R&S汽车毫米波雷达测试技术

ROHDE&SCHWARZ
罗德与施瓦茨公司

目录

前言……3

国际对雷达系统测试的趋势

满足杂散和辐射的要求

国内研究

测试需求……4

FMCW信号性能测试

- 信号频率
- 信号带宽
- 线性度、 调频误差
  (linearity and frequency modulation error)
- Chirp时长 (Chirp length)
- 天线方向图 (Tx power pattern)
- 杂散、 辐射测试要求

目标识别性能测试

- 目标分辨
- 多目标识别
- 场景仿真

抗扰测试

R&S测试方案……6

发射机测试

- 系统框图
- 测试设备

目标识别功能测试

- 系统框图
- ARTS

抗扰测试

- 系统框图
- R&S®SMW

零部件测试暗室及转台

- R&S®TS7124
- 转台
- ATSS1000暗室及摇臂
- 整车测试系统

特点及优势……11

前言

道路安全已成为道路交通系统所面临的全球性的挑战。 由于各国汽车安全标准的不断提高,导致主动安全技术高级驾驶辅助系统 (ADAS) 近年来呈快速发展趋势。

对于目标识别技术，工作原理的不同，主要基于超声波、激光、 图像、 毫米波这几种方式实现。 基于成本， 对恶劣环境条件下的可靠性，目标识别性能等需求的综合考量，汽车毫 米波雷达已成为推动这一领域的关键因素。

国际对雷达系统测试的趋势

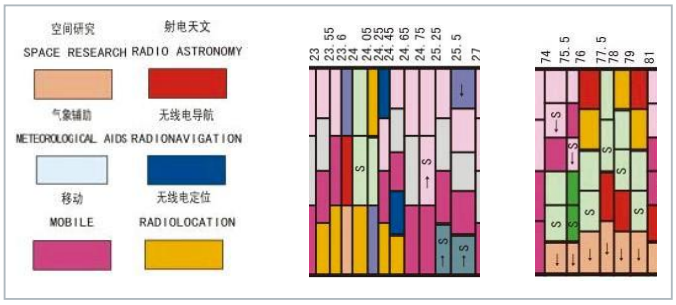
美国公路安全保险协会 (IIHS) 将预碰撞安全系统纳入了评分体系中， 欧洲新车碰撞测试中心 (E-NCAP) 2014年初也正式将这一项目 (AEB) 纳入了评分体系中， 作为对星级评价的考量， 配备了盲点监测系统和在不同驾驶情况下的自动刹车功能和前方碰撞预警功能将被授予额外得分。

但是， 美国《消费者报告》在一份调查中显示， 前方碰撞预警系统的制造水准也有差异。在不同的车型或者不同配置的同款车型之间， 对于错误的警报也有差异。

因此对雷达系统测试的规范化与系统化，能够真正提升汽车的主动安全的使用性，检测关键时刻的性能，保障人身安

满足杂散和辐射的要求

雷达在工作过程中需要满足本身的性能要求， 但同时需要避免对相邻信道设备的影响。 目前为雷达分配的频段主要在24 GHz与77 GHz雷达的使用不能干扰相邻频段如24 GHz ISM 频段， 气象雷达设备等的正常工作



国际上已有明确的标准对于无线频谱资源的使用进行规范. 参考2.1.6测试要求

国内研究

目前，基于毫米波的车载无线电技术已有多种实现方式，相关模组业已在实际车辆中得到应用。与此同时，由于国内道路设施复杂，楼宇结构繁多，车辆密度较大等情况，造成了车辆行驶场景下基于毫米波的无线电技术与传统毫米波安全辅助无线电技术在性能要求方面存在一定差异。目前，应用 于汽车驾驶领域的毫米波无线电技术的测试方法标准研究在国内尚属空白。在从事智能网联汽车研究与行业发展的各个行业协会、团体标准试点单位都在开展相关的实验室测试方案与标准的研究， 以解决目前测试的主要问题：

