)、车载信息娱乐系统(IVI)的大量应用，以及宽带汽车雷达技术的应用，要求汽车电子总线具备：更高速率、更好的抗干扰能力、更高的性价比。新的高速总线BroadR-Reach、1000BASE-T1、MOST，要求高速示波器实现信号分析和协议解析，R&S的示波器平台实现了实时捕获和高速测试。在高速数据的工作条件下，PCB走线和连接头也成为影响信号质量的重要因素。信号完整性测试要求测试走线的时间特性，相对于传统的TDR，网络分析仪法成为更加经济和耐用的选择。在仪器之外，R&S也提供了丰富的探头和测试夹具

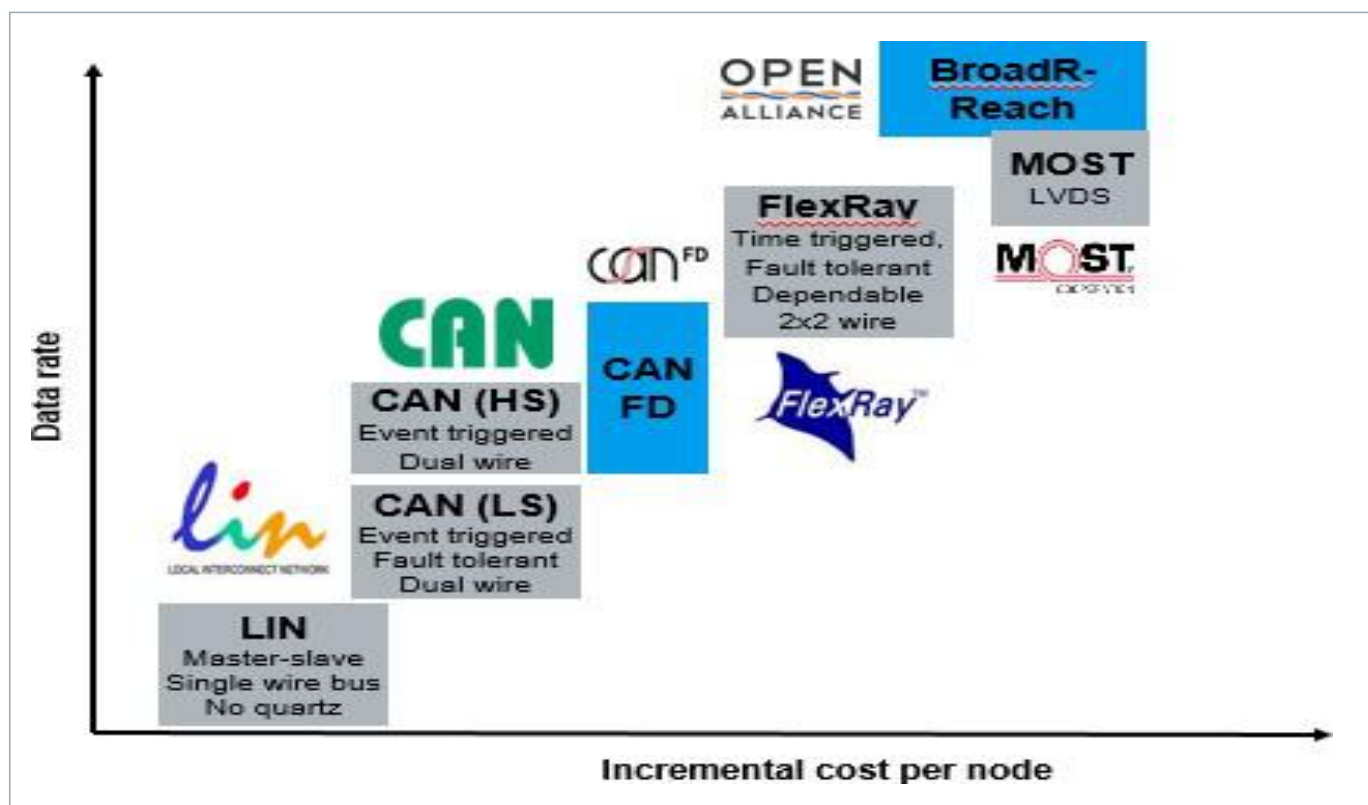
汽车总线测试需求分析

- J 信息娱乐系统：高信号速率、高带宽
 - BroadR-Reach、1000BASE-T1、MOST等
- J 高安全性线控系统：高容错性、高可靠性、高实时性
 - CAN/CAN-FD、FlexRay、SENT等
- J 低成本系统：简单串行通信
 - LIN、CXPI等

自动驾驶/无人驾驶技术推动汽车电子进一步向智能化发展，高级驾驶辅助系统 (ADAS)、车载诊断系统 (OBD)、车载信息娱乐系统(IVI)的大量应用，以及宽带汽车雷达技术的应用。新技术的应用要求汽车电子总线具备：更高速率、更好的抗干扰能力、更具性价比

大量ECU (电子控制单元) 在车内使用，需要多种总线完成通讯和控制！

不同应用需求对总线性能要求各不相同，因此汽车总线分为以下几类标准：



车载以太网测试

一种用以太网连接车内电子控制单元 (ECU) 的新型局域网技术在单对非屏蔽双绞线上可实现100 Mbit/s甚至1 Gbit/s的数据传输速率满足汽车行业对高可靠性、低电磁辐射、低功耗、带宽分配、低延迟以及同步实时性等方面的要求当前已发布的两种车载以太网标准:

J BroadR-Reach/100BASE-T1 (百兆车载以太网), 基于博通公司的BroadR-Reach (BRR) 技术, 最先由OPEN联盟定义标准, 也被称为IEEE 802.3bw规范。

J 1000BASE-T1/RTPGE (千兆车载以太网), 即IEEE 802.3bp规范

	100BASE-T1	1000BASE-T1
Symbol rate	66.66 MHz	750 MHz
DUT clock	66.66 MHz	125 MHz
Coding	PAM 3	PAM 3

R&S的车载以太网测试方案

2014年6月, R&S发布BroadR-Reach一致性测试方案, 是业内唯一支持时钟同步测试方案的供应商!

2017年3月, R&S业内首发1000BASE-T1一致性测试方案



- RTO1044示波器作为UNH-IOL官方的测试平台仪器
- ZNB或ZND, 用于MDI回损测试



百兆车载以太网的测试项以及DUT模式设定

百兆车载以太网, OPEN BRR/IEEE802.3bw标准定义测试项:

- J 传输衰落
- J 传输时间抖动 (Master & Slave)
- J 传输时钟频率
- J MDI回损
- J MDI模式转换损耗
- J 其他测试项: 传输PSD、传输峰值差分输出 (IEEE802.3bw 标准引入)、MDI共模辐射、传输失真

Test Item	TCB ECU v1.0	TCB ECU v2.0
Transmitter Output Droop	Yes	Mandatory
Master Transmitter Timing Jitter	Yes	Mandatory
Slave Transmitter Timing Jitter	No	Optional
Transmit Clock Frequency	Yes	Mandatory
Transmitter Power Spectral Density	Yes	Optional
MDI Return Loss	Yes	Mandatory
MDI Mode Conversion	Yes	Mandatory
MDI Common Mode Emission	Yes	Optional
Transmitter Distortion	No	Optional

千兆以太网的测试项目

IEEE802.3bp 1000BASE-T1标准定义测试项:

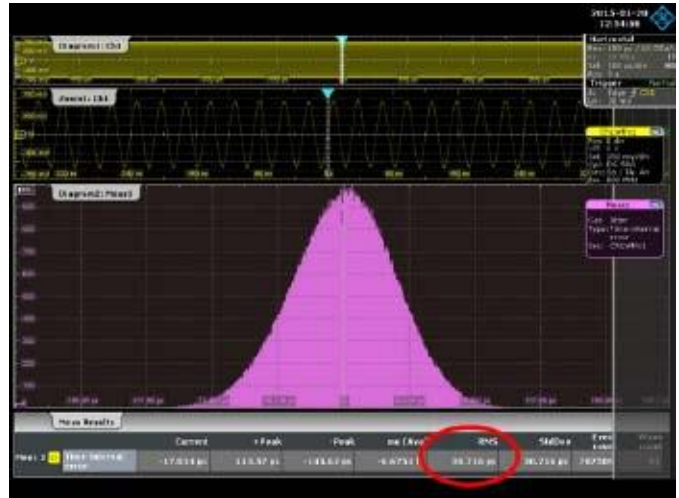
- J 传输时钟抖动 (Master & Slave)
- J 传输MDI抖动
- J 传输失真
- J 功率谱密度模板
- J 传输衰落
- J MDI回损
- J 其他测试项: 传输频率、输出电压、MDI模式转换损耗等

Test Name	IOL Test Number	Required Capabilities	BroadReach References
Group 1: PHY Control and Timers			
Maximum Transmitter Output Droop	Test 5.1.1	Test Mode 1	<ul style="list-style-type: none"> Section 5.4.1 – Transmitter output droop Section 5.2 – Test modes Section 5.3 – Test fixtures
Transmitter Distortion	Test 5.1.2	Test Mode 4	<ul style="list-style-type: none"> Section 5.4.2 – Transmitter distortion Section 5.2 – Test modes Section 5.3 – Test fixtures
Transmitter Timing Jitter	Case 1: MASTER	Test Mode 2	<ul style="list-style-type: none"> Section 5.4.3 – Transmitter timing jitter Section 5.2 – Test modes Section 5.3 – Test fixtures
	Case 2: SLAVE	TX_TCLK access	
Transmitter Power Spectral Density	Test 5.1.4	Test Mode 5	<ul style="list-style-type: none"> Section 5.4.4 – Transmitter power spectral density Section 5.2 – Test modes Section 5.3 – Test fixtures
Transmit Clock Frequency	Test 5.1.5	Test Mode 2	<ul style="list-style-type: none"> Section 5.4.6 – Transmitter clock frequency Section 5.2 – Test modes Section 5.3 – Test fixtures
MDI Return Loss	Test 5.1.6	Active Transmitter	<ul style="list-style-type: none"> Section 8.2.2 – MDI return loss

二、传输时间抖动 (Timing Jitter)

J 测试模式2 (周期性发出+1、-1符号), 测量传输时钟的抖动

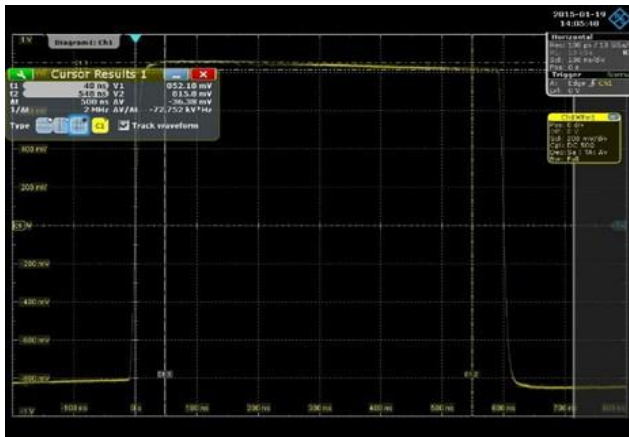
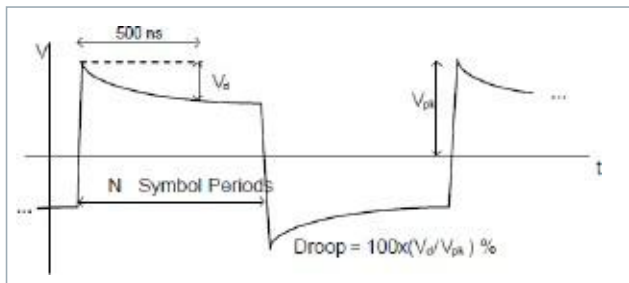
J 规范要求: 当DUT处于Master模式, MDI输出的TIE抖动RMS值需小于50 ps。DUT处于Slave模式下的TIE抖动RMS值应小于150 ps。



测试项目详解

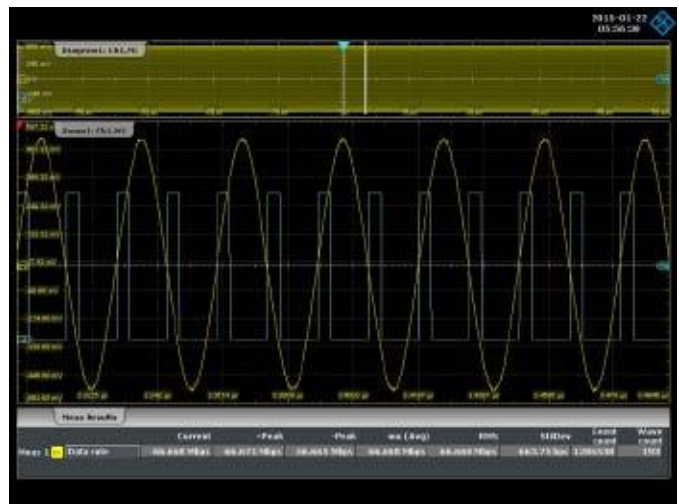
一、传输衰落 (Output Droop)

- J 测试模式1 (周期性发出,40个+1, 40个-1符号)
- J 规范要求: 正/负峰值后500ns处的幅值相对峰值Vpk的衰落Vd占峰值的比例应小于45%



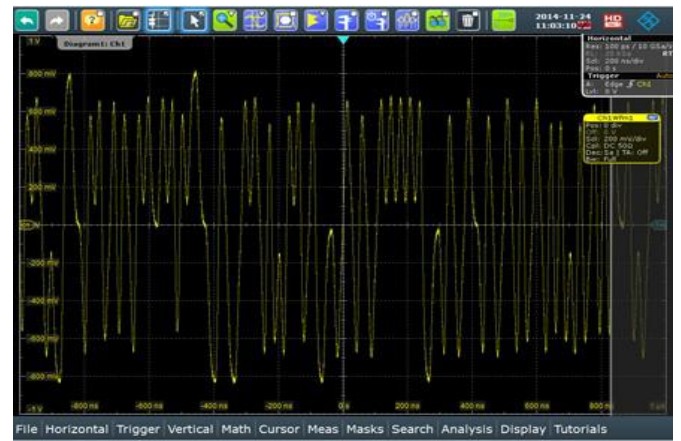
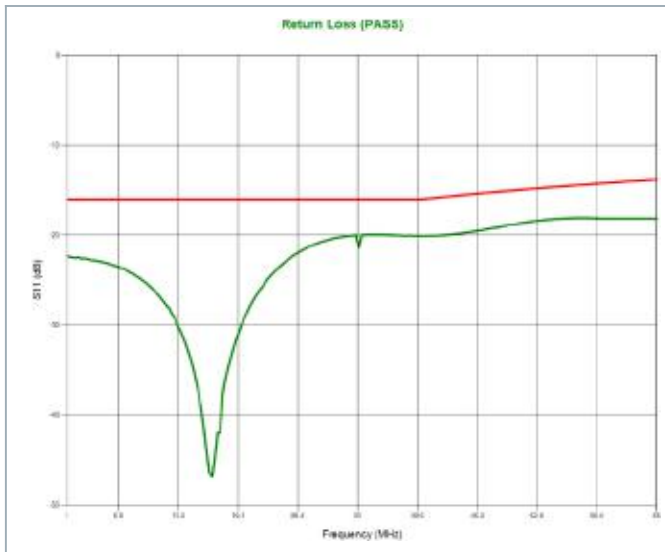
三、传输时钟频率 (Clock Frequency)

- J 测试模式2 (周期性发出+1、-1符号)
- J 规范要求: 662/3 MHz ± 100 ppm, 即66.6603 MHz to 66.6736 MHz



四、MDI回损 (Return Loss)

- J 测试模式4 (预定义序列)
- J 测试在MDI接口处因阻抗不连续
- J 需使用矢量网络分析仪 (推荐 ZND)
- J 矢量网络分析仪需校准造成的信号反射



- J OPEN联盟和IEEE都要求在进行传输失真测试时，DUT、干扰源和示波器需时钟同步。
- J 未经同步的测试方案会导致传输失真信号测量不准确！
- J R&S提供了业内唯一的频率转换器时钟同步方案：
- J RT-ZF3 (66.666MHz转10MHz)
- J RT-ZF6 (125MHz转10MHz)

R&S一致性分析选件及优势

- J BroadR-Reach一致性分析选件RTO-K24
- J 1000BASE-T一致性分析选件RTO-K87
- J 一致性分析软件R&S ScopeSuite

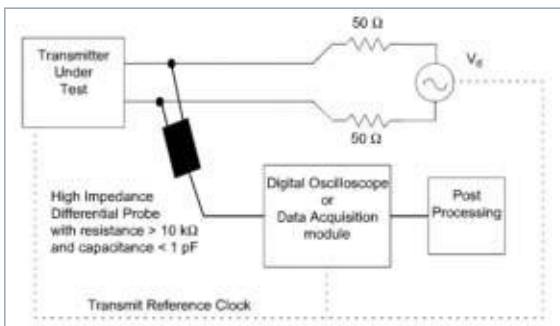
- 支持R&S所有一致性分析方案，包括BroadR-Reach & 1000BASE-T1
- J 自动测试与分析
- J 灵活的测试步骤
- J 可视化的测试连接向导
- J 可编辑测试容限
- J 自动生成可定制化的测量报告

五、MDI模式转换损耗 (Sdc11)

- J 用以验证MDI共模至差模转换时的损耗Scd11是否满足标准
- J 根据规范要求，其在1 MHz至200 MHz测试频带内需满足公式
- J 需使用矢量网络分析仪 (推荐 ZND)，矢量网络分析仪需校准

其他重要项：传输失真 (Distortion)

- J 测试模式4：DUT发出至少6个周期的2047个已定义符号，共计12282符号
- J 干扰源：频率11.111 MHz峰峰值5.4 V的干扰信号e.g. RTO-B6
- 规范要求：使用规范定义的MATLAB脚本计算每个符号周期内至少10个等分相位处（视采样率而定）采得的峰值失真，需小于15 mV



BroadR-Reach Test Report		
Test Details		
BroadR-Reach Output Droop - 5.4.1		
Description	Transmitter Output Droop	
Run	1	
Result	Pass	
Time	11/05/2014 14:31:14	
Additional Information		
Measurement	Value	Limits
Positive droop	5.05 %	x <= 26.9 %
Negative droop	6 %	x <= 26.9 %

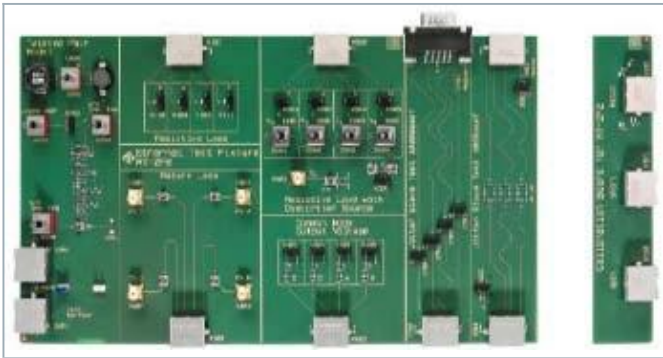
J RTO-B6任意波形发生器选件

- 100 MHz带宽，双通道
- 采样率500 MSa/s，分辨率14 bit
- 集成在RTO2000系列示波器



J RT-ZF2以太网一致性测试夹具

- 方便探头探测信号
- 清晰的测试功能模块划分
- 同时支持BroadR-Reach & 1000BASE-T1
- 支持其他常规以太网标准



J 传输失真测试同步方案

- RT-ZF3频率转换器，66.666 MHz至10 MHz
- RT-ZF6频率转换器，125 MHz至10 MHz



J 应用于BroadR-Reach/1000BASE-T1传输失真测试

- 节省仪器放置空间
- 测试连接更简单
- 更具性价比
- R&S ScopeSuite一致性分析软件控制发出干扰信号

100BASE-T1 T&D 测试方案 RTx-K57

2017年10月，R&S在业内率先发布了基于100BASE-T1的触发与解码选件RTx-K57，进而巩固了其在车载以太网测试技术上的领先地位

触发与解码的测试方案配置

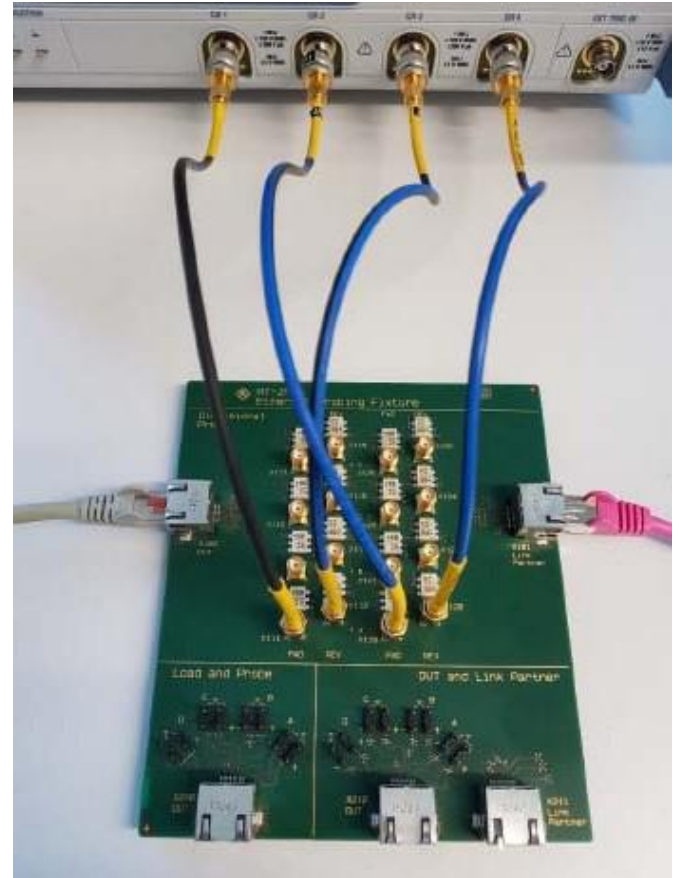
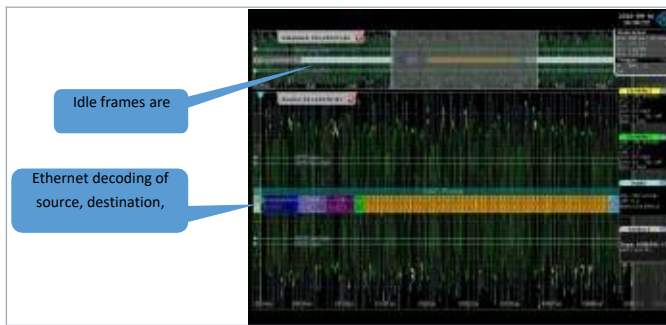
J R&S®RTO2000或者R&S®RTE1000，4通道，带宽不限

