

UCC2351X 原边 RC 输入电路设计要点

Yunjing Wang

Analog FAE

摘要

UCC2351x 为 TI 单通道隔离栅极驱动芯片的明星产品，具有 4A 驱动能力，5kVrms 隔离等级，能够 P2P 兼容光耦驱动芯片。相比光耦驱动芯片，UCC2351x 有更加卓越的性能，包括更高的共模瞬时抗扰度，更小的传播延迟，器件到器件之间更好的延迟匹配以及更长的使用寿命，广泛应用于工业电机控制、工业电源、太阳能逆变器以及不间断电源等场景。但是在工业现场较为恶劣的噪声条件下，需要特别注意驱动输入电路的设计，避免系统噪声干扰驱动输入导致驱动输出误动作，造成炸管炸机等严重影响。本文从 UCC2351x 的实际应用出发，介绍 UCC2351x 的三种不同原边输入配置对环境噪声的抑制效果，分析 UCC2351x 低成本 RC 输入电路的设计注意事项，为 UCC2351x 原边低成本输入电路提供设计参考。

修改记录

Version	Date	Author	Notes
1.0	July 8 th 2025	Yunjing Wang	First version

目录

1. UCC2351x 内部结构及输入电路	3
1.1 UCC2351x 芯片内部结构及工作原理	3
1.2 UCC2351x 常见的原边输入电路	3
2. UCC2351x 低成本 RC 输入电路常见问题	5
2.1 常见问题 1. 不匹配的输入结构引入噪声	5
2.2 常见问题 2: 缓慢信号沿更易受到干扰.....	6
2.3 UCC2351x 低成本 RC 输入电路设计要点	7
3. 总结	8
参考文献	8

图

图 1. UCC2351x 结构框图及工作原理	3
图 2. NMOS+电阻输入电路	4
图 3. Buffer+电阻输入电路	4
图 4. 常见低成本 RC 输入电路	4
图 5. 单端 RC 输入电路	5
图 6. 差分匹配 RC 输入电路	5
图 7. 噪声环境下, 单端 RC 输入的驱动输出	5
图 8. 噪声环境下, 差分 RC 输入的驱动输出	6
图 9. UCC2351 输入级内部差分结构	6
图 10. 输入缓变信号沿及干扰导致的输出误发波	7

1. UCC2351x 内部结构及输入电路

UCC2351x 系列隔离驱动为 TI 单通道隔离栅极驱动芯片的英雄产品，具有 4A 驱动能力，5kVrms 隔离等级，能够 P2P 兼容光耦驱动芯片，相比光耦驱动，UCC2351x 具有更加卓越的性能，包括更高的共模瞬时抗扰度，更小的传播延迟，器件到器件之间更好的延迟匹配以及更长的使用寿命，广泛应用于工业电机控制、工业电源、太阳能逆变器以及不间断电源等场景。

1.1 UCC2351x 芯片内部结构及工作原理

如图 1 所示，TI 的 UCC2351x 系列光耦兼容隔离驱动的原边为电流驱动型输入，不需要 TTL 或者 CMOS 电压驱动。驱动芯片的原边结构为模拟二极管 e-diode 结构，Pin 1 和 Pin 3 分别为原边 e-diode 的阳极和阴极，原边输入需要 forward 电压 V_F 和 forward 电流 I_F 来稳定导通 e-diode，当原边输入 I_F 超过阈值电流 I_{FLH} 时，原边振荡器将产生高频调制信号并将该高频信号传过隔离层，接收器检测到高频信号并解调，输出在 V_{out} 引脚上产生高电压，驱动后级 FET 导通；反之当原边输入 I_F 低于阈值电流时，原边振荡器不会产生高频信号， V_{out} 为低电压，后级 FET 关断。

