

集成式车载天线结构设计及性能优化研究

陈桂任

海南海马汽车有限公司 海南 海口 570216

摘要: 针对当前车载4G天线接收效率受蓝牙高频信号干扰、多天线分散布局导致整车制造成本增加、车载空间占用过大等行业痛点,本文基于海南海马汽车有限公司相关实用新型专利(CN216750272U、CN202123272882.1),设计并优化了一种集成式车载天线结构。该天线结构将4G通信天线、蓝牙连接天线、GPS定位天线集成于同一安装主板,通过在4G天线馈电端设置专用带通滤波器,结合天线布局优化与结构参数调试,有效解决了多天线间的信号干扰问题,同时实现了天线体积小量化、安装便捷化与成本可控化。通过性能对比测试验证,该集成式车载天线的4G信号接收灵敏度、抗干扰能力均优于传统分散式天线,制造成本显著降低,可广泛应用于各类轿车、SUV、新能源汽车等机动车的车载通信系统。

关键词: 车载天线;集成设计;信号干扰;带通滤波器;结构优化

1 引言

随着智能网联汽车发展,车载通信系统成为核心支撑,车载天线作为信号收发关键,需满足4G、蓝牙、GPS多功能需求,多天线集成化成为行业趋势。现有车载天线多为分散式布局,不仅占用车载空间、增加制造成本,且蓝牙2.4GHz频段与4G高频段重叠,易产生干扰,导致4G接收效率下降。海南海马汽车有限公司的集成式车载天线专利可解决上述痛点,本文以该专利为核心,阐述其结构设计、工作原理,通过测试验证性能优势,为车载天线集成化设计提供参考。

2 相关技术背景

车载天线已从单一功能演进为多频段集成式产品,当前主流分散式布局存在零部件多、安装复杂、干扰突出等缺陷,集成化成为必然趋势,YD/T 4733—2024标准为其提供规范支撑。4G与蓝牙天线的干扰源于频率重叠与电磁耦合,带通滤波器是有效抑制手段,需遵循GB/T 18655电磁兼容性要求。本文依托的海南海马相关专利,核心是将三类天线集成于同一主板,通过滤波器与布局优化实现干扰抑制与成本降低,为本次设计提供核心支撑。

3 集成式车载天线结构设计

结合车载天线的实际工作环境、性能要求及专利技术核心,本次集成式车载天线结构设计严格遵循集成化、抗干扰、实用性、可靠性、兼容性五大核心原则,确保天线既能够满足多频段、多功能的工作需求,又能适配车载复杂环境,实现成本与性能的平衡。

本次设计的集成式车载天线整体结构由安装主板、4G天线单元、蓝牙天线单元、GPS天线单元、滤波器模块、馈电模块、接口模块及辅助防护结构组成,各部件

协同工作,既保证了信号收发的稳定性,又实现了结构的紧凑化与安装的便捷化,以下对各部分结构设计进行详细阐述。

3.1 安装主板设计

安装主板是各部件核心载体,选用FR-4环氧树脂板材,可承受-40°C~85°C车载环境。主板尺寸80mm×60mm×2mm,表面覆铜用于信号传输与接地,边缘圆角处理,覆盖铜箔屏蔽层并接地,预留标准化安装孔位,适配性强。

3.2 天线单元详细设计

天线单元是信号收发核心,含4G、蓝牙、GPS三类,按需优化结构与参数。4G天线采用单极子结构,铜箔辐射体0.1mm厚、80mm×5mm,50Ω阻抗匹配,末端90°弯折优化辐射;蓝牙天线为微带结构,20mm×15mm铜箔辐射体,与4G天线垂直布置减干扰;GPS天线为贴片式,15mm×15mm陶瓷辐射体,右旋圆极化设计并设屏蔽罩,确保性能达标、互不干扰。

