

Zoe Yang

摘要

大电流注入测试 (Bulk current injection, 简称 BCI) 靠的是汽车电子设备在连续窄带射频电磁场干扰下的抗干扰能力, 主要以电流探头作为耦合设备, 通过信号产生装置将干扰信号耦合到 EUT 连接的线缆上(包括电源线和控制线等), 但是在越来越多的工业现场也对大电流注入测试/进场耦合和传导有多方面辐射测试的要求。不同隔离技术对于电磁干扰的抗扰能力表现的不同, 本文将重点分析光隔和容隔技术对于电磁辐射所表现的差异及解决办法。

BCI 测试设置

- 信号触发: 5V/10kHz
- BCI:
 - 频率: 80~110MHz
 - 幅度: 100mA
- 外部电路是最小子系统
- 在最小子系统中替换不同隔离技术的驱动芯片

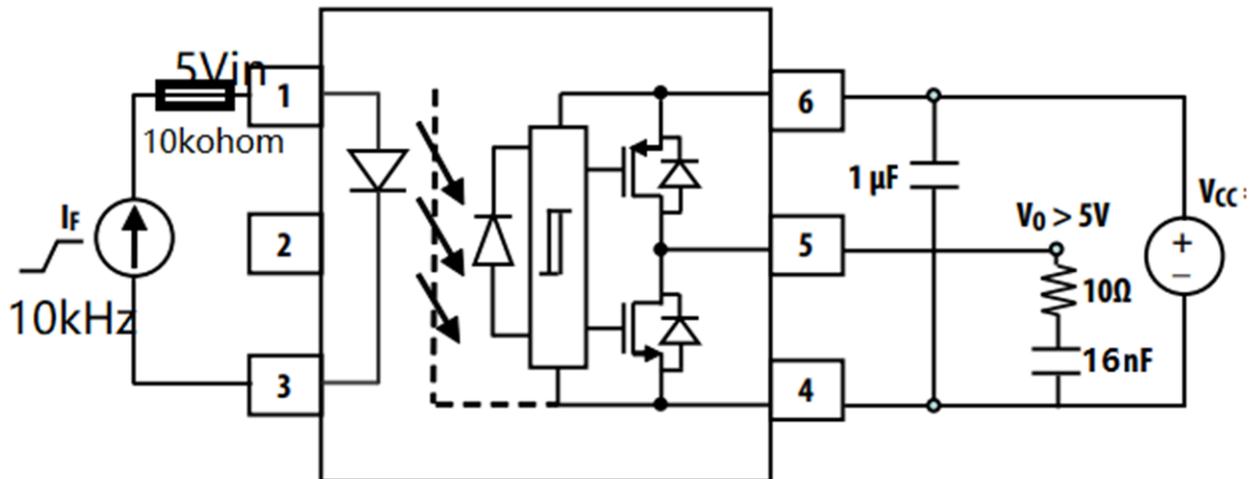


图 1. UCC23513 BCI 测试的最小子系统电路

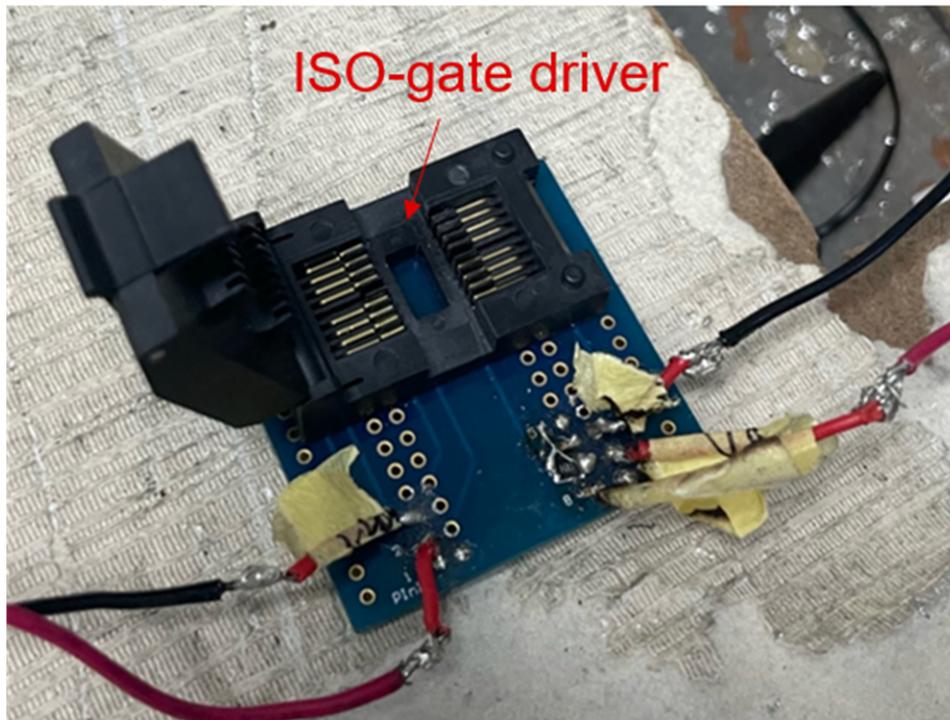


图 2. UCC23513 BCI 测试的最小子系统电路实物图

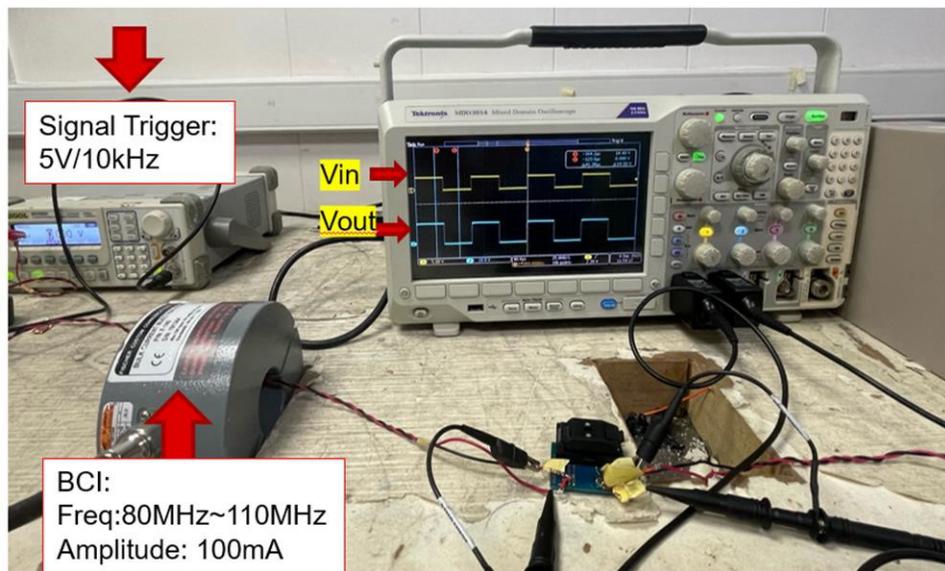


图 3. 实验设置，BCI 测试前 IC 工作正常

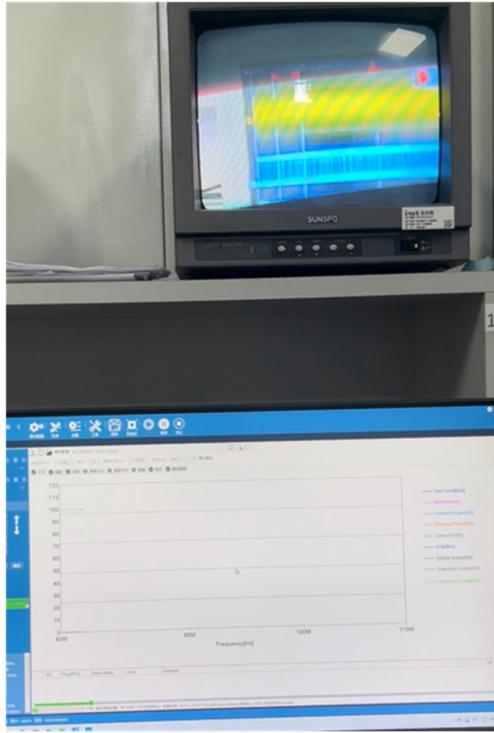


图 4. 扫描频率 80MHz, UCC23513 输出未被影响

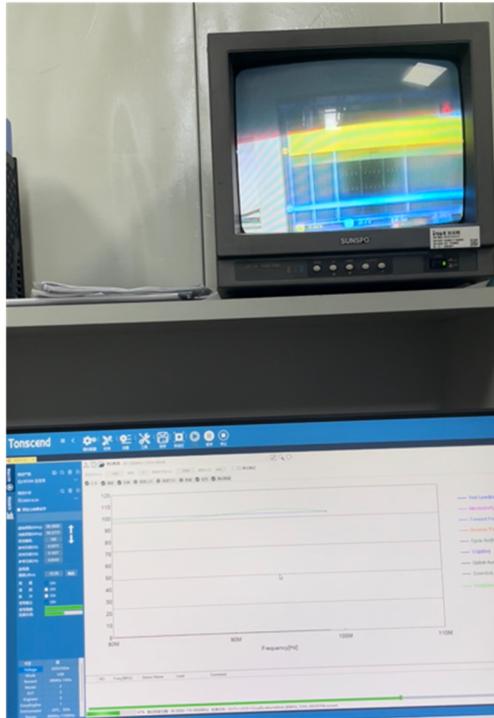


图 5. 扫描频率 90MHz, UCC23513 输出被拉低

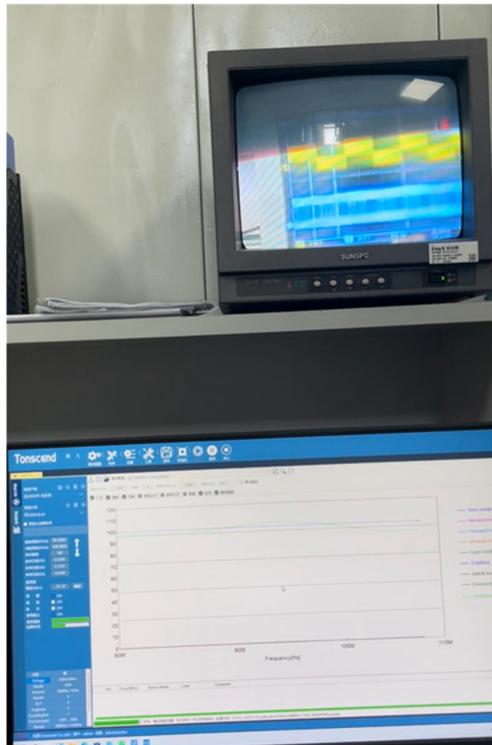


图 6. 扫描频率 100MHz, UCC23513 输出未被影响

其他厂家对比数据：

| Vendor | PN | Isolation tech | BCI test(100mA, 80MHz~110MHz) |