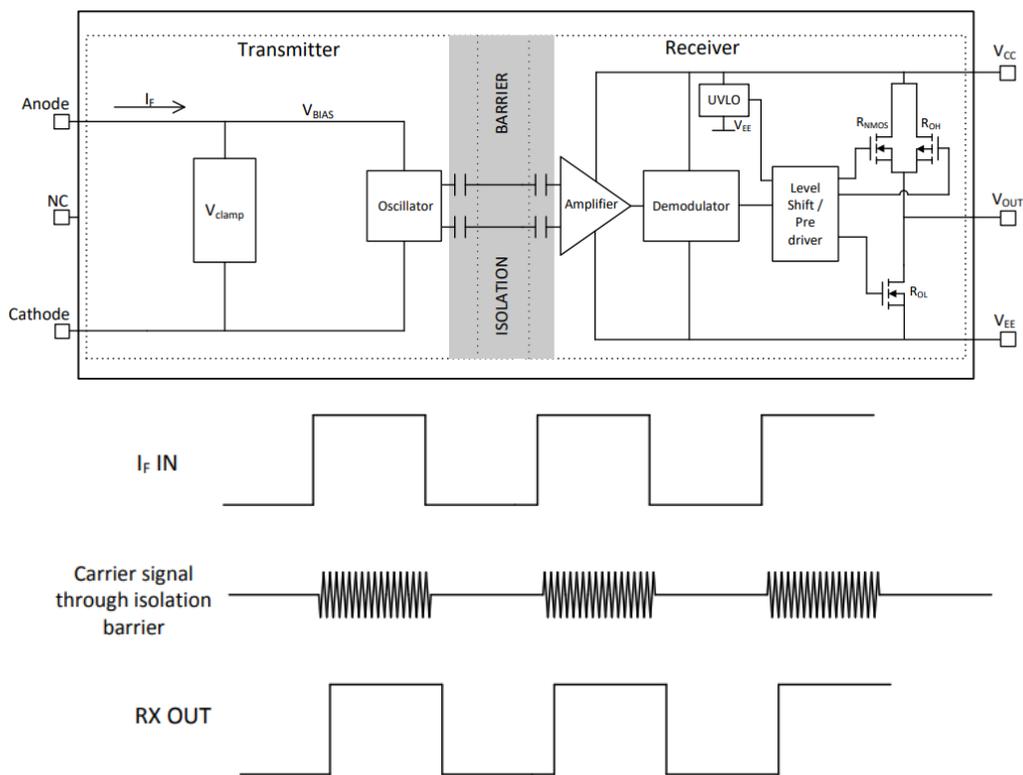


图 1. UCC2351x 结构框图及工作原理

1.2 UCC2351x 常见的原边输入电路

基于 1.1 所述 UCC2351x 内部结构和工作原理，本节将介绍 UCC2351x 系列原边常见的几种输入电路配置，包括 NMOS+电阻输入电路、buffer+电阻输入电路、以及低成本 RC 输入电路。

图 2 为 NMOS+电阻的原边输入电路， R_{ext} 电阻用来控制原边驱动电流 I_F ，PWM 信号控制 NMOS 的栅极进而控制芯片原边导通，这种 NMOS+电阻驱动电路的优点是成本低并且电路占板面积小。

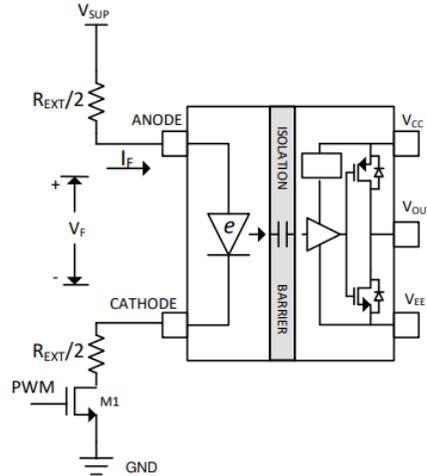


图 2.NMOS+电阻输入电路

图 3 为 buffer+电阻的原边输入电路，同样使用 R_{ext} 控制原边驱动电流 I_F ，但是 PWM 控制信号经过 buffer 给到芯片原边，相比图 2 输入电路，图 3 输入电路的 buffer 能够一定程度滤除输入控制信号的噪声和干扰，提供更稳定的输入给驱动芯片，输入电路的抗干扰能力更强。