- 难以实现极限工况测试。 比如对撞工况下， 只能进行单车运动对撞测试， 碰撞速度有限， 而在一些极限工况如相对速度大于200 km/h (分别以100 km/h速度对向行驶) 很难实现。 对雷达系统建立完整的信号测试体系， 可进行极限或危险条件下的测试， 而不会对人员或车辆造成危害极限情况
- 难以实现定量的可重复性测试。 道路试验或试验场测试难以保证测试的重复精度。 雷达系统测试需要模拟被控对象的各种工况和输入信号间的各种状态组合关系， 特别雷达系统在实际工作中会面临到复杂的物理环境与电磁环境，比如对向行驶车辆同时发送雷达信号， 或者在基站、 气象雷达等射频系统附近时的工作性能影响
- 道路试验对场景的测试效率低。建立多目标多对象的场景时，无论测试场地或是道路试验，构建场景需要大量的准备与协调工作，对于需要多次重复的疲劳性测试很难实现

测试需求

FMCW信号发射性能测试

信号频率

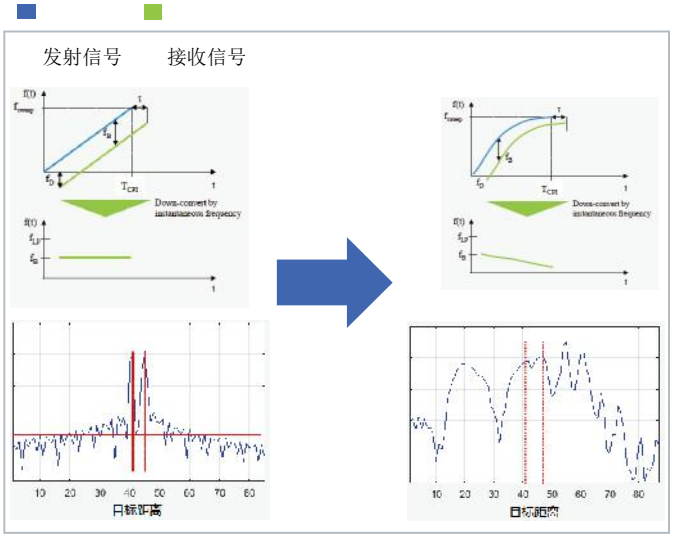
雷达工作的基本频率以及频率范围， 避免由于VCO的不稳定导致频率的偏移， 影响雷达对目标的识别