3.3 滤波器模块设计

滤波器模块是抑制4G与蓝牙天线信号干扰的核心,采用10mm×8mm×2mm小型化贴片式带通滤波器,可直接焊接于安装主板,适配集成设计。其通带1710~2700MHz,与4G天线频段匹配,阻带2.4GHz、阻带衰减≥40dB,能有效过滤蓝牙干扰;插入损耗≤0.5dB,输入输出阻抗均为50Ω,与4G天线及馈电模块匹配,工作温度-40°C~85°C适配车载环境。滤波器紧邻4G天线安装,50Ω同轴线馈电线≤10mm且接地,减少信号损耗、增强抗干扰能力。

3.4 馈电模块与接口模块设计

馈电模块采用一体化设计,含3个独立50Ω阻抗匹配

通道,适配三类天线,选用3.3V、50mA高稳定性射频馈电芯片,微带线连接,设过压保护电路,减少信号损耗、保障部件安全。接口模块采用3个标准化SMA独立接口,均做IP67防水密封,焊接于主板一角,引脚间距2mm,可直接适配车载通信终端,无需改造,通用性强且便于装配拆卸。

3.5 布局优化设计

布局优化是解决多天线间信号干扰、提升天线性能的关键,结合电磁耦合理论与专利技术核心,本次设计对各天线单元、滤波器模块、馈电模块及接口模块的布局进行了精准优化,核心思路是增大干扰天线间的间距,合理规划各部件的位置,减少电磁耦合,同时实现结构的紧凑化。

具体布局方案如下:将4G天线单元安装于安装主板的左侧边缘,蓝牙天线单元安装于主板的右侧边缘,二者间距设置为30mm,该间距大于4G高频段波长的1/4

($\lambda/4 \approx 27.8\text{mm}$),可有效减少二者之间的电磁耦合干扰,同时采用垂直布置方式,进一步降低信号干涉;GPS天线单元安装于安装主板的中部位置,与4G天线单元、蓝牙天线单元的间距均不小于25mm,避免受到两类天线的信号干扰,同时远离车载电子设备的干扰源,确保GPS信号接收的稳定性。

滤波器模块紧邻4G天线单元的底部安装,缩短与4G天线的馈电线长度,减少信号传输损耗,同时便于滤波器与4G天线的连接与调试;馈电模块与接口模块集中安装于安装主板的右下角,二者间距控制在5mm以内,便于布线与信号传输,避免线束杂乱导致的信号干扰。各天线单元的辐射体方向均朝向信号来向,4G天线与蓝牙天线采用垂直极化设计,GPS天线采用右旋圆极化设计,进一步提升信号接收效率,减少信号衰减。此外,各部件之间的布线采用正交布置方式,避免信号线交叉,减少信号干扰。

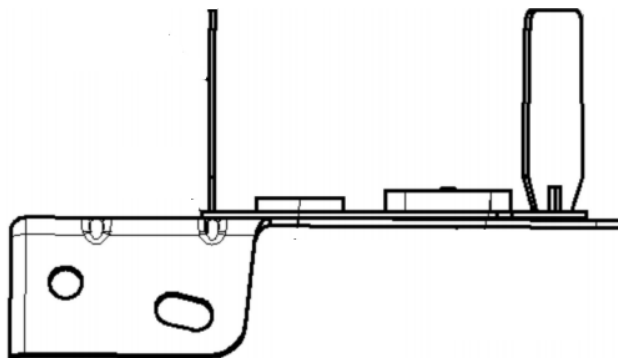


图1 天线布置示意图

3.6 辅助防护结构设计

辅助防护结构核心为外壳与防水密封设计,提升环境适应性。外壳采用ABS工程塑料(90mm×70mm×10mm),完全包裹主板及各部件,防尘、防水、防冲击;外壳与主板上用耐高温耐老化硅酮密封胶密封,防护等级达IP67,适配复杂车载环境。外壳表面磨砂处理,侧面设1mm直径散热孔散热,底部设金属安装支架,既牢固连接车身,又起到接地作用,进一步增强抗干扰能力,保障天线长期稳定工作。

