汽车电子电路电磁兼容性研究

刘敏

奇瑞汽车股份有限公司

DOI:10.12238/ems.v7i6.13837

[摘要] 汽车电子电路电磁兼容性是保障汽车电子系统稳定运行的关键因素。随着汽车电子化程度不断提高,电子电路数量和复杂度大幅增加,电磁干扰问题日益突出。研究汽车电子电路电磁兼容性,有助于降低电磁干扰对汽车电子设备性能的影响,提高汽车的安全性和可靠性。通过对汽车电子电路电磁干扰源、耦合途径和敏感设备的分析,探讨有效的电磁兼容性设计方法和抑制措施,对推动汽车电子技术的发展具有重要意义。

[关键词] 汽车电子电路;电磁兼容性;电磁干扰

引言:

在当今汽车工业中,电子技术的应用愈发广泛,汽车电子电路的数量和规模不断扩大。然而,电子电路在工作过程中会产生电磁干扰,这些干扰可能会影响其他电子设备的正常运行,甚至引发安全隐患。因此,汽车电子电路电磁兼容性研究成为了汽车工程领域的重要课题。深入研究汽车电子电路电磁兼容性,能够为汽车电子系统的优化设计提供理论支持,保障汽车的整体性能。

一、汽车电子电路电磁兼容性概述

1.1 电磁兼容性的定义和重要性

电磁兼容性(EMC)是指设备或系统在其电磁环境中能正常工作且不对该环境中任何事物构成不能承受的电磁骚扰的能力。在汽车领域,其重要性不言而喻。随着汽车电子化程度的不断提高,汽车中包含了大量的电子电路设备,如发动机控制系统、安全气囊系统、车载娱乐系统等。如果这些设备之间缺乏电磁兼容性,就可能出现各种问题。例如,一个设备产生的电磁干扰可能会影响另一个设备的正常运行,导致汽车的性能下降,甚至危及行车安全。同时,汽车还需要满足外部电磁环境的要求,防止外界电磁干扰对汽车内部电子电路造成不良影响,这对于保障汽车在复杂电磁环境下的可靠运行至关重要。

1.2 汽车电子电路电磁兼容性的特点

汽车电子电路电磁兼容性具有其独特的特点。首先,汽车内部空间有限,众多电子电路设备密集分布,这使得电磁干扰更容易在设备之间传播。而且,汽车电子电路的工作环境十分恶劣,温度、湿度、振动等因素变化较大。这种复杂的环境会影响电子电路的电磁特性,增加了电磁兼容性设计的难度。再者,汽车电子电路涉及的频率范围很广,从低频的电源电路到高频的通信电路等都有涵盖。不同频率的电路之间可能会产生相互干扰。此外,汽车是一个移动的平台,在行驶过程中会不断改变其电磁环境,如靠近高压线、通信基站等,这就要求汽车电子电路具有良好的适应能力,能够在不同的电磁环境下保持电磁兼容性。

二、汽车电子电路电磁干扰分析

2.1 电磁干扰源的分类

汽车中的电磁干扰源种类繁多。按来源可分为内部干扰源和外部干扰源。内部干扰源主要是汽车自身的电子设备。例如,汽车发动机在工作时,点火系统会产生高频电磁干扰,这是因为点火瞬间电流的突变会产生强烈的电磁辐射。汽车的电动部件,如电机在启动、停止和运行过程中,由于电流的变化也会产生电磁干扰。另外,汽车电子电路中的开关电源在开关切换过程中,会产生高频噪声,这也是一种重要的内部干扰源。外部干扰源则包括外界的电场,如雷电产生

的电磁脉冲,其能量极高,可能会对汽车电子电路造成严重干扰。还有附近的无线电发射设备,如广播电台、移动基站等发出的电磁波,也可能干扰汽车电子电路的正常工作

2.2 电磁干扰的耦合途径

电磁干扰的耦合途径主要有传导耦合和辐射耦合。传导耦合是指干扰信号通过电路之间的连接导线、公共阻抗等传导路径,从干扰源传输到敏感设备的过程。在汽车电子电路中,传导耦合较为常见。例如,汽车中的多个电子设备可能共用同一条电源线或接地线,如果其中一个设备产生了电磁干扰,这种干扰就可能通过电源线或接地线传导到其他设备上。当发动机点火系统产生的干扰信号通过电源线传导到车载收音机时,就可能会在收音机中产生杂音。此外,汽车内部的电路板上的布线不合理也会导致传导耦合。如果信号线与干扰线距离过近,干扰信号就可能通过线间的电容或电感耦合到信号线上,从而影响信号的正常传输。辐射耦合则是干扰源通过空间辐射电磁场,将干扰能量传输到敏感设备的过程。汽车中的一些高频干扰源,如雷达系统,会向周围空间辐射电磁能量。当这些辐射电磁场遇到汽车内的其他电子设备时,如果这些设备没有足够的抗辐射能力,就会受到干扰。辐射耦合还与干扰源的辐射强度、频率以及距离等因素有关。例如,汽车中的无线通信设备如果距离发动机点火系统较近,点火系统辐射出的电磁场就可能干扰到无线通信设备的正常通信。