信号带宽

信号带宽B影响目标距离分辨率：$\Delta R = c/2\ \ B$， 通过频谱仪检测有效信号带宽

线性度、调频误差 **(linearity and frequency modulation error)**

线性度、调频误差会导致差频解析的难度，以及导致伪目标出现，甚至伪目标将真实目标淹没。因此需要严格考量发射信号的线性度指标。



对于Chirp Sequence类型的信号，其线性度对目标识别的影响将更加严峻

Chirp 时长 **(Chirp length)**

Chirp时长与最大测试距离、 速度精度相关

$Rmax = c/2 \cdot Tr\,;\ \Delta vr = \quad /2 \cdot Tr$

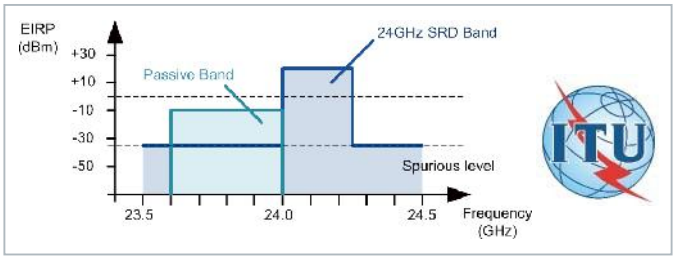
天线方向图 **(Tx power pattern)**

信号功率影响目标识别距离，灵敏度；如果接收信号功率低于噪声功率则无法识别目标

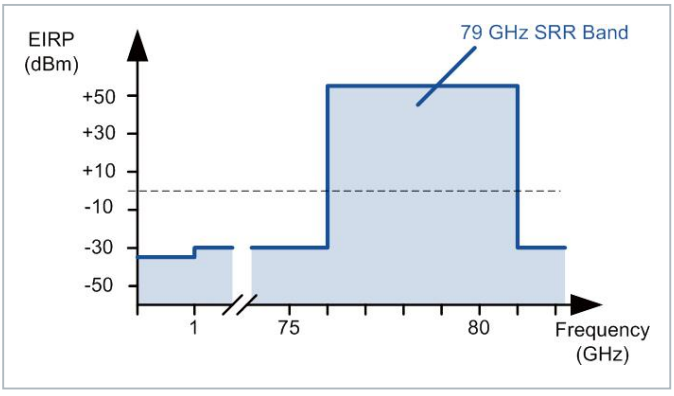
杂散、 辐射测试要求

国际上对毫米波雷达的杂散性能有明确的要求：

汽车24 GHz雷达频带与23.6-24 GHz ISM频段相邻， 因此汽车雷达需要保证避免对其影响。 在ITU中， 无线法规注脚5.340中描述， 所有的杂散都是被禁止的， 如果超过0.03%的汽车都配备了这种设备(工作在-41.3 dBm的/MHz)，被动测距传感系统将面临风险。



J 同时在ETSI EN 302 264-1中也对此进行了规定： “发射机最大发射峰值功率 (EIRP) 使用50 MHz带宽， 在正常和极端条件下不应超过55 dBm。 ”

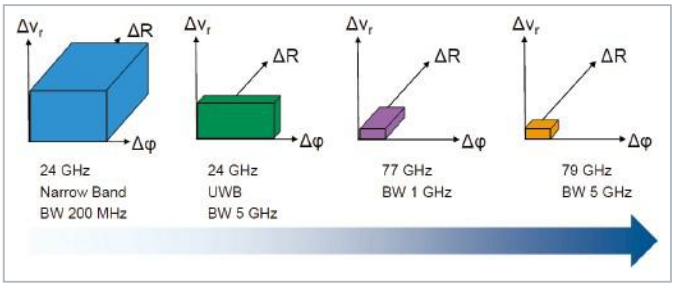


目标识别性能测试

目标分辨

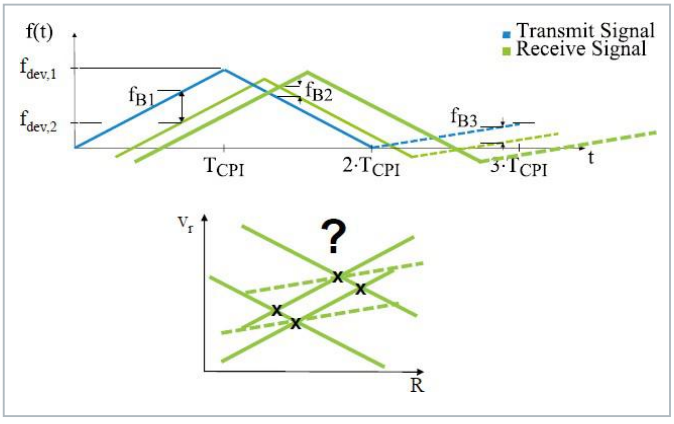
对于目标识别能力进行测试，包括单目标、多目标时，对目标的三维识别指标。

目标识别距离范围、精度；目标识别速度范围、精度；目标识别角度范围、 精度。



多目标识别

由于毫米波雷达具有穿透性，同时在同一水平角度会存在多个目标 (如路牌， 行人， 摩托车， 前车的前车) 等， 对于FMCW信号，多个目标存在时会产生伪目标 (Ghost target)，因此对多个动态目标的识别能力与精度也是评估雷达性能的重要指标。



