

如何选择24GHz/77GHz汽车雷达应用的射频微波电路PCB板材

将来某一天，自动驾驶车辆将可能比现在驾驶员驾驶的机动车辆更加安全。但在驾驶员开始放开方向盘之前，一些电子功能部件必须成为商用车辆的标准配置，包括毫米波雷达系统，摄像头和（或）激光雷达。与公路相比，雷达似乎与战场更容易联系在一起。但其正稳步成为一种非常可靠的传感器技术，作为现代汽车中先进驾驶辅助系统（ADAS）技术的一部分为现代商用车辆提供电子安全功能。毫米波雷达系统是汽车工业中的一项成熟技术，作为第一个主动安全功能的制动辅助系统，自1996年以来一直由梅赛德斯 - 奔驰公司使用，现在通常用于现代ADAS系统中的盲点检测和防碰撞保护。

毫米波雷达有助于自动驾驶汽车成为可能，但它们需要多个要素相结合，包括能为频率在77 GHz以上的电子设备和电路提供稳定性能的电路材料。例如，在ADAS应用中，电路材料要求能够支持在24, 77（或79）GHz的微波和毫米波信号的传输线设计，实现损耗最小，同时在宽工作温度范围内提供一致的可重复性能。幸运的是，罗杰斯公司可提供这种电路材料，其具有从微波到高频毫米波频段的ADAS应用所需的一致性能。

作为车辆ADAS系统电子感知保护的一部分，车载雷达系统会与其他一些技术一起使用（图1）。雷达系统以无线电波的形式发送电磁（EM）信号，并接收来自目标（如另一辆车）的无线电波的反射信号，其通常为多个目标。雷达系统可以从这些接收到的反射信号中提取相应目标的信息，包括它的位置，距离，相对速度和雷达截面（RCS）。范围(R)可以基于光速(c)和信号所需的往返时间(τ) 确定，往返时间即无线电波从雷达能量源(雷达发射机)到目标，然后返回到雷达能量源的时间。在车载雷达系统中,雷达信号的发生和接收就是PCB天线。R的值可以通过简单的数学公式求得，即光速与从雷达信号源到目标并返回到雷达源的往返传输时间的乘积除以2： $R = c\tau / 2$ 。