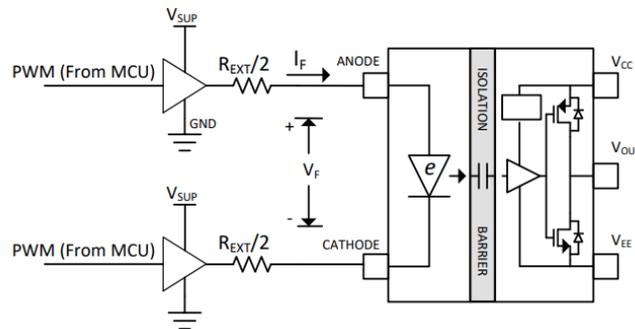


图 3.Buffer+电阻输入电路

结合低成本和控制信号噪声滤波的要求，很多工程师也经常会使用图 4 所示的低成本 RC 输入电路，外部电阻除了用来控制原边驱动电流 I_F ，还和电容一起组成 RC 滤波电路，帮助滤除系统 EMC 噪声和电源噪声，避免对驱动芯片原边控制信号的潜在干扰。相比图 3，图 4 所示的低成本 RC 输入电路能够使用更低成本实现抗干扰的原边输入，在客户端广泛使用。但是，此设计需要在噪声抑制和信号响应速度之间取得平衡，下文将详细介绍这种低成本 RC 电路的常见问题和设计要点，提供 UCC2351x 原边低成本 RC 输入电路的设计参考。

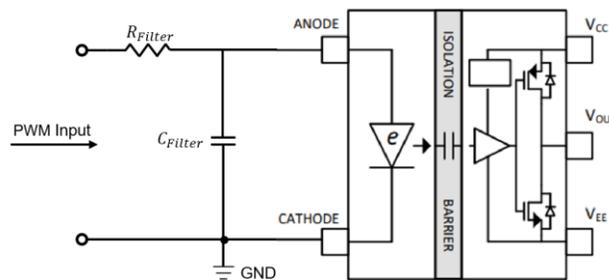


图 4.常见低成本 RC 输入电路

2. UCC2351x 低成本 RC 输入电路常见问题

如上文所述，图 4 所示的低成本 RC 输入电路占板面积小、成本低、而且能够滤除对系统 EMC 噪声和电源噪声干扰，受到工程实践的广泛欢迎。然而，不合适的 RC 设计和选型常常会适得其反，不仅无法达到噪声滤波的作用，反而会恶化器件的输入噪声，进而导致输出误动作。本节介绍低成本 RC 输入电路的几种常见问题和设计注意事项，以规避设计风险。

2.1 常见问题 1. 不匹配的输入结构引入噪声

图 5 和图 6 为 UCC2351x 低成本 RC 输入电路两种不同的 RC 配置，图 5-1 采用单端 RC 输入电路，而图 5-2 采用差分匹配 RC 输入电路。

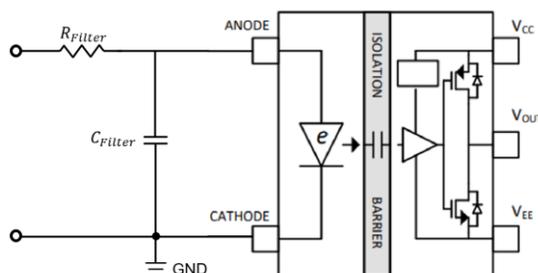


图 5. 单端 RC 输入电路

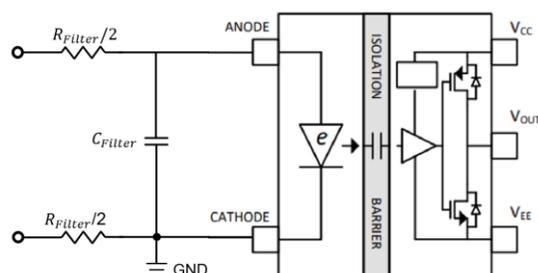


图 6. 差分匹配 RC 输入电路

图 6-1 和图 6-2 为噪声恶劣的应用下，这两种电路的驱动输入输出波形测试，CH3 为驱动输出波形，CH4 为驱动电路 RC 前端的输入波形。



图 7. 噪声环境下，单端 RC 输入的驱动输出



图 8. 噪声环境下，差分 RC 输入的驱动输出

图 7 为在噪声恶劣的应用场景测试中，采用单端 RC 输入电路的驱动测试波形，可以看到当输入并无有效驱动信号时，输出也会误发波，这会导致后级 FET 的误导通，甚至引发功率系统炸机。而图 8 为同样工况下，差分匹配 RC 输入电路对于的驱动测试波形，可以看到输出跟随输入变化，并没有误发波的情况。