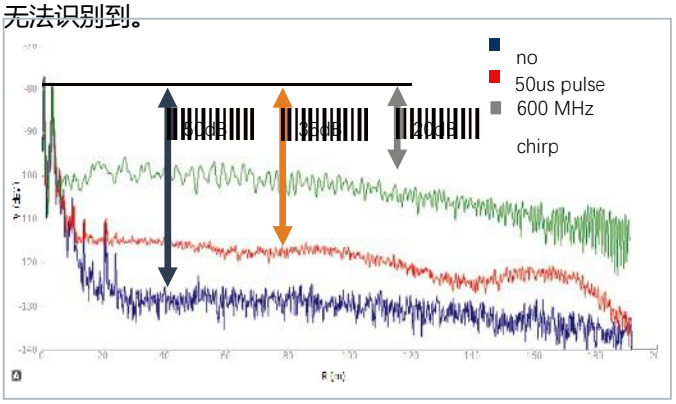
场景仿真

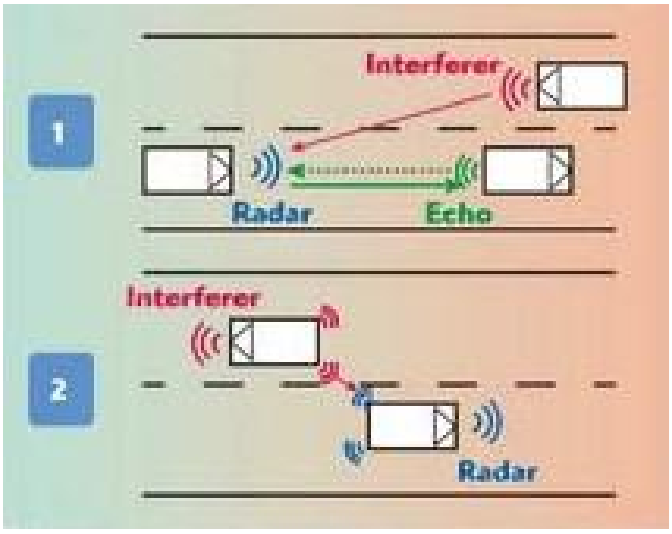
汽车运行的真实场景会面对多目标连续运动的目标识别。进行实车道路实验时很难实现可靠的重复性测试。采用实验室仿真目标测试，可以在短时间高效的仿真多种实验场景，便于故障排查与可靠性验证。

典型试验场景包括：前方车辆跟车，前车防撞预警，盲区预警等。

抗扰测试

当大量装有毫米波雷达的汽车行驶在道路上后， 汽车相互靠近时将会产生系统间干扰。 特定的信号甚至会产生虚假目标 (Ghost target)。 相对汽车的雷达波束， 以及回波信号等， 如果落入信号带宽， 将会显著提高噪声电平， 降低信噪比， 这样将导致RCS较小的目标有可能低于噪声电平，无法识别到。