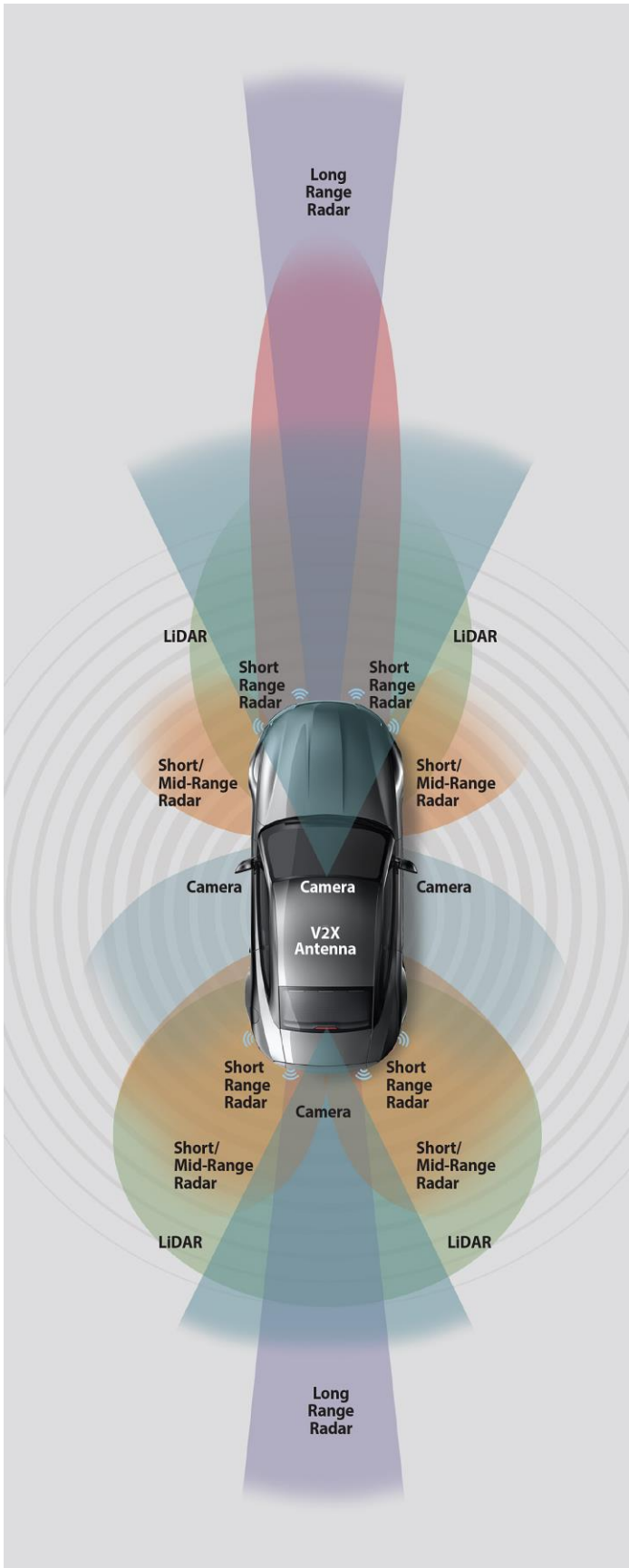


图1: 作为ADAS主动安全的一部分, 车辆配备了各种传感器, 包括摄像机, 激光雷达和雷达系统。

当多个雷达目标距离较近时, 例如在道路拥堵时的两辆车, 就需要精确的雷达距离分辨率来区分被探测到的物体。可以利用较短的雷达脉冲探测目标, 尽管较短的脉冲或任何类型的信号都会只有较少的能量从目标反射回雷达接收器。通过使用脉冲压缩可以将更多的能量添加到更短的脉冲中, 其中相位或频率调制可以提高其功率水平。为此, 基于调频连续波 (FMCW) 信号 (也称为“线性调频”信号) 的雷达通常用于车辆雷达系统。

对目标速度的估计可以通过多普勒效应来实现, 多普勒效应是指根据目标相对于雷达发射机/接收机的运动而从雷达获得的目标反射的信号频率的变化。多普勒频移与波长成反比: 根据雷达目标是接近还是远离雷达源, 分别为取正或负值。

FMCW或线性调频雷达系统可以测量多个目标的速度, 距离和角度。虽然工作于24GHz下的窄带 (NB) 和超宽带 (UWB) FMCW雷达得到了广泛的应用, 但该频段的应用正在逐渐减少。在车载安全系统中越来越多地使用1GHz带宽的窄带77-GHz雷达系统。此外, 汽车行业正在研究UWB 79-GHz雷达, 以备未来的应用。CW雷达相对简单, 可以检测目标的速度, 但不能检测目标的距离。脉冲连续波雷达还可以使用多个多普勒频率估计距离。脉冲持续时间和脉冲重复频率 (PRF) 是设计性能可靠的脉冲连续波雷达系统的两个关键参数。

由于脉冲压缩, FMCW雷达的距离分辨率与FMCW信号的带宽成反比, 而与脉冲宽度无关。短程FMCW雷达使用UWB波形可以高分辨率的测量小距离。多普勒分辨率是脉冲宽度和用于估计的脉冲数量的函数。任何雷达系统中的杂波都是由感兴趣目标以外的物体反射的雷达信号产生的噪声。在任何雷达系统中, 与周围的其他物体相比, 雷达必须从众多被雷达信号照射的物体中识别出有效目标。

车载电子安全系统利用其他物理参数 (如视觉和光线) 向车辆的ADAS域控制器提供可用数据, 域控制器是执行传感器信息融合以帮助安全引导车辆的信息处理中心。前置摄像头用于车道偏离警告和物体检测的成像, 而后置摄像头可以根据需要提供反向和附加成像。光检测和测距 (LiDAR, 激光雷达) 系统将红外 (IR) 光的脉冲传输到目标 (例如另一辆车或停车场内的墙壁), 并检测返回到源的IR脉冲, 基于光的传播速度来计算源和目标之间的距离。利用关于IR脉冲的长度和波长以及从反射并返回到车辆中的IR检测器/接收器所需的时间等细节参量, 可以计算IR照射的物体的位置和相对运动。不幸的是, 车辆激光雷达系统的性能和有效性极易会受到环境条件的严重影响, 如雪、雨、雾等。

