

车灯系统电路防护设计

杨晨光 万一龙

华域视觉科技（常熟）有限公司南京电子技术中心

摘要：本文针对车灯系统中存在的电磁干扰问题进行研究，提出了一些防护电路的设计方案。该电路能够有效地抑制车灯系统产生的电磁干扰，并保证车辆在行驶过程中的安全性和可靠性。通过对电路的实际测试，验证了该防护电路在实际车灯系统中的应用效果。

关键词：车灯系统；电路防护；电磁干扰

0 前言

随着车辆密度的增加和夜间行驶的普及，车灯系统在车辆安全性和可靠性中起着重要的作用。然而，车灯系统在工作过程中常常会产生电磁干扰，对车辆的其他电子设备造成影响。因此，研究车灯系统滤波防护电路的设计和实现具有重要意义。

1 共模差模滤波防护

任何两根电源线上所存在的干扰，均可用共模干扰和差模干扰来表示。共模干扰在导线与地（机壳）之间传输，属于非对称性干扰，它定义为任何载流导体与参考地之间的不希望存在的电位差。共模干扰的电流大小不一定相等，但是方向（相位）是相同的。电气设备对外的干扰多以共模干扰为主，外来的干扰也多以共模干扰为主。共模干扰的主要来源有：电网串入共模干扰电压、辐射干扰（如雷电、设备电弧、附近电台和大功率辐射源）在信号线上感应出共模干扰，原因是交变的磁场产生交变的电流，电源的正负电源线两个回路阻抗不同等原因造成电流大小不同。接地电压不一样，简单地说是电位差导致共模干扰，设备内部的线路对电源线造成共模干扰。

差模干扰在两导线之间传输，属于对称性干扰，它定义为任何两个载流导体之间的不希望存在的电位差。差模干扰的电流大小相等，方向（相位）相反。由于走线的分布电容、电感、信号走线阻抗不连续以及信号回路路径流过了意料之外的通路等，差模电流会转换成共模电流。在一般情况下，共模干扰幅度大、频率高，还可以通过导线产生辐射，所造成的干扰较

大。差模干扰幅度小、频率低以及所造成的干扰较小。因此电路设计需要考虑差模和共模防护，对于车载电子设备传导骚扰测试，不同频段干扰的来源也不同，150 kHz ~ 1 MHz 主要以差模干扰为主，1 ~ 30 MHz 则是差模和共模共同主导，30 MHz 以上主要以共模干扰为主，如图 1 所示。

因此，我们需要针对不同频段具体进行差模和共模的防护设计，通用的防护设计电路如图 2 所示。

差模滤波器通常由差分放大器和滤波电路组成。差分放大器将输入信号分为两个相反的极性信号，并放大差分信号，抑制共模信号。滤波电路则用于进一步滤除差模噪声或选择特定频率范围内的信号。通过设置适当的滤波器参数，可以实现对差模信号的滤波，从而减小或消除干扰。如图 2 中 L1 和 C2、C6 组成的 Π 型滤波电路。

差模滤波输入电容可根据公式计算：

$$C = \frac{1}{L_1} \left(\frac{10^{Att/40}}{2\pi f_s} \right)^2$$

式中： L_1 为输入电感，一般选取值为 1 ~ 10 μH ；Att 为滤波期望的衰减量； f_s 为电源芯片的开关频率。共模滤波主要采用共模扼流圈进行共模信号扼制，它通常由两个同轴的线圈组成，其中一个为电流线圈，用