目前干扰的场景并没有成熟的标准， 还处于讨论阶段。 目前本测试仅基于脉冲序列、 Chirp序列进行对比讨论。

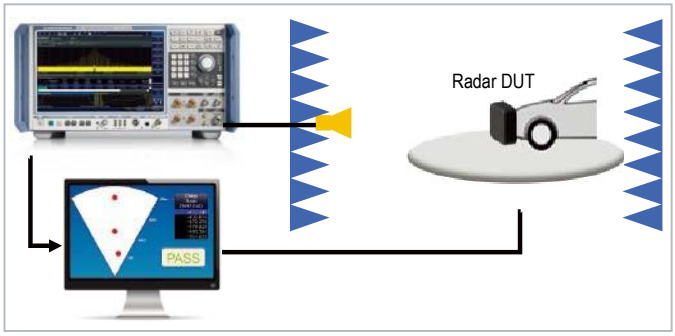
R&S测试方案

R&S基于在雷达测试的丰富经验，提供从芯片，部件，研发，到产线测试的完整解决方案，配合第三方系统公司实现 可靠的生产测试平台， 保障产品的品质。

发射机测试

系统框图

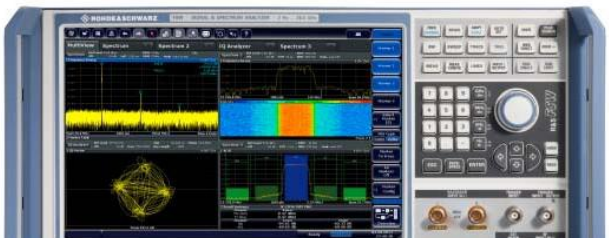
在暗室或开阔场条件下，通过天线接收被测件发射的信号。通过频谱仪读取分析结果。



测试设备

J R&S®FSW

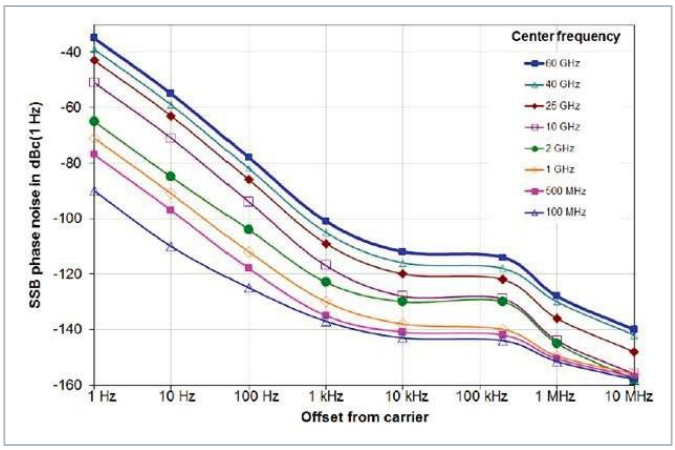
R&S®FSW是一款高端的信号与频谱分析仪，具有非常优异的射频性能和丰富的测试功能，可以满足苛刻的用户要求。对于航空航天与国防 (A&D) 及汽车电子领域的用户，以及未来宽带通信系统的开发人员， R&S®FSW具有足够多的优势使其成为满足测试和测量要求的最佳解决方案。例如，FSW 凭借其在信号与频谱分析仪中无与伦比的相位噪声指标，使得对雷达系统中振荡器的开发与测试更有信心。



FSW具有多种规格， 频率范围覆盖从2 Hz至8/13.6/26.5/43.5/50/67/85 GHz 。

全新高性能R&S®FSW85可以直接覆盖24 GHz与77 GHz毫米波雷达所需要的测试频段， 使得测试连接和设置都大为简化。 内置的预选器可以有效的抑制谐波混频引起的镜频和杂散。

采用R&S®FSW26可以直接覆盖24 GHz汽车雷达的测试要求， 而实现77 GHz FMCW信号的测试， 则需要外部谐波混频器FS-Z90。 测试77 GHz信号时， 信号不再馈入R&S®FSW 的射频端口， 而是直接馈入谐波混频器FS-Z90的波导端口。 FS-Z90工作所需要的本振信号由R&S®FSW提供， 其中频输出信号则馈入FSW的IF Input接口， 从而对信号作进一步分析。 虽然借助于外部谐波混频器FS-Z90， 但在60 GHz ~ 90 GHz频率范围内依然支持宽带



FSW还支持自动相噪测试， 并且可以抑制相位噪声中叠加的AM噪声， 从而测试比较纯净的相位噪声。 FSW本身具有非常优异的相位噪声测试灵敏度， 其相噪特性如图10所示， 在载波1 GHz处， 频偏10 kHz的相噪可以达到-138 dBc/Hz。

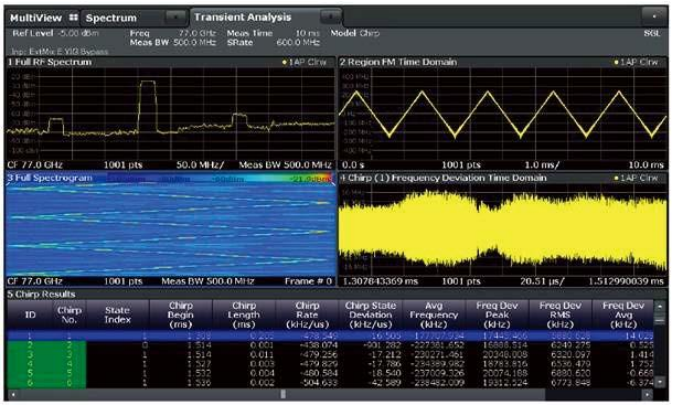
J R&S®FSW-B2000

R&S®FSW单机具有500 MHz的分析带宽， 借助于 RTO宽带示波器，可将分析带宽扩展至2 GHz，配合专为线性调频雷达设计的K60C选件，可以一键测试驻留时间、频率偏差、线性度、脉压系数等指标，可以清晰显示每一个Chirp信号的起始时间、 CPI等重要参数。

