

使用电子可控前端验证汽车电子雷达

全球率先推出的完全电子可控的天线阵列

您的任务

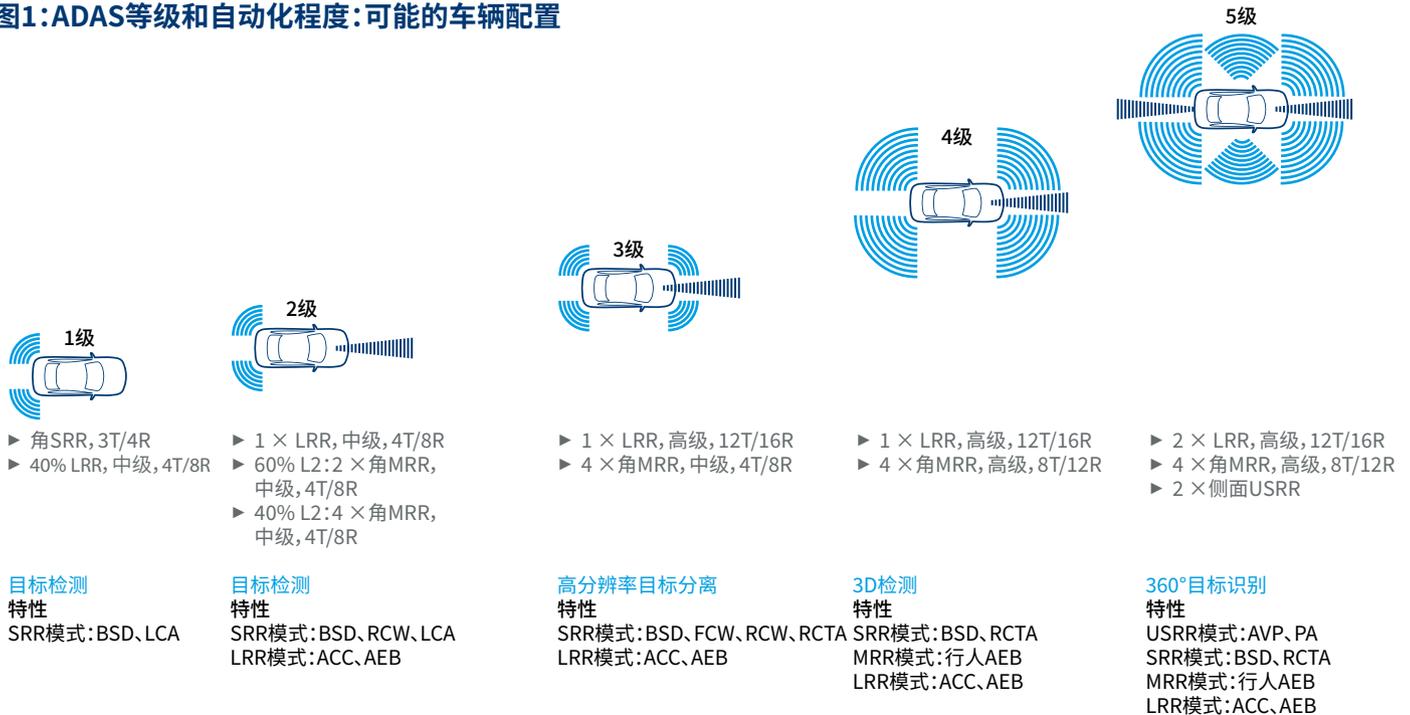
自动驾驶(AD)和高级驾驶辅助系统(ADAS)是汽车电子行业追求创新发展的主要推动力。雷达传感器是AD和ADAS使用的一种关键技术,需要在不同的场景中进行测试,例如行人场景(汽车前方有行人穿行)、城市中行驶场景(朝着停止或速度较慢的汽车驶去)和城际行驶场景(和城市行驶场景相似,但测试车辆的中心线和目标的中心线不在一条直线上)。

要实现4级和5级ADAS,需要利用硬件在环(HIL)和实车在环(VIL)测试场景以及更加复杂的目标模拟功能。对于台式雷达模拟和功能测试的需求也在逐渐增加,以便加快验证过程(图1)。

