

智能驾驶系统中的电磁兼容问题及解决方案

李 军

纵目科技(上海)股份有限公司 上海 200120

摘要: 随着汽车工业的智能化、网联化发展,智能驾驶系统已成为汽车行业的核心趋势之一。然而,电磁兼容性(EMC)对智能驾驶系统的稳定性和安全性构成了严峻挑战。本文旨在深入探讨智能驾驶系统中电磁兼容问题的本质、影响及其解决方案,为提升智能驾驶系统的电磁兼容性提供理论依据和技术指导。

关键词: 智能驾驶系统;电磁兼容;解决方案;实时监测

引言

电磁兼容性(EMC)是指设备或系统在其电磁环境中符合要求运行,并不对其环境中的任何设备产生无法忍受的电磁干扰的能力。智能驾驶系统集成了大量高精度传感器、控制器及通信模块,这些电子设备间的电磁相互作用复杂多变,对EMC提出了更高要求。本文将从电磁干扰的来源、影响及解决方案三个方面展开论述。

1 智能驾驶系统中电磁干扰的来源与影响

1.1 电磁干扰的来源

1.1.1 内部干扰

(1) 电动机:在高功率水平下运行时,电动机不仅产生机械动力,还伴随强烈的电磁辐射(EME),这些辐射通过车辆的金属结构和电缆传导,对周围的电子设备造成干扰。(2) 电源转换器:如DC/DC转换器,这些设备在电力转换过程中会产生高频开关信号,这些信号不仅通过电源线传导,还可能通过空间辐射的形式影响其他系统。特别是绝缘栅双极晶体管(IGBT)和碳化硅(SiC)金属-氧化物半导体场效应晶体管(MOSFET)等高速开关器件,它们在高频工作下会产生显著的电磁干扰。(3) 开关电源:开关电源在开启和关闭过程中会产生快速的电压和电流变化,这些瞬态过程伴随着强烈的电磁辐射。这些辐射可能通过电源线、地线以及空间耦合到其他电子设备上,造成干扰。(4) 高速信号传输线:在智能驾驶系统中,存在大量的高速信号传输线,如CAN总线、Ethernet等。这些信号线在传输高速数字信号时,由于信号线的阻抗不匹配、信号反射等因素,会产生电磁辐射。此外,信号线之间的串扰也是一种常见的内部干扰现象。(5) 其他电子设备:如车载电脑、传感器、控制器等,这些设备在工作时也会产生电磁辐射。特别是当它们共享同一电源网络或地线时,可能通过共阻抗耦合的方式相互干扰。

1.1.2 外部干扰

(1) 雷电:雷电是大气中的静电放电现象,伴随着强烈的电磁辐射。当雷电击中车辆附近时,其产生的电磁场可能对车内的电子设备造成严重干扰甚至损坏。

(2) 太阳辐射:虽然太阳辐射本身对智能驾驶系统的直接影响较小,但太阳活动(如太阳风)可能引发地磁暴等自然现象,对无线电通信和导航系统产生干扰。(3) 无线电广播、移动通信基站:这些设施在正常工作时向周围空间发射电磁波。当智能驾驶系统接近这些设施时,可能受到其电磁辐射的干扰^[1]。(4) 路侧智能设备、网联设备:如交通信号灯、监控摄像头、无线充电桩等。这些设备在工作时也可能产生电磁辐射,对行驶中的车辆造成干扰。特别是无线充电桩在充电过程中会产生强大的电磁场,对附近的智能驾驶系统构成潜在威胁。

1.2 电磁干扰的影响

1.2.1 系统故障

一是电磁干扰可能导致传感器误读。一旦传感器受到电磁干扰,其采集到的信息可能不准确或失真,进而导致控制器做出错误的决策。二是控制器误判。如果输入信息不准确或受到干扰导致处理结果偏差较大,控制器的决策也可能出现错误。例如,在紧急制动情况下如果控制器误判制动距离或制动力度可能导致制动不及时或过度制动造成安全隐患。

1.2.2 数据丢失与误差累积

智能驾驶系统依赖于大量数据的实时传输和处理以实现精确控制和决策。一旦数据丢失或错误将直接影响系统的决策准确性和稳定性^[2]。例如,在车辆定位导航过程中如果GPS信号受到干扰导致定位数据不准确将影响车辆行驶路线的精确性甚至导致迷路或误入危险区域。此外误差累积也是一个严重问题即使单个数据包的误差很小但在长时间、大数据量的传输过程中误差可能会逐渐累积最终导致系统性能显著下降甚至失效。

1.2.3 通信中断

外部电磁干扰可能干扰车载通信系统导致通信中断或信号质量下降。这将直接影响车辆与外部设备（如基站、路侧设备等）的通信连接降低系统的整体性能和可靠性。例如，在车联网环境下如果车辆与云端服务器之间的通信受到干扰将导致实时路况信息无法及时更新影响车辆行驶路线的选择和决策。