J RTO/E-K57选件

J RT-ZF5以太网探测夹具

J 4x RT-ZA10 SMA适配器

J 4x SMA线缆



其他汽车串行总线测试方案

CAN/CAN-FD/LIN/FlexRay/SENT/CXPI总线技术
CAN总线由Bosch于1986年在SAE大会上提出，属于ISO11898标准，分低速 CAN (125 Kbps) 和 高速 CAN (1 Mbps)。CAN总线主要应用：ABS，轮速传感器，加速度传感器，车身稳定传感器。

CAN FD是Bosch于2011年发布的基于CAN2.0的改进串行通信协议，提高数据时钟速率至15 Mbps，具备更高的数据载荷 (8 byte vs 64 byte)。CAN FD总线主要应用：动力系统、底盘、主被动安全及Cyber Security等系统。

LIN总线由LIN联盟发展的一种总线，已并入ISO17987标准，属于慢速子网路通信 (20 Kbps)。LIN总线主要应用：天窗、转向灯、占用传感器、反光镜、车窗、门锁、空调、雨刷等。

FlexRay标准由FR联盟制定。两通道冗余设计，高速传输 (10 Mbps)。FlexRay应用于更安全的需求，例如刹车SENT总线是点对点/单向传输的串行汽车总线，由SAE在J2716标准中定义，传输速率高达30 Kbps。SENT总线主要应用：汽车动力系统，如废气再循环、进气歧管执行器、柴油节气门和油门踏板部件等子系统CXPI是2015年10月由日本汽车工程师学会(JSAE)发布的一种低速汽车总线 (20 Kbps)，使用PWM传输方式，遵循SAE J3076标准。CXPI总线主要应用：车身控制。由于具备更好的性能和可靠性，将取代部分LIN总线应用。

R&S汽车电子测试方案

	R&S®RTH 手持	R&S® RTC1000	R&S® RTB2000	R&S® RTM3000	R&S® RTA4000	R&S® RTE1000	R&S® RTO2000
电源测试	X	X	X	X	X	X	X
I ² C/UART/SPI T&D	X	X	X	X	X	X	X
LIN T&D	X	X	X	X	X	X	X
CXPI T&D						X	X
CAN T&D	X	X	X	X	X	X	X
CAN-FD T&D						X	X
SENT T&D						X	X
FlexRay T&D						X	X
Ethernet Decode							X
车载浮地测量	X						
BroadR-Reach 一致性							X
1000BASE-T1 一致性							X
EMI 调试						X	X



触发与解码

R&S 示波器常规汽车电子总线的触发和解码功能：

- J 帧解码的不同段根据多种颜色进行标注，方便用户区分
- J 高速硬件解码，波形捕获率更高，轻松查找解码错误
- J 总线解码表功能，灵活的数据格式（二进制、十进制、十六进制、ASCII）
- J 支持帧起始、帧类型、ID、ID+数据、各种错误类型触发

错误触发包含：ACK应答错误，CRC校验错误、格式错误等

总线数据的搜索和导航功能

- J 支持独特的Label List标签功能，帧ID地址可以解码为用户自定义的符号名称

以RTM-K3为例：



LabelList文件导入：

应用LabelList文件后，解码信息不仅可以帧ID或地址转换为可读的标签项，还可以将帧内所传输的数据与具体符号相对应。



解码结果：

如下图所示，选中的解码帧显示，汽车引擎的功率是325千瓦，引擎作用力为10663牛顿，其他如汽油剩余量、引擎状态、引擎温度、引擎转速等都给出了相应的数值。



浮地信号 测试应用

百兆及千兆车载以太网都使用全双工传输模式，在一对双绞线上同时收发信息，特殊的接口使得用户无法通过简单探测来获得所需信号数据，用户必须借助测试夹具来隔离信号并探测。RT-ZF2是目前市场上唯一既支持BroadR-Reach、1000BASE-T1，又支持10/100/1000Base-T、2.5G/5G、10GBase-T的综合以太网一致性测试夹具。它的每个测试功能模块均提供清晰描述，方便工程师测试时区分选用。

汽车电子总线信号

J 高速串行差分信号 (高速、低摆幅) BroadR-Reach/1000BASE-T1

J 低速串行差分信号 (汽车电子差分传输信号) CAN、LIN等

J 电源和功率子系统中的浮地信号：马达或驱动电路

J 浮地系统：车载、铁路交通系统

J 电力传输：轨道交通供电网络，超级充电站

仪器选型配置：

J 高性能台式示波器+有源差分探头，具有高性能和安全性



市场现有的大多数手持或隔离通道示波器产品。其缺点：缺点测试性能低，仅能进行简单的测试；无高级触发和分析功能，用户还需要配置高性能仪器作为补充；很多产品的安全等级无法达到CAT IV 600 V要求

RTH浮地测试方案 使用电池供电、通道/端口隔离的 手持示波器 RTH1000

具备常规汽车电子总线CAN/CAN-FD/LIN/SENT的触发和解码功能，专门应对车载现场测试环境，适用于现场故障复现测试！

通道隔离，可直接使用单端探头测量浮地信号，成本较低通道之间隔离，可同时进行多个参考不同的浮地信号测量便携式电池供电，可适应不同测量环境 (实验室 + 外场) 耐压能力更强 (相对一般隔离台式示波器)



BMS系统测试 解决方案车内

相关产品:

J 5 TSVP

方案说明:

本文档作为项目建议书模板使用，介绍R&S BMS系统测试解决方案，测试需求，并根据客户需求提供从测试全套解决方案。此方案可以根据客户要求进行修改，适用于新能源汽车BMS设备。

BMS系统简介

随着能源紧缺、石油涨价、城市环境污染的日益严重，替代石油的新能源的开发利用越来越被各国政府所重视。在新能源体系中，电池系统是其中不可或缺的重要组成部分。近年来，以锂电池为动力的电动自行车、混合动力汽车、电动汽车、燃料电池汽车等受到了市场越来越多的关注。动力电池在交通领域的应用，对于减少温室气体的排放、降低大气污染以及新能源的应用有着重要的意义。其中锂电池以高能量密度、高重复循环使用次数、重量轻，以及绿色环保等优势越来越受到人们的关注，所以在手机、笔记本电脑、电动工具等便携式手持设备中已经得到广泛的应用，并已经开始进入电动车、电动汽车等大功率的应用中，成为全球电

动汽车发展的热点但是由于锂电池在加热、过充/过放电流、振动、挤压等滥用条件下可能导致电池寿命缩短以致损坏，甚至会发生着火、爆炸等事件，因此安全性问题成为动力锂电池商业化推广的主要制约因素。安全型、低成本、长寿命锂离子电池的安全标准、安全评价方法、电池制造过程的安全与可靠性控制以及通过正负极材料、电解质与隔膜优选改善电池安全与可靠性是实现确保大型动力锂离子电池安全可靠，实用化的关键。而电池管理系统（**BATTERY MANAGEMENT SYSTEM**），作为电池保护和管理的核心部件，不仅要保证电池安全可靠的使用，而且要充分发挥电池的能力和延长使用寿命，作为电池和车辆管理系统以及驾驶者沟通的桥梁，电池管理系统对于电动汽车性能起着越来越关键的作用。

BMS系统 主要功能

电池管理系统与电动汽车的动力电池紧密结合在一起，对电池的电压、电流、温度进行时刻检测，同时还进行漏电检测、热管理、电池均衡管理、报警提醒，计算剩余容量、放电功率，报告SOC&SOH状态，还根据电池的电压电流及温度用算法控制最大输出功率以获得最大行驶里程、以及用算法控制充电机进行最佳电流的充电，通过CAN总线接口与车载总控制器、电机控制器、能量控制系统、车载显示系统等进行实时通讯。电池管理系统 (BMS) 的简单框图如下图所示：

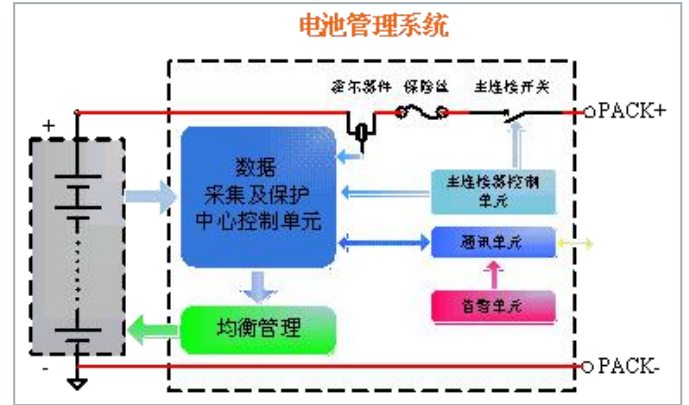


图1 BMS系统框图

BMS系统的主要依据的标准有：

JSAE2006-21-0060 Advances in HEV Battery Management Systems

JQC/T 897-2011 电动汽车用电池管理系统技术条件

JGBT 20234-2015 电动汽车传导充电用连接装置

JGBT 27930-2015 电动汽车非车载传导式充电机与电池管理系统之间的通信协议。

R&S BMS 测试系统

R&S BMS测试系统基本功能

R&S BMS测试系统测试实现功能如下：

- J 电池总电压和总电流模拟与精度测试；
- J 电池单体电压模拟与精度测试；
- J 绝缘电阻精度测试；
- J 电池组温度管理功能测试；
- J 电池组安全控制功能、故障诊断和处理功能测试；
- J 电池SOC估算功能测试；
- J BMS系统的绝缘电阻、绝缘耐压测试；
- J BMS系统的过压和欠压测试；
- J BMS系统的高低温测试；
- J 系统间通信功能测试；
- J 电池充放电控制功能测试；
- J 开关量参数模拟测试。

R&S BMS测试系统硬件组成

R&S BMS测试系统硬件包括高精度电压模拟模块、高精度恒流源、高精度高压恒压源、高精度温度采集模块、高精度高低温箱、控制电脑、CAN总线分析仪、开关量参数模拟模块、绝缘电阻精度测试模块、BMS供电电源、绝缘电阻测试仪、绝缘耐压测试仪、操作台、通讯模块等组成。

单体电压模拟功能，可以模拟多节电池串联的电池组电压，每节电池的电压可以在0-5 V内调整，电压的分辨率为0.1 mV 可以用于测试BMS电池管理系统电压检测精度和对于电池电压高和低的反应，电源的每个通道可以吸收和提供0-2 A的电流，可以用于检测BMS的电池均衡功能。模拟模块可以显示每个通道的电压，可以和被测BMS的测试数据进行比较，得出BMS电压检测精度、电压异常反应、均衡功能。

高精度高压恒压源，可以模拟0-1000 V 电池组的电压，可以用于检测BMS总电压检测功能。

高精度恒流源，可以模拟0-500 A的电流，分辨率为0.01 A，可以用于检测BMS电流检测的精度，也可以模拟电池组的充放电曲线，和系统配套实现对BMS的SOC估算功能的验证。

高精度高低温环境实验模拟箱和高精度温度采集模块配合，实现对BMS 温度检测精度的检测和BMS对温度过高和过低的反应。

开关量参数模拟模块，由继电器控制板、电源、控制接触器和继电器组成，实时检测BMS对于各种工作状态的报警控制情况，检测BMS开关控制能力和负荷能力。

CAN总线分析仪，通过该接口和BMS对接，通过软件模拟充电机和车辆管理器和BMS进行通讯，测试BMS 的通讯能力，以及和充电机握手、充电参数配置、充电过程控制的性能，以及和车辆控制器信息通讯控制的能力。同时记录通讯过程，测试BMS 的通讯误码率。

绝缘电阻精度模块和电池组总电压模拟电源配套，模拟真实电池组正负极对机壳绝缘电阻值，通过改变电阻值，测试BMS绝缘电阻的测试精度和系统绝缘改变时BMS 的响应。

BMS供电电源，针对不同的供电电压，测试BMS对供电过欠压和掉地供电情况的响应，测试BMS对电源的适应性能。SOC精度估算的验证，通过电流源模拟电池组的充放电曲线数据，测试BMS 的SOC 估算能力，还可以通过软件仿真来检测BMS SOC算法的可靠性，通过软件导入充放电历史数据，改变BMS数据的内容，查看SOC值的估算，验证BMS的SOC估算性能。

绝缘电阻测试仪用于测试BMS的绝缘电阻、绝缘耐压测试仪用于测试BMS的绝缘耐压的情况。

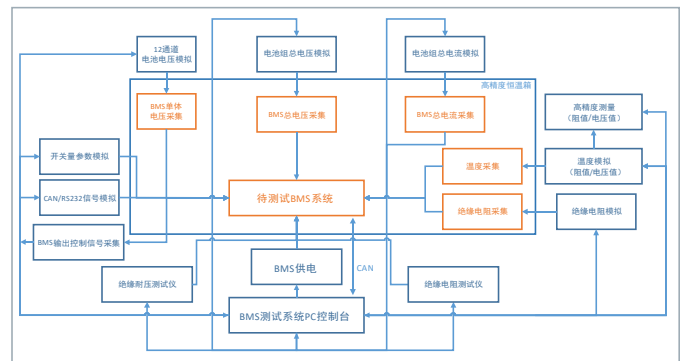


图2 BMS测试系统框图

R&S TSVP

R&S TSVP是专门针对于高性能自动测试应用的PCI/PXI插卡式仪表，集成14个PCI槽位，插入不同功能的单元模块可以实现如开放测试测量平台、射频切换、高功率切换、高功率负载仿真等各种不同的测试需求。在R&S BMS测试系统中，R&S TSVP可使用多种功能板卡，包括：

- J 电源供电/负载模拟板卡
- J 万用表测量板卡

J 数字模式I/O模拟与串行通信模拟板卡

J 继电器开关模拟板卡

J 多路开关切换模拟板卡

J 多通道模数采集板卡

高精度恒流源/高精度恒压源

高精度恒流源/高精度恒压源为专门用于BMS电池组仿真的可编程高精度直流电压源。

高精度恒流源指标要求:

J 电流范围: 0~500 A (分辨率10 mA)

J 输出精度: 0.1%FD+0.1%RD

J 电流稳定度: 0.1%

J 外部电流传感器接线方式: 分流器或电流传感器

J 输出方式: 电流

J 输出电压范围: 0~5 V

J 设备带有液晶显示, 和操作键盘, 可以在仪表上实现操作

J 设备带有CAN通讯端口或RS-232通讯端口, 可以和系统进行通讯

高精度恒压源指标要求:

J 输出电压范围: 0-1000V

J 电压显示分辨率: 0.01 V

J 精度: 0.1%FD+0.1%RD

J 输出电流范围: 0-100 mA

J 纹波和噪声: 峰峰值650 mV

J 负载瞬时恢复时间: 2 ms

J 设备带有液晶显示, 和操作键盘, 可以在仪表上实现操作

J 设备带有CAN通讯端口或RS-232通讯端口, 可以和系统进行通讯

绝缘电阻精度模块

绝缘电阻精度模块, 模拟真实电池组正负极对机壳绝缘电阻值, 通过改变电阻值, 测试BMS绝缘电阻的测试精度和系统绝缘改变时BMS 的响应。

J 输入电压等级: 100-500 V

J 可模拟正负端对地电阻

J 电阻值从5K Ω 、10K Ω 、20K Ω 、40K Ω 、80K Ω 、160K Ω 可调

J 设备可以远程电脑控制和本地开关控制

J 设备可以显示加载的电阻值

高功率电子负载

高功率电子负载用于模拟动力电池组负载, 可模拟各种正常和异常状态。

J 输入电压等级: 100-500 V

J 最大直流电流: 60 A

J 设备可以远程电脑控制和本地开关控制

BMS供电电源

BMS供电电源可选择开放测试系统平台的电源供电板卡供电或采用外置数控电源。(根据测试需求与R&S开放测试系统平台的板卡配置而定)

J 为管理系统提供电源;

J 电压在0-50V可调;

J 并可完成过压、欠压试验;

J 具备可控掉地功能。

绝缘电阻测试仪

绝缘电阻测试仪技术指标:

J 输出电压可以在1V分辨率下任意设定-25 V 1000 Vdc (输出特性符合JIS C 1302-1994)。此外, 还具有窗口比较器计时器功能, 可有效进行基于各类安全标准的绝缘电阻试验。除此之外, 其上还标准安装有可从外部调用的面板存储器、SIGNAL I/O连接器和RS-232C接口

J 输出电压设定范围: -25V 1000Vdc (符合JIS C 1302-1994 的输出特性)

J 电阻测量范围: 0.01 M Ω 5000 M Ω

J 搭载放电功能

J 搭载有窗口比较器

J 保持功能 (在PASS期间保持试验结束时的测量电阻值)

J 搭载有计时器功能

J 后部输出端子

J 测量值监控端子

J 面板搭载有存储器 (10种)

J 搭载有SIGNAL I/O、遥控器端子

J 标准安装有RS-232C接口

绝缘耐压测试仪

绝缘耐压测试仪采用的是在各类安全标准下进行耐压试验的专用测试仪

J 搭载有数字电压计和电流计

J 便于判断运行状态的大显示屏

J 用来设定准确试验时间的数字计时器

J 采用检测断线的窗口比较器方式的判标准

J DC耐压试验后的自动放电功能

J 各类远程控制功能和各类信号输出功能

高精度恒温箱

J 温度范围:-60 $^{\circ}$ C-150 $^{\circ}$ C

J 工作室尺寸 (CM) 宽*深*高 (约) 40 \times 40 \times 50

J 外型尺寸 (CM) 长*宽*高 (约) 60 \times 115 \times 150

J 标称容积 (L):80 L

J 升温速率: $\geq 3.0^{\circ}$ C/min (非线性) 降温速率: $\geq 1.0^{\circ}$ C/min (非线性)

J 温度波动精度: $\leq \pm 0.5^{\circ}$ C

R&S BMS测试系统软件设计

R&S BMS测试系统测试系统平台配置上位机控制软件和数据采集分析软件，控制软件完成各模块参数设置并存储，数据采集分析软件可完成测试数据的采集、记录、分析及自动生成测试报告。在测试设备选型的时候选择能与上位机软件接口和数据交换的设备，并开发上位机实现数据交换和监控，完成相应功能测试、精度校验、数据存储和本地访问。BMS与PC机之间的通讯采用指定的标准协议进行测试，配合功能测试软件，可实现BMS与PC机之间的自动化测试。

状态监测精度测试

利用PC机界面调整温度、电流、单体电压、总电压、绝缘电阻，将标准值与电池管理系统测量得到的参数值（电池管理系统的通过RS232或者CAN总线按照提供的标准协议发送）进行对比，计算电池管理系统的温度、电流、单体电压、总电压、绝缘电阻测量误差以及误差的最大值、最小值和平均值。并记录测试结果，输出测试报告。测试报告示例如下：

绝缘电阻测试

利用PC机界面设置测试电压值，启动测试按钮，测试管理系统绝缘电阻测试，并记录结果，输出报告。

绝缘耐压测试

利用PC机界面设置测试电压值，启动测试按钮，远程控制实现测试管理系统绝缘耐压性能，并记录结果，输出报告。

通讯功能测试

电池管理系统按照指定的电池管理系统与整车控制器之间的CAN总线协议以及电池管理系统和充电机之间的CAN通讯协议进行软件编程。PC机侧配置上位机测试软件用于模拟整车控制器或者充电机的虚拟终端。测试过程中，将PC机经过CAN总线转换模块与电池管理系统相连，虚拟终端按照约定的协议发出相应的报文，并接收电池管理系统反馈的报文，通过与指定的CAN协议进行比较，验证电池管理系统发送报文的有效性和正确性。

SOC估算精度测试

PC机与程控电流源连接，电池管理系统电流检测传感器与程控电流源输出连接。将电流测试工况曲线（可参考电池管理系统技术要求SOC估算部分的电流曲线进行测试）嵌入PC机模拟软件，实时控制恒流源的输出，电池管理系统依据检测到的恒流源的数据，进行电池的容量估算，并通过CAN总线将容量数据发送至PC机。将电池管理系统估算的容量与按照工况实际计算的电池容量进行比较，判断电池管理系统估算的误差。

BMS管理系统安全保护功能测试，

目的是校验BMS保护动作的可靠性和灵敏度。具体项目如下图：

项目	报警条件	响应情况
模块温度过高		
模块温度过低		
单体电压过压		
单体电压欠压		
温差过大		
总电压过压		
总电压欠压		
充电电流过流		
放电电流过流		
SOC过低		
绝缘电阻改变		

测试用例

电池总电压和总电流模拟与精度测试

BMS测试系统对BMS测量电池总电压和总电流的精度测试框图如下图所示，利用高精度高电压恒压源模拟电池组的总电压，由高精度高电流恒流源模拟电池总电压和总电流模拟与精度测试拟电池组总电流，BMS测试系统的PC控制台通过远程控制接口控制高精度电压源的电压变化和高精度电流源的电流变化，通过CAN总线读取相应的BMS系统测量出的电池组总电压和总电流值，将测量结果和设置标准值进行精度对比，测量精度误差。

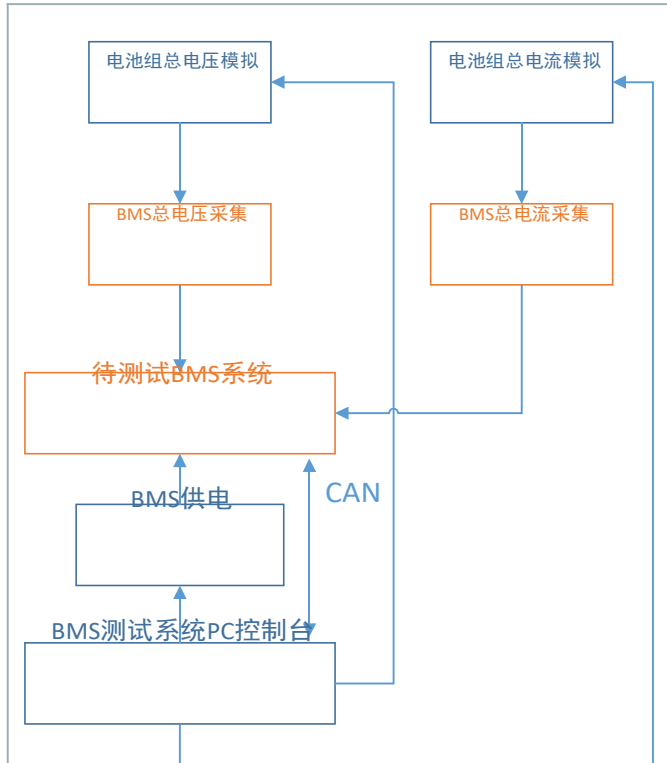


图3 电池总电压和总电流模拟与精度测试

电池单体电压模拟与精度测试

BMS测试系统对BMS测量单体电池电压的精度测试框图如下图所示，BMS测试系统配置有模拟12组单体电池的高精度恒压源，并且具有输出电压的高精度的测试读回功能。因此，可由BMS测试系统的PC控制台发起测试，远程控制单体电池模拟模块的电压变化，将BMS测试值和单体电池模拟模块的电压的实测读回值进行对比，从而测量BMS对于单体电池电压的测试精度。