目前,原始设备制造商(OEM)和工程服务提供商在模拟环境中使用软件在环系统来测试传感器和控制模块。软件模拟非常实用,但无法重现实际环境和可能有所不足的传感器响应情形。自动驾驶车辆必须能够处理这些问题。对于原型车或合法上路的车辆,其整体集成系统需要进行路测,以便OEM完成最终验证后再将其推出上市。路测在开发过程中非常重要,但成本较高、用时较长且难以复制,因此还需要其他测试方法。

在传感器的整个开发价值链中还需要进行更多测试,而且必须集成简单的测试用例,例如测试单个雷达传感器组件和测试具有多个传感器的复杂场景。这是为了在不同的实验室条件下测试自适应巡航控制或紧急制动系统等自动驾驶功能(见图2)。

图1: ADAS等级和自动化程度:可能的车辆配置



产品手册 | 版本01.01

ROHDE & SCHWARZ

Make ideas real



在传感器的价值链中进行真实且可重复的雷达传感器测试相当困难：

- ▶ 雷达传感器是一种未知的黑盒子。测试系统必须在不清楚内部过程的情况下激励雷达传感器及其响应。
- ▶ 系统必须防止测试环境或喇叭天线等测试装置产生不良反射。系统必须减少测试与测量设备和外部干扰¹⁾对雷达信号的影响。系统必须尽可能免受所有此类干扰的影响，确保操作可靠。
- ▶ 需要使用灵活且可扩展的系统，以支持整个价值链中的传感器和ADAS测试。有这样一套可在整个价值链中使用和部署的系统将非常实用。

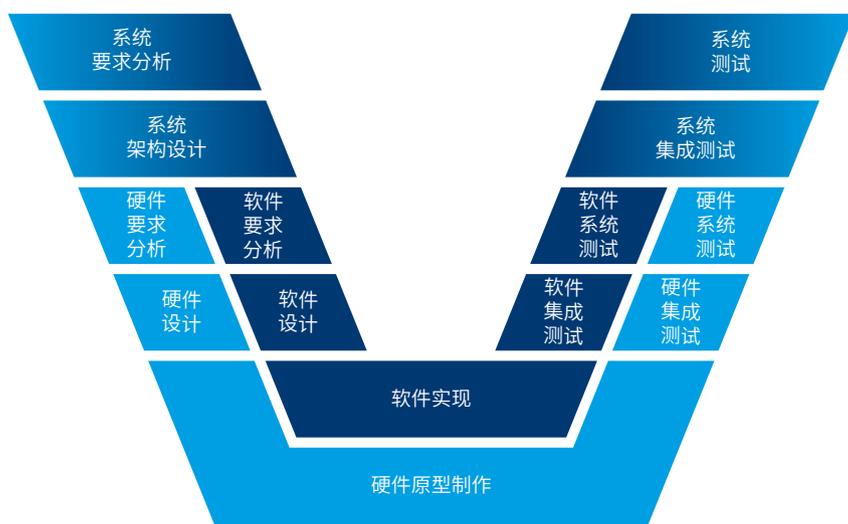
¹⁾ 减少传感器本底噪声，并抑制近距离目标和可能的多径反射。

罗德与施瓦茨解决方案

现有的目标模拟器使用喇叭天线作为前端，每个模拟器都对准雷达传感器，并通过机械方式移动天线来模拟水平和垂直位置。机械自动化操作减少了整体测试时间。天线的每次移动都会改变回波的到达角(AoA)，如果不重新计算或校准天线，会在创建目标图像时出现错误或降低准确度。

为了突破当前系统的局限性，满足愈加重要的HIL和VIL测试的需求，罗德与施瓦茨在全球率先开发出完全电子可控的天线阵列：R&S®QAT100高级天线阵列。R&S®QAT100激活小型贴片天线来模拟方位角和仰角。天线之间的切换时间大约为2 ms，能够模拟快速移动的方位角目标(例如十字路口的交通穿行场景或超车场景)。