车载雷达系统可以LiDAR系统的方式进行工作, 但是毫米波频率的雷达其对应的波长更小。车载雷达被指定在某些特定的频率范围内使用, 例如在24, 77和79GHz。这些频段已被多个标

准组织批准使用，例如美国的联邦通信委员会(FCC, www.fcc.org)和欧洲的欧洲电信标准协会(ETSI,www.etsi.org)都已批准其使用。

目前，各种雷达被用作ADAS应用的一部分，FMCW信号由于在测量多目标的速度、距离和角度方面的有效性而得到了广泛的应用。汽车雷达有时会使用工作于24GHz频段下的窄带NB和超宽带UWB设计。24GHz窄带车载雷达占用从24.05至24.25 GHz的200 MHz范围，而24 GHz的超宽带雷达的总带宽达5 GHz，从21.65 GHz至26.65 GHz频段范围内。窄带24 GHz车载雷达系统可提供有效的短距离交通目标检测，并用于盲点检测等简单功能。超宽带车载雷达系统已被应用于更高的距离分辨率功能，如自适应巡航控制（ACC），前向碰撞警告（FCW）和自动紧急制动系统（AEB）

然而，随着全球移动通信应用继续消耗“较低”频率（包括24 GHz附件）的频谱，车载雷达系统的频率变得更高，可用的具有更短的波长的毫米波频谱成为选择，频率分别为77和79 GHz。事实上，日本已不再使用24-GHz超宽带车载雷达技术。根据各地区标准组织ETSI和FCC分别设定的时间表，它将在欧洲和美国逐步被淘汰，并被更高频率的窄带77GHz和超宽带79GHz车载雷达系统取代。77GHz和79GHz雷达将以某种形式作为用于自动驾驶汽车的功能模块。

材料要求

自动驾驶汽车将采用许多不同的电子技术来提供引导，控制和保障安全，包括使用光和电磁波的传感器。毫米波频率的雷达将广泛使用的信号频率范围和电路技术一度被认为是独特的、实验性的，甚至仅被用于军事用途的。毫米波雷达使用的增加是越来越多的电子技术和电路集成到机动车辆中的一种趋势，为驾驶员提供方便和支持，使车辆行驶更安全，并使车主和操作员从驾驶车辆的“任务”中解放出来。在商用机动车辆中使用高频电子设备甚至可能触发驾驶员与车辆之间的全新方式。至少，使用毫米波雷达等技术将改变“驾驶”机动车辆的定义。

这些车载毫米波雷达系统的设计通常以天线开始，并且该天线通常是高性能印刷电路板（PCB）天线，它们被安装在不同位置，通过发射和接收低功率毫瓦级毫米波信号来检测或“照射”目标。车辆的雷达和其他电子系统使用不同的方法来提供关于机动车周围环境的信息以供该车辆的周围物体检测和分类算法使用。

车载雷达的信号可能是脉冲或调制的CW形式。车载雷达系统用于24GHz下的盲点检测已有一段时间。然而，随着时间的推移以及无线通信等其他功能的频谱竞争的加剧，车载雷达系统正在向高频移动，带宽变窄，如以77GHz为中心的约1GHz宽的频带范围，以及79 GHz频段。无论是在24，77或79 GHz，PCB天线的性能对于这些车载雷达系统来说至关重要，它们需要向目标发射并几乎瞬间接收如目标是另一辆车的反射信号。关键的PCB天线性能参数包括增

益，方向性和效率，低损耗电路材料对于获得良好的PCB天线性能至关重要（图2）。PCB天线的长期可靠性也非常重要，因为这些紧凑型天线及其高频收发电路同时还必须可持续不间断地工作（当车辆运行时），并能在更具挑战性的操作环境——商业机动车辆——上可靠地运行。