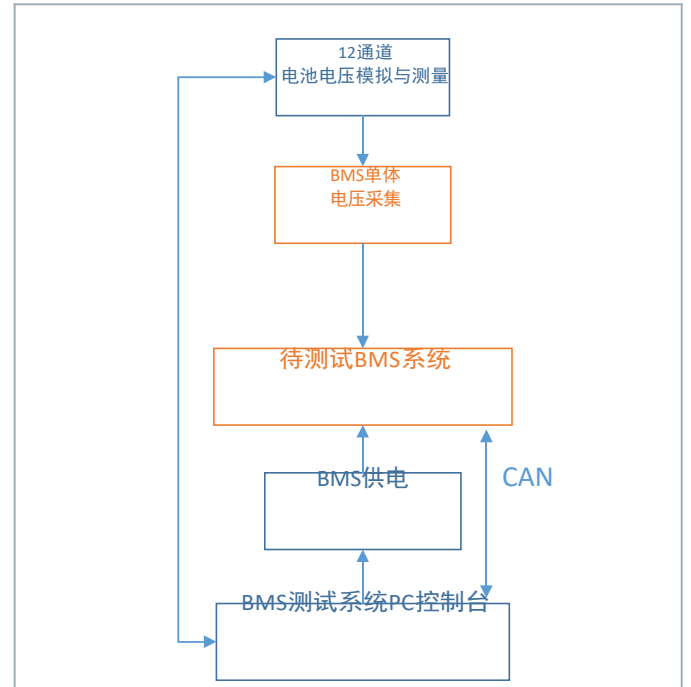


图4 电池单体电压模拟与精度测试

绝缘电阻精度测试

BMS测试系统对BMS测量绝缘电阻的精度测试框图如下图所示，BMS测试系统配置有高压输入高阻值模拟的绝缘电阻模拟模块，该模拟模块具有极高的阻值精度，由BMS测试系统的PC控制台远程控制改变绝缘电阻模拟模块模拟的电阻值。同时PC控制台通过CAN总线读取BMS相应的绝缘电阻实际测量值，进行精度和误差对比。

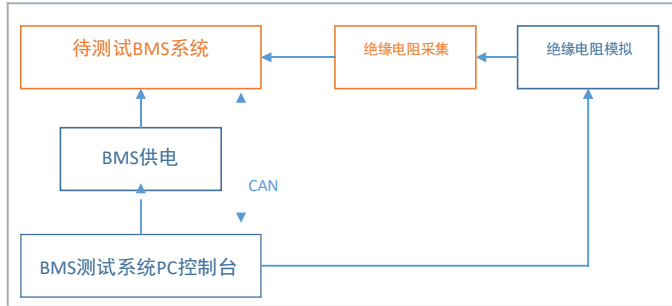


图5 绝缘电阻精度测试

电池组温度管理功能测试

对于BMS管理电池组温度的功能测试框图如下图所示，BMS测试系统配置有用于温度模拟模块可产生相应温度对应的高精度阻值或电压值，BMS内温度采集模块采集此模拟的电阻值或电压值即可得到电池组当前温度值。BMS测试系统的PC控制平台可以远程控制温度模拟模块根据测试温度模拟不同的电阻或电压值，同时，BMS测试系统配置高精度的阻值和电压值测量模块，通过测量值与温度的对应关系换算出对应的温度值。将测量的对应温度值与CAN总线读取的BMS测试温度值进行对比，即可得到BMS测试温度的精度和误差。利用PC控制平台远程控制温度模拟模块模拟超出电池组温度阈值的高温 and 低温，由CAN总线读取相应报警信息，测试BMS对电池组的温度管理控制功能是否正常实现。

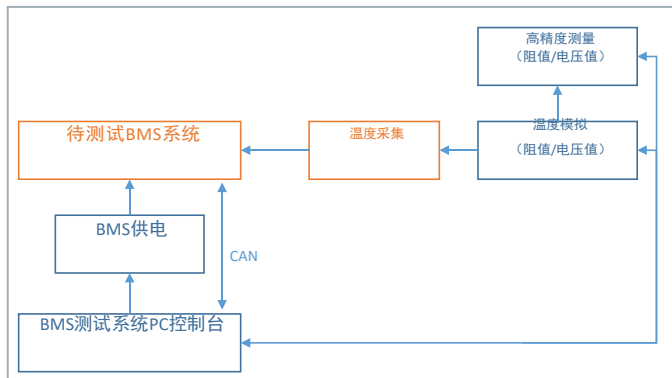


图6 电池组温度管理功能测试

电池组安全控制功能、故障诊断和处理功能测试

BMS测试系统对BMS的电池组安全控制和故障诊断处理的功能测试框图如下图所示，BMS测试系统通过PC控制台发起测试，设置电池组模拟进入各种异常模式，如电池组温度过高或过低、单体电池电压过高或过低、总电压过高或过低、充电电流过流、放电电流过流、SOC过低、绝缘电阻改变等，PC控制台通过CAN总线接口核对BMS输出控制信号的采集判断BMS对于各种故障的诊断告警和处理功能是否正常。

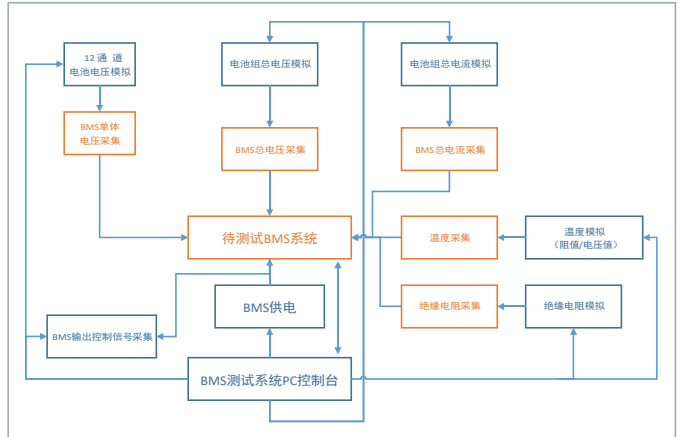


图6 电池组安全控制功能、故障诊断和处理功能测试

电池SOC估算功能测试

BMS测试系统对BMS关于电池SOC估算能力的测试框图如下图所示，BMS测试系统利用PC控制台远程控制高精度高电流输出电流源，通过电流源输出电流的变化模拟计算得到电池组的充放电曲线数据，与BMS测量得到的SOC值进行对比，测试BMS的SOC估算能力，还可以通过软件仿真来检测BMS SOC算法的可靠性，通过软件导入充放电历史数据，改变BMS数据的内容，查看SOC值的估算，验证BMS的SOC估算性能。

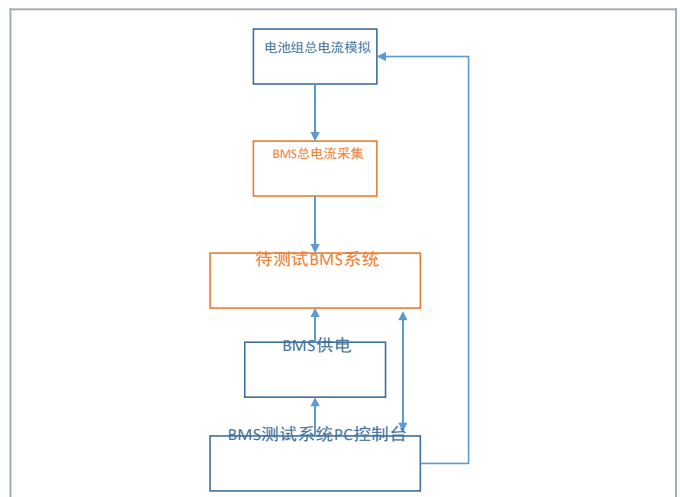


图7 电池SOC估算功能测试

BMS系统的绝缘电阻、绝缘耐压测试

BMS系统作为车载系统的一部分，同样需要进行系统自身的绝缘电阻和绝缘电压测试。对于BMS系统自身的绝缘电阻和绝缘电压测试框图如下图所示。

绝缘电阻测试：在BMS与动力电池相连的带点部件和壳体之间施加500V DC的电压进行绝缘电阻测试。(测试绝缘电阻值不小于2M欧姆)绝缘耐压测试：

J 在BMS与动力电池相连的带电部件和其壳体之间施加频率为50~60 Hz的正弦波交流电压，测试电压为 $(2U+1000)$ (最小为1500 V)，历时1 min。其中U为电池系统的额定电压。

J 在BMS的供电电源正极端子和与其动力电池相连的带电部件之间施加频率为50~60 Hz的正弦波交流电压，测试电压为 $(2U+1000)$ (最小为1500 V)，历时1 min。

J 在BMS的通信线路和与其动力电池相连的带电部件之间施加频率为50~60 Hz的正弦波交流电压，测试电压为 $(2U+1000)$ (最小为1500 V)，历时1 min。

J 要求在测试过程中无击穿或闪络等破坏性放电现象。

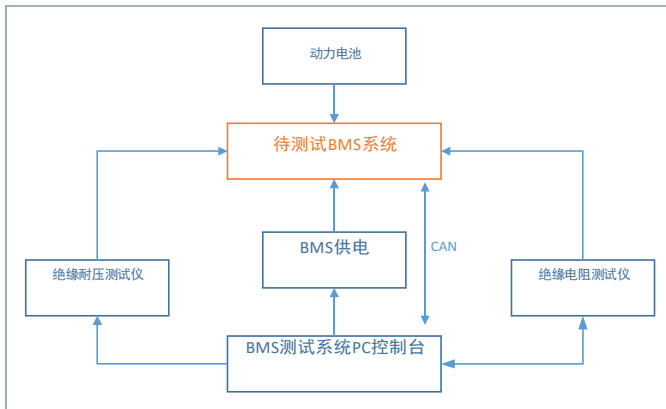


图8 BMS系统绝缘电阻、绝缘耐压测试

BMS系统的过压和欠压运行测试

BMS系统对BMS的过压和欠压运行测试的框图如下图所示。测试需要模拟BMS正常工作状态，可通过BMS测试系统的PC控制台控制单体电池电压模拟模块、电池组总电压模拟模块、电池组总电流模拟模块、温度模拟模块和绝缘电阻模拟模块进行各种模拟状态条件组合。假设测试BMS系统的电源电压为15 V或30 V。

过电压测试：将供电电源电压调至16 V或32 V，在该供电电压下持续运行1小时，测试过程中记录BMS状态参数测量值，并进行误差比较；

欠电压测试：将供电电源电压调至9 V或18 V，在该供电电压下持续运行1小时，测试过程中记录BMS状态参数测量值，并进行误差比较。

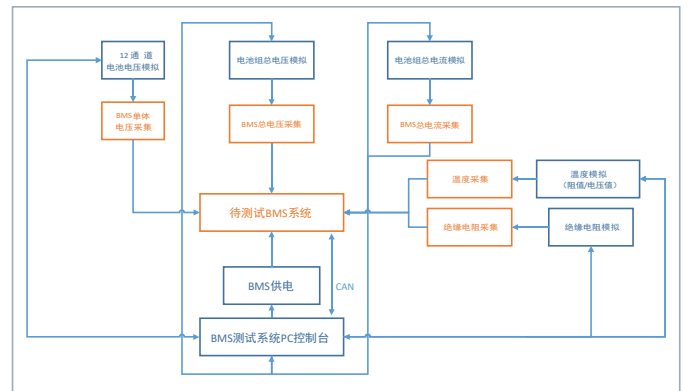


图9 BMS系统过压和欠压运行测试

BMS系统的高低温测试

对于BMS系统的高低温测试框图如下图所示，需要测试BMS系统对于外界环境因素如对温度过高和过低的反应。将待测BMS系统装入高精度恒温箱，模拟BMS正常工作各种状态，改变恒温箱的温度，观测BMS系统的正常工作的高低温阈值，以及BMS系统对于环境温度过高或环境温度过低时的报警和异常处理功能是否正常。

- J 高温运行：将BMS放入初始温度为室温的高温箱中，使其处于工作状态，达到 $65\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 后保持1小时，测试过程中记录BMS状态参数测量值，并进行误差比较。
- J 低温运行：将BMS放入初始温度为室温的温箱中，使其处于工作状态，达到 $-25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 后保持1小时，测试过程中记录BMS状态参数测量值，并进行误差比较。
- J 耐高温性能：将BMS放入初始温度为室温的温箱中，使其处于工作状态，达到 $85\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 后保持4小时，恢复到室温后，记录BMS状态参数测量值，并进行误差比较。
- J 耐低温性能：将BMS放入初始温度为室温的温箱中，使其处于工作状态，达到 $-40\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 后保持4小时，恢复到室温后，记录BMS状态参数测量值，并进行误差比较。
- J 耐温度变化性能：按照BMS测试规范要求，在 $-40\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 85\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间进行温度切换，在每一种温度中的放置时间为2小时，温度转换时间为20~30秒，循环次数为5次。BMS系统在不同状态下进行测试，恢复到室温后，记录BMS状态参数测量值，并进行误差比较。

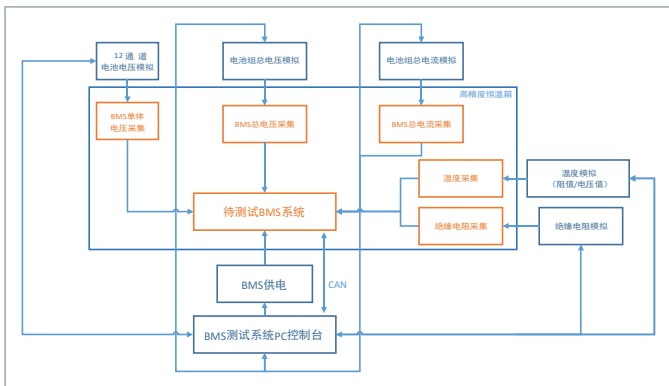


图10 BMS系统高低温测试

系统间通信功能测试

BMS测试系统对BMS与车内系统的通信功能测试框图如下图所示，BMS测试系统对BMS和整车控制器之间的CAN总线协议以及BMS和充电机之间的CAN通讯协议进行软件编程模拟。PC机侧配置上位机测试软件用于模拟整车控制器或者充电机的虚拟终端。测试过程中，将PC机经过CAN总线转换模块与BMS相连，虚拟终端按照约定的协议发出相应的报文，并接收BMS反馈的报文，通过与指定的CAN协议进行比较，验证BMS发送报文的有效性和正确性。

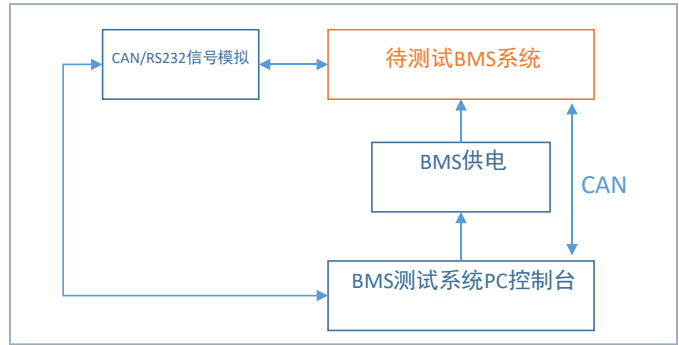


图11 系统间通信功能测试

电池充放电控制功能测试

对于BMS控制电池充放电功能的测试框图如下图所示，由BMS测试系统的PC控制台通过CAN总线接口模拟BMS发送充电或放电指令，读取BMS对于单体电池电压和电流测量值，与BMS测试系统测试的单体电压和电流值进行对比，同时通过BMS的总电压和总电流及SOC测试观测BMS对于电池的充放电状态的控制是否符合模拟场景。

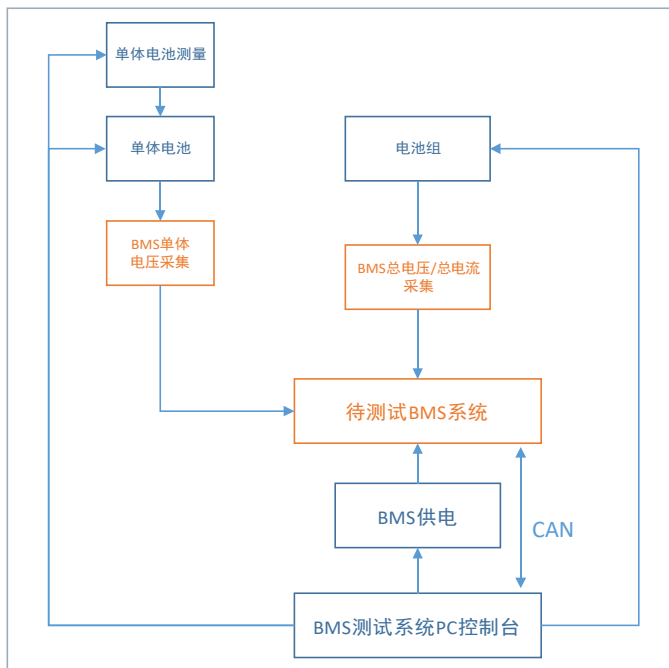


图12 电池充放电功能测试

开关量参数模拟测试

对于BMS开关量参数的模拟测试，其测试框图如下图所示，BMS测试系统模拟各种继电器通断组合和模拟测试信号输入，在BMS的输出接口对控制信号、告警信号进行采集和分析，从而实时检测BMS对于各种工作状态的报警控制情况，检测BMS开关控制能力和负荷能力等。

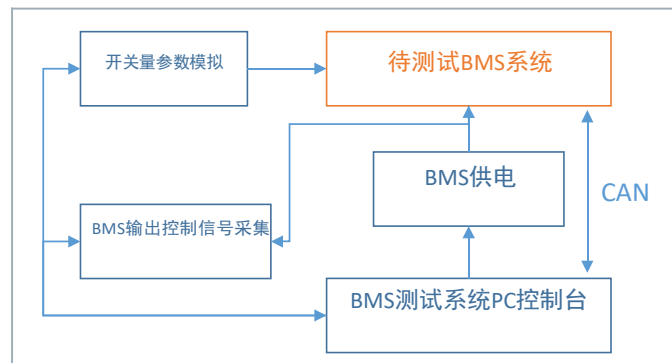


图13 开关量参数模拟测试

系统配置

根据BMS测试系统结构框图，其基本配置如下：

- J **Test Software**: 测试软件，根据需求完成所需的测试项目，实现自动化测试；
- J **TSVP**: 用于BMS系统的模拟单体电池、温度模拟、高精度电阻/电压测量以及开关量参数模块模拟和实现BMS输出控制信号的采集等测试相关项目；
- J **高精度恒流源/高精度恒压源**: 用高精度高电流恒流源和高精度高电压恒压源模拟电池组总电压和电池组总电流；
- J **高功率电子负载**: 用于绝缘电阻精度测试，通过改变电阻值，测试BMS绝缘电阻的测试精度和系统绝缘改变时BMS的响应；
- J **高精度恒温箱**: 测试BMS高温运行、低温运行、耐高温性能、耐低温性能和耐温度变化性能；
- J **绝缘电阻测试仪**: 测试BMS的绝缘电阻；
- J **绝缘耐压测试仪**: 测试BMS的绝缘耐压；
- J **CAN通讯转换模块**: 实现PC和BMS系统的信息交互，模拟BMS系统与车内系统信息交互；
- J **可编程数控电源 (根据具体配置可选)**: 用于BMS的供电及BMS的过压与欠压测试；

- J **示波器 (可选)**: 用于BMS测试系统所需的相关异常情况时域测试与问题定位；
- J **Other**: 其他，用于BMS测试系统搭建所需的电脑显示器、键盘、鼠标、控制台、电缆、接头，测试探头、单体电池与电池组或其他所需配件。

测试用例/所需仪表	开放测试系统平台	高精度电压源	高精度电流源	高功率电子负载
电池总电压和总电流模拟与精度测试	√	√	√	
电池单体电压模拟与精度测试	√			
绝缘电阻精度测试	√			√
电池组温度管理功能测试	√			
电池组安全控制功能、故障诊断和处理功能测试	√	√	√	√
电池SOC估算功能测试	√		√	
BMS系统的绝缘电阻、绝缘耐压测试	√			
BMS系统的过压和欠压测试	√	√	√	√
BMS系统的高低温测试	√	√	√	√
系统间通信功能测试	√			
电池充放电控制功能测试	√			
开关量参数模拟测试	√			

	绝缘电阻测试仪	绝缘耐压测试仪	CAN通讯转换模块	高精度恒温箱	可编程数控电源
			√		√
			√		√
			√		√
			√		√
			√		√
			√		√
	√	√	√		√
			√		√
			√	√	√
			√		√
			√		√
			√		√

汽车钥匙及胎压监测 测试方案

相关产品:

- J ➤ SMBV100A
- J ➤ SGT100A
- J ➤ FSV
- J ➤ SGT100A
- J ➤ FSVA
- J ➤ FSVR
- J ➤ FPS
- J ➤ FPL
- J ➤ CMW500
- J ➤ CMW270
- J ➤ ZNB
- J ➤ ZND
- J ➤ ZNL
- J ➤ RTO
- J ➤ RTM
- J ➤ TSVP
- J ➤ TS7810
- J ➤ TS7124
- J ➤ IQR

方案说明:

随着无线技术的发展，汽车遥控钥匙及胎压监测采用的技术也日新月异，本文以目前主流的远程无钥匙门禁系统RKE、PKE、蓝牙车钥匙及胎压监测TPMS为主，探讨各自的工作原理，同时，提出了以罗德与施瓦茨公司的信号源、频谱仪、矢网和示波器为基础的汽车钥匙和胎压监测整体测试解决方案。本方案包括模块测试、系统测试、OTA测试、全自动化测试及车钥匙和胎压监测的记录与回放测试解决方案。

汽车钥匙及胎压监测技术背景

胎压监测TPMS (Tire Pressure Monitoring System) 第一次作为专用词汇是在2001年7月，美国运输部和国家高速公路安全管理局 (NHTSA)，为响应美国国会对车辆安装TPMS立法的要求，联合对现有的两种轮胎压力监测系统进行了评价，并确认直接式TPMS优越的性能和准确的监测能力。由此TPMS汽车轮胎智能监测系统作为汽车三大安全系统之一，与汽车安全气囊、防抱死制动系统 (ABS) 一起被大众认可并受到应有的重视。

汽车钥匙的作用主要是有如下两个方面：

- J 安全性：开锁车门、开锁后备箱。汽车是个人或单位的重要财产，因此将车锁好才能防止车子被盗。
- J 功能性：打开点火开关，起动车辆并在车辆行驶过程中和驻车怠速时，给车辆的各个系统供电，以保证车子的正常使用。