图2: ADAS传感器开发过程



雷达传感器概览

雷达模块参数 ¹⁾	雷达类型					
	近程	标准中程	高级中程	标准远程	高级远程	成像
频率范围	76 GHz至77 GHz, 77 GHz至81 GHz	76 GHz至77 GHz	77 GHz至81 GHz	76 GHz至77 GHz	76 GHz至77 GHz	76 GHz至81 GHz
典型带宽	200/1000/4000 MHz	1000 MHz	2000 MHz	500 MHz	1000 MHz	2000 MHz
距离	80 m	150 m	150 m	250 m	300 m	300 m
距离分辨率	300/30/3.5 cm	30 cm	7.5 cm	75 cm	30 cm	60 cm/9.5 cm
FOV ²⁾ 方位角/仰角	±60°/±0°	±30°/±0°	±50°/±15°	±15°/±5°	±15°/±10°	±50°/±15°
典型信道数量 (发射/接收)	3/4	4/8	8/12	4/8	12/16	48/48

¹⁾ 数据来自不同供应商的市售传感器数据表。

²⁾ 视野。

图3: R&S®QAT100提供两种不同型号



- R&S®QAT-B11标准前端**
- ▶ 96个发射天线和5个接收天线
 - ▶ 可选第二行独立的TX/RX天线
 - ▶ 模拟多达8个来自不同方向的回波



- R&S®QAT-B21单行MIMO前端**
- ▶ 96对发射/接收天线
 - ▶ 经优化以满足MIMO技术要求
 - ▶ 模拟多达4个来自不同方向的回波

和机械操作方法相比, R&S®QAT100具有以下优势

OTA雷达仰角和方位角激励, 无需移动天线

- ▶ 可切换的发射天线, 确保R&S®QAT100具有出色的分辨率、速度和可重复性以及更优越的射频性能
- ▶ 以电子方式切换天线, 不会导致射频电缆或其他移动部件出现磨损
- ▶ 无需进行机械切换

无干扰的射频环境: 前端无反射

PCB天线的雷达散射截面积(RCS)远小于其他系统中使用的标准增益喇叭天线的RCS。R&S®QAT-B50屏蔽系统提供屏蔽的射频环境。

- ▶ 操作可靠
- ▶ 减小其他测试与测量设备和外部干扰因素带来的影响(降低传感器本底噪声、抑制近距离目标和可能的多径反射)
- ▶ 无需使用试验台模式来测试雷达

可扩展的解决方案

结合使用多个前端来360°全方位模拟雷达环境:

- ▶ 非常灵活, 支持扩展
- ▶ 可以使用一个或多个前端模拟多个传感器的雷达FOV¹⁾
- ▶ 可单独使用, 或与R&S®AREG800A汽车电子雷达回波发生器组成一体化解决方案

抗振动: 非常适合安装在VIL试验台上

- ▶ 减少射频连接的数量
- ▶ 坚固的抗振动设计保证可靠性
- ▶ 适合在试验台上使用

¹⁾ 视野。

用例

R&S®QAT100采用模块化设置, 可用于各种不同应用来模拟雷达目标。

图4: 使用R&S®QAT100的雷达目标模拟用例



组件或功能测试

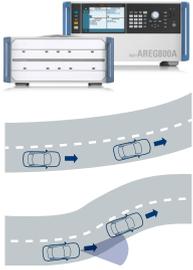
单个雷达传感器的组件测试是一个简单的测试用例。这可以测试雷达传感器能否正确检测到回波和在既定距离或以既定角度区分两个目标, 并测试雷达传感器的角分辨率。

场景测试

另一种测试用例包括场景测试, 例如涵盖多辆汽车、紧急制动系统或自适应巡航控制的交通场景。这种测试旨在模拟移动目标的方位角、距离、径向速度和大小。根据具体的场景情形, 可以模拟一个或多个传感器。

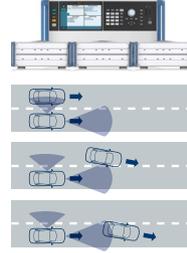
图5: ADAS传感器测试

基础ADAS传感器测试



- 包括:
- ▶ 一个R&S®QAT100高级天线阵列
 - ▶ R&S®AREG800A汽车电子雷达回波发生器
- 关键特性:
- ▶ R&S®QAT100A高级天线阵列提供4 GHz带宽
 - ▶ 具有不同距离、RCS、径向速度和方位角的动态人造目标
 - ▶ 动态目标: 可在R&S®QAT100的空隙和传感器间的距离高达3000 m的范围内模拟1到8个目标
 - ▶ 中频输入、中频输出和HIL接口