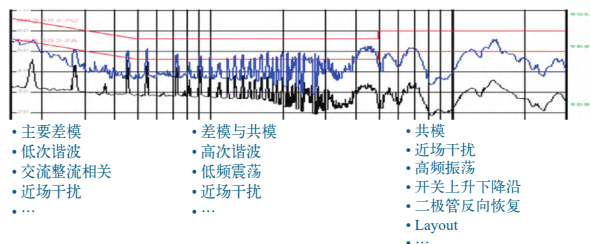


图 1 电磁干扰频率分布

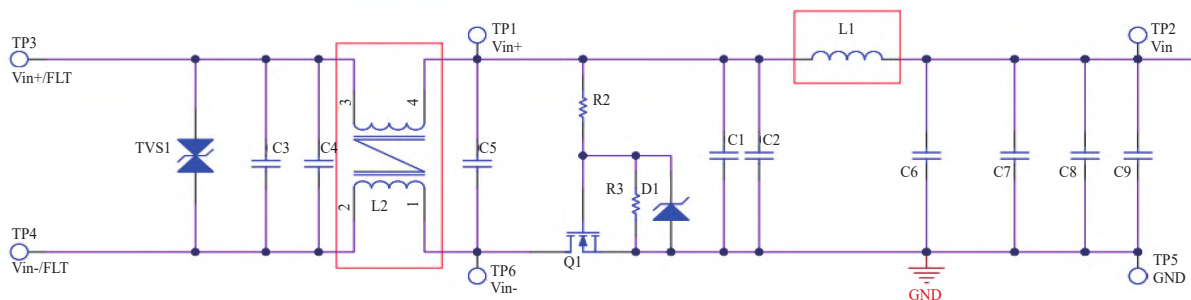


图 2 防护电路

于传输信号,另一个是扼流线圈,用于抑制共模噪声,共模扼流圈需要综合考虑频率范围、额定电流等因素,如图2中L2防护设计,选择的共模扼流圈,额定电流为5 A,100 MHz阻抗为600 ~ 800 Ω 。实际测试 results 在开关频点400 kHz一次谐波和二次倍频,传导骚扰限值改善8 dB左右,共模干扰电流60 MHz改善10 dB以上。同时对于60 ~ 80 MHz辐射发射骚扰,限值改善15 dB以上。测试前后对比结果如图3所示。

2 去耦电容防护

在复杂的电路中，不同的电子元件和模块可能会共享同一个电源线路。当这些元件同时工作时，它们会产生共模干扰信号，传播到整个电路中，导致干扰和不稳定。去耦电容的作用就是通过提供低阻抗路径，将这些共模

干扰信号引导到地线上，从而减小共模干扰的影响。

具体来说,去耦电容通常被放置在电路元件的电源引脚之间,与供电线路并联连接。当元件需要大量瞬时电流时,去耦电容可以快速地提供电流,以满足元件的需求。同时,去耦电容也可以吸收共模干扰信号,避免其传播到其他电路中。

去耦电容的参数选择很重要,通常需要考虑元件的功耗、工作频率和供电电压等因素。合适的去耦电容可以有效地降低共模干扰和电源噪声,提供稳定的电源供电,提高电路的性能和可靠性。以某型号电源芯片为例,RI测试发现,500 MHz ~ 1.4GHz,场强100 V/m 检流电阻被严重干扰,针对检流电阻进行去耦电容设计。

去耦电容应根据实际干扰频段以及电容封装结构选取对应的参数。以 0603 封装电容为例, 其寄生电感约为 0.7 nH, 选取 22 pF 电容比较合适, 实际测试验证结果如图 4 所示。

3 CAN 信号线静电防护

CAN 信号线静电防护是一种保护 CAN 总线信号线免受静电干扰的措施。静电干扰可能会导致 CAN 总线通信异常或者损坏,因此静电防护非常重要。常用的 CAN 信号线静电防护方法包括在 CAN 信号线上添加静电防护器件,如 TVS 二极管或者静电保护二极管。这些器件能够吸收或者抑制静电放电,保护 CAN 信号线免受静电干扰。将 CAN 信号线的屏蔽层与设备的地线相连接,可以将静电干扰引到地线上,减少对 CAN 信号线的影响。在 CAN 信号线的地线上添加滤波器,可以滤除静电干扰信号,保护 CAN 信号线的稳定性。确保设备接地良好,减少静电干扰的产生。常见的防护设计如图 5 所示,D1 为 TVS 防护,防止静电浪涌干扰,C29、C41 为高频滤波电路,滤除高频噪声。