随着汽车业的发展，汽车界的设计者们一直在致力于车锁系统在实用性、方便性、快捷性、安全性等多方面的研究开发设计，它的发展历程大致有如下几个阶段：

- J 第一代：传统的机械钥匙实现基本的车门开关功能。
- J 第二代：可以轻按遥控器按钮实现车门的开闭功能，但汽车发动还需一把机械钥匙来操作，两把钥匙共同使用，缺一不可，有些繁琐。
- J 第三代：将钥匙和遥控器二者功能合二为一，开门/关门/汽车发动都通过主动按键来完成，机械钥匙内嵌在遥控钥匙中，已备不时之需。
- J 第四代：在主动按键的基础上，增加了被动工作方式，无需按键就可以实现开门/关门动作，进一步提高了效率，安全性能大幅提高。



图1 汽车钥匙发展历程

汽车钥匙 工作原理

随着无线通信技术的不断发展，汽车钥匙也有了越来越多的方案。有遥控式的，智能式的，加密式的等等。目前常见的汽车钥匙方式有RKE、PKE以及双向智能车钥匙系统。不仅提高了防盗安全性，而且给人们的汽车使用带来很大方便。

RKE模式

RKE: Remote Keyless Entry, 远程无钥匙门禁系统, 是目前主要使用的主动式遥控车钥匙技术, 包括发射机和接收机两大部分。RKE功能主要控制车门, 车窗, 内部照明等机电设备, 如下图所示:

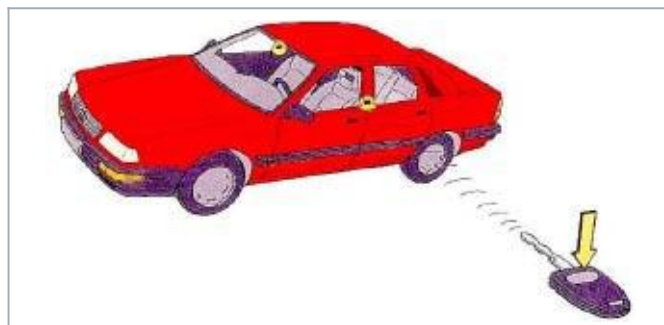


图2 RKE工作模式

RKE工作原理

RKE系统包括发射机和接收机, 发射机向安装在车内的接收器发出一串短脉冲数字信号, 信号经过解码, 通过接收器控制传动机构, 打开或关闭车门或行李箱。

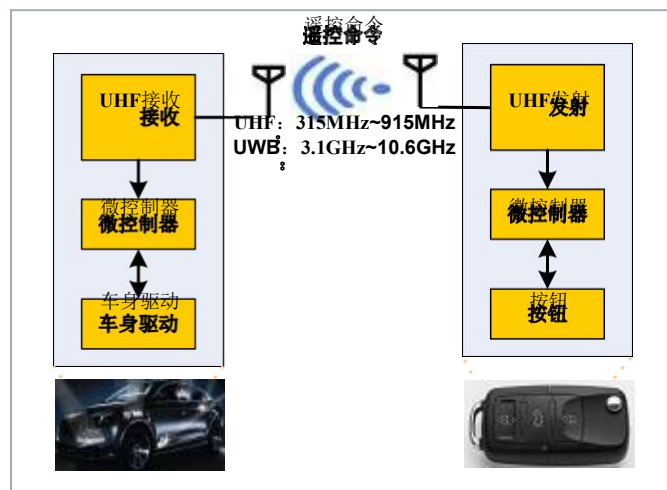


图3 RKE工作原理框图

- J 发射机: 由发射开关、发射天线、集成电路等组成。内含识别代码存储回路和调幅调制回路, 并在电路的相反一侧装有按钮型的锂电池。发射频率按使用相应国家的无线电标准进行选择, 发射开关每按按钮一次进行一次信号发送。
- J 接收机: 发射机利用短波调制发出识别代码后, 通过汽车的短波天线进行接收, 并利用分配器进入接收机电子控制单元的短波高频增幅处理器进行解调, 与被解调器的识别

代码进行比较；如果是正确的代码，就输入控制电路并使执行器工作。

RKE主要采用无线遥控的方式完成。其主要采用的无线通信技术。

RKE工作频段

遥控钥匙门禁(RKE)系统通常工作在ISM UHF频段，在美国和日本该无线载波频率为315 MHz，欧洲则使用433.92 MHz，同时，欧洲也开放了868 MHz和915 MHz的频率来适应RKE系统的增长需求。目前，也有最新的汽车钥匙为了加强保密性，免受被破解，采用非授权的超宽带UWB通信，频率为3.1 GHz-10.6 GHz。

RKE调制方式

RKE通常采用 ASK调制，调制方式实现简单，成本较低。对于ASK调制信号主要通过包络检波和幅度检测等方式得到调制的数据，采用FSK调制也是一个发展方向，因为FSK调制在传输较高速率数据时更加稳定，抗干扰性也好于ASK。对于FSK调制信号要通过鉴频电路或数字IQ解调得到调制数据。

RKE车载模块通过天线接收车钥匙发射的信号，接收段主要检测MAC，即Message Authentication Code，包括发射器识别码，滚码计数，命令码和状态标志，接收器通过比较自己的滚码计数和发射器的滚码计数来鉴别MAC，发射器的滚码计数应该与接收器存储的滚码计数相同或略大，但是应该在规定的窗口内，如果在窗口内不匹配，车载模块可以要求重新同步，如果匹配，车载模块就发送正常的串行命令给驱动器解锁。

RKE通信数据流

数据流通常是64到128位长，以2 kbps至20 kbps的速率进行发射，通常由以下字段组成：前导码、操作码、校验位和“定码或滚动码”，滚动码在每次使用后会修改自身数值，以保证车辆的安全性。如果没有滚动码，也即定码，发送的信号可能会意外地开启另一车辆，或发射码被他人截取/窃取。

J 定码：早期汽车使用的方式，主机和钥匙各使用一组相同的密码，实现简单，但是由于密码少、易捕获，造成防盗性比较差；

J 滚动码：密码依一定的编码函数，每一次发送的代码都是唯一的、不规则的、且不重复，密码不会被轻易复制或窃取，安全性极高。

PKE模式

传统的RKE系统还是不够完善，当人们手中握着东西不方便拿出钥匙时，遥控车门变得不太方便。即使使用滚动码，也一样主动干预的方式使得车门无法关闭，安全性还是不够。作为新一代防盗技术的PKE模式也就应运而生。

PKE: Passive Keyless Entry，被动无钥匙门禁系统，是无需用户干预的智能遥控车钥匙技术，在RKE技术的基础上使用了RFID技术，由遥控车钥匙和车载控制组成。不仅具有传统RKE的功能，而且还增加主动识别车主身份的智能，当驾驶者踏进指定范围时，该系统通过识别判断如果是合法授权的驾驶者则进行自动开门，上车之后，驾驶者只需要按一个按钮即可启动点火开关。

汽车电子式防盗采用射频识别技术 (RFID)，这是一种非接触式的自动识别技术，通过射频信号自动识别目标对象并获取相关数据。RFID技术采用射频传输，可以透过外部材料读取芯片数据，实现非接触操作，应用便利，使用寿命长；数据安全方面，通信数据使用加密算法对数据进行加密，实现数据安全存储、安全管理和安全通信。随着电子技术的快速发展，RFID成本也在不断地降低，加快了智能化在汽车领域中的推广和应用。

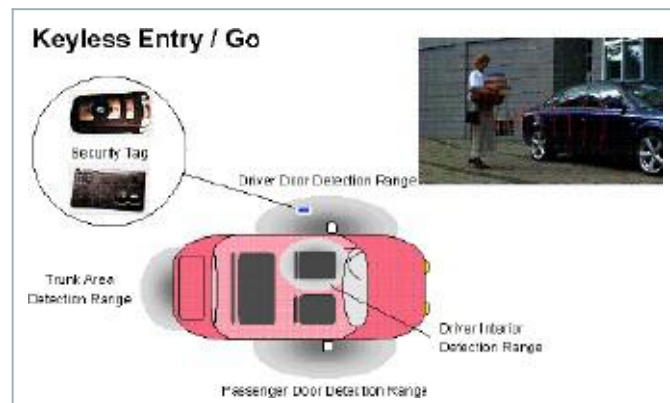


图4 PKE工作模式

PKE工作原理

PKE智能钥匙系统分为基站（车载）和应答器（钥匙）两部分。这两部分之间采取双向通信。

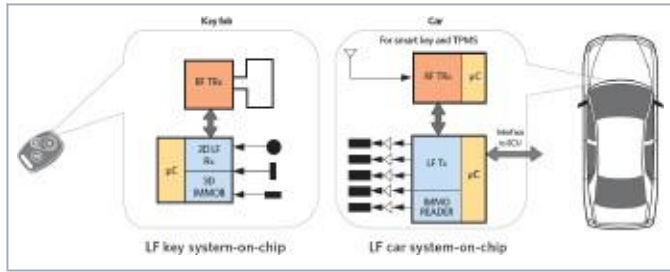


图5 PKE工作原理框图

PKE系统有两种工作方式：触发模式和扫描模式。

J 扫描模式：车辆中的基站单元不停地发送一条编码为低频（例如125 kHz）报文以搜寻并唤醒一定范围内的应答器—钥匙。该信号范围内的所有应答器都能够接收到该报文，并对编码的数据字段进行验证。一旦车主身上的应答器识别成功，它就会自动发送一条射频滚动加密的编码报文（例如使用Keeloq编码器），基站单元在收到该报文后对其进行解码，如果识别成功，将控制指令执行机构打开车门。

J 触发模式：工作方式中基站单元为了降低电流消耗并不会轮询应答器。基站单元一般处于休眠状态或掉电状态，只有当触发事件发生时才能将其唤醒，该触发事件一般是汽车门把手上的红外信号或者是由汽车门把手装置激活的微小开关。在第二种工作方式下车主必须碰一下车门才能触发系统，从而打开车门。

PKE主要采用的无线通信技术特点如下：

PKE通信方式

PKE在RKE的基础上只是增加了RFID工作方式，使遥控车钥匙和车载模块之间变成双向通信。因此，射频载波的工作频段仍然采用RKE的UHF频段或UWB通信。相比较RKE的工作方式，PKE采用了低频发射方式，绝大多数使用125 kHz 的LF频率，也有少数采用19 kHz、134 kHz等，以及13.56 MHz的HF频段。

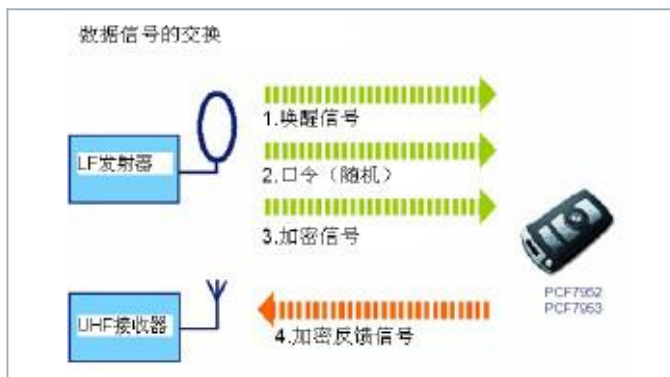


图6 PKE通信方式

车载模块不断发射一种唤醒信号，为了避免遥控车钥匙在较远距离被错误唤醒，唤醒信号一般由前导码和唤醒数据组成，唤醒信号通常采用125 kHz等低频信号，传输距离较短。唤醒信号的数据格式有两种，一是LF单数据唤醒格式，一是双数据唤醒格式如下：

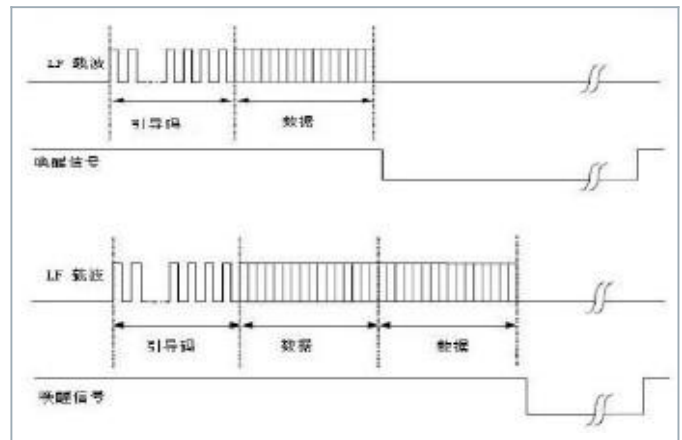


图7 LF单、双数据唤醒格式

遥控车钥匙发射的信号与RKE类似，主要是为了兼容遥控钥匙的基本功能。基站之所以采用双向通信，主要有如下几点好处：

J LF低频设计成本较低：

J 唤醒距离由低频上行链路125 kHz决定，125 kHz的信号对距离敏感，根据低频信号的强度即RSSI (Received Signal Strength Indication, 接收信号强度指示)，计算钥匙与车内低频天线的相对距离，通过多根低频天线交叉覆盖范围，精确定位钥匙的具体位置。PKE系统工作的有效距离为2.5 m左右，而实际有效开关门距离为1.5 m~2 m；

J 使用唤醒滤波器的目的主要是减少工作电流，从而可以延长电池的寿命。

J 通讯速度是指钥匙跟车子间用于认证加密的数据传输，为保证在较短时间内完成无钥匙开门或点火的过程，需要采用较高的波特率（一般为8~20 kbps）。

蓝牙车钥匙

蓝牙钥匙是一种更加智能化的防盗技术，通过增加RF模块实现双向通信功能。刚开始，蓝牙技术主要应用在电话方面。但目前，已受到汽车界的广泛关注，汽车系统和蓝牙技术相结合，给汽车的生产和服务带来极大的方便，如果进一步和移动电话甚至Internet连接起来，车主在任何时间任何地点都可以了解汽车的状态并给予必要的控制。

蓝牙车钥匙的优势主要在两个方面：一是更易于使用，车主可通过LED或LCD显示屏在钥匙上监控汽车的状态，确认汽车是否已经上锁，引擎是否仍在运转；另一个优势是安全性大大增强，传统的单向钥匙向汽车传输信号时面临被截获或攻击的危险，使用双向解决方案时，汽车厂商可以利用各种加密安全运算法则对钥匙和汽车间的传输数据进行加密。主要的蓝牙应用场景有：远程车辆状况诊断、蓝牙免提通讯、蓝牙后视镜、蓝牙车载导航和蓝牙防盗装置等。其中，蓝牙车钥匙就是一种典型的蓝牙技术应用于汽车电子市场。



图8 蓝牙汽车钥匙

蓝牙 (Bluetooth) 是一种短距离的无线通讯技术，最初是研究在移动电话和其它配件间进行低功耗、低成本无线通信连接的方法。针对于汽车钥匙遥控的应用，更注重低功耗的场景，因此，蓝牙4.0便成为目前蓝牙汽车钥匙的主流技术。蓝牙4.0规范的核心技术是低功耗技术(Low Energy)，该技术的最大特点是拥有超低的运行功耗和待机功耗，同时，相比早期的版本，蓝牙4.0的有效传输距离上也有所提升。

蓝牙汽车钥匙主要有两种模式，一是汽车钥匙直接控制；二是通过手机进行控制；

J 通过蓝牙汽车钥匙直接控制方式

是在PKE被动无钥匙门禁系统的基础上增加了LED或LCD显示屏，可以在钥匙上通过蓝牙的方式，实现无线遥控车辆开关车门、远程启动、与车内检测系统完成无线数据交换等功能。

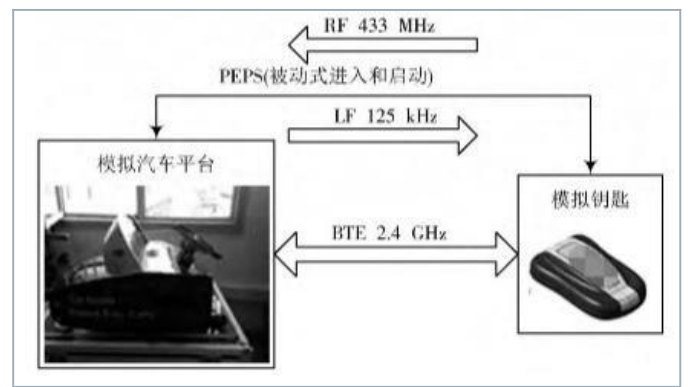


图9 蓝牙汽车钥匙模拟试验台通信示意图

通信方式包括如下两种：

- 汽车钥匙通过低功耗蓝牙发送控制命令给汽车电气智能控制系统；
- 具备PKE的相同工作方式；

J 通过手机App直接控制方式

智能手机与车载应用相结合，通过手机终端的应用App，用户可在手机上模拟传统钥匙功能按钮，实现开关车门、打开后备箱等功能。



图10 手机App通过蓝牙控制车辆

蓝牙钥匙无需依靠移动互联信号就能实现数据传输，更高效、成本更低。而且用户不用担心因为信号问题开不了车门，将车主从传统钥匙中“解放”出来。

胎压监测TPMS工作原理

TPMS是汽车轮胎压力实时监视系统“Tire Pressure Monitoring System”的英文缩写，主要用于在汽车行驶时实时的对轮胎气压进行自动监测，对气压过低、气压过高、以及快速漏气等异常状态及时发出报警，提示驾驶员及时处理有效排除了爆胎事故的隐患；并能降低整车的油耗，延长轮胎的寿命，对于提高汽车安全性及经济性具有较大贡献。

胎压监测系统的LF工作频率为125 kHz，通过车钥匙或者中央监视器近距离对相应轮胎发出LF信号，单独触发对应轮胎的胎压遥测模块，然后被触发的胎压遥测模块将身份识别码和胎压数据通过UHF频段发射，其中，UHF工作频率和车钥匙的UHF频段一致，车钥匙或中央监视器接收相应轮胎胎压遥测模块的数据后，显示每个轮胎的压力和温度数据。TPMS系统通过不断分析连续数据来发现异常状况，并针对不同的异常状况，通过显示器向驾驶员发出各类声光警报。

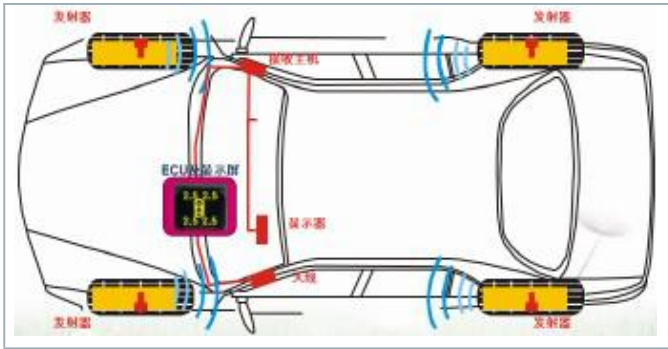


图11 胎压监测系统

TPMS系统主要有二个部分组成：安装在汽车轮胎上的远程轮胎压力监测模块和安装在汽车驾驶台上的中央监视器(LCD/LED显示器)。胎压检测模块安装在轮胎内部，测量轮胎的内部温度，振动及压力。检测结果通过无线信号发送给中央监视器，由中央监视器显示测试结果，并给出报警信息。

TPMS的无线射频包括轮胎上的LF接收模块和UHF发射模块，以及遥控车钥匙或在中央监视器上集成LF发送模块和UHF接收模块，其工作过程如下：

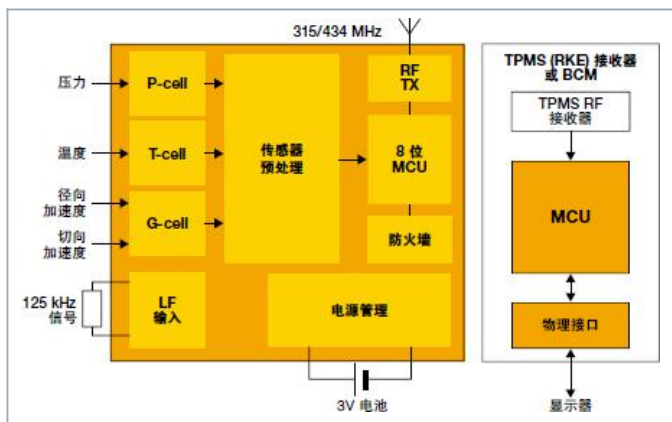


图12 TPMS工作原理图

汽车钥匙及胎压监测系统测试方案

R&S推出汽车钥匙和胎压监测系统测试方案，可以根据客户需求，制定相应的测试标准。

汽车钥匙和胎压监测TPMS测试适用于LF或HF或UHF频段(其他频段可扩展)，凭借其测试性能的多样性、灵活性以及应用的广泛性等特点，为汽车钥匙性测试提供完美的、综合性的测试平台。

针对研发测试，由于测试会更加全面，包括射频和基带电路以及天线的分析，着重于发现和解决在研发过程中可能出现的各种问题，所以研发测试可能涉及的测试仪表更多，包括矢量信号源用于产生车钥匙测试信号，信号分析仪用于测试车钥匙发射信号的功率、频谱和调制特性等，矢量网络分析仪用于分析天线和射频器件特性，电源分析仪用于测试低功耗控制性能，示波器用于分析基带数据序列和响应时间等。生产测试主要针对整机设备，只测试关键的系统指标，着重于提高测试效率和降低测试效率。

RKE测试方案

RKE的测试包括发射机和接收机测试以及天线的测试，具体测试框图如下：

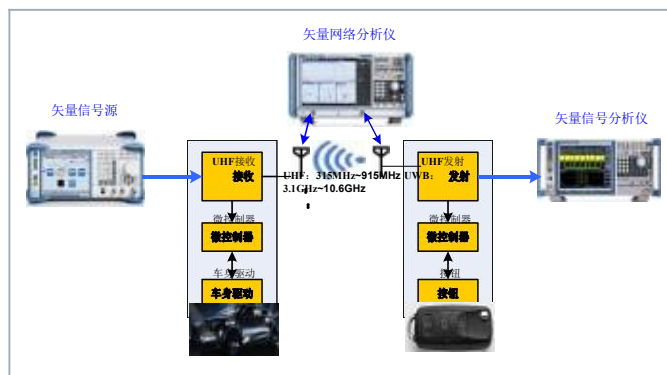


图13 RKE测试框图

- J 矢量信号源：用于产生车钥匙信号，用于接收机测试；
- J 信号分析仪：用于测试车钥匙发射信号的功率、频谱及调制特性等；
- J 网络分析仪：用于分析天线和射频器件的特性；