三、汽车电子电路电磁兼容性设计方法

3.1 电路布局优化

电路布局优化是提高汽车电子电路电磁兼容性的重要方法。在汽车电子电路的设计初期,就要充分考虑各个电子元件和电路模块的布局。首先,要将不同功能的电路模块进行合理分区,例如将模拟电路和数字电路分开布局。因为模拟电路对电磁干扰比较敏感,而数字电路在工作时会产生较多的电磁干扰。将它们分开布局可以减少数字电路对模拟电路的干扰。比如在汽车的多媒体系统中,音频放大电路属于模拟电路,微处理器电路属于数字电路,把它们分别放置在不同的区域,中间通过电磁屏蔽或者滤波电路进行隔离,可以有效提高音频信号的质量。其次,要考虑元件之间的布线规则。对于信号线,要尽量缩短其长度,减少信号传输过程中的电磁辐射和耦合。特别是高频信号线,过长的布线会使其成为良好的辐射天线,增加电磁干扰的风险。在布线时,还要避免信号线与电源线或其他干扰源线平行铺设,应尽量使它们相互垂直,这样可以减少线间的电磁耦合。例如在汽车电子控制系统中,传感器的信号线要远离发动机点火系统的高压线,防止点火系统的电磁干扰通过耦合作用影响传感器信号的准确性。此外,要合理安排元件的摆放方向。对于

一些对磁场敏感的元件,如磁传感器,要避免将其放置在磁场较强的区域或者磁场方向变化较大的区域。例如,在汽车的电子罗盘附近,要避免放置大电流的导线,防止电流产生的磁场干扰电子罗盘的正常工作。

3.2 屏蔽与接地技术

屏蔽与接地技术在汽车电子电路电磁兼容性设计中起着关键的作用。屏蔽是通过使用导电材料或者磁性材料将电子电路、设备或者系统包围起来,阻止外部电磁干扰进入内部,同时也防止内部电磁干扰向外辐射。在汽车中,对于一些容易受到电磁干扰的关键设备,如发动机控制系统的ECU(电子控制单元),可以采用金属外壳进行屏蔽。这种金属外壳可以有效地将外部的电磁干扰反射回去,保护内部电路的正常运行。对于汽车中的线束,也可以采用屏蔽线,即将信号线包裹在金属编织网内。屏蔽线的金属编织网可以起到电磁屏蔽的作用,防止外部干扰信号耦合到信号线上,同时也能阻止信号线内部的干扰信号向外辐射。接地技术同样重要。良好的接地可以为电磁干扰提供低阻抗的泄放路径。在汽车电子电路中,有单点接地、多点接地等不同的接地方式。单点接地适用于低频电路,它可以避免不同电路之间的地电位差引起的干扰。例如,汽车中的一些模拟电路,采用单点接地方式可以确保信号的准确性。多点接地则适用于高频电路,因为高频电路中电流的集肤效应明显,多点接地可以提供更多的接地路径,降低接地阻抗。在汽车的车身结构中,车身本身可以作为一个良好的接地导体。但要注意车身接地的连接点的可靠性,防止因接地不良而导致的电磁兼容性问题。例如,如果车身接地连接点松动,在汽车行驶过程中,由于震动等原因可能会产生间歇性的接地不良,这会使电子电路的电磁兼容性变差。

3.3 滤波技术应用

滤波技术是提高汽车电子电路电磁兼容性的有效手段。滤波器的主要作用是通过对不同频率的信号进行选择性的通过或抑制,从而减少电磁干扰。在汽车电子电路中,常用的滤波器有低通滤波器、高通滤波器、带通滤波器和带阻滤波器。低通滤波器允许低频信号通过,抑制高频干扰信号。例如,在汽车的电源电路中,由于电源可能会受到发动机点火系统等产生的高频干扰,在电源输入端加入低通滤波器,可以有效地滤除这些高频干扰信号,保证电源输出的稳定性。高通滤波器则相反,它允许高频信号通过,抑制低频干扰信号。在汽车的一些射频通信电路中,高通滤波器可以用来滤除低频的电源噪声等干扰信号,提高射频信号的质量。带通滤波器只允许特定频率范围内的信号通过,抑制其他频率的干扰信号。例如,汽车中的蓝牙通信电路,只需要特定频段的蓝牙信号正常通信,使用带通滤波器可以过滤掉其他频段的干扰信号,确保蓝牙通信的稳定性。带阻滤波器则是抑制特定频率范围内的信号,允许其他频率信号通过。当汽车中某个电子设备受到某个固定频率的干扰时,如受到附近电台的特定频率干扰,就可以使用带阻滤波器来抑制该频率的干扰信号。此外,在选择和设计滤波器时,还需要考虑滤波器的插入损耗、通带特性、阻带特性等参数,以确保滤波器能够满足汽车电子电路电磁兼容性的要求。