如图 9 所示，UCC2351x 的输入级内部为差分结构，差配置置的 RC 输入和芯片内部差分结构都能最大程度抵消共模干扰，输出不会受到扰动；但如果外部 RC 输入电路为单端结构，那么系统的共模噪声经过单端 RC 之后反而会变成不对称的差分干扰，在器件内部会被作为有效输入被放大之后调制解调并输出。

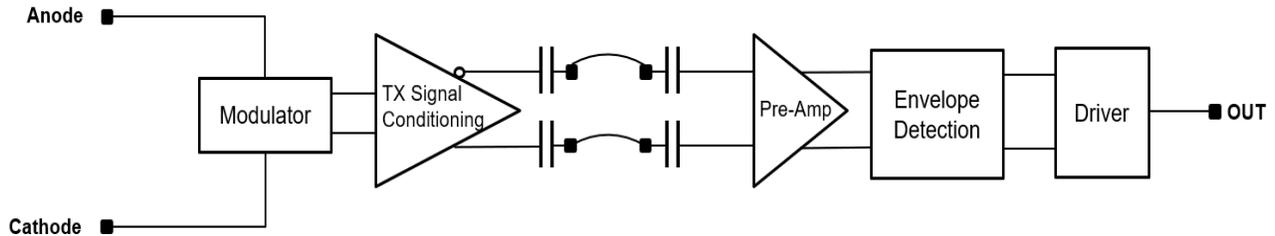


图 9. UCC2351x 输入级内部差分结构

因此，使用低成本 RC 电路作为 UCC2351x 原边输入，首先要确保 RC 输入电路采用差分匹配的电路配置，避免系统共模噪声经由不匹配的输入电路成为差模噪声进入器件，导致输出误发波和后级 FET 误导通。

2.2 常见问题 2：缓慢信号沿更易受到干扰

有些设计者尽管使用了图 6 所示的差分匹配 RC 输入，但是设计者为增强 RC 滤波器的滚降和滤波效果，有时会为电容 C 选取了非常大的容值。图 10 为差分匹配 RC 输入结构， $C=10\text{nF}$ ，出现的问题波形，CH1 为 RC 前端的输入波形，M1=CH3-CH4 为 UCC2351x 原边 e-diode 两端的波形，CH2 为 UCC2351x 输出波形，可以看到输出波形也存在与输入 PWM 高低状态不一致的误动作现象。

这是因为对于无迟滞特性的驱动输入级，任何在驱动芯片阈值电压附近的扰动都会触发翻转，大于器件传输延迟的输入边沿将导致器件输入边沿的扰动传递到输出，造成输出震颤(chatter)。图 10 所示的误发波问题即为过大的时间常数、过于缓慢的输入信号边沿和输入信号扰动导致输出产生 chatter。下文 2.3 节将针对 2.1 和 2.2 两种常见问题介绍 UCC2351x 低成本 RC 输入电路的设计要点。