RKE发射机测试

- J 发射频率：指车钥匙发射的信号频率与标称的频率之间的差值；

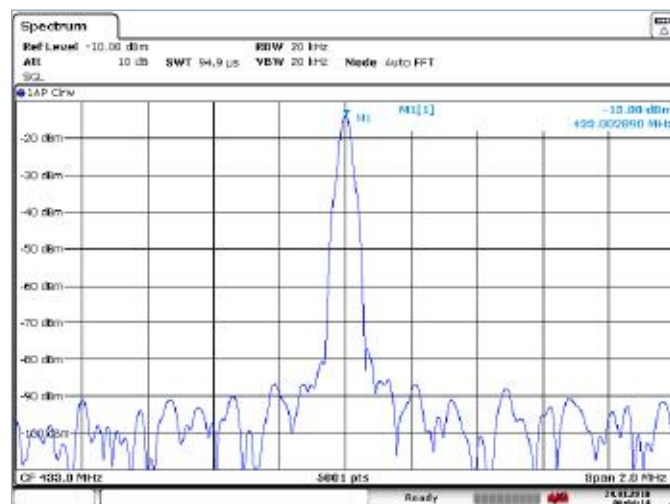


图14 RKE发射频率测试

J 发射功率：对于发射功率，时分系统是指发射时隙内所测得的被测设备的平均功率，频分系统则是指发射机调制打开状态下测得的平均功率；

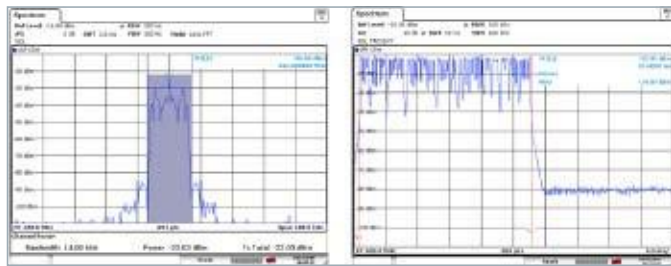


图15 RKE发射功率测试

J 占用带宽：指车钥匙发射信号频率为中心，包含发射功率99%能量所对应的带宽。

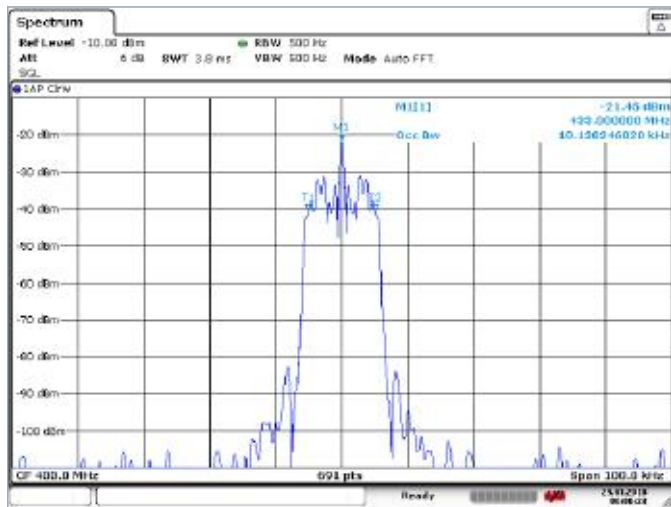


图16 RKE占用带宽测试

J ACLR即邻道功率泄露比：邻道功率是指在按信号划分的系统中工作的发射机，在规定的调制条件下总输出功率中落在任何一个相邻信道的规定带内的那部分功率。

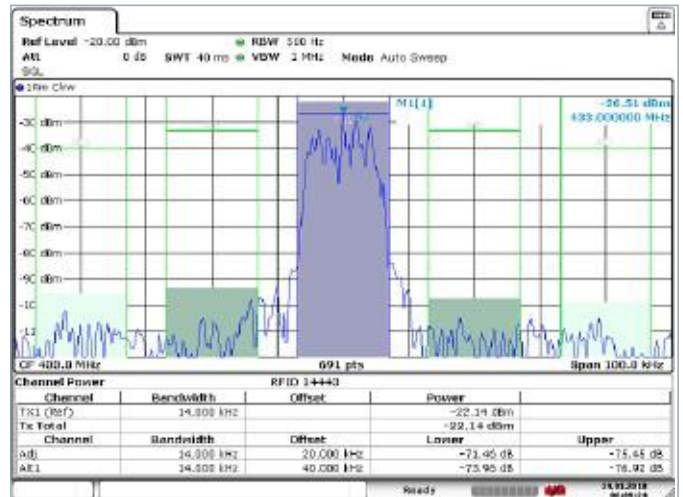


图17 RKE ACLR测试

J SEM即频谱发射模板：指车钥匙发射信号在规定频段内的信号功率分布情况。

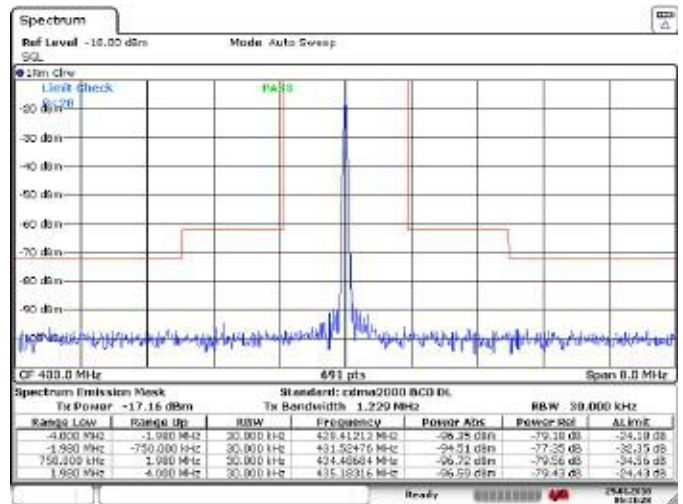


图18 RKE频谱发射模板测试

J 杂散发射：指除去带外辐射，由谐波、寄生辐射、交调及频率变换等引起的无用辐射效应；

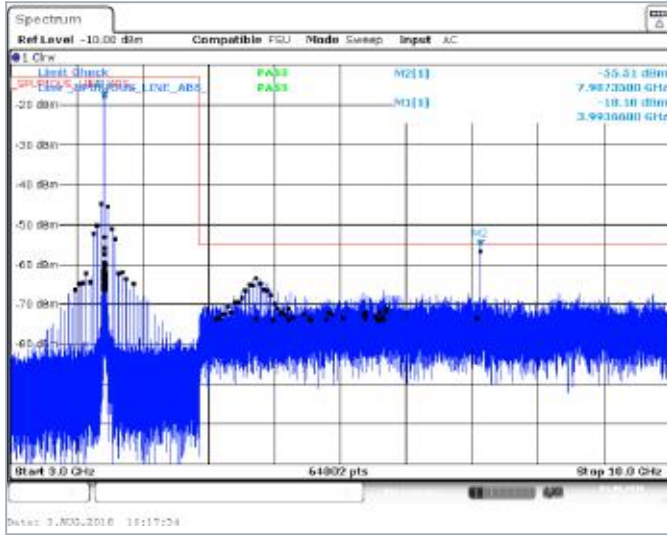


图19 RKE杂散发射测试

J 调制质量分析：主要针对ASK和FSK数字调制测试调制精度，调制指数等，确保设备有正确的调制方式，调制指数和精度符合要求，不影响通信质量，典型的RKE调制分析如下图所示。

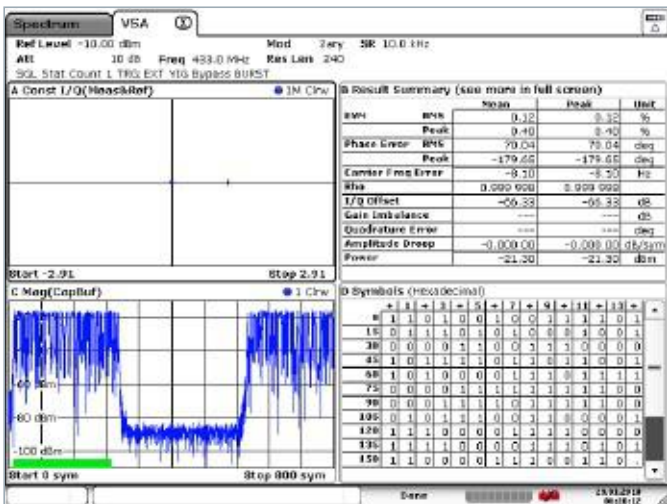


图20 RKE调制特性测试

RKE接收机测试

接收测试：主要使用矢量信号源发送车钥匙需要的调制信号，用于接收机的灵敏度以及抗干扰性能测试，保证车钥匙的通信距离。

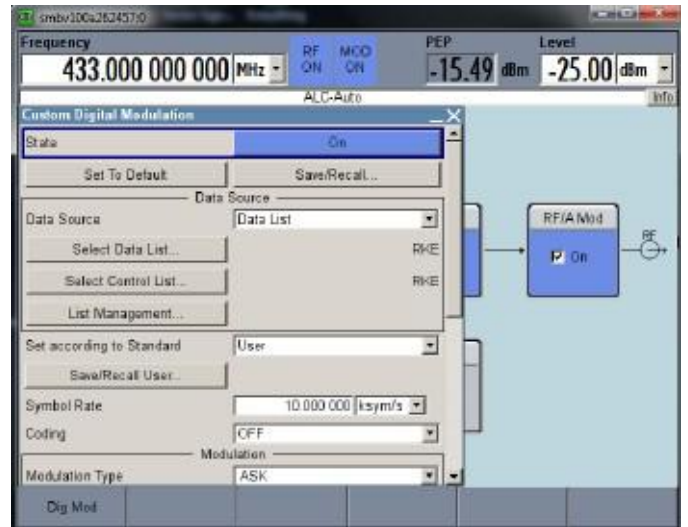


图21 RKE接收特性测试

汽车钥匙的天线/元器件测试

在开阔场可以直接用R&S的矢量网络分析仪，测试天线/元器件的驻波比等参数；

通过R&S的矢量网络分析仪，在暗室里通过转台可以完成天线方向图测试；

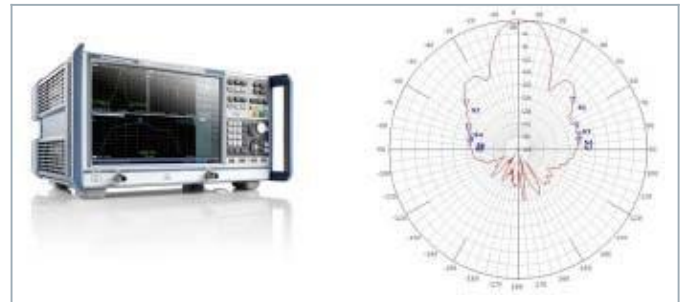


图22 汽车钥匙天线/元器件特性测试

PKE测试方案

PKE的测试在RKE的基础上增加了LF信号的测试，具体测试框图如下：

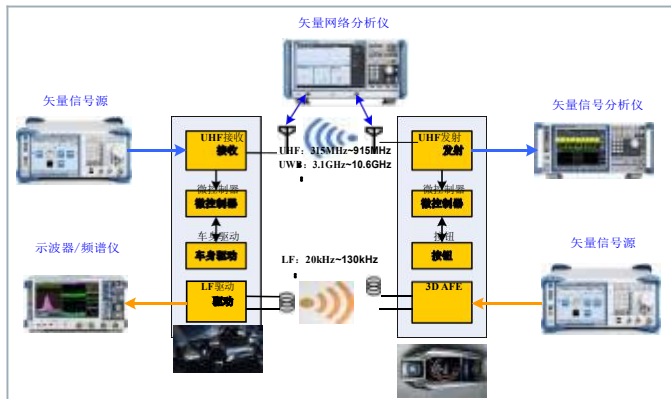


图23 PKE测试框图

- ∟ 矢量信号源：用于产生车钥匙信号，用于接收机测试
- ∟ 信号分析仪：用于测试车钥匙发射信号的功率、频谱及调制特性等
- ∟ 网络分析仪：用于分析天线和射频器件的特性
- ∟ 示波器：针对LF信号的测试，包括数据系列和相应时间等，示波器来的更直接更方便，当然，也可以使用频谱仪完成

PKE LF发射测试

主要使用示波器捕捉LF信号，观察其时域的特性；

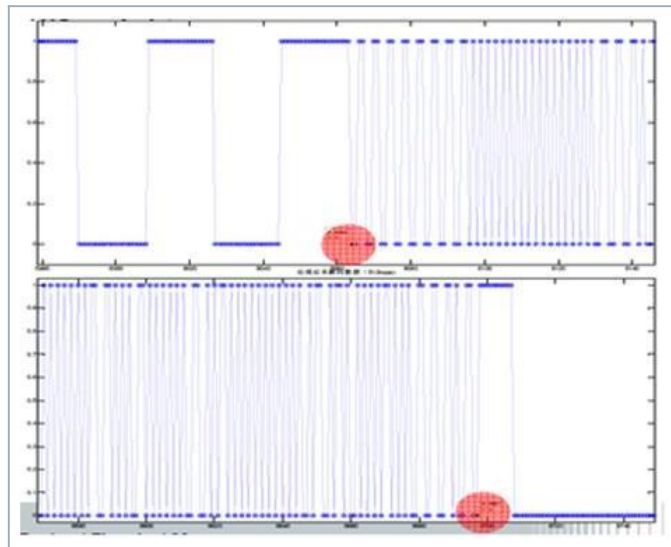


图24 PKE LF时域特性测试

PKE LF接收测试

主要使用矢量信号源产生用于唤醒的LF信号，用于测试汽车钥匙被唤醒的识别距离，如下图所示：

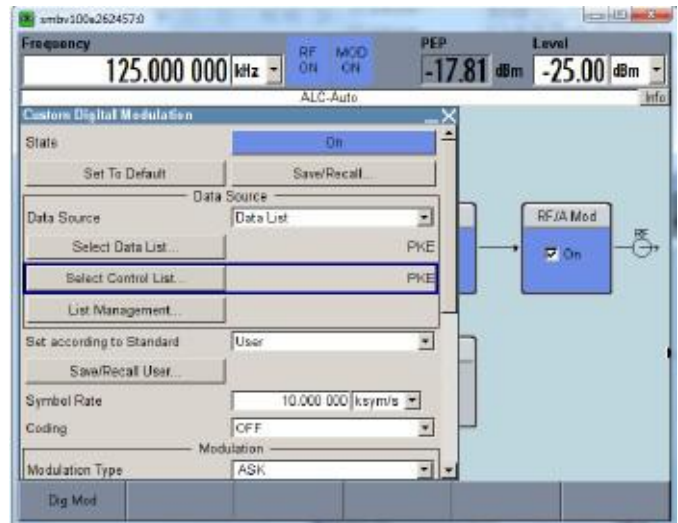


图25 PKE LF接收测试

蓝牙车钥匙测试方案

蓝牙车钥匙的测试主要是在PPKE的基础上增加了蓝牙通信的过程，具体测试框图如下：

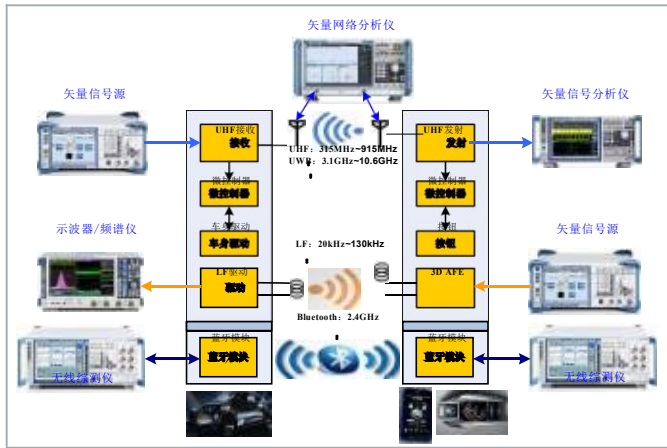


图26 蓝牙车钥匙测试框图

- J 矢量信号源：用于产生车钥匙信号，用于接收机测试
- J 信号分析仪：用于测试车钥匙发射信号的功率、频谱及调制特性等
- J 网络分析仪：用于分析天线和射频器件的特性
- J 示波器：针对LF信号的测试，包括数据系列和相应时间等，示波器来的更直接更方便，当然，也可以使用频谱仪完成
- J 无线综测仪：用于进行蓝牙的信令测试，信令测试的优势在于不需要控制蓝牙芯片，直接连接测试，包括蓝牙整个的发射机和接收机测试



图27 蓝牙车钥匙测试结果

RKE/PKE及TPMS自定义系统测试方案

由于胎压监测TPMS的无线模块的工作频段和汽车钥匙一致，因此，汽车钥匙的射频测试解决方案也适用于胎压监测TPMS的测试。

胎压监测涉及到车身安全，因此，为保证系统的稳定工作，不仅要胎压系统TPMS的无线模块进行射频测试，而且还需要对整个胎压监测系统的数据协议进行相关测试，才能保证胎压系统的正常工作。

R&S®TS7810满足胎压检测、无钥匙进入测试需要，覆盖研发、生产以及QA各阶段，也可以根据客户要求对系统进行相应裁剪。

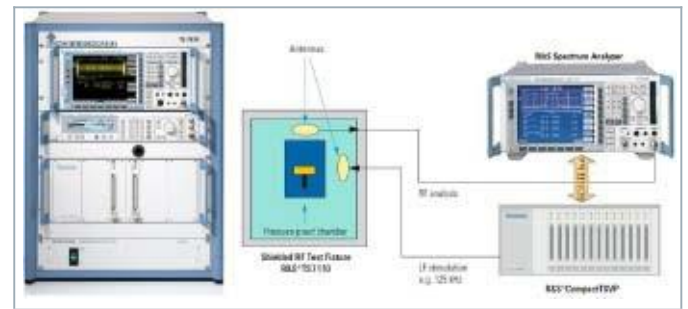


图28 汽车钥匙及胎压监测TPMS测试系统框图

典型的胎压监测系统的测试项，如下：

- J 射频功率
- J 射频频率偏置
- J 频率偏差
- J 数据报文分析（识别，压力、温度、状态信息）

R&S®TS7810由频谱仪、TSVP通用平台和环境试验箱组成。

R&S®Compact TSVP通用平台可以提供125 kHz的激活信号。

R&S®TS7810频率范围：100 MHz~3 GHz，适合欧洲（433 MHz，868MHz）、美国（315 MHz）和日本（915 MHz）。以及全球都开放使用的2.4 GHz。紧凑型的R&S®TS7810系统，可以快速的集成到产线中进行产线测试，为产品的质量提供保障。同时，作为功能全面整体解决方案，系统也是与在开发和质量认证过程中对模块进行检测。系统基于模块化的组成构架，如果需要增加其他的测试功能，也可以轻松实现扩展升级。

RKE/PKE及TPMS自定义OTA系统测试方案

汽车钥匙及胎压监测都是无线发射和接收，尤其是在产线测试阶段，有可能多个DUT同时测试，信号之间的干扰会影响相互之间的工作。为了屏蔽外界干扰，可使用屏蔽箱或暗室完成车钥匙及胎压监测的所有特性测试。基于R&S®7124平台的OTA测试系统，可用于终端生产测试的交钥匙解决方案。该方案可集成第三方产品以及测试管理软件用于所有特定的测试用例。具体测试框图如下：

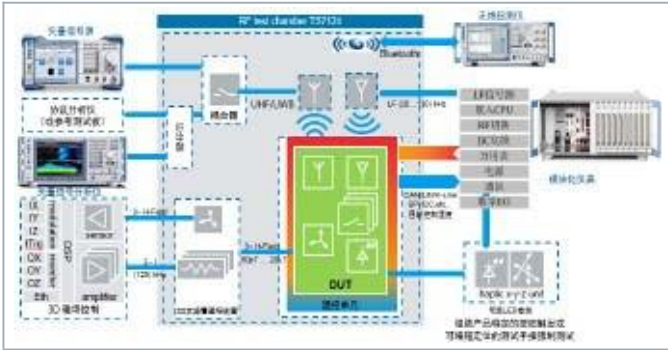


图29 车钥匙及胎压监测系统OTA测试框图

该系统专为遥控无钥匙及胎压监测TPMS单元而设计，是在射频切换和控制平台 (R&S®OSP-120和R&S®OSP-B115)、频谱分析仪R&S®FSV/FPS/FSL以及屏蔽箱R&S®TS7124AS等设备的基础上建立的。

通过TSVP通用平台来控制屏蔽箱内的压力、温度等测试环境；同时还可以提供125 kHz的激活信号。

射频信号由环境试验箱中的天线接收，通过频谱仪进行检测分析，通过内置的测试软件选件，快速获取信号，进行信号质量分析和报文分析，并产生分析结果和测试报告。

环境试验箱具有射频屏蔽能力，内置转台或加压加温系统，可以不受外界干扰的检测胎压模块在各个方向的信号质量，以及特定环境状态下的数据监控能力。

基于R&S®TS7124平台的汽车钥匙及胎压监测TPMS的OTA测试方案，可以涵盖的测试项如下：

J 发射机测试 - 使用频谱仪

- 输出功率/信道功率
- 占用带宽 (OBW)
- 最大功率及最小功率
- 邻道功率泄露比 (ACLR)

- 杂散发射Spurious
- 信噪比 (C/N0)
- 功率对时间关系 (PVT)
- DC电流和射频PVT之间的相位一致性

J 接收机测试 - 使用信号源/无线综测仪或参考设备

- 接收机灵敏度
- 识别范围测试

J 附加测试

- 功率校准 (优化频谱发射和功率，保证测试的准确度)
- 频率校准
- 天线延迟校准 (使用双向测距TWR)

基于R&S®TS7124平台的自定义测试方案，提供更大的灵活性，可用于车钥匙和胎压监测产品研发和产线阶段的完整性测试。基于PXI设计的解决方案，可方便测试各种传感器的总线数据和射频信号之间的时间关系。R&S®TS7124屏蔽箱可以同时完成多个DUT的测试，装置的3D磁场控制和LED检测，结合软件的驱动，可自动完成传感器的温度、湿度和压力控制，是车钥匙和胎压监测产品研发和产线阶段完整的高效率测试方案。

RKE/PKE及TPMS自定义全自动化测试方案

前面提到的测试都是手动或者半自动化的测试方案。基于R&S®TS7124屏蔽箱的汽车钥匙及胎压监测自动化测试系统，具有操作简单，针对性强以及测试准确等优点，可以大大减少汽车钥匙及胎压监测产品的开发、认证和生产的时间，同时配合R&S公司强大的技术实力和优异的仪表性能，可以保证测试性能的准确性，进一步提升产品质量。

汽车钥匙及胎压监测TPMS自动化测试系统可以由信号源R&S®SMBV100A/SGT100A，频谱分析仪R&S®FSV/FPS，模块化仪器R&S®TSVP，测试软件R&S®Quick Step以及屏蔽箱R&S®TS7124AS组成。如下图所示：