四、汽车电子电路电磁兼容性测试与验证

4.1 测试标准和方法

汽车电子电路电磁兼容性测试需要遵循一系列严格的标准和采用科学的方法。国际上有许多通用的电磁兼容性标准,如CISPR(国际无线电干扰特别委员会)标准、ISO(国际标准化组织)标准等,这些标准对汽车电子电路的电磁发射和

抗扰度都有明确的规定。例如,CISPR25标准规定了汽车电子设备的无线电干扰特性的测量方法和限值,它涵盖了从低频到高频的电磁干扰频段。在测试方法方面,对于电磁发射测试,通常采用天线法和电流探头法。天线法主要用于测量汽车电子电路的辐射发射,即将汽车置于开阔场或者电波暗室中,在规定的距离和方向上放置天线,接收汽车电子电路辐射出的电磁信号,然后通过频谱分析仪等设备进行分析测量。这种方法可以准确地测量出汽车电子电路在不同频率下的辐射发射强度,判断是否符合标准要求。电流探头法主要用于测量传导发射,将电流探头卡在汽车电子电路的电源线或信号线上,测量线上的传导电流,从而确定传导发射的水平。对于抗扰度测试,常用的方法有静电放电抗扰度测试、射频电磁场辐射抗扰度测试、电快速瞬变脉冲群抗扰度测试等。静电放电抗扰度测试模拟人体或物体静电放电对汽车电子电路的影响,通过专用的静电放电发生器对汽车电子电路的特定部位进行放电,观察电路是否能够正常工作。射频电磁场辐射抗扰度测试则是将汽车电子电路置于射频电磁场环境中,模拟汽车在外界电磁场环境下的情况,检测电路的抗干扰能力。电快速瞬变脉冲群抗扰度测试是通过向汽车电子电路施加快速瞬变的脉冲群,检查电路在这种干扰下的性能。

4.2 验证流程和结果分析

汽车电子电路电磁兼容性的验证流程是一个系统而严谨的过程。首先,要确定测试的对象和范围,明确是对整个汽车电子系统进行测试,还是对某个特定的电子电路模块进行测试。例如,如果是对新开发的汽车发动机控制系统进行电磁兼容性验证,就要确定测试的具体电路部分,包括传感器电路、控制电路等。然后,按照选定的测试标准和方法进行测试准备工作,如搭建测试环境,准备测试设备等。在测试过程中,要准确记录测试数据,包括电磁发射的强度、频率,抗扰度测试中的干扰施加情况和电路响应情况等。例如,在进行射频电磁场辐射抗扰度测试时,要记录不同场强下汽车电子电路的工作状态,是否出现故障,故障的表现形式等。测试完成后,对测试结果进行分析。如果测试结果满足标准要求,说明汽车电子电路的电磁兼容性良好;如果不满足,则要分析具体的原因。例如,如果电磁发射测试结果超标,可能是电路布局不合理,导致电磁辐射过大,或者是屏蔽措施不到位等原因;如果抗扰度测试失败,可能是电路的抗干扰设计存在缺陷,如滤波电路参数选择不当等。根据分析结果,对汽车电子电路进行改进和优化,然后再次进行测试验证,直到满足电磁兼容性标准为止。

结语:

汽车电子电路电磁兼容性研究对于汽车的安全稳定运行至关重要。通过对电磁干扰的分析和研究,采用有效的设计方法和测试验证手段,能够提高汽车电子电路的电磁兼容性。未来,随着汽车电子技术的不断发展,电磁兼容性问题将更加复杂,需要进一步深入研究和探索新的解决方案,以适应汽车行业的发展需求。

【参考文献】

- [1]王通.汽车点火系统及关键传感器电磁兼容性研究[D].重庆理工大学,2024.
- [2]朱勤勤.乘用车冷却系统的电磁兼容性分析与优化研究[D].南京林业大学,2023.
- [3]张显扬.电动汽车无线充电系统电磁分布及对车载电子设备影响研究[D].华北电力大学(北京),2023.
- [4]付康.基于功率电子电路的散热分析与电磁兼容的研究[D].上海应用技术大学,2023.