高级ADAS传感器测试



- 包括:
- ▶ 三个R&S®QAT100高级天线阵列 (最多可包含八个)
 - ▶ R&S®AREG800A汽车电子雷达回波发生器
- 关键特性:
- ▶ R&S®QAT100A高级天线阵列提供4 GHz带宽
 - ▶ 具有不同距离、RCS、径向速度和方位角的动态人造目标
 - ▶ 动态目标: 可在R&S®QAT100的空隙和传感器间的距离高达3000 m的范围内模拟1到8个目标
 - ▶ 中频输入、中频输出和HIL接口
 - ▶ 能够并行激励多个雷达传感器

R&S®QAT100功能多样, 能够支持雷达传感器价值链中的整个测试过程。

这包括早期阶段在传统的台式装置中独立使用R&S®QAT100来评估雷达传感器的性能, 和使用目标模拟器作为后端的雷达传感器模块HIL和VIL应用以使传感器符合OEM规范 (图6)。

SIMO前端

R&S®QAT-B11标准前端具有96个发射天线和5个接收天线, 这些天线被分为4个独立分段。配置符合SIMO传感器要求。R&S®QAT100可以使用行模式或段模式工作, 具体取决于任务需求。段模式将每一行天线分成四段, 每段配有单独的射频连接器, 最多可以模拟四个来自不同方向的目标。R&S®QAT-B11还可以额外配备一行TX/RX天线 (R&S®QAT-B2), 能够增加96个发射天线和5个接收天线, 最多可以模拟8个来自不同方向的目标或模拟整个阵列范围内的两个物体。

图6: ADAS传感器开发过程, 橙色为R&S®QAT100用例

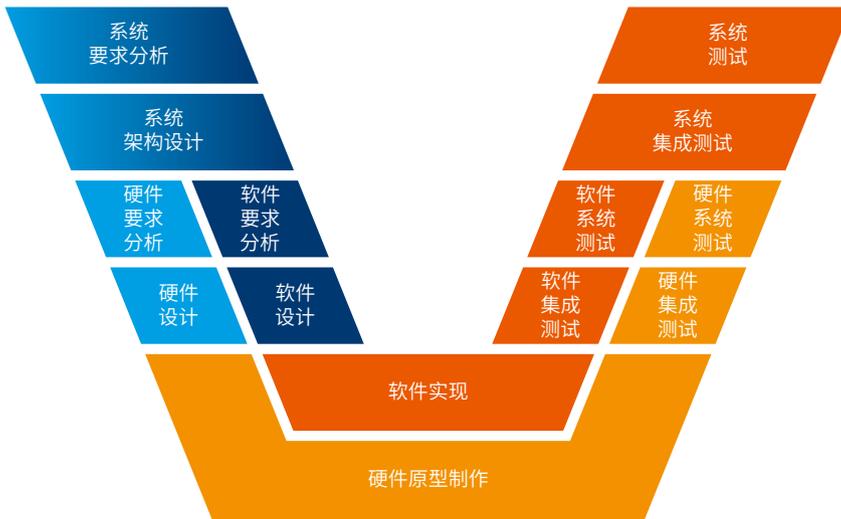
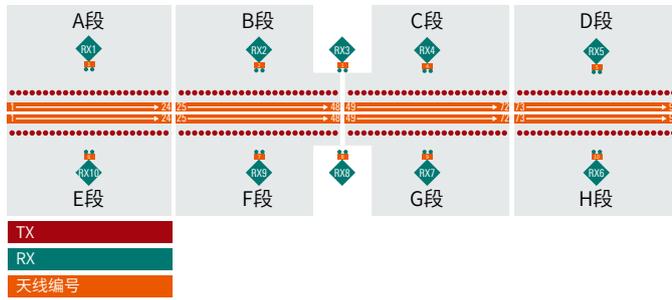