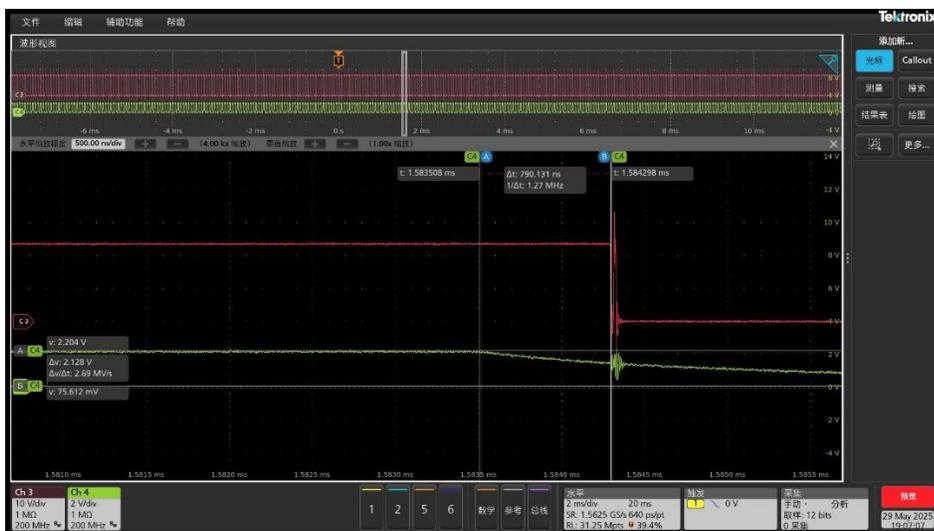


图 10. 输入缓变信号沿及干扰导致的输出误发波

2.3 UCC2351x 低成本 RC 输入电路设计要点

如 2.1 所说，低成本 RC 输入电路的首要设计原则是使用严格差分匹配的 RC 结构，如图 5-2 所示。此外，还需选择合适的 RC 值来避免 chatter，并且达到尽可能好的滤波衰减效果。本节将介绍 RC 的选型要点和方法。

电阻选型相对比较简单，根据 UCC2351x 器件手册的原边导通电压和原边导通电流选型如下：

$$R_{Filter/2} = \frac{1}{2} \frac{V_{sup} - V_F}{I_F} = 130\Omega$$

其中 $V_{sup} = 5.0V$, $V_F = 2.4V$, $I_F = 10mA$ 。

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
INPUT						
I_{FLH}	Input Forward Threshold Current Low to High	$V_{OUT} > 5V$, $C_g = 1nF$	1.5	2.8	4	mA
V_F	Input Forward Voltage	$I_F = 10mA$	1.8	2.1	2.4	V
V_{F_HL}	Threshold Input Voltage High to Low	$V < 5V$, $C_g = 1nF$	0.9			V

电容的选型需要基于器件手册的 V_F 阈值和传输延迟参数，保证输入信号在器件的 V_F 低阈值和高阈值区间之间的转换时间不超过 UCC2351x 内部原边侧的传输延迟 30ns，保证输入信号的边沿能够快速通过原边 e-diode 阈值的不稳定区域 0.9V~1.8V，避免在噪声在阈值附近的扰动传递到输出。因此，以 $V_{sup} = 5.0V$ 为例， $V_F = 0.9V$ 的时刻记为 T_1 ， $V_F = 1.8V$ 的时间记为 T_2 ，差分滤波电容的参考选型计算如下：

$$T_2 - T_1 < tpd = 30ns$$

$$0.9V = 5V \times (1 - e^{-T_1/(R_{Filter}C_{Filter})})$$

$$1.8V = 5V \times (1 - e^{-T_2/(R_{Filter}C_{Filter})})$$

联立求解可得， $C_{Filter} < 465pF$ 为 $V_{sup} = 5.0V$ ，差分电阻 $R_{Filter/2} = 130\Omega$ 电路配置下的安全滤波电容。

如若系统噪声滤波需要更大的滚降，为了避免 chatter，可以增大 PWM 高电平电压 V_{sup} 的取值，这样滤波后信号在原边 e-diode 阈值的不稳定区域 0.9V~1.8 的时间窗口会更短，因此可以进一步增大 C_{Filter} 以提供更大的噪声滤波滚降；也可以在滤波 RC 与 UCC2351x 输入之间加入施密特触发器来提供迟滞和消抖，避免 RC 滤波后信号的缓慢边沿和残留噪声带来的输出误动作。

3. 总结

本文介绍了 UCC2351x 原边低成本 RC 输入电路在恶劣噪声应用场景中的常见问题，详细说明了单端 RC 输入电路和过大的 RC 常数在恶劣噪声应用场景中会触发的问题，最终 UCC2351x 原边 RC 输入电路设计要点和最大 RC 设计方式，以帮助设计者规避设计风险。

参考文献

1. [UCC23513 datasheet](#)
2. [UCC23514 datasheet](#)
3. [Input Resistor Selection Guide for Opto-compatible Isolated Gate drivers](#)

重要通知和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、与某特定用途的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他安全、安保法规或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。对于因您对这些资源的使用而对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，您将全额赔偿，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 销售条款](#)、[TI 通用质量指南](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款或 TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。除非德州仪器 (TI) 明确将某产品指定为定制产品或客户特定产品，否则其产品均为按确定价格收入目录的标准通用器件。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

版权所有 © 2026，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月