J R&S®FSW-K60C

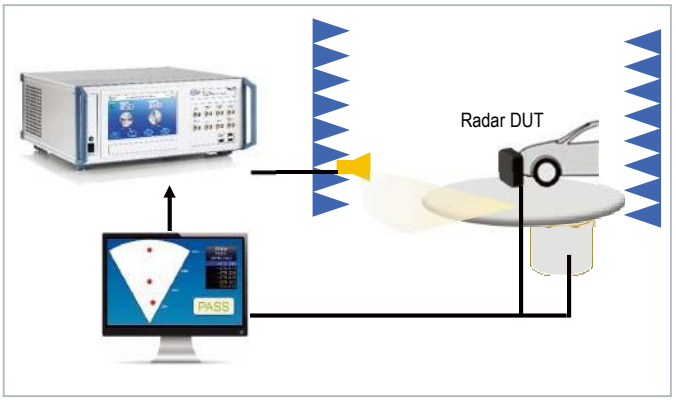
FSW-K60C是专门为FMCW雷达信号分析而开发的功能，其可以分析的参数非常全面， 其中包括：RF power vs time、 chirp rate vs time、 chirp begin/length (CPI)、chirp rate、 frequency deviation（线性度）及信号功率等， 如下图所示。 FSW-K60C也支持以列表的形式显示每一个参数， 而且可以作相应的统计分析， 以便于观察某个参数随时间的变化趋势。

对FMCW信号进行分析时，K60C将按照设置的捕获带宽、记录时间等进行数据捕获， 但具体分析时，K60C向客户提供了一个Analysis Region (AR)，用户可以通过相应的设置对感兴趣的频段和时段作相应的分析。 此外，K60C也支持单独对其中一个chirp进行分析， 所以应用非常灵活。



因此通过FSW-K60C选件， 通过自定义设置可以直接读取到发射机所需要的所有参数。

目标识别功能测试

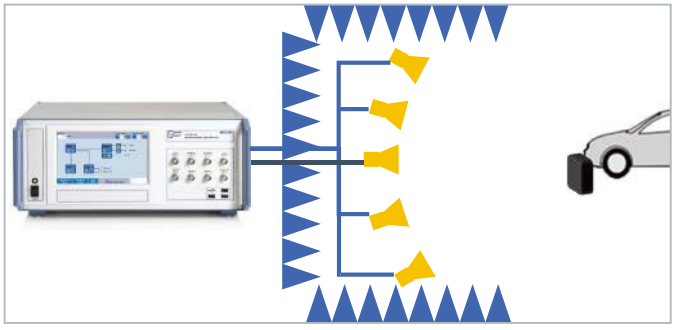


通过上位机系统控制模拟器产生多个设定距离范围、速度范围的运动目标，同时系统控制转台旋转到特定角度。被测雷达模块通过CAN总线将获取的目标反馈到电脑中，与设定值进行比对。

