

Application Note

TI 隔离器件的磁场抗扰度：满足 IEC 61000-4-8 和 IEC 61000-4-9 5 类的要求



Varun Kumar, Garudadri Vasishta

摘要

隔离器件在嘈杂的高功率域与安静的低压控制域之间的边界处运行。该边界通常距离母线、电机绕组、变压器或开关器件仅几厘米 — 所有这些都会产生强磁场。如果这些磁场耦合到不够稳健的隔离器中，可能导致数据位损坏、栅极驱动器边沿错误或测量数据损坏。

本应用手册以通俗易懂的语言解释了两项定义磁场抗扰度的测试方法的 IEC 标准：IEC 61000-4-8 (工频磁场) 和 IEC 61000-4-9 (脉冲磁场)。本文还解释了测试等级和环境类的含义，以及 TI 的隔离器件 (表 8-1) 在两项标准所定义的最高严酷度等级 (5 类) 下的表现。

内容

1 简介.....	2
1.1 为什么磁场抗扰度对隔离器很重要.....	2
2 磁场单位一览.....	2
3 IEC 61000-4-8 — 工频磁场抗扰度.....	2
3.1 IEC 61000-4-8 测试模拟的内容.....	2
3.2 IEC 61000-4-8 连续工频磁场测试等级.....	2
3.3 环境类 — 如何选择等级.....	3
3.4 实际安装中观测到的场强.....	3
4 IEC 61000-4-9 — 脉冲磁场抗扰度.....	3
4.1 IEC 61000-4-9 测试模拟的内容.....	3
4.2 脉冲磁场的脉冲电流波形.....	4
4.3 IEC 61000-4-9 脉冲磁场测试等级.....	4
5 5 类测试总结 — 我们的目标.....	5
6 “通过”的含义 — 性能判据.....	5
7 测试设置详细信息.....	6
8 测试结果与总结.....	7
8.1 两种标准的测试条件：.....	7
9 针对终端设备性能的系统设计注意事项.....	8
10 总结.....	8
11 参考资料.....	9

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 简介

1.1 为什么磁场抗扰度对隔离器很重要

每个隔离器都以电学方式（无物理接触或导线）跨越隔离栅传输信息。TI 的隔离器通过其获得专利的基于二氧化硅 (SiO₂) 的隔离结构实现这一点，数据以高频信号形式跨隔离栅进行调制。

该路径中的任何导电环路，无论多小，都是变化磁场的天线。因此，决定变化磁场是否会干扰通过隔离器通信的因素有两个：

1. 环路有多大？- 差分环路越小，耦合的干扰越少。
2. 磁场变化有多快？- 即使峰值振幅相同，缓慢的 50/60Hz 磁场也比具有微秒级上升时间的雷击脉冲的危害更小，因为后者的磁场变化速率更快。

这正是存在两项独立标准的原因。

1. [IEC 61000-4-8](#) 涵盖情况 (a)：持续时间长但变化缓慢的磁场。
2. [IEC 61000-4-9](#) 涵盖情况 (b)：持续时间短但变化非常快的磁场。

表 1-1. 不同隔离器件在系统级运行中失效的表现形式

器件类型	磁扰的后果
数字隔离器	单个位错误、SPI/UART 帧损坏、看门狗触发
集成 DC/DC 转换器的隔离器	隔离式电源轨扰动
隔离式 CAN/RS-485	总线错误帧、重传、通信丢失
光耦仿真器	输出出现毛刺，输出侧状态发生切换

2 磁场单位一览

测试标准规定测试严酷度以 A/m（磁场强度， H ）为单位，而常用的物理公式通常使用 Wb/m² 或特斯拉（磁通密度， B ）。在空气中，二者呈正比关系，如[方程式 1](#) 和[方程式 2](#) 所示。

$$B = \mu_0 \times H \quad (1)$$

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{Wb}/(\text{A} \times \text{m}) \quad (2)$$

数量	转换
1Wb/m ²	= 1T（特斯拉）
1A/m	≅ 1.26μT (1.26 × 10 ⁻⁶ Wb/m ²)
80A/m	≅ 1G
地球磁场	≅ 0.5G ≅ 40A/m
100A/m（IEC 61000-4-8 5 级，连续）	≅ 126μT
1000A/m（IEC 61000-4-9 5 级，脉冲）	≅ 1.26mT

3 IEC 61000-4-8 — 工频磁场抗扰度

3.1 IEC 61000-4-8 测试模拟的内容

该测试再现了承载 50Hz 或 60Hz 市电电流的导体周围的稳态磁场，模拟了电力线、汇流条、变压器、电机电缆产生的磁场。该标准涵盖住宅和商业场所、工业装置和发电厂，以及中压和高压变电站。

在设备正常运行期间，以针对安装环境选择的严酷度等级连续施加磁场。该标准仅规定了如何测试，而未规定给定产品必须通过哪个测试等级 — 所需通过的等级来自适用的终端产品标准。

3.2 IEC 61000-4-8 连续工频磁场测试等级

等级	连续磁场 (A/m)
1	1A/m

等级	连续磁场 (A/m)
2	3A/m
3	10A/m
4	30A/m
5	100A/m
X ⁽¹⁾	特殊

(1) “X” 是专用产品规范中定义的开放等级。“X” 可以高于、低于或介于所列数值之间。

3.3 环境类 — 如何选择等级

测试过程中常见的一个困惑点是：“等级”和“类”不是一回事。上文 IEC 61000-4-8 连续工频磁场测试等级中提到的“等级”是测试严酷度。下文提到的“类”描述的是安装环境，在 IEC 61000-4-8 附录 C 中作为选择测试等级的参考性指导给出。

设备根据其运行环境进行分类，然后选择相应的测试等级。实际上，*n* 类要求选择等级 *n*。

类	环境	典型示例
1	使用电子束器件的环境	CRT 显示器、电子显微镜
2	受到良好保护	家庭、办公室、医院
3	受保护	商业区、小型工业厂区、高压变电站