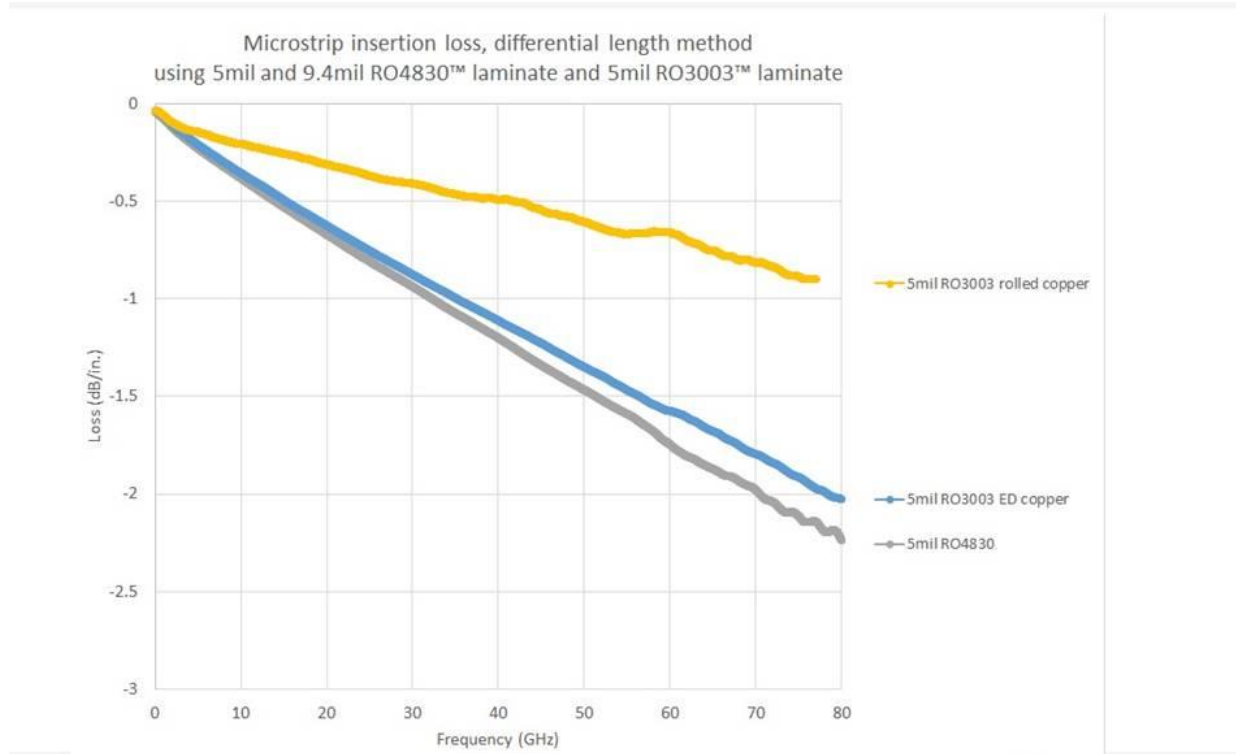


图2：电路材料的低损耗对于PCB天线获取高增益和方向性至关重要，尤其是在毫米波频率下。

除了使用雷达，激光雷达和声纳之类的引导/警告系统之外，机动车辆也将使用与其他车辆的无线通信来创建对周围环境的电子感知，例如交通和障碍物。这种无线通信将包含PCB天线和 高频电路，作为“车联网”或“V2X”通信系统的一部分，以保持对其他车辆及其周围交通的感知。包括通信、激光雷达和雷达在内的多种电子技术的结合，将有助于在每辆汽车周围形成一个安全屏障，并为其中央控制计算机提供安全自动驾驶汽车所需的输入数据。

雷达技术与其他车载电子安全技术相比，具有以下优势：在各种恶劣天气条件下，即使在基于声光的ADAS技术（包括摄像机）可能严重退化的情况下，它也能有效运行。雷达系统具有能全天候工作的优势，但是用于自动驾驶汽车的雷达系统也需要稳定的高性能PCB天线来实现发送和接收功能。要PCB天线实现角度和高横向分辨率以及可重复一致性能，这就要求电路材料的特性能够支持其在如此高的频率与环境中进行工作。