对于整车测试，则需要通过摄像头记录仪表盘的显示信息，或通过CAN总线数据获取整车响应，进行手动或自动测试与评估。

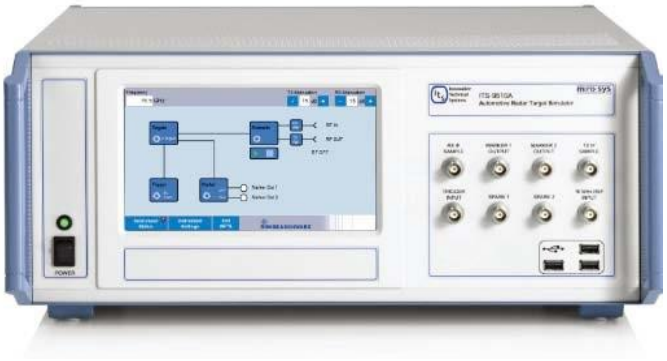
系统框图

可以通过单天线/多个天线扩展方式，实现对目标识别精度测试、单方向多目标识别、以及多角度多目标动态场景仿真、测试以及标定。



ARTS

通过ARTS (Automotive Radar Target simulator)，系统可以实现前方目标的仿真



ARTS可以同时仿真4个动态运行的目标，通过GUI或者Ethernet远程控制， 实现自定义场景设置。

可以切换4天线单目标/天线，双天线2目标/天线，4目标单天线切换

支持24 GHz和77 GHz汽车雷达

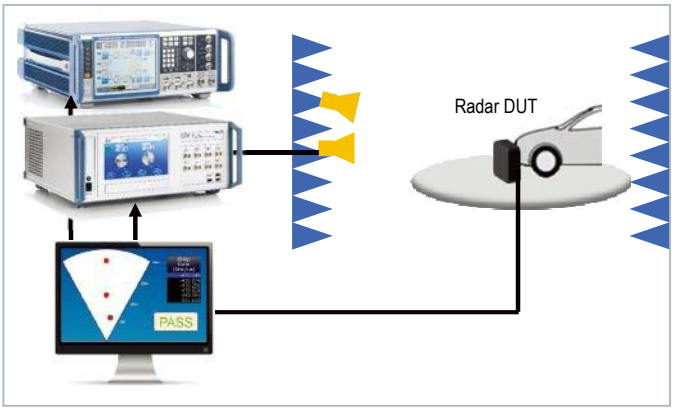
高达1 GHz带宽

最优的动态仿真目标距离：8 m~2.4 km，步进6 cm

抗扰测试

系统框图

基于目标识别仿真测试方案，建立雷达目标识别环境，在理想环境下测试雷达目标识别信噪比。通过信号源测试 根据被测雷达信号形式， 产生同类雷达信号进行测试



R&S®SMW

对于宽带FMCW雷达接收机性能的验证和评估，需要模拟宽带FMCW信号。罗德与施瓦茨公司的高端微波矢量信号源SMW200A，凭借极优异的相噪特性、 幅度平坦响应、支持160 MHz射频带宽的内部基带源及2 GHz外调制带宽，使其成为系统测试FMCW雷达接收机的理想工具。

SMW200A是一款高端的、 为满足最苛刻应用而开发的

微波矢量信号源。 凭借其优异的灵活性、 射频性能和操作直观性， 使其成为生成高质量复杂数字调制信号与雷达信号的完美工具。 SMW200A是新型宽带通信系统、 雷达系统、 无线与移动通信系统理想的数字调制信号发生器。 最高160 MHz的I/Q内调制带宽 (需配置选件) 和2 GHz的外调制带宽， 可满足航空航天和国防以及汽车电子领域的应用。 它的模块化可扩展结构， 使用户能够灵活的选择配置以适应他们的应用， 以及根据需要升级各种选件。 独特的衰落功能可以模拟各种复杂无线通信场景的信道情况， 是信号场景模拟的最佳工具。

因 _ SMW200A内部基带源支持的最大射频带宽为160 MHz，经SMZ90倍频后， 整个系统支持的最大带宽则为960 MHz，可以满足现有及将来的FMCW雷达接收机的测试， 无需外部专门的任意波信号发生器或基带源。

调频连续波FMCW信号波形文件的制作， 可以使用罗德与施瓦茨公司的K300脉冲序列软件，也可以使用Matlab等其它工具制作波形文件。 R&SK300脉冲序列软件是一款功能非常强大的脉冲波形文件制作工具， 可以非常方便地制作单、 双脉冲、 chirp pulse、 barker pulse及FMCW信号的波形文件

零部件测试暗室及转台

整车方针测试需要在整车暗室中进行， 而零部件测试可以采用R&S®DST200射频诊断暗室。

R&S®TS7124

TS7124能够安装在19英寸机架中。 它的内部尺寸为 300 mm x 334 mm x 480 mm (宽x 高x 深)， 有足够的空间测试大尺寸的待测件。 该屏蔽箱也能够装配天线环放置多个天线。 用户能够灵活的创建自己的辐射方向图， 测试所选方向的辐射功率。 全新的， 可选配的Vivaldi天线能确保可靠的和可重复的测试。