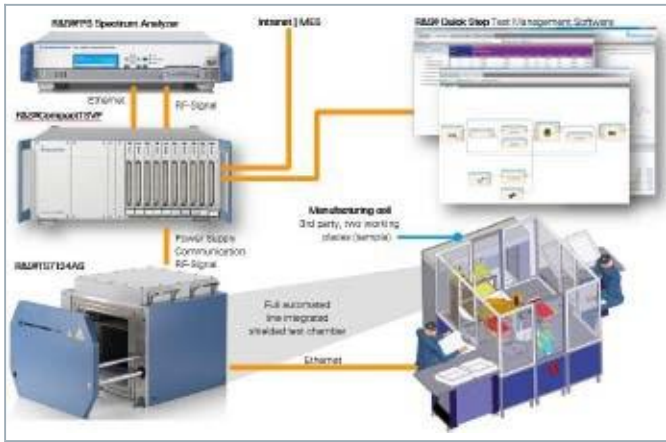


图30 汽车钥匙及胎压监测TPMS自动化测试系统

因此，汽车钥匙及胎压监测自动化测试系统可以广泛应用于汽车钥匙及胎压监测产品的开发、生产、认证等各个环节和领域。

RKE/PKE及TPMS记录与回放测试方案

由于车钥匙的瞬变特性以及不同的滤波器方式，常常呈现复杂的频谱特性和时变特性，不容易稳定的测量，R&S公司的宽带信号矢量采集和回放就可以很好的帮助用户捕捉和存储车钥匙信号，还可以通过矢量信号源进行复现，如果使用信号分析仪FSV，捕捉和采集带宽可以达到160 MHz，可以很好的捕捉不同频带同时出现的失真或干扰信号，也可以将捕获的IQ数据用频谱仪或Matlab进行分析。

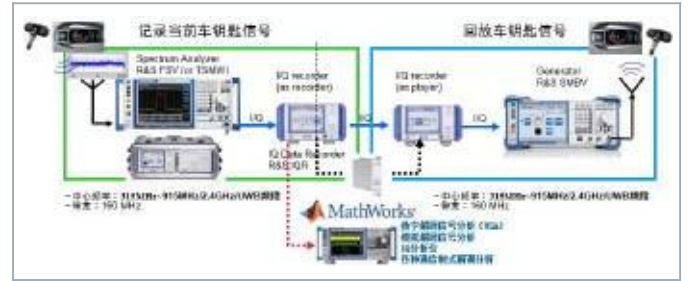


图31 车钥匙及胎压监测记录与回放测试框图

汽车钥匙及 胎压监测典型 应用配置

测试项目		RKE 测试	PKE 测试	蓝牙钥匙 测试	TPMS 测试	RKE/PKE/蓝牙车钥 匙/TPMS自定义测 试系统	RKE/PKE/TPMS/ 蓝牙车钥匙记录与 回放
产品型号	产品名称						
▾ SMBV100A	矢量信号源	●	●	●	●	○	●
▾ SGT100A	矢量信号源	○	○	○	○	○	○
▾ FSV/A	信号与频谱分析仪	●	●	●	●	●	●
▾ FSVR	实时频谱分析仪	○	○	○	○	○	○
▾ FPS	信号与频谱分析仪	○	○	○	○	○	○
▾ FPL	信号与频谱分析仪	○	○	○	○	○	○
▾ CMW500	无线通信综测仪			●		●	
▾ CMW270	无线通信综测仪			○		○	
▾ ZNB	矢量网络分析仪	○	○	○	○	○	
▾ ZND	矢量网络分析仪	●	●	●	●	○	
▾ ZNL	矢量网络分析仪	○	○	○	○	○	
▾ RTO	示波器		○	○	○	○	
▾ RTM	示波器		○	○	○	○	
▾ TSVP	模块化仪表		○	○	○	●	
▾ TS7810	屏蔽箱	○	○	○	○	○	○
▾ TS7124	屏蔽箱	○	○	○	○	●	
▾ IQR	IQ记录回放						●

注1: ●表示推荐仪表, ○表示可选仪表;

注2: 测试项目需要配合相应选件才能完成, 部分测试项目需要用户提供相应的测试附件;

注3: 具体测试仪器的性能、选件等详情, 请联系R&S公司的技术支持, 详细参数可参考产品手册。

小结

目前，汽车技术正在经历一次快速的演变，这种演变由四个大趋势推动：为所有人提供移动性、为所有人打造更洁净的世界、为所有人提供安全性、将所有人都连接起来。智能汽车技术与以往的汽车相比，汽车正变得更安全、更高能效、并能提供更令人愉悦的驾驶体验，如今，汽车已经成为驾驶者个人生活空间的延伸。

汽车钥匙也在进行更安全、更便利的创新设计，本文主要从各自汽车钥匙和胎压监测的工作原理厨房，提出了汽车钥匙及胎压监测测试方案包括：**RKE**钥匙、**PKE**钥匙、蓝牙车钥匙及**TPMS**等，包括模块级的测试、**OTA**测试及系统级的测试，是当前最常见的汽车钥匙及胎压监测方案，可以帮助用户更全面、更系统的进行设计、调试和测试。

罗德与施瓦茨公司是欧洲最大的测试仪器生产商，为欧洲各大品牌的汽车制造厂、零部件厂提供可靠的测试仪器和完善的解决方案，为客户在研发设计，生产测试各个环节提供最先进的技术和有力的支持。罗德与施瓦茨公司不仅具备汽车钥匙的测试方案，同时，我们提供全面的、系统的汽车电子测试方案，包括：车身电子系统、车载信息娱乐系统、安全辅助系统、智能交通与车联网、汽车总线以及电磁兼容测试解决方案。

欢迎您与我们联系，以获得对您下一代汽车设计有益的帮助。

参考文献

- [1] VectorSignalGeneratorR&SSMBV100A Specifications
- [2] Vector Signal Analyzer R&S FSV Specifications
- [3] Vector Network Analyzer R&S ZNB Specifications
- [4] 开启超凡视野
- [5] AppCard_T&M_RKE_0103_2016-12-08.pdf
- [6] TS-ITS100_bro_en_3607-0430-12_v0101.pdf
- [7] Testing passive remote keyless entry systems Application Card
- [8] n186_ts7810.pdf
- [9] n179_ts7110.pdf

汽车整车及零部件 EMC测试方案

相关产品:

- J ➤ ESW
- J ➤ SMB
- J ➤ NRP
- J ➤ TS9982
- J ➤ ESR
- J ➤ BBA/BBL
- J ➤ EMC32
- J ➤ TS9975

方案说明:

Please find the most up-to-date document on our homepage

<http://www.rohde-schwarz.com/appnote/1XXyyy>.

汽车EMC测试标准

根据用户的需求，R&S对的EMC系统方案能符合不同的标准，通常来说，R&S的系统能符合以下的EMC测试标准（与汽车有相关性）：

J 汽车整车和零部件标准

J 民标(包含家电，手机，车载T-BOX，车载音视频等标准)

汽车整车和零部件 (ESA) 标准

标准	描述
2004/104/EC	电气/电子组件辐射宽带电磁发射的测量方法
CISPR 12*	车辆、船和由内燃机驱动的装置无线电骚扰特性限值和测量方法
CISPR 25	车辆、机动船和装置上车载接受机的无线电骚扰特性的限值和测量方法
SAE J1113/21	80/200 MHz to 1 GHz 辐射电磁场
ISO 11451-2	为整车对外辐射源抗扰度的测试方法
ISO 11451-3	车载发射机产生的干扰源的测试方法
ISO 11451-4	为大电流注入 (BCI) 测试方法
ISO 11452-2	80/200 MHz to 1 GHz辐射电磁场
ISO 11452-3	道路车辆 窄带辐射的电磁能量进行的电子干扰部件试验方法 - D-TEM室
ISO 11452-4	1 MHz ~ 400 MHz 大电流注入 (可达 1 GHz)
ISO 11452-5	10 kHz ~ 200 MHz带状线 (可达1 GHz)
ISO 11452-7	道路车辆窄带辐射电磁能量造成的电骚扰部件试验方法-直接射频 (RF) 功率
ISO 11452-8	道路车辆.窄带辐射电磁能量的电干扰元部件试验方法 - 8部分:磁场抗扰性
SAE J1113/3	传导抗扰度测量~射频 (RF) 功率直接注入法 (250 kHz~500 kHz)
SAE J1113/22	60 Hz to 30 kHz电源线辐射磁场抗扰度

民标测试实现 (家电与音视频)

标准	描述
CISPR 11	150 KHz - 30 MHz电压骚扰 9 kHz - 30 MHz磁场辐射发射测试 30 MHz - 18 GHz辐射发射
CISPR 13	声音和电视广播接收机及有关设备无线电骚扰特性限值和测量方法
CISPR 14-1	150 KHz - 30 MHz传导电压及断续骚扰 30 MHz - 300 GHz功率骚扰 30 MHz - 1 GHz辐射发射
CISPR 15	插入损耗 9 KHz - 30 MHz电压骚扰 9 KHz - 300 MHz电磁场辐射发射
CISPR 22	150 KHz - 30 MHz电压骚扰 30 MHz - 6 GHz辐射发射
CISPR 20	150 kHz - 150 MHz传导与辐射发射敏感度测试
IEC 61000-4-6	150 KHz - 80 MHz传导敏感度测试
IEC 61000-4-3	80 MHz - 6 GHz电场辐射敏感度测试

民标测试 (无线通信设备)

标准	描述
ETSI 301 489-1	根据CISPR 22
ETSI 301 489-7	根据CISPR 25
ETSI 301 489-17	根据IEC 61000-4-3
ETSI 301 489-24	根据IEC 61000-4-6
ETSI 301 489-25	功能评估 包括: 接收质量, 音频突破, 误码率等
YD/T 1592.1	
ETSI TS51 010-1	9 KHz ~ 12.75 GHz传导杂散测试
ETSI TS51 010-1	30 MHz ~ 4 GHz 电场杂散发射测试
3GPP TS34.121-1	9 KHz ~ 12.75 GHz传导杂散测试
3GPP TS34.121-1	30 MHz ~ 4 GHz 电场杂散发射测试
3GPP2 C.S0010-B	9 KHz ~ 12.75 GHz传导杂散测试
3GPP2 C.S0010-B	30 MHz ~ 4 GHz 电场杂散发射测试
YD/T 1592.1-2007	9 KHz ~ 12.75 GHz传导杂散测试
YD/T 1592.1-2007	30 MHz ~ 6 GHz 电场杂散发射测试
ETSI EN300-328-02	9 KHz ~ 12.75 GHz传导杂散测试
ETSI EN300-328-02	30 MHz ~ 4 GHz 电场杂散发射测试

汽车EMC测试要求

汽车EMC测试可分为汽车整车EMC测试和汽车电子零部件EMC测试。

J 汽车整车EMC测试主要的国际标准是：

- Emission: CISPR 12, CISPR 25
- Immunity: ISO 11451

J 汽车电子零部件EMC测试主要的国际标准是：

- Emission: CISPR 25
- Immunity: ISO 11452 & ISO 7637&ISO10605

其他区域性或国家的汽车EMC测试标准（如SAE J1113, 2004/104/EC）和汽车厂商的标准（如Ford, GM, VW, Chrysler等）基本都是参考以上的国际标准。

汽车EMI测试

汽车EMI测试系统的主要设备包括测试接收机（test receiver），人工电源网络（LISN），电流钳（current probe），天线，前置放大器，EMI测试软件，以及测试RF电缆等。

汽车EMI测试主要项目包括传导电压（Conductive voltage），传导电流（Conducted current）和辐射骚扰（ALSE radiated emission）。其中，conducted voltage和conducted current适用于汽车零部件测试（CISPR 25），可以在屏蔽室或暗室里进行测试；ALSE radiated emission适用于汽车零部件（CISPR 25）和整车（CISPR 12），测试在暗室里进行。

在汽车零部件的EMI测试中，天线到被测件（EUT）的距离为1米；而在整车EMI测试中，天线和车辆的距离为10米或3米。汽车零部件的ALSE radiated emission的测试基本示意图如下，放置EUT的测试桌上必须有金属的接地平板，天线所接受的骚扰信号通过RF电缆，穿过CP（连接板）和AP（接口板）连接到测试接收机。

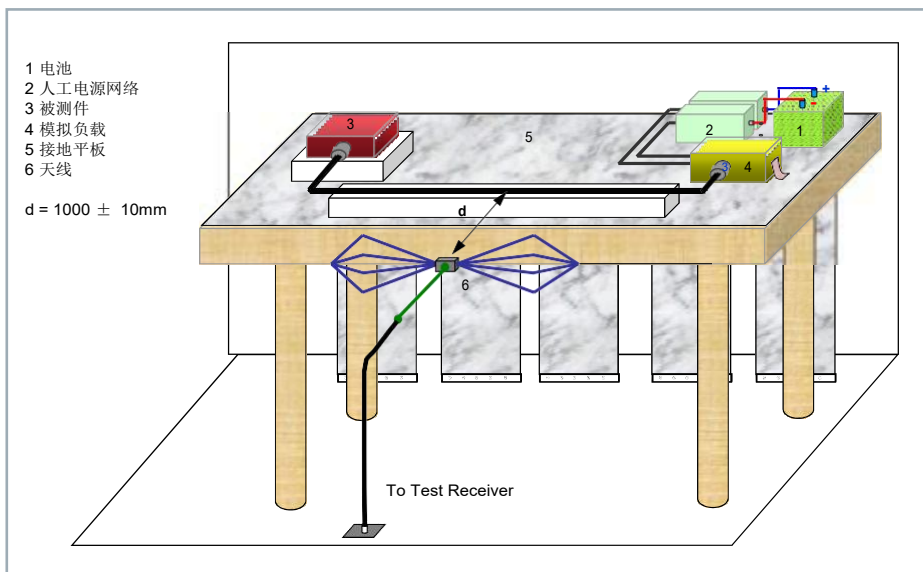
在汽车EMI测试中，系统的本体噪声要求在限制线以下6 dB。CISPR 25的限制线的值很低，因此，为了达到CISPR25限制线的要求，系统必须配置外置的前置放大器。选择合适频段和增益的前置放大器在汽车EMI测试中非常重要。

EMI测试的扫描（尤其是辐射发射）所需的时间很长。在测试EMI测试中，接收机一般都配备了FFT扫描功能。FFT扫描利用时域扫描和傅里叶变换，可节省大量的测试时间，提高测试效率。

汽车EMS测试

汽车EMS测试系统的主要设备包括信号发生器（signal generator），功率测量系统（power monitoring system），功率放大器（power amplifier），天线，场强监控系统，电流注入钳（injection probe），EMS测试软件，高功率RF测试电缆，以及被测件监控系统。

EMS测试的基本概念是，信号发生器产生RF信号（CW或经过调制），信号经过功率放大器放大，经过放大的信号注入到能量转换器（天线，电流钳，带状线，等），产生干扰的信号（电场场强，电流，等）对EUT进行干扰，同时通过EUT监控系统对EUT的状态进行监控。在进行测试时，功率放大器输出的前向反向功率有功率测量系统监控。



零部件EMS测试

零部件EMS测试的主要国际标准是ISO 11452，主要测试项目包括辐射电场抗扰度 (RI, ALSE radiated immunity)，大电流注入 (BCI)，带状线 (150 mm stripline)，DTEM，磁场抗扰度 (magnetic field immunity)，音频电压抗扰度 (conducted immunity in audio frequency range) 等。

零部件RI测试在暗室里进行，其测试的摆设与零部件EMI测试相似，所不同的是，天线为发射天线。测试时，信号发生器产生的信号经过功率放大器放大，通过高功率RF电缆，经过AP和CP，达到天线的输入端，天线发出电场干扰被测件。在对被测件进行测试之前，需要对系统所产生的电场场强进行校准，校准通过场强监控系统来完成。

BCI测试则是通过电流注入钳，将功率放大器输出的功率转换成干扰电流注入被测件的电缆束。同时，在测试过程中，利用电流钳监控所注入电流的大小。

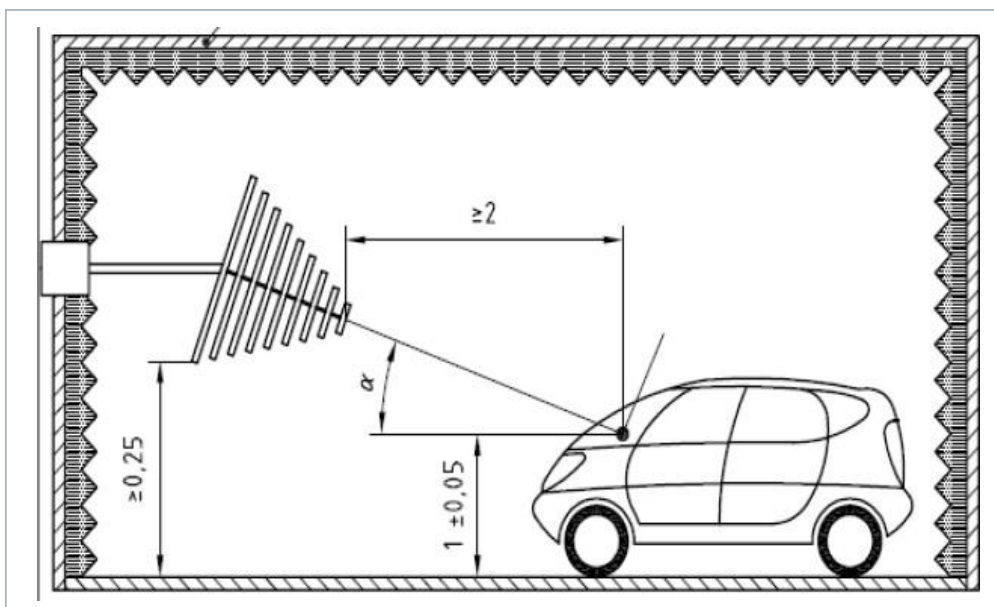
整车EMS测试

整车EMS测试的主要国际标准是ISO 11451，主要测试项目包括辐射电场抗扰度 (RI) 和大电流注入 (BCI)。BCI的测试方法和零部件BCI的方法相似。RI测试则和零部件RI测试有较大区别。

ISO 11451规定整车RI测试的频率范围包括了10 kHz到18 GHz频段，其中10 kHz到20 MHz/30 MHz频段，使用Transmission Line System (TLS)，如带状线；20 MHz/30 MHz以上，则使用天线进行测试。

整车RI使用天线测试的基本示意图如下。测试在暗室中进行，天线和汽车参考点的测试距离为2米。和零部件RI测试一样，在对车辆进行测试之前，需要对系统产生的场强进行校准。在200 MHz以上，场强的校准必须满足场强均匀性的要求，场强均匀性是指在参考点左右各0.5米的距离所达到的场强必须在0至6 dB以内 (80%以上的频率点达到此要求)。这要求所使用的发射天线的3 dB波瓣能够覆盖场均与性的区域。

整车RI测试由于覆盖的频率范围大，测试距离远，且测试等级高，对测试系统的设计提出的很高的要求，比如对功率放大器的选择，和对天线的选择 (增益，3 dB波瓣，VSWR) 等。

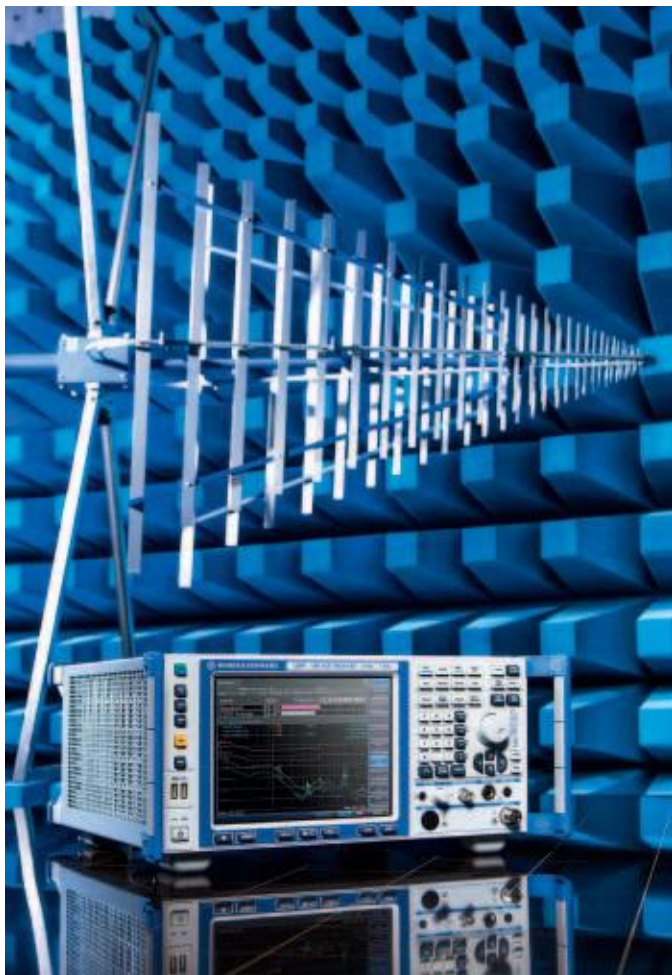


R&S测试方案 - 整车EMC测试

TS9975标准支持:

Application	Standards (Examples) EMI
工业和家用产品 (民标)	CISPR 11/EN 55011 CISPR 14-1/EN 55014-1 ANSI-C 63.4 FCC 15, 18
通信产品 (民标)	ANSI-C 63.4 CISPR 22/EN 55022 FCC 15, 18
医疗产品 (民标)	EN 60601-1-2 CISPR 11/EN 55011
无线电(民标)	ETSI EN 301489-x 3GPP TS 51.010 ETSI EN 301 908-1 ETSI EN 300 328-1 FCC part 15
汽车标准	2004/104/EC CISPR 12, SAEJ 551/2 CISPR 25, SAEJ 1113/41
军标	MIL-STD 461E, CE101, CE102, CE106, RE101, RE102, RE103 RTCA/DO-160 VG95370-95377

Rohde & Schwarz EMC测试系统的技术设计是基于我们多年的EMC设计的经验，尤其是在EMS测试中，这些成功的设计已经在许多实验室和汽车厂家（包括德国BMW，意大利FIAT，德国Adam Opel AG，Samsung Motors，KIAT Motors，上海机动车检验中心，等）的成功案例得到验证。R&S的系统设计可根据未来标准的发展进行升级。除了多年EMC经验，Rohde & Schwarz是应我们EMC测试系统的灵活性而得到了许多国家的认同。这些EMC测试系统都是为客户量身定做，遵守客户需求的国际标准以及制造商标准。



电磁骚扰测试或EMI是为了测量电子仪器的电磁传导发射于辐射。我们的EMI测试系统包括了汽车EMI测试所需的测试设备和附件，测试由R&S测试软件EMC32控制。系统主要由以下部分组成:

- J EMI测试接收机
- J 用于全自动测试的射频切换平台
- J 天线，电流探头，人工电源网络LISN
- J EMI控制单元和机柜
- J 系统电缆
- J EMI测试软件

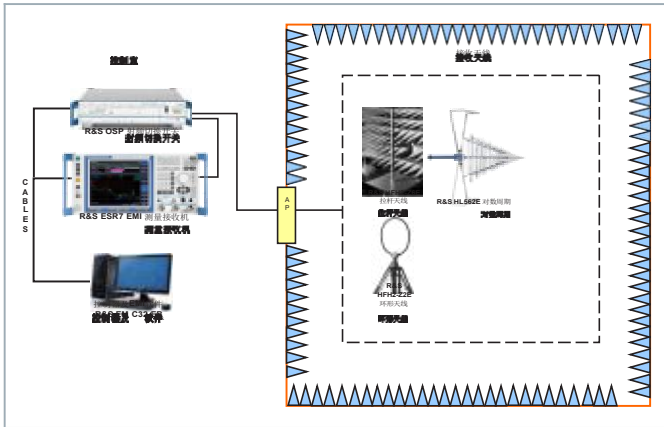
EMI测试的覆盖频率为150 kHz到18 GHz。

可完成以下测试:

测试	测试标准	测试频率	距离	被测件	测试地点
辐射骚扰	CISPR 12 SAE J551/5	150 kHz ~ 6 GHz	3 m	整车	10 m 暗室

TS9975系统-整车EMI测试

EMI测试的布局图如下：



EMI测量接收机

R&S®ESW EMI测试接收机



更快速、更深入、更智能

R&S®ESW EMI测试接收机是汽车和A&D领域中要求苛刻的EMI认证测量的理想选择。由于固有噪声低，它的灵敏度很高，同时有高的1 dB压缩点，因此它具有极宽的动态范围。R&S®ESW的信号预选功能提供了额外的150 kHz和2 MHz高通滤波器以及专门用于免授权的2.4 GHz和5.8 GHz ISM频段的陷波滤波器。因此，可以确保这些频段中的高载波信号 - 例如Bluetooth®和WLAN使用的频段 - 不会影响仪器的动态范围，即使带外的弱干扰信号，也可被检测到。

R&S®ESW将基于FFT的时域扫描作为标准配置。以前需要几分钟或几小时才能完成的测试现在只需几秒即可完成。甚至可以使用两个CISPR检波器进行测量（准峰值、CISPR平均值、RMS平均值），将总测量时间缩短一半。R&S®ESW将EMI测试接收机功能和功能全面的频谱分析仪组合到单台仪器里面。带宽为80 MHz的实时频谱分析（R&S®ESW-K55选件）允许用户使用余辉模式和频率模板触发检测隐藏或叠加的干扰并分析其原因。频谱瀑布图功能能够在时域内实现无

缝频谱显示，甚至可以使快速变化的干扰信号可见。这样可以在产品开发和认证过程中节省大量时间和成本。

使用多视图功能，在仪器上用户可以同时直观显示不同操作模式下的测量结果和轨迹。结构清晰的平面菜单和触摸屏功能使操作变得非常简单。

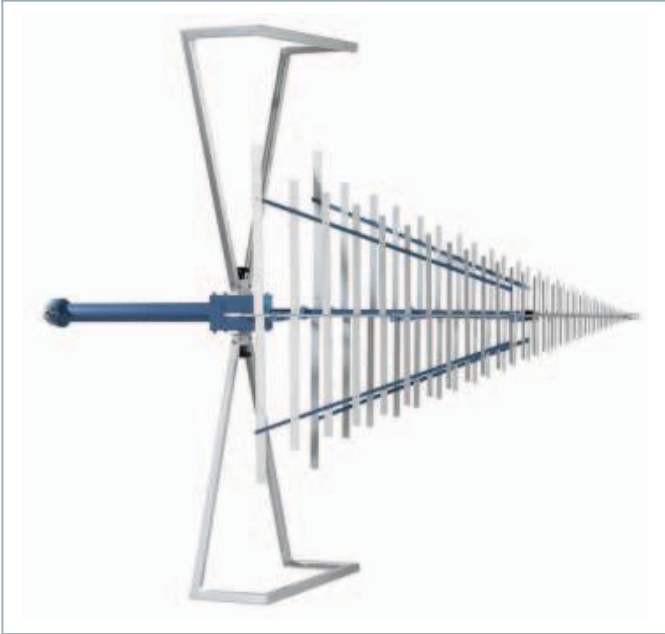
特点

- J 频率范围2 Hz至8 GHz、2 Hz至26.5 GHz和2 Hz至44 GHz
- J 完全符合 CISPR 16-1-1、ANSI C63.2、MIL-STD-461和 FCC标准
- J 最高的动态范围和最高的精度能够满足认证测量的要求
- J 使用基于FFT的时域扫描实现超快测量
- J 预选滤波器具有用于ISM频段的可选高通滤波器和陷波滤波器
- J EMI测试接收机和信号频谱分析仪集成到同一台仪器
- J 实时频谱分析（R&S®ESW-K55选件）具有高达80 MHz的带宽和频谱瀑布图功能
- J 多视图功能允许在单个画面上直观显示多个操作模式的结果

测试系统应用了R&S®ESW8能够完全满足骚扰测试一般到6 GHz的测试。更多资料请参考产品数据手册。

整车辐射骚扰测试

R&S®HL562E超对数天线

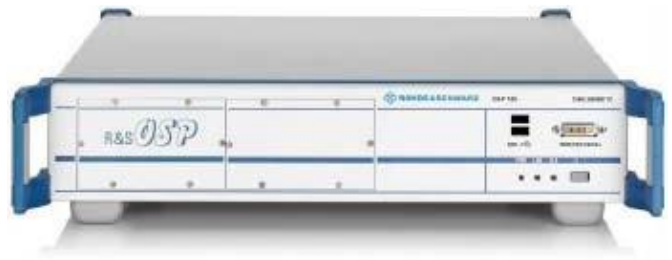


可在极宽的频段内进行EMI和EMS测量

-] 结合了双锥和对数周期天线两者的特点
-] 仅需一支天线就能覆盖非常宽的频段
-] 可选择极化平面
-] 天线的V形对数周期部分可提高系统灵敏度
-] 适合高场强EMS测量 (10 V/m以上)
-] 高频下增益变大
-] 外形紧凑 单独校准 (ANSI C63.5和DIN 45003)
-] R&S®HL562E天线能用来测出整车的干扰信号。它能用于整车EMI干扰测试在3 m距离, 频率范围从30 MHz to 6 GHz

射频切换平台

R&S®OSP开放式切换和控制平台



模块化的射频开关和控制任务解决方案

OSP开放式切换和控制平台是一种为处理射频切换和控制任务设计的模块化平台, 众多的选件模块使得 OSP成为广泛应用的理想选择, 包括从简单的射频切换功能到EMC系统等复杂的射频测试系统的自动路径切换功能。

- OSP120和 ➢ OSP130基本单元可通过以太网控制,
- OSP130的显示屏带有一个控制面板。通过该控制面板可以手动操作 ➢ OSP130的各个切换和控制模块, 以及所有连接的 ➢ OSP150扩展单元。

模块化、可靠、经济实用

OSP系列产品采用了模块化设计, 为生产、测量实验室和开发部门的测试与测量应用配置的快速建立提供了保证, 它仅用一个开关和控制平台就能完成复杂的接线工作, 从而为测量的可靠性和可再生性创造了基本条件, 使测试序列得以自动执行, 省时省力。

紧凑而灵活

OSP单元采用了19"机箱, 有两个高度单位高。精密的CPU控制功能为开关和控制模块的控制提供了最大的灵活性, 使高性能外部接口成为可能。

强大的控制和射频继电器模块

开关和控制模块分别被插在背部的三个模块插槽内, 用户可根据实际需要高效灵活地组合18 GHz或40 GHz RF继电器模块、6 GHz半导体继电器模块、数字输入/输出模块以及终端模块。





利用特殊模块可更为方便地实现各种不同的开关、输入和输出功能, 例如外部功率继电器控制。

可扩展性

基本单元的CAN总线端口最多可连接四个 ➢ OSP150 扩展单元, 从而大大地丰富了基本单元的扩展功能, 也可很经济的满足将来不断增长的新需求。

轻松进行控制和系统集成

平台的所有基本单元都可通过以太网接口控制，该接口能够直接连接PC，然后集成到测试系统内，或者通过企业网络对其实施远程操作。

与  OSP120相比， OSP130多了一个控制面板，通过面板上的键盘可直接手动操作  OSP130及其连接的任何扩展单元。 OSP120可通过连接外部键盘和显示器实现手动操作。用户不需要具备专门的软件知识就能够轻松、直接地利用提供的操作软件或web图形用户界面实施控制。

整车EMI骚扰测试配件

测试系统中配置了以下的配件来满足CISPR12于CISPR25要求：

J HFH2-Z6E, Active Rod Antenna, 8.3 kHz to 30 MHz, radiated emission measurement. Antenna stand with metal ground plane is provided.

J HFH2-Z2E, Active Loop Antenna, 8.3 kHz to 30 Mhz, radiated magnetic emission measurement.

J SCU-08F: Preamplifier 100 MHz to 8 GHz; improve the overall sensitivity of the system as well as bringing down the noise level to -6dB below the limit line specified in CISPR 12.

J ENV432: V-network LISN, up to 32A, to provide stabilized impedance on shielded lines for (hybrid) electric vehicles.

J ENV4200: V-network LISN, up to 200A, to provide stabilized impedance on shielded lines for (hybrid) electric vehicles.

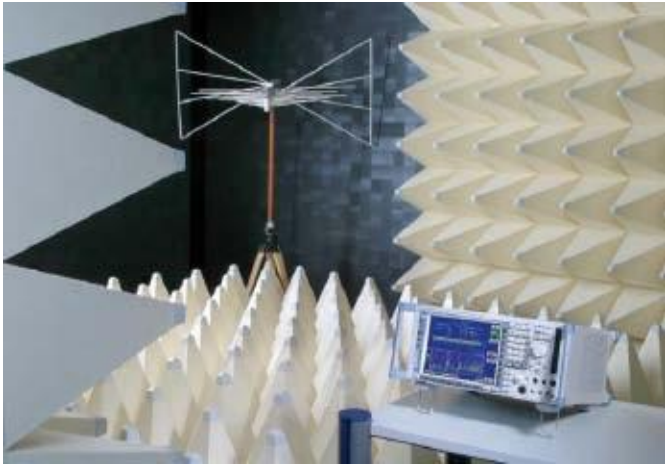
控制器

系统的仪表通过系统软件EMC32控制。请参考本建议书的软件部分关于更多EMC32的功能和介绍。

R&S测试方案 - 零部件EMC测试

这一部分介绍R&S公司根据测试需求所提供的测试系统TS9994。R&S的测试系统TS9994是专门为汽车电子零部件(ESA, Electric Sub-Assemblies) EMC测试所设计的EMC测试系统, 包括了EMI测试和EMS测试。

TS9975系统-零部件EMI测试



符合民标, 无线, 汽车电子和军标标准

R & S的TS9975测试系统是进行传导和辐射EMI测量的基本系统。基于系统的模块化设计, 它覆盖范围非常广泛, 从简单的传导电压测试和预兼容系统起, 至大型的整车全认证级测试系统, 都能涵盖。并且可容易进行更改, 适应测量任务。针对不同的产品应用或将来的系统扩展都不成问题。

测试系统中采用的是R&S EMC32 EMC测试软件。

测试接收机为系统的核心部件, 它根据不同标准, 采纳与显示发射数据。从系统设计和实施至安装和培训, 这些交钥匙系统和我们的EMC专家可从单一来源提供一切服务, 让客户能够集中精力于测试上。系统也能够兼容单面传导或辐射的测量方式。

覆盖标准 (例子)

该系统涵盖了以下主要标准的EMI测量

民标测试

- J CISPR 11-22
- J EN 55011-55022
- J VDE 0872-0879
- J ANSI-C 63.4
- J CFR 47 FCC part 15, 18
- J 3GPP TS 51.010
- J ETSI EN 301908-1
- J ETSI EN 300328-1

无线标准测试

- J ETSI EN 301489, 根据各大制式标准 (e.g. CDMA, GSM, UMTS, LTE, WLAN, WiMAX etc.)

汽车电子测试

- J CISPR 12
- J CISPR 25
- J 用户指定要求

军标测试

- J VG 95370-95377
- J DEF-STAN 49-41
- J GAM-EG 13
- J MIL-STD-461 E/F
- J 用户指定要求

电磁骚扰测试或EMI 是为了测量电子仪器的电磁传导发射于辐射。我们的EMI 测试系统包括了汽车EMI测试所需的测试设备和附件, 测试由R&S测试软件EMC32控制。系统主要由以下部分组成:

- J EMI测试接收机
- J 用于全自动测试的射频切换平台
- J 天线, 电流探头, 人工电源网络LISN
- J EMI控制单元和机柜
- J 系统电缆
- J EMI测试软件

EMI测试的覆盖频率为9 kHz到6 GHz。可完成以下测试:

测试	参考标准	频率	测试环境
Conducted Voltage	CISPR 25	150 k ~ 108 MHz	零部件屏蔽室
Conducted Current	CISPR 25	150 k ~ 245 MHz	零部件屏蔽室
Radiated ALSE	CISPR 25	150 kHz ~ 6 GHz	零部件暗室

EMI测量接收机

R&S®ESW EMI测试接收机



更快速、更深入、更智能

R&S®ESW EMI测试接收机是汽车和A&D领域中要求苛刻的EMI认证测量的理想选择。由于固有噪声低，它的灵敏度很高，同时有高的1 dB压缩点，因此它具有极宽动态范围。R&S®ESW的信号预选功能提供了额外的150 kHz和2 MHz高通滤波器以及专门用于免授权的2.4 GHz和5.8 GHz ISM频段的陷波滤波器。因此，可以确保这些频段中的高载波信号 - 例如Bluetooth®和WLAN使用的频段 - 不会影响仪器的动态范围，即使带外的弱干扰信号，也可被检测到。

R&S®ESW将基于FFT的时域扫描作为标准配置。以前需要几分钟或几小时才能完成的测试现在只需几秒即可完成。甚至可以使用两个CISPR检波器进行测量(准峰值、CISPR平均值、RMS平均值)，将总测量时间缩短一半。R&S®ESW将EMI测试接收机功能和功能全面的频谱分析仪组合到单台仪器里面。带宽为80 MHz的实时频谱分析(R&S®ESW-K55选件)允许用户使用余辉模式和频率模板触发检测隐藏或叠加的干扰并分析其原因。频谱瀑布图功能能够在时域内实现无缝频谱显示，甚至可以使快速变化的干扰信号可见。这样可以在产品开发和认证过程中节省大量时间和成本。

使用多视图功能，在仪器上用户可以同时直观显示不同操作模式下的测量结果和轨迹。结构清晰的平面菜单和触摸屏功能使操作变得非常简单。

特点

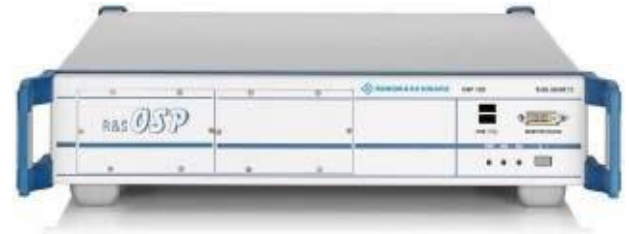
- ▣ 频率范围2 Hz至8 GHz、2 Hz至26.5 GHz和2 Hz至44 GHz
- ▣ 完全符合CISPR 16-1-1、ANSI C63.2、MIL-STD-461和FCC标准
- ▣ 最高的动态范围和最高的精度能够满足认证测量的要求
- ▣ 使用基于FFT的时域扫描实现超快测量
- ▣ 预选滤波器具有用于ISM频段的可选高通滤波器和陷波滤波器

- ▣ EMI测试接收机和信号频谱分析仪集成到同一台仪器
- ▣ 实时频谱分析(R&S®ESW-K55选件)具有高达80 MHz的带宽和频谱瀑布图功能
- ▣ 多视图功能允许在单个画面上直观显示多个操作模式的结果

更多资料请参考产品数据手册。

射频切换平台

R&S®OSP开放式切换和控制平台



模块化的射频开关和控制任务解决方案

OSP开放式切换和控制平台是一种为处理射频切换和控制任务设计的模块化平台，众多的选件模块使得OSP成为广泛应用的理想选择，包括从简单的射频切换功能到EMC系统等复杂的射频测试系统的自动路径切换功能。

- ▣ OSP120和OSP130基本单元可通过以太网控制，
- ▣ OSP130的显示屏带有一个控制面板。通过该控制面板可以手动操作OSP130的各个切换和控制模块，以及所有连接的OSP150扩展单元。

模块化、可靠、经济实用

OSP系列产品采用了模块化设计，为生产、测量实验室和开发部门的测试与测量应用配置的快速建立提供了保证，它仅用一个开关和控制平台就能完成复杂的接线工作，从而为测量的可靠性和可再生性创造了基本条件，使测试序列得以自动执行，省时省力。

紧凑而灵活


OSP单元采用了19"机箱，有两个高度单位高。精密的CPU控制功能为开关和控制模块的控制提供了最大的灵活性，使高性能外部接口成为可能。

强大的控制和射频继电器模块

开关和控制模块分别被插在背部的三个模块插槽内，用户可以根据实际需要高效灵活地组合18 GHz或40 GHz RF继电器模块、6 GHz半导体继电器模块、数字输入/输出模块以及终端模块。





利用特殊模块可更为方便地实现各种不同的开关、输入和输出功能，例如外部功率继电器控制。

可扩展性

基本单元的CAN总线端口最多可连接四个  OSP150扩展单元，从而大大地丰富了基本单元的扩展功能，也可很经济的满足将来不断增长的新需求。

轻松进行控制和系统集成

平台的所有基本单元都可通过以太网接口控制，该接口能够直接连接PC，然后集成到测试系统内，或者通过企业网络对其实施远程操作。

与  OSP120相比， OSP130多了一个控制面板，通过面板上的键盘可直接手动操作  OSP130及其连接的任何扩展单元。 OSP120可通过连接外部键盘和显示器实现手动操作。用户不需要具备专门的软件知识就能够轻松、直接地利用提供的操作软件或web图形用户界面实施控制。

测试系统中不同的天线及人工电源网络的信号位不同的连接点处，包括暗室和屏蔽室的CP (Connection Panel连接板)以及在转台上的用于人工电源连接的CP板，系统配置的EMI射频切换平台R&S®OSP120可以将这些不同连接点的信号切换至测试接收机的输入，使测试能以全自动方式进行。

更多资料请参考产品数据手册。

EMI测试的布局图如下：



传导骚扰配件

测试系统中配置了以下的人工电源网络和电流钳，用于EMI传导测试。

Conducted Emission:

- J ESH3-Z6, CISPR 25 LISN (x2), 0.1 MHz to 200 MHz, Single-phase V-network designed to deliver a rated continuous current of up to 100A.
- J R&S® F-52B, CURRENT PROBE, 10 kHz to 500 MHz, measures the electromagnetic disturbance emitted via wiring harnesses.
- J CISPR 25 High Voltage LISN (x2), to measure conducted disturbance voltage on shielded lines for (hybrid) electric vehicles.

Radiated Emission:

- J HFH2-Z6E, Active Rod Antenna, 9 kHz to 30 MHz, radiated emission measurement. Antenna stand with metal ground plane is provided.
- J HK116E, Biconical Antenna, 30 MHz to 200 MHz, radiated emission measurement. Antenna stand with mast adapter is provided for easy setup.
- J HL223, Log Periodic Antenna, 200 MHz to 1 GHz, radiated emission measurement. HL223 shares antenna stand with HK116. A mast adapter is provided to allow changing antenna easily.
- J BBHA9120E, Broadband Horn Antenna, 1 GHz to 6 GHz, radiated emission measurement. Antenna stand with mast adapter is provided for easy setup.
- J SCU-01F, Preamplifier, 9 kHz to 1 GHz, improve the overall sensitivity of the system as well as bringing down the noise level to -6dB below the limit line specified in CISPR 25.
- J SCU-08F, Preamplifier, 1 GHz to 6 GHz, improve the overall sensitivity of the system as well as bringing down the noise level to -6dB below the limit line specified in CISPR 25
- J FESP 5133-7/41, Loop Sensor, to measure magnetic emission according to RE101.