用于毫米波频率下的高性能PCB天线材料必须具有低损耗特性，并且材料的不同批次以及车辆环境（例如温度和湿度）的变化条件下仍具有良好的介电常数（Dk）容差变化。此外，车载毫米波雷达PCB天线的电路材料还应具有光滑的铜箔表面，低损耗因数（Df）和低吸湿性。用于这种高频毫米波PCB天线的电路材料的常用选择就是来自Rogers Corp.的5-mil RO3003™层压板(图3)。它具有毫米波电路所需的严格控制的介电常数(Dk)，其10 GHz的DK值为 3.00 ± 0.04 之内。其Dk值随温度的变化，即介电常数温度系数(TCDk) 很小，仅为-3 ppm/°C(图4)。RO3003层压板还具有毫米波电路所需的光滑铜箔表面，10 GHz时Df值为0.0010，以及低的吸湿率0.04%。此外，它不含有玻璃布，避免了毫米波频率下的玻璃编织效应产生的不稳定和不一致性。

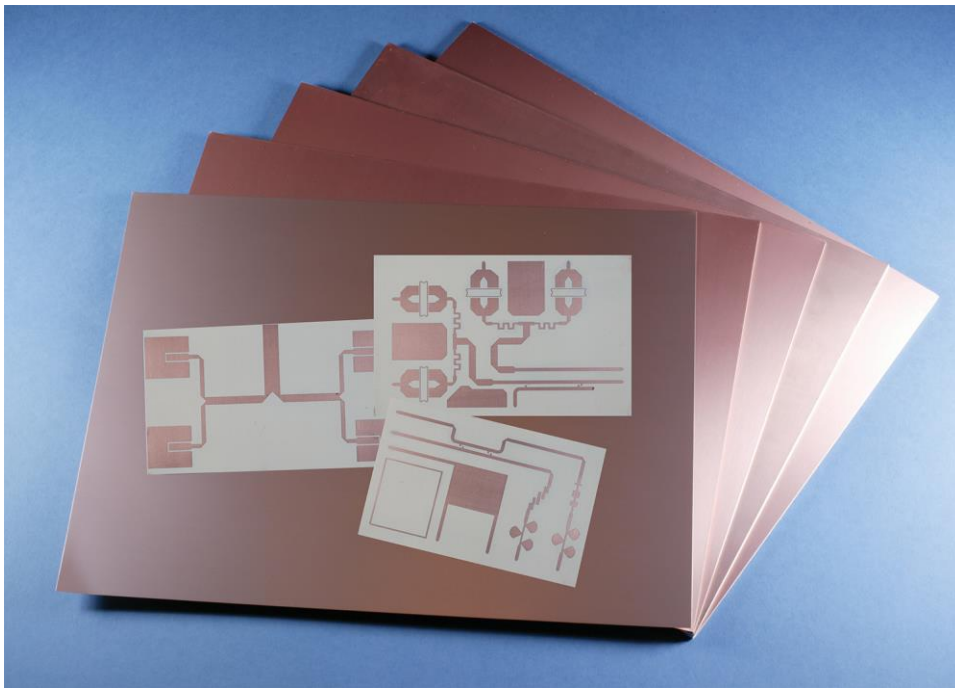


图3：RO3003™电路层压板具有汽车高性能毫米波雷达PCB天线所必需的特性。

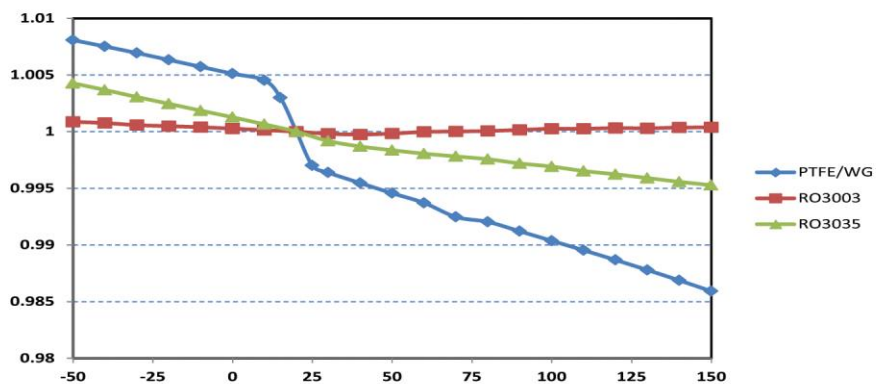


图4：RO3003™电路层压板在不同温度下的Dk变化几乎可以忽略不计，TCDk仅为-3 ppm/°C。

罗杰斯公司的RO4000®层压板已成为24 GHz车载雷达传感器与ADAS中用于短距离、盲点检测等雷达天线应用中可靠的电路材料。自动驾驶汽车的发展将会在每一辆车辆中使用许多不同的传感器系统，作为一种“系统之系统”的形式，协调多个雷达系统、声纳、激光雷达和照相机等传感器，为自动驾驶汽车提供许多不同的电子“有利点”。较低频率的24-GHz雷达已用于停车辅助功能和较短距离的防碰撞预警。高频的车载雷达系统，目前频率在77 GHz——最终会是79 GHz频段——将用于中距离功能，如变道辅助（LCA）和远程功能、自适应巡航控制（ACC）、前方碰撞警告以及自动紧急制动系统。自动驾驶汽车在移动时的电子检测和警报系统产生的数据量将非常庞大，显著需要很高的车载信号处理和微处理器。