定制的选件可以覆盖24 GHz或75~82 GHz信号测试

转台

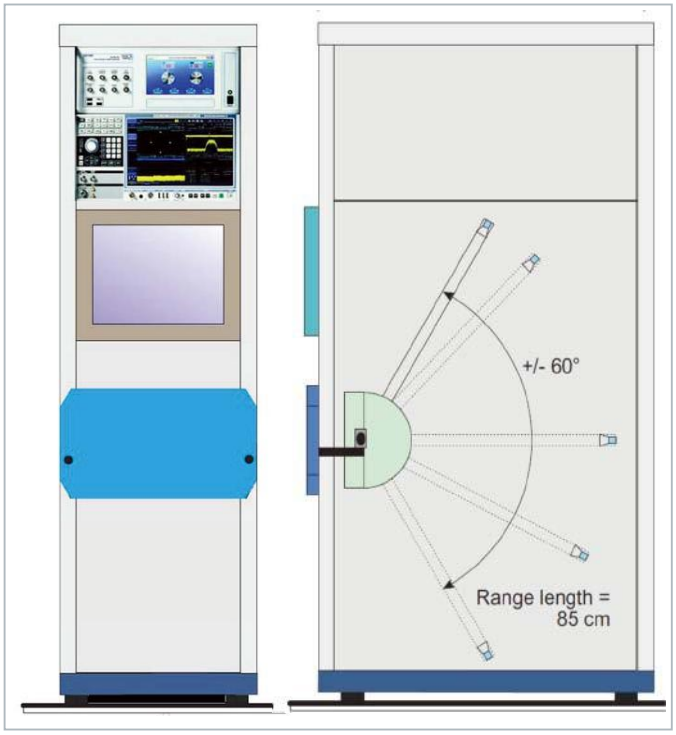
通过程控转台实现对被测零部件精确的角度控制，以配合频谱仪，实现角度-功率曲线测试，来获取发射机功率方向图。

ATSS1000暗室及摇臂

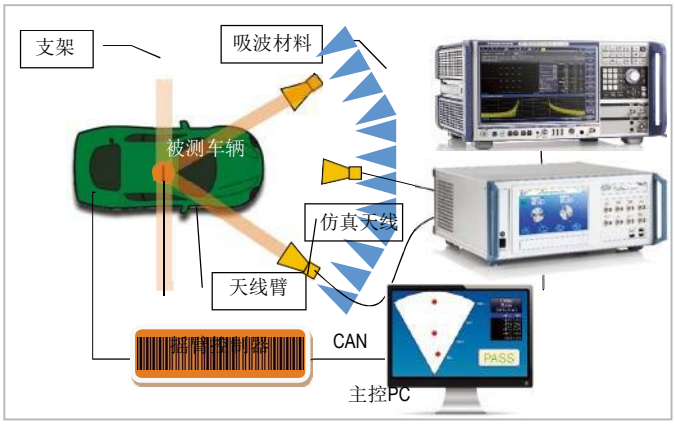
罗德与施瓦茨最新的ATS1000暗室， 基于可定制的尺寸，可以实现满足测试需要的定制化系统。

采用转台方式， 由于天线固定， 因此无法实现多个目标分别移动的场景仿真。 采用ATS1000的摇臂暗室， 可以对于77 GHz实现Tx pattern测试以及更多的定制场景， 如跟车时侧向车并线或行人穿行等。

对于产线测试， 由于被测件固定， 不需要如转台方式等待被测件回到初始位置， 同时摇臂可以达到10˚/s的转速连续转动同时测试， 可以减少测试时间， 提高产线的生产效率。



整车测试系统



对于整车测试R&S可以提供定制化的暗室及摇臂设计， 基于R&S的AMS32软件实现对转台与仪器的系统控制， 实现连续的实时目标仿真。