通过以上静电防护措施,可以有效地保护 CAN 信

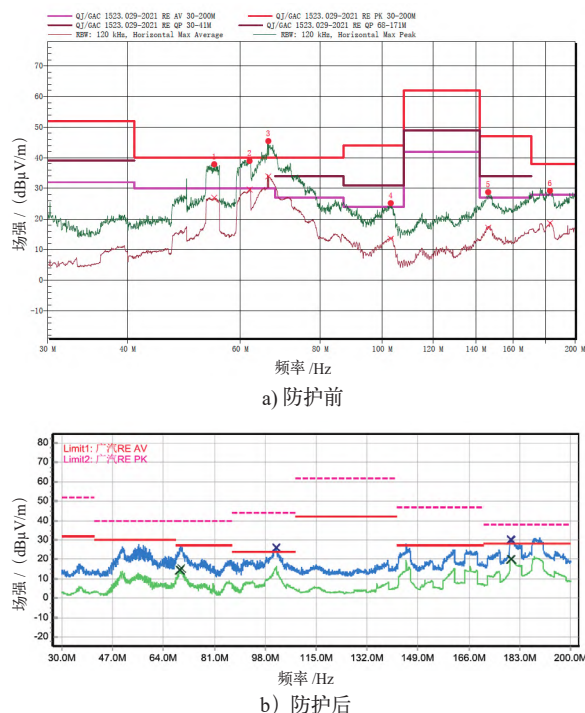


图3 辐射发射测试结果对比

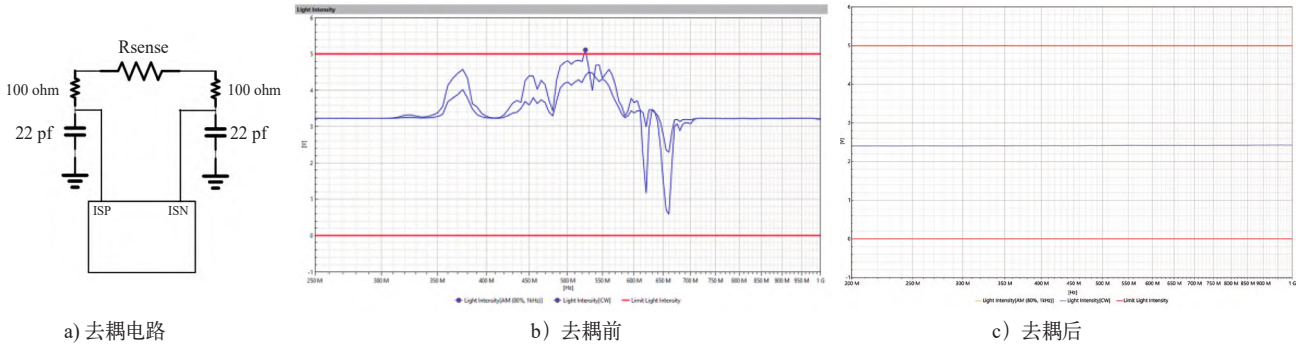


图 4 去耦电容防护测试前后对比

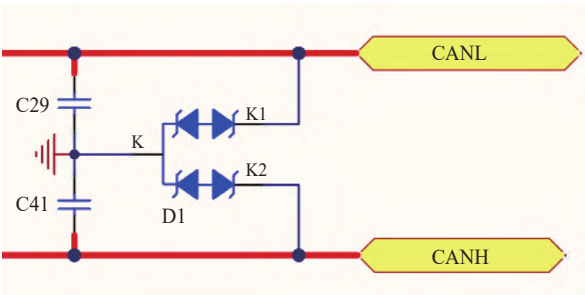


图 5 CAN 信号静电防护设计

号线免受静电干扰，确保 CAN 总线通信的可靠性和稳定性。

4 结语

本文首先分析了车灯系统中常见的电磁干扰问题，然后提出了一些基于滤波防护电路的解决方案。通过试验验证了该电路在实际车灯系统中的应用效果。我们发现这些滤波防护电路能够有效地抑制车灯系统产生的电磁干扰。试验结果显示，该电路在实际车灯系统中的应用效果良好，能够保证车辆在行驶过程中的

安全性和可靠性。

本文所提出的滤波防护电路设计方案能够有效地解决车灯系统中存在的电磁干扰问题。然而，在实际应用中仍然需要考虑一些其他因素，如成本、可靠性和适用性等。

参考文献

[1] 蔡蔚, 宣辰龙, 夏思雨. 一种控电机逆变器共模电磁干扰滤波器优化设计方法 :CN202210637092.9[P]. CN202210637092.9[2023-09-27].

[2] MARTIN A, ZHANG Y, PINTO G. Application Note 2162 Simple Success With Conducted EMI From DC-DC Converters (Rev. B)[J]. 2011.

[3] 廖贵文, 姜永正, 彭延峰, 等. 基于去耦电容的直流开关电源谐振影响因素及优化研究 [J]. 现代电子技术, 2022(14): 45.

[4] 马琴玲. 隔离式 CAN 收发器的静电浪涌防护设计 [D]. 无锡: 江南大学, 2023.DOI:10.27169/d.cnki.gwqgu.2022.002124.