当然，在这样高的频率下产生和维持信号性能从来都不是一件简单的事。对于这些高频毫米波天线和电路，即使在车辆环境中，罗杰斯公司的RO3000®和RO4000层压板也可以提供高频率下稳定可靠的电气性能。真正完全自主的自动驾驶汽车需要对所有面进行检测，以形成车辆周围360度的环境监视并根据不同情况引导车辆，从而取代人类驾驶员对外部环境的反应。雷达只是未来自动驾驶汽车的电子技术之一。自动驾驶汽车必须被不同类型的传感器包围，从而有助于不断收集环境数据，以保障汽车及其乘客的安全(其中一个可能被认为是驾驶员)。自动驾驶汽车也将依赖一个被称为“传感器融合”(sensor fusion)的信息处理，将许多不同传感器收集到的数据整合为可用的信息，并将其转化为安全、舒适的驾驶体验。

为准确收集周外环境如自行车，自行驾驶车辆等所需的数据，许多小型多层印刷电路板天线和其他传感器电路将需要采用稳定的低损耗电路材料，例如罗杰斯公司的RO3000，RO4000和Kappa™438层压板，其在射频到毫米波频率具有电路所需的性能和稳定性。

电路的尺寸随着频率的增加而减小，特别是工作频率为77和79 GHz时，因为这些信号波长非常小。各种工作在该频段下的电路传输线，包括微带线、带状线、和共面波导(CPW)电路等，由于电路尺寸很小就要求非常材料具有良好的一致和可预测性，如RO3003™和RO4830™层压板。高频电路材料，例如Rogers RO3003层压板，在不同电路和不断变化的环境下仍保持一致性特别良好的Dk性能，同时，具有毫米波频率下所需的低损耗因子（Df）或损耗（图5）。RO4830热固性层压板非常适合对价格敏感的毫米波产品应用，它也是传统PTFE基层压板的可靠、低成本的替代产品。RO4830层压板在77 GHz时的介电常数为3.2。LoPro®反转铜箔技术有助于RO4830层压板在77GHz时的插入损耗优化，其插入损耗值为每英寸2.2dB。

RO3000和RO4000电路材料的出色机械和电气性能水平可以与RO4400™粘接材料的相结合，并在79 GHz时表现非常好和一致的低损耗电路特性。这些关键的电路材料将提供可重复

性且可靠的电气性能，并使传感器获得自动驾驶汽车的车载处理器使用的可靠的数据，以保证可以车辆的安全行驶。