1.2.4 电磁安全问题

严重的电磁干扰还可能对人体健康构成威胁虽然这种情况在智能驾驶系统中相对较少见但仍需引起关注。例如长时间暴露在强电磁辐射环境下可能对驾驶员和乘客的神经系统、心血管系统等造成不良影响。此外电磁干扰还可能对车辆内部的电子元件造成损害降低其使用寿命和可靠性增加维修成本和安全风险。

2 智能驾驶系统中电磁兼容问题的解决方案

2.1 优化系统设计

2.1.1 合理布局与布线

在车辆设计初期，应充分考虑电子设备间的电磁兼容性，通过合理布局与布线来减少电磁干扰。具体措施包括：将产生电磁辐射较大的设备（如大功率电气模块、开关电源等）与对电磁干扰敏感的设备（如高精度传感器、控制器等）分隔开，避免它们之间的直接电磁耦合。同时，应确保设备间的散热通道畅通，避免因设备过热而加剧电磁辐射问题。高速信号传输线应尽量远离电源线和大功率设备，以减少串扰和电磁辐射的干扰。信号线应采用双绞线或同轴电缆等屏蔽措施，降低信号传输过程中的电磁辐射和外界干扰。合理的接地设计对于减少电磁干扰至关重要。应确保车辆各部分的接地电阻尽可能小，且接地路径清晰、可靠。对于敏感设备，应采用单点接地或多点接地等接地方式，以减少地电位差引起的共模干扰。

2.1.2 屏蔽设计

根据电磁干扰的频率特性和屏蔽要求，选择合适的屏蔽材料。对于低频干扰，应选用导电率较高的材料；对于高频干扰，则应选用导磁率较高的材料。同时，吸波材料也是解决电磁干扰问题的重要手段之一，它可以将电磁波的能量转化为热能从而减少电磁波的干扰。对于关键电子部件（如传感器、控制器等），应采用屏蔽材料或设计屏蔽结构来包裹或隔离这些部件^[3]。屏蔽结构应具有良好的导电性和导磁性以有效地吸收或反射电磁波减少电磁辐射和传导干扰对系统的影响。车辆中存在大量的接缝和孔洞这些缝隙可能成为电磁波泄漏的途径。因此需要对这些缝隙进行屏蔽处理例如使用导电胶带、导电橡胶或簧片等材料来填充缝隙实现电磁密封。

2.1.3 电源管理

采用低噪声、高效率的开关电源设计减少电源转换过程中的电磁辐射和传导干扰。同时应合理设计电源的滤波电路以抑制高频噪声的产生和传播。在电源输入端和输出端采用共模线圈、低通滤波器等噪声抑制措施进一步减少电源噪声对系统的影响。共模线圈可以有效地抑制共模噪声，而低通滤波器则可以滤除高频噪声成分确保电源输出的稳定性和纯净性。

2.2 EMC仿真设计

EMC仿真设计依赖于专业的仿真软件，如XFDTD、HFSS、CST Studio Suite等。这些软件能够模拟电磁场的分布和传播，预测设备间的电磁干扰情况。通过仿真，设计师可以在产品制造之前发现潜在的EMC问题，并进行优化设计。

2.2.1 仿真流程

模型建立：基于车辆CAD模型，简化成适合电磁仿真的几何模型。提取关键零部件的集总参数，建立精确的电磁仿真模型（如Black-Box模型、White-Box模型、SPICE模型）。