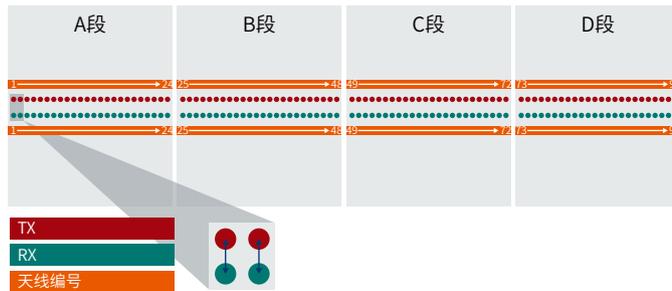
图7: R&S®QAT-B11标准前端和提供第二行共96个发射天线的R&S®QAT-B2



MIMO前端

RX和TX天线之间的偏移较大, R&S®QAT-B11会在不同角度出现跳接, 无法完全满足MIMO要求。R&S®QAT-B21单行MIMO前端具有一行接收天线和一行发射天线。每个发射天线均有一个配对的接收天线, 满足MIMO要求。96个接收天线和96个发射天线组成阵列, 能够减小相位误差, 提高三维空间回波分辨率, 轻松验证MIMO雷达。

图8: R&S®QAT-B21单行MIMO前端



测量装置

确定传感器和R&S®QAT100之间的距离

天线相互间隔3.7 mm (0.146 in), 整个仪器的宽度为351 mm (13.818 in)。装置可以根据传感器进行定制。R&S®QAT100专门针对典型的ADAS雷达发射功率而设计。

图9: 传感器布置和R&S®QAT100尺寸



R&S®QAT100的视野(FOV)和可实现的角分辨率取决于装置, 并按以下方法进行计算:

视野:
$$\alpha = 2 \cdot \tan^{-1} \left(\frac{351 \text{ mm}}{d} \right)$$

角分辨率:
$$\Delta\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{3.7 \text{ mm}}{d} \right)$$

不同距离时的FOV和角分辨率

距离(d)	视野(α)	角分辨率(Δα)
500 mm	38.7°	0.42°
700 mm	28.1°	0.30°
1000 mm	19.9°	0.21°
1500 mm	13.34°	0.14°
2100 mm	10.0°	0.10°

自由场衰减的计算方法如下:

$$10 \log_{10} = \left[\frac{4 \cdot \pi \cdot d \cdot f \cdot 10^9}{c_0} \right]^2$$

- π:= 3.1415...
- d:=被测雷达和R&S®QAT100之间的距离
- f:=频率
- c₀:= 299 792 458 m/s (光速)