4 作原理与性能测试

4.1 工作原理

集成式车载天线核心是实现4G、蓝牙、GPS功能协同工作,馈电模块提供3.3V稳定馈电后,三类天线分别收发对应频段信号,满足车载通信、连接与定位需求。

蓝牙信号干扰时,4G天线端带通滤波器精准过滤2.4GHz干扰,结合优化布局与屏蔽层,减少电磁耦合及外部干扰,保障各天线信号稳定收发。

4.2 性能测试方案

选取集成式与传统分散式天线各3个,在标准电波暗室中开展对比测试,采用行业标准设备,测试信号接收、干扰抑制、安装便捷性、成本及环境适应性,确保结果准确可靠。

4.3 测试结果与分析

测试显示,集成式天线优势显著:4G接收灵敏度-108dBm(提升13dBm),抗干扰能力42dB(提升17dB),GPS定位精度3m,安装时间5min,单套成本120元(降低33.3%),通过极端环境测试,各项指标符合行业标准,有效解决传统天线痛点。

表1 集成式与传统分散式车载天线性能对比表

测试项目	集成式车载天线	传统分散式车载天线	性能提升/降低
4G信号接收灵敏度(dBm)	-108	-95	13dBm

续表:

测试项目	集成式车载天线	传统分散式车载天线	性能提升/降低
4G信号增益 (dBi)	2.2	1.8	0.4dBi
蓝牙信号接收灵敏度 (dBm)	-80	-78	2dBm
GPS定位精度 (m)	3	5	2m
4G天线抗干扰能力 (dB)	42	25	17dB
安装时间 (min)	5	15	减少10min
单套制造成本 (元)	120	180	降低33.3%

5 讨论与结论

5.1 集成式天线的性能优势

相较于传统分散式车载天线,本次基于专利设计的集成式车载天线优势显著:一是集成化程度高,将三类天线集成于同一主板,节约车载空间、简化安装工序,适配智能网联汽车轻量化需求;二是干扰抑制效果突出,通过带通滤波器与布局优化,有效解决蓝牙对4G天线的干扰,结合屏蔽层提升抗外部干扰能力;三是成本优势明显,较传统天线成本降低33.3%,性价比高,符合汽车行业降本增效趋势;四是通用性强,标准化SMA接口可直接适配各类车型,无需改造车载系统,便于批量推广。

5.2 设计不足与改进方向

本次设计仍存在不足:一是频段覆盖有限,未支持5G,难以适配车联网、自动驾驶发展需求;二是GPS在隧道、高楼密集等复杂环境下定位精度有待提升;三是滤波器存在少量插入损耗,影响4G信号传输效率;四是小型化程度可进一步优化,适配空间紧张的新能源车型。未来可拓展5G频段,优化GPS天线结构与抗干扰算法,选用高性能滤波器材料,采用柔性电路板等新型材料缩小天线体积,提升整体性能。

5.3 推广应用前景

该集成式天线契合智能网联汽车发展趋势,可广泛

应用于各类机动车,尤其适配新能源汽车,能有效节约空间、降低成本、提升通信稳定性。相较于进口产品,其性价比优势明显,可提升我国车载天线自主化水平,降低进口依赖,同时可为5G、V2X集成天线研发提供参考。未来可加强与车企合作,定制化适配不同车型,拓展智能化功能,进一步提升市场竞争力。

结论

本文基于海南海马相关专利,针对传统车载天线痛点,设计优化的集成式车载天线,有效解决了多天线干扰问题,4G抗干扰能力与接收灵敏度显著提升,结构紧凑、成本低廉、可靠性高,各项指标符合行业标准,可广泛应用于车载通信系统。该设计实现了传统天线的性能与成本优化,为车载天线集成化发展提供参考,未来通过技术升级,可进一步适配5G、车联网等新技术需求,推动我国车载天线行业技术进步。

参考文献

- [1]海南海马汽车有限公司.一种集成式车载天线结构[P].CN216750272U,2022-06-17.
- [2]海南海马汽车有限公司.一种抗干扰车载集成天线[P].CN202123272882.1,2022-05-06.
- [3]中国汽车工程研究院股份有限公司.YD/T4733—2024车载通信天线技术要求和测试方法[S].2024.