参数设置：根据实际工作环境，设置仿真频率范围、边界条件、激励源等参数。考虑材料属性对电磁特性的影响，确保模型材料的准确性。

仿真分析：进行时域和频域分析，观察电磁场的分布和传播情况。评估不同设备间的电磁耦合效应，识别潜在的干扰源和敏感点。

结果验证与优化：通过实验数据验证仿真结果的准确性。根据仿真结果，调整设备布局、布线、屏蔽设计等，优化EMC性能。

仿真要点：

（1）点火系统EMC仿真：基于SABER软件，对点火系统进行EMC仿真分析，提取关键参数，建立仿真模型，分析点火过程中产生的电磁辐射及其对周围设备的影响。

（2）电机控制器仿真：利用VHDL-AMS进行电机控制器的仿真分析，重点关注IGBT模型和电机空载系统模型在瞬态干扰下的表现。

（3）高压屏蔽线缆仿真：通过Maxwell 3D建立高压屏蔽线缆的标准模型，进行参数化分析，优化设计以减少电磁辐射和传导干扰。

2.3 加强电磁兼容性测试

2.3.1 实施全面的EMC测试方法

（1）辐射发射测试：包括电场辐射发射、磁场辐射发射，评估设备通过空气中的电磁波辐射产生的电磁干

扰。测试时,应将设备置于无反射的屏蔽室内,使用EMI接收机等设备测量设备在不同频率范围内的辐射功率密度。(2)传导发射测试:包括电压法、电流法、瞬态传导发射,评估设备通过电缆、导线等传导途径产生的电磁干扰。测试时,应将设备连接到测试仪器上,通过测量设备在各种工作模式下的传导噪声来评估其传导发射性能。(3)辐射抗扰度测试:包括大电流入法、电波暗室法、便携式发射机抗干扰、混响室法、磁场抗干扰等,评估设备对外部电磁辐射的抵抗能力。测试时,应使用信号发生器产生特定频率和强度的电磁波照射设备,并观察设备是否能正常工作。(4)传导抗扰度测试:包括瞬态传导抗干扰、瞬态耦合抗干扰,评估设备对外部电磁干扰通过传导途径进入的抵抗能力。测试时,应将干扰信号注入到设备的电源线、信号线等传导路径上,并观察设备是否能正常工作。(5)静电抗干扰测试:静电抗干扰测试是评估设备对静电放电(ESD)引发电磁干扰的抵抗能力。测试时,通常使用静电放电发生器模拟人体或物体带电后接触设备时产生的静电放电现象。测试过程中,需观察设备在受到静电放电干扰时的工作状态,如是否出现功能异常、数据丢失或重启等问题。

2.3.2 定期评估与更新

需要定期对电磁兼容性解决方案进行评估与更新。定期对智能驾驶系统进行EMC测试,评估其电磁兼容性是否符合最新标准和法规要求。同时,还需要关注行业内的最新动态和技术进展,及时了解可能影响电磁兼容性的新因素。根据评估结果和最新技术进展,及时更新电磁兼容性解决方案。这可能包括改进设备布局与布线、优化屏蔽设计、升级电源管理等方面。通过不断更新解决方案,可以确保智能驾驶系统始终符合最新标准和法规要求,保持稳定的电磁兼容性能。

2.4 改进抗干扰算法

2.4.1 信号处理技术

具体包括:(1)差分信号传输:差分信号传输是一种有效的抗干扰技术,它通过传输两个相位相反的信号来抑制共模干扰。在智能驾驶系统中,采用差分信号传输可以显著减少电磁干扰对信号完整性的影响,提高数据传输的可靠性和稳定性。(2)展频时钟发生器:展频时钟发生器通过扩展时钟信号的频谱宽度,将能量分散到更宽的频率范围内,从而降低特定频率点的电磁辐射

强度。这有助于减少对其他电子设备的干扰。

2.4.2 自适应算法

自适应算法能够根据电磁环境的变化自动调整系统的工作参数,以适应不同的电磁环境。具体包括:一是环境感知与建模:智能驾驶系统通过集成多种传感器(如雷达、摄像头、激光雷达等),实时感知周围的电磁环境。基于感知数据,系统可以建立电磁环境的动态模型,为自适应算法提供决策依据。二是参数调整与优化:根据电磁环境模型,自适应算法可以动态调整系统的工作参数(如信号处理参数、通信协议参数等),以优化系统性能并减少电磁干扰的影响。例如,在电磁干扰较强的环境下,系统可以自动降低通信速率或增加信号冗余度,以提高数据传输的可靠性。

2.4.3 容错机制

容错机制能够在部分传感器或控制器失效时,确保系统仍能维持基本功能,避免安全事故的发生。具体包括:(1)冗余设计:通过为关键部件(如传感器、控制器等)设计冗余备份,当某个部件失效时,备份部件可以立即接管工作,确保系统连续运行。(2)故障检测与隔离:通过集成故障检测与隔离算法,系统可以实时监测各部件的工作状态,一旦发现故障立即进行隔离处理,防止故障扩散并影响系统整体性能。

结语

电磁兼容性问题智能驾驶系统发展过程中的重要挑战之一。通过优化系统设计、加强电磁兼容性测试、改进抗干扰算法等措施,可以有效提升智能驾驶系统的电磁兼容性,确保其在复杂电磁环境下的稳定运行和安全性。未来,随着新技术和新材料的不断涌现,智能驾驶系统的电磁兼容性将得到进一步提升,为汽车工业的发展注入新的活力。

参考文献

- [1]王建利,刘力,龚晓琴,等.新能源和智能网联汽车电磁兼容性影响因素研究[J].汽车文摘,2023,(01):59-62.
- [2]高梓恒,张温旭,马辉.汽车自动驾驶辅助系统电磁安全性研究[J].汽车测试报告,2024,(06):89-91.
- [3]谭若兮,叶尚斌,赵晨,等.整车电磁兼容仿真高效建模技术研究[C]//中国汽车工程学会(China Society of Automotive Engineers).2023中国汽车工程学会年会论文集(4).深蓝汽车科技有限公司,2023:4.