不同距离和频率范围的衰减值如下所示：

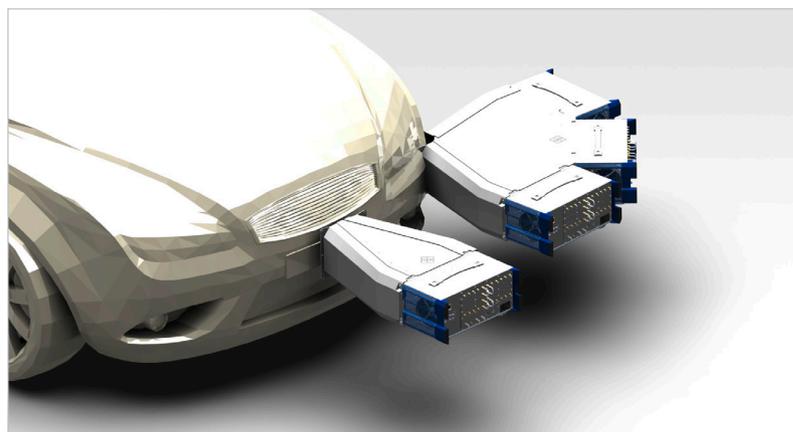
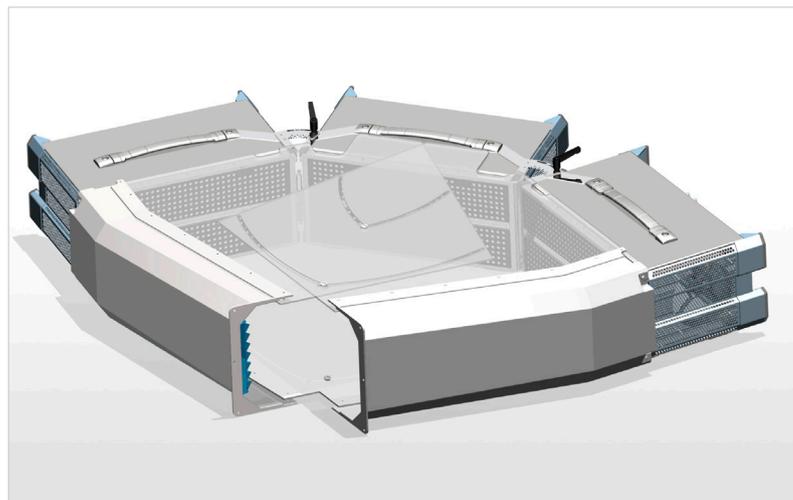
旷场衰减	76 GHz	77 GHz	78 GHz	79 GHz	80 GHz	81 GHz
0.5 m	64.0 dB	64.2 dB	64.3 dB	64.4 dB	64.5 dB	64.6 dB
1 m	70.1 dB	70.2 dB	70.3 dB	70.4 dB	70.5 dB	70.6 dB
1.5 m	73.6 dB	73.7 dB	73.8 dB	73.9 dB	74.0 dB	74.1 dB
2 m	76.1 dB	76.2 dB	76.3 dB	76.4 dB	76.5 dB	76.6 dB
2.5 m	78.0 dB	78.1 dB	78.2 dB	78.4 dB	78.5 dB	78.6 dB
3 m	79.6 dB	79.7 dB	79.8 dB	79.9 dB	80.1 dB	80.2 dB
3.5 m	80.9 dB	81.1 dB	81.2 dB	81.3 dB	81.4 dB	81.5 dB
4 m	82.1 dB	82.2 dB	82.3 dB	82.4 dB	82.6 dB	82.7 dB
4.5 m	83.1 dB	83.2 dB	83.4 dB	83.5 dB	83.6 dB	83.7 dB
5 m	84.0 dB	84.2 dB	84.3 dB	84.4 dB	84.5 dB	84.6 dB

尽可能降低外部干扰

为了尽可能降低外部干扰的影响，附加的屏蔽系统提供近乎无干扰的射频环境，非常适合R&S®QAT100。屏蔽系统可在实验室的工作台或车辆试验台上使用。屏蔽系统为被测雷达提供无多径效应和反射的环境。与R&S®QAT100结合使用时，表面覆有吸波材料的小型贴片天线提供无干扰的射频前端，并抑制近距离目标和可能的多径反射(见图10)。

图10:屏蔽和安装装置

屏蔽系统连接R&S®QAT100，并屏蔽外部信号对雷达的干扰。屏蔽系统具有不同尺寸，具体取决于所连接的R&S®QAT100高级天线阵列的数量(例如R&S®QAT-Z50屏蔽系统和R&S®QAT-Z53三重屏蔽系统)。



仪器装置和雷达回波发生器连接

雷达回波发生器的连接数量和类型视测试装置的复杂程度而定。装置的复杂程度取决于模拟的雷达物体、R&S®QAT100高级天线阵列或接收天线的数量(接收天线始终接收信号,但只有在连接到后端时才能转发信号)。

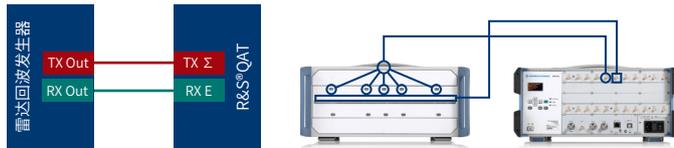
根据单独受控的天线分段的数量,雷达回波发生器必须提供相应数量的输入端口:

- ▶ 将R&S®QAT连接到LAN
- ▶ 将TX连接器连接到雷达回波发生器的“TX IF Out”。TX连接器有两种用途:

图11: TX连接器的用途

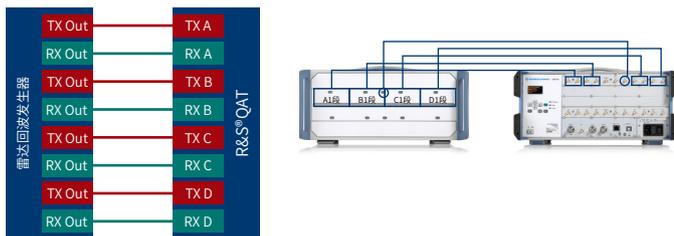
用途1

将发射信号连接至“TX Σ”连接器。所有发射天线共享同一个信号。



用途2

将发射信号从“TX A”连接至“TX D”连接器。每个天线分段可以发射不同信号,每行TX天线能够模拟多达四个目标。将RX天线连接至雷达回波发生器的“RX IF In”。如果只需从雷达回波发生器接收一个信号,将“RX Select”连接到一个“RX IF In”。如要连接频谱分析仪等其他外部设备,使用“RX Select”连接器。



如要同步参考频率,将频率参考(输入或输出)连接到雷达回波发生器。

配备提供第二行共96个发射天线的R&S®QAT-B2后,R&S®QAT100具有两行发射天线且每行被分为四个独立分段,单机即可连接八个单独受控的中频通路。这非常适合与装备齐全的R&S®AREG800A汽车电子雷达回波发生器结合使用,因为后者能够模拟八个完全独立的人造目标。八个中频通路可在一个R&S®QAT100分段中灵活受控。

为了模拟近距离目标,R&S®QAT100可以配备模拟步进延迟线(ASDL)来缩短最小延迟线。此延迟线能够模拟1.8 m至12.9 m范围内的近距离雷达目标,这对于雷达回波发生器而言非常困难。这样还可以单独使用R&S®QAT100。为了测试雷达传感器的角分辨率,雷达传感器在既定距离或以既定角度区分两个目标。

与目标模拟器相结合时,R&S®AREG800A能够模拟移动目标。

生成的回波总数		1 (可调)
距离	最小	< 1.8 m ²⁾
	最大	12.9 m ²⁾
衰减	分辨率	0.1 m
	范围	60 dB
	分辨率	1 dB

²⁾ 无空气间隙。

总结

自动驾驶辅助系统迫切需要从检测环境中目标的多个雷达传感器获取可靠的高质量数据。汽车电子公司和供应商清楚自动驾驶场景中的传感器测试非常复杂。

R&S®QAT100是一款完全电子可控的天线阵列，能够在76 GHz至81 GHz的频率范围内激励汽车电子雷达传感器。R&S®QAT100采用模块化的设计概念，支持汽车电子OEM和合作伙伴专注于开发和测试ADAS系统。

采用开放式架构的OEM支持供应商和服务提供商轻松将R&S®QAT100平台集成到商用3D建模、硬件在环系统和现有的测试与模拟环境中。这样能够在整个价值链中更加快速地测试汽车电子雷达，包括简单的功能性组件验证和高度复杂的多目标场景测试。

优点总结

优点	描述
无需进行机械移动，具有抗振动特性，保证测量准确且可重复	R&S®QAT100具有可切换的发射天线，提供出色的分辨率、速度和可重复性。以电子方式切换天线，不会导致射频电缆或其他移动部件出现磨损。4 GHz瞬时带宽支持76 GHz至81 GHz频率范围内的高级汽车电子雷达传感器。
支持高级场景和可扩展解决方案	天线仅间隔3.7 mm，提供优越的角分辨率，能够真实模拟复杂的雷达场景。多个R&S®QAT100装置可以组合使用，从而扩大视野。目标模拟器适用于复杂的ADAS场景，保证在集成多个仪器的高级天线阵列中同步所有的R&S®QAT100阵列。
提供屏蔽的环境，减少反射和多径效应	R&S®QAT-Z50屏蔽系统和R&S®QAT-Z53三重屏蔽系统确保为R&S®QAT100提供近乎无干扰的射频环境。小型贴片天线的表面覆有吸波材料，能够提供无干扰且RCS非常小的射频前端，从而降低传感器本底噪声，并抑制近距离目标和可能的多径反射
在独立模式下快速执行功能性测试	借助R&S®QAT-B5模拟步进延迟线(ASDL)，R&S®QAT100可以在独立模式下运作。在此模式下，R&S®QAT100能够在延迟范围内模拟近距离回波，不仅快速执行功能性测试，还可以节省空间。