更多资料请参考产品数据手册。

控制器

系统的仪表通过系统软件EMC32控制。请参考本建议书的软件部分关于更多EMC32的功能和介绍。

TS9982系统 - 零部件EMS测试



符合商用、无线、汽车和军用标准的辐射和传导EMS测量
R&S®TS9982是用于传导和辐射EMS测量的基本系统。该系统具有模块化设计，适合各种应用，极易满足各种测量任务的需要。可以采用任何配置—包括从传导测量和配备紧凑测试电波暗室的小型预认证系统，到可靠的200 V/m整车测试系统。可方便进行不同应用组合或功能扩展。所有测试系统都通过R&S®EMC32 EMC测试软件的各种功能进行控制，例如丰富的被测设备和系统监控功能。无论是系统设计及实施还是安装与培训，这些交钥匙系统以及我们的EMC专家提供了源自一处的每样东西，可使客户将精力全部集中在测试上。可提供仅用于进行传导或辐射测量的系统。

覆盖的标准 (举例)

该测试系统覆盖不同应用范围内辐射和传导商用测量的所有相关标准。

商用测试

- J IEC/EN 61000-4-3 and -6
- J IEC/EN 61000-4-20
- J EN 61000-6-1
- J EN 61000-6-2
- J CISPR 24/EN 55024
- J EN 60601-1-2

无线测试

- J ETSI EN 301489所有主要技术(例如CDMA, GSM, UMTS, LTE, WLAN, WiMAX™)

汽车测试 - 部件

- J ISO 11452-2
- J ISO 11452-3
- J ISO 11452-4
- J ISO 11452-5

- J ISO 11452-8
- J ISO 11452-9
- J
- J 2004/104/EC

汽车测试 - 整车

- J ISO 11451
- J 2004/104/EC
- J 特定的客户需求

军用测试

- J MIL-STD-461E/F
- J 特定客户需求

测试标准	被测件	测试内容
ISO 11452-2 辐射抗扰度-天线法	汽车零部件,安装在 汽车环境内	辐射抗扰度的测试方法
ISO 11452-4 传导抗扰度		大电流注入 (BCI) 测试方法
ISO 11452-8 磁场抗扰度		低频磁场抗扰度测试方法
ISO 11452-9 手持天线抗扰度		道路车辆电气/电子部件对窄带辐射电磁能量抗扰性试验方法 第9部分:便携式发射机

其他区域性或国家的汽车EMC测试标准 (如SAE J1113, 2004/104/EC) 和汽车厂商的标准 (如Ford, GM, VW, Chrysler等) 基本都是参考以上的国际标准。

零部件EMS测试的主要国际标准是ISO 11452，主要测试项目包括辐射电场抗扰度 (RI, ALSE radiated immunity)，大电流注入 (BCI)，带状线 (150mm stripline)，DTEM，磁场抗扰度 (magnetic field immunity)，音频电压抗扰度 (conducted immunity in audio frequency range) 等。

零部件RI测试在暗室里进行，其测试的摆设与零部件EMI测试相似，所不同的是，天线为发射天线。测试时，信号发生器产生的信号经过功率放大器放大，通过高功率RF电缆，经过AP和CP，达到天线的输入端，天线发出电场干扰被测件。在对被测件进行测试之前，需要对系统所产生的电场场强进行校准，校准通过场强监控系统来完成。

在汽车电子EMS测试，厂家标准(如GM, Ford, VW, Peugeot, 等) 和国家标准 (如ECE R10, SAE等) 基本都参考国际标准ISO 11452。在本方案中TS9994系统提供符合ISO11452及相关标准的自动测试，系统的以下优点使得对汽车及零部件的测试更有效率：

- J 通过使用测试软件EMC32，提高测试效率，缩短测试时间
- J 高品质的系统部件和精密的施工保证可重复的测试结果
- J 全自动生成全面完整的测试报告
- J 全自动的EUT监控和对EUT监控的记录

TS9982 EMS测试的主要组成部分包括:

-] 信号发生器
-] RF功率放大器组
-] RF功率测量系统
-] 传感器 (射频天线, 电流注入探头及其校准夹具等)
-] 用于全自动测试的射频切换平台
-] 测试机柜
-] 系统电缆
-] 用于EMS测试软件

信号发生器

R&S®SMB100A信号发生器



多用途、结构紧凑的解决方案—可生成频率高达**40 GHz**的信号

➤ **SMB100A**射频和微波信号发生器结构紧凑、用途广泛,最高工作频率可达**40 GHz**,频谱纯度出色,输出功率大。此外,还拥有操作简便,功能全面以及购置成本低廉等优点。

它的频率覆盖范围广,能够覆盖大量的极具挑战性的应用。因而, ➤ **SMB100A**是高达**5.7 GHz**的重要**ISM**波段应用的完美选择。同时由于其频率下限低至**9 kHz**,因而也适合**EMC**测量应用。此外, ➤ **SMB100A**还非常理想地适用于测量各种电信标准规定的最高可达**12.75 GHz**连续波频率的阻塞特性。在频繁修改电平设置方面, ➤ **SMB100A**首次在该频率范围内采用了无磨损的电子步进衰减器。

为覆盖整个微波频段,提供**20 GHz**和**40 GHz**两种频率选件。例如,这两种选件适合测量**X**和**K**波段的雷达系统和天线。

-] 频率范围宽达**9 kHz**至**6 GHz**或**100 kHz**至**40 GHz**
-] 出色的信号特性, 单边带相位噪声非常低, 典型值只有-**128 dBc** (**1 GHz**载波、**20 kHz**偏置)
-] 典型值的输出功率高达**+27 dBm**
-] 支持**AM**、**FM/φM**、脉冲调制等所有重要的模拟调制方式
-] 外形尺寸紧凑, 只有两个高度单位高

测试使用R&S信号发生器 ➤ **SMB100A**,覆盖频率**9 kHz**到**3.2 GHz**。R&S信号发生器 ➤ **SMB100A**具有出色的信号特性、高度的灵活性以及出色的射频特性。**EMC**测量设备的使用者总是特别关心信号发生器的电平特性。然而电平尖峰,例如在很多信号发生器的频带或滤波器切换过程中发生的,很容易引起对**EUT**不正确的分析。 ➤ **SMB100A**完全没有这种电平过冲的干扰。

更多资料请参考产品数据手册。

功率探头

➤ **NRP LAN**功率探头

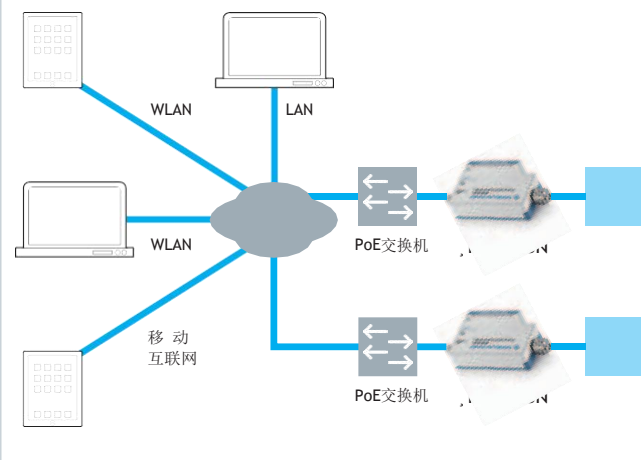


将功率测量 提高到更高水平

R&S®NRPxxS/SN三通道二极管功率探头是一种功能全面的独立测试设备。它们可连接**R&S®NRP2**功率计主机使用,或者通过**USB**连接于**PC**或笔记本电脑,还可以配合许多罗德与施瓦茨公司的仪器使用(例如,信号发生器、信号和频谱分析仪、网络分析仪)。**R&S®NRPxxSN**功率探头还提供了**LAN**功能,可用于进行长距离远程控制。

R&S®NRPxxS和**R&S®NRPxxSN**功率探头基于一种增强型三通道技术。该技术可显著降低探头的测量噪声,从而得到**-70 dBm**的测量下限,以及**93 dB**的动态范围。因此,测量速度和精度明显提高,尤其是低电平时。这不仅适用于测试连续波信号,而且适用于任意带宽和调制类型的信号。

使用Web浏览器，可以对处于不同位置的多个R&S®NRPxxSN
探头同时进行远程监控



主要特点

- 可对连续波信号和调制信号进行快速而精确的功率测量
- 最大动态范围：-70 dBm至+23 dBm
- 10000次触发测量/秒
- 超过50000个读数/秒
- 通过LAN和USB进行控制与监视
- 可在Web客户端上使用Web浏览器进行操作
- 可与 NRP2功率计主机、PC/笔记本电脑以及许多罗德与施瓦茨公司的仪器配合使用
- 内置触发I/O端口

在EMS测试中，我们选用R&S®NRP6AN功率探头来做功率测试。功率探头R&S®NRP6AN用于测量功率放大器输出的前向和反向功率。R&S®NRP6AN覆盖频率为8 kHz到6 GHz，并且具有很宽的测量范围（-70 dBm到+23 dBm），这在EMS测试中电平调整时特别重要。

更多的数据请参见技术手册。

功率放大器

BBA150宽带放大器



卓越的高功率密度微波放大器

BBA150是新型微波宽带放大器系列。此系列仪器专为高频率设计，提供高功率，结构紧凑，重量轻。能够设置从9 kHz至6 GHz，包括各种射频开关选项的放大器系统，适合微波范围内的各类应用。

也可以与久负盛誉的 BBA100宽带放大器系列组合，集成的放大器系统支持多个频段，从9 kHz至6 GHz，并可实现不同的功率等级。该放大器也适合电磁兼容测试以外的应用，如组件生产和工业环境中的质量保证，以及用于研究、物理工程和通信。

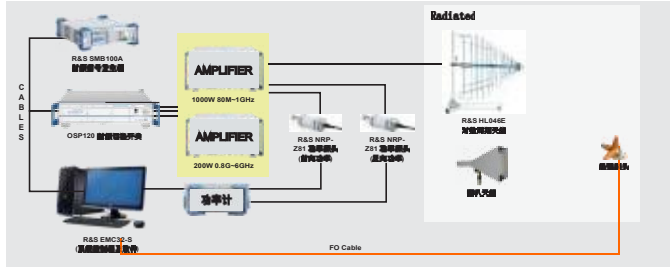
BBA150宽带放大器设计为19英寸机架安装，也适合桌面使用。其模块化的轻型设计专为高频优化。可以使用显示屏和按钮，也可以通过远程控制接口自动操作放大器，或者在网页浏览器上操作放大器。

采用模块化设计是后期升级功率和频率范围的先决条件。全球服务理念 and 全球提供备件将增强用户的信任和信心。

- 频率范围:9kHz-6GHz
- 输出功率从15 W至2500 W
- 与R&S®BBA100宽带放大器系列 一起组成理想的放大器系统
- 100%失配容差
- 适合幅度、频率、相位和脉冲调制
- 3年质保和全球范围内提供备件

ISO 11452抗扰度测试

ISO 11452-2 辐射测试的布局图如下:



功率放大器

为了满足垂直200 V/m典型值@1 m from 200 MHz to 6 GHz的测试要求，水平200V/m典型值@1 m from 400 MHz to 6 GHz我们以提出以下的功率放大器。除了功放主机，功放的配置也包含了定向耦合器和校准负载。

射频频率	测试标准	功放型号	生产厂家	CW输出功率
80 MHz to 1 GHz	ISO 11452-2	BBA150-BC1000	R&S	1000 W 80 M~1 GHz
1 GHz to 6 GHz	ISO 11452-2	BBA150-D200E200	R&S	200 W 0.69 G~6 GHz

更多资料请参考产品数据手册。

发射天线

暗室的尺寸已制造可以使用的天线的约束。以确保所有的天线可被安装到暗室中，我们已提出了如下的天线。提出的天线是为了覆盖EMS辐射测试的频率，为80 MHz到6 GHz。

射频频率测试范围 (GHz)	射频发射天线	天线生产厂家	典型增益	备注
0.08 to 1	STLP 9128 ES	R&S	Typ. 9 dBi	辐射抗扰度测试
1 to 6	BBHA 9120J	SWB	> 11 dBi	辐射抗扰度测试/辐射抗扰度测试

更多资料请参考产品数据手册。

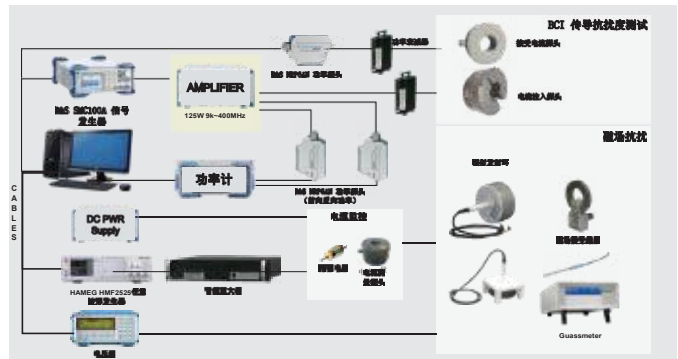
场强监控系统

测试系统中包含了一套场强监视HI-6015USB，用于电场校准和测量。场探头HI6105的频率范围为100 kHz到6 GHz。此外，测量范围为0.5 V/m至800 V/m。探头透过读取接口直接和系统控制器连接读取读数。所述探头都是用激光来供电。

更多的数据请参见技术手册。

BCI测试系统

ISO 11452-4传导抗扰度的布局图如下:



BCI传导抗扰度测试

功率放大器:

射频频率	测试标准	功放型号	生产厂家	CW输出功率
1 MHz to 400 MHz	ISO 11452-4	BBA150-AB125	R&S	125 W 9 k~400 MHz

系统包括了以下测试配件完成BCI测试。其中，电流注入探头F-120-8覆盖频率范围为10 kHz到400 MHz，在1 MHz到400 MHz频段，它的插入损耗少于7 dB，特别适用于汽车电子的BCI测试。

J F-120-8, Injection probe 40 kHz to 4250 MHz

J FCC-BCICF-4, Calibration fixture of F-120-8

J F-52B, Current monitoring probe 10 kHz to 500 MHz

J 150-A-FFN-06, Attenuator 150 W, 6 dB

J 150-A-FFN-20, Attenuator 100 W, 20 dB

磁场抗扰度测试配件

根据ISO 11452-8，道路车辆内的零部件都应该通过EMS测试。ISO11452-8定义了对磁场车辆零部件抗扰度测试。根据这标准，其中一个方法已被提出；这些方法是辐射环测量。由磁场发生器（辐射循环）发出的电磁能量来做磁场干扰，用户能准确测量出磁场的的数据。

系统包括了以下测试配件完成磁场抗扰度测试。其中，磁场环FESP 5132覆盖频率范围为15 Hz到150 kHz。

J HAMEG HMF2525	低频发生器10 μ Hz to 25 MHz
J Measuring Device	电压表DC to 20 MHz
J 7224 Amplifier	低频功率放大器DC to 300 kHz
J FESP 5132	辐射环15 Hz to 150 kHz
J FESP 5134-40	磁场检测环15 Hz to 150 kHz
J F-10A	电流探头100 Hz to 3 MHz
J Shunt Resistor	电阻器
J FESP 5133-7/41	磁场接收线圈DC to 200 kHz
J DC Radiating Loop	DC测试辐射环
J Power Supply for DC	

更多的数据请参见技术手册。

控制器

测试通过系统软件EMC32控制。请参考本建议书的软件部分关于更多EMC32的功能和介绍

EMC测试软件 EMC32



R&S EMC 32

罗德与施瓦茨公司的R&S EMC32测试软件运行在Windows 32位操作平台上，可以完成EMI和EMS测试，R&S EMC32是一个强大的EMC测试软件，它可以控制R&S所有接收机和EMC测试系统，可以可靠地读取、评价和记录测试结果。由于R&S EMC32软件设置非常灵活，它可以完成所有民标的EMI和EMS测试。

EMC32拥有以下的性能和特点：

J 模块化的EMI和EMS设计，容易升级

J 支持民用、军用和汽车电子等标准，如CISPR、IEC、ISO、EN、ETSI、GJB、MIL-STD、VDE、FCC和ANSI等

J 支持全自动和交互式的EMI和EMS测试方式

J 友好的图形用户界面，操作方便

J 产品为导向的测试选择

J 被测设备数据管理

J 模块化校准模式

J 重复校准设置简单

J 安装和配置向导及在线帮助，引导用户完成测试

J 数据保存为文本格式

J 生成的报告格式 RTF、HTML 或 PDF 文件

J 32位软件，运行在Windows XP, Vista, 和Windows 7

应用

R&S EMC32软件最重要的特点就是用不同的配置来适用不同的测试要求：

J 在测试过程中可以随时在手动和自动之间切换

J 在内部模板的引导下，用户很容易地、快速地设置测试配置，软件内部集成了EUT监测功能 (EMS)

R&S EMC 32软件可完成以下军用民用和汽车电子标准的EMI和EMS测试：

J 汽车零部件

J 军用产品

J 工业、科学和医疗设备

J 声音和广播电视接收机及相关设备

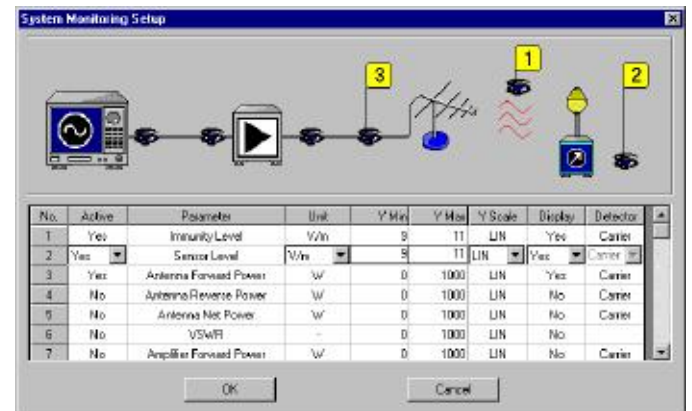
J 家用电器及电动工具

J 灯具及照明设备

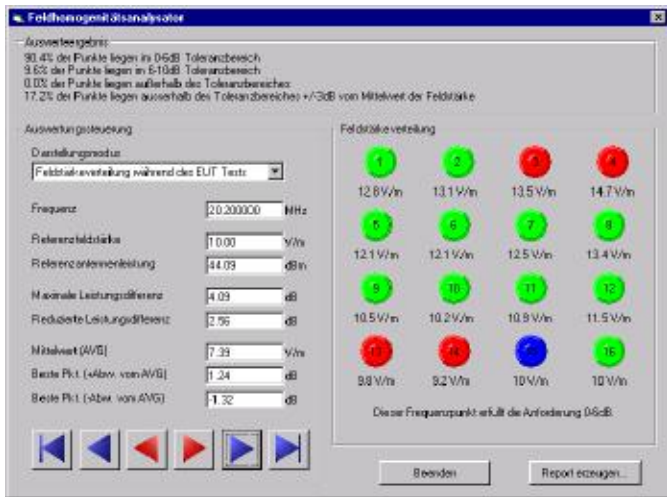
J 信息技术设备

J 通信设备

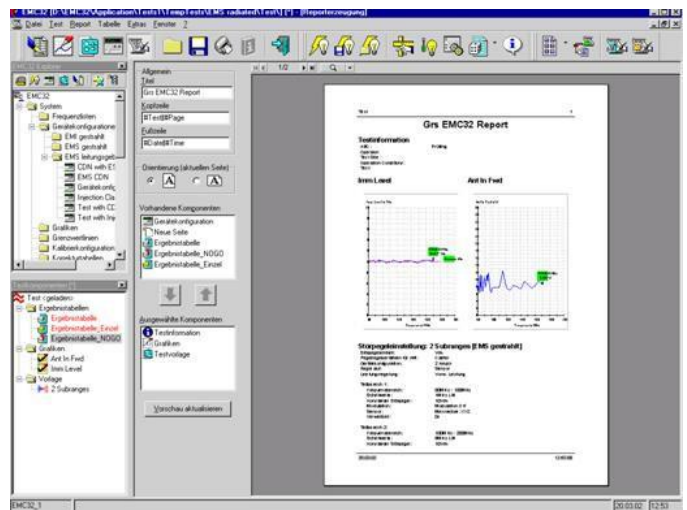
软件里集成了国际标准适用的限值，此外，用户还可以创建新的限值并保存起来，这些新的限值可以用作制造商或产品的限值，这样做可以满足几乎所有用户自定义的EMC测试。



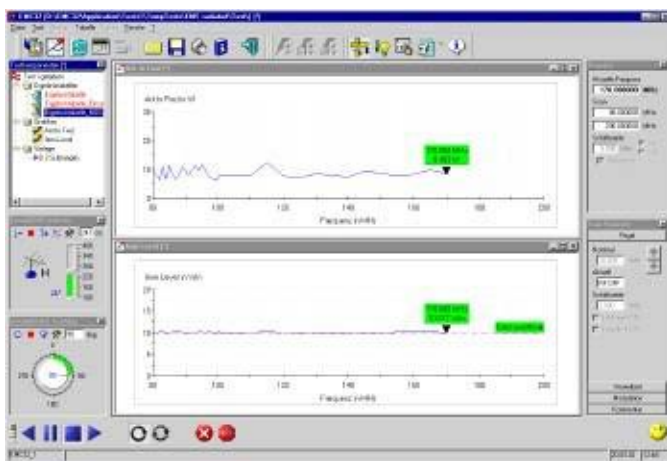
系统监测



均匀域测试配置



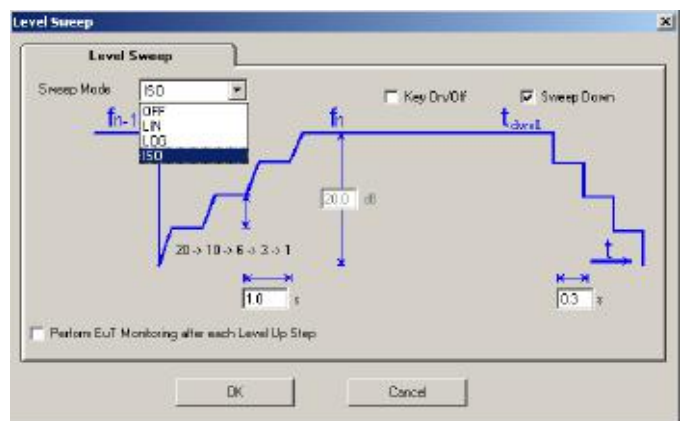
测试报告生成



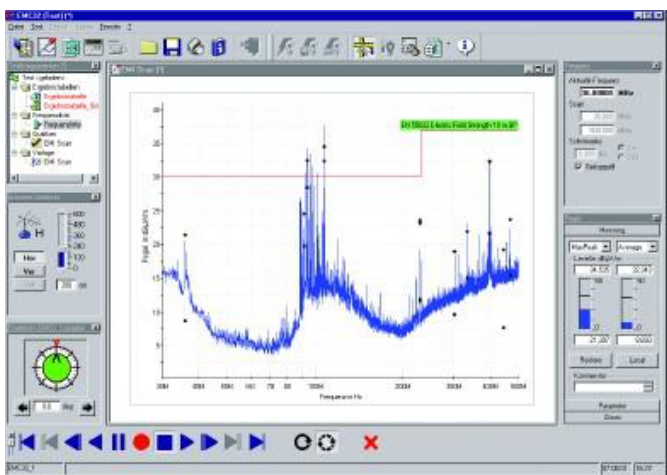
EMS辐射测试结果

汽车EMC测试方法

J EMC32具备了所有用于ISO、SAE及其他相关的汽车EMC标准所规定的测试方法，包括以下的特别测试需求。
J EMC32具有“Level Sweep”功能。用户可以选择线性或对数扫描，也可以选择ISO 11452特定的扫描方式。



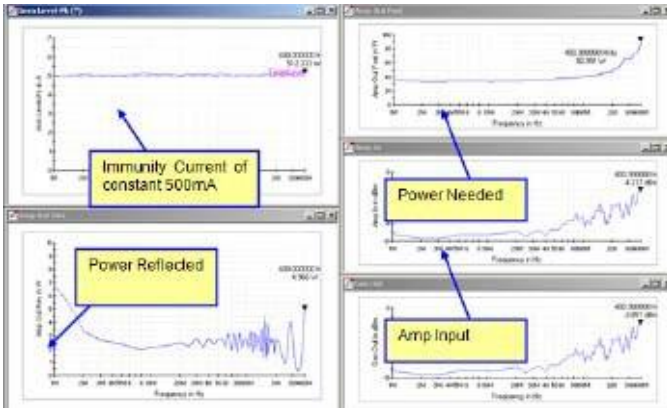
Level Sweep



EMI辐射测试

BCI闭环法测试:

功率放大器谐波监控: 可以监控到5次谐波



Harmonics Measurement Settings

Selection of the Harmonics to be measured

- No Measurement
- Selection
 - 1st
 - 2nd
 - 3rd
 - 4th
 - 5th
- Maximum of all Harmonics (up to 5th)

Measurement Options

- One Sweep for Measurement of Harmonics

OK Cancel