|-----------|-----------|----------------|--|
| TI | UCC23513 | Capacitive | Failed when Input high, output low |
| Novosense | NSI6801C | Capacitive | Failed when Input low, output high |
| Sillumin | SLM346 | Capacitive | Failed when Input high, output low. And >200MHz range: failed when Input low, output high |
| Avago | ACPL-W340 | Optical | Working normally |
| Lite-On | LTV-815 | Optical | Working normally |

我们拿光耦型驱动做一个对比分析：

在 ACPL-W340 规格书表格 5 中陈述到，输入电容通常为 70 pF：

Table 5. Electrical Specifications (DC)

| Parameter | Symbol | Min. | Typ. | Max. | Units | Test Conditions | Fig. | Note |
|-------------------|-----------------|------|------|------|-------|---------------------------------|------|------|
| Input Capacitance | C _{IN} | | 70 | | pF | f = 1 MHz, V _F = 0 V | | |

而容隔的 UCC23513 的输入电容为 15 pF：

6.9 电气特性

除非另有说明，否则所有典型值都是 $T_A = 25^\circ\text{C}$ ， $V_{CC} - V_{EE} = 15\text{V}$ ， $V_{EE} = \text{GND}$ 条件下的典型值。所有最小值和最大值规格都是建议工作条件 ($T_J = -40^\circ\text{C}$ 至 150°C ， $I_{F(\text{on})} = 7\text{mA}$ 至 16mA ， $V_{EE} = \text{GND}$ ， $V_{CC} = 15\text{V}$ 至 30V ， $V_{F(\text{off})} = -5\text{V}$ 至 0.8V) 下的规格

| 参数 | | 测试条件 | 最小值 | 典型值 | 最大值 | 单位 |
|-------------------------|-------------|---|-----|-----|------|-------|
| 输入 | | | | | | |
| I_{FLH} | 输入正向阈值电流低至高 | $V_{\text{OUT}} > 5\text{V}$ ， $C_g = 1\text{nF}$ | 1.5 | 2.8 | 4 | mA |
| V_F | 输入正向电压 | $I_F = 10\text{mA}$ | 1.8 | 2.1 | 2.4 | V |
| V_{F_HL} | 阈值输入电压高到低 | $V < 5\text{V}$ ， $C_g = 1\text{nF}$ | 0.9 | | | V |
| $\Delta V_F / \Delta T$ | 输入正向电压的温度系数 | $I_F = 10\text{mA}$ | | 1 | 1.35 | mV/°C |
| V_R | 输入反向击穿电压 | $I_R = 10\mu\text{A}$ | 15 | | | V |
| C_{IN} | 输入电容 | $F = 0.5\text{MHz}$ | | 15 | | pF |

使用 5 V 和 10 mA 输入时，输入电阻应分别为 345 Ω 和 290 Ω ：

$$t_{\text{RC}} = R_{\text{in}} * C_{\text{in}} = 345\Omega * 15\text{pF} = 5.175\text{ns} \quad (1)$$

$$t_{\text{RC}} = R_{\text{in}} * C_{\text{in}} = 290\text{Ohm} * 15\text{pF} = 4.35\text{ns} \quad (2)$$

因此，该 RC 滤波器的时间常数为 24.15 ns 和 4.35 ns：

$$f = 1 / (2 * \pi * RC) \quad (3)$$

$$f_1 = 10^9 / 5.17 / 3.14 / 2 = 30.8\text{MHz} \quad (4)$$

$$f_2 = 1000 / 4.35 / 2 / 3.14 = 36.6\text{MHz} \quad (5)$$

分别对应于 6.6 MHz 和 36.6 MHz 带宽。

光耦的输入电容是 70pF：

$$345\text{Ohm} * 70\text{pF} = 24.15\text{ns} \quad (6)$$

$$f = 1000 / 24.15 / 6.28 = 6.6\text{MHz} \quad (7)$$

一阶 RC 低通电路，每 10 倍频程下降 20dB：

$$110\text{MHz} / 6.6\text{MHz} = 16.67 \text{ 倍频程} \quad (8)$$

$$110\text{MHz} / 36.6\text{MHz} = 3.00 \text{ 倍频程} \quad (9)$$

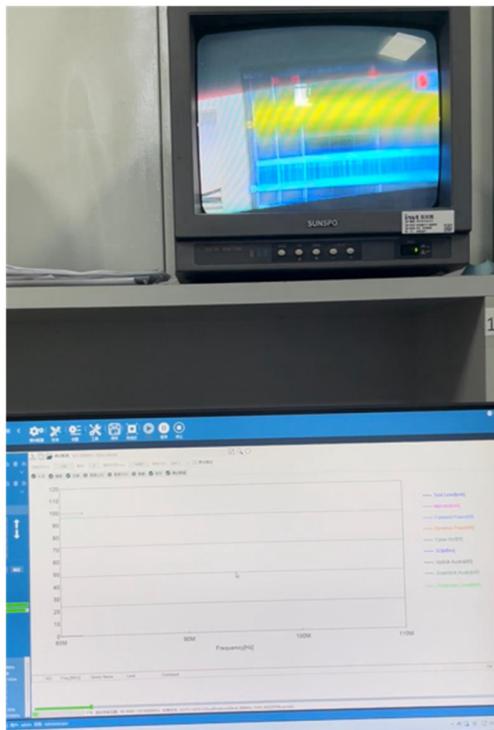
对于 90 MHz 测试频率，它是上述带宽的 16.7 倍和 3 倍，输入 RC 滤波器可分别导致 33.4 dB 和 6.0 dB 降低，所以这可能是造成测试结果差异的一个重要因素，额外的输入电容器可能对噪声抑制有很大帮助。

$$16.67 / 10 * 20 = 33.4\text{dB} \quad (10)$$

$$3 / 10 * 20 = 6\text{dB} \quad (11)$$

下降的越多，衰减就越大，对器件的影响就越小，90MHz 是噪声源的频率，相当于把噪声衰减了，所以对本体影响就减小。

至此，我们找到了容隔影响 BCI 大电流注入实验的根本原因，并且可以通过在输入端加入额外的电容来解决在 110MHz 频段输出会被干扰的问题。



针对 BCI 测试问题我们还有一些建议，因为在 BCI 测试中，“监控设备与 DUT 的任何电气连接都可能导致 DUT 故障。应格外小心以避免这种影响。” (ISO11452-4:2020 6.1.4)

1. 在测试时去掉原边的探头，排除引入探头对原边信号的干扰
2. 确保输入双绞线扭接到电路板末端
3. 如果可以的话，将二次侧也改为差分探头
4. 如果测试中仍出现故障，建议加 $C=100\text{pF}$ 的输入侧电容

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

重要声明和免责声明

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、某特定用途方面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功能安全、信息安全、监管或其他要求。

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 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/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。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2024，德州仪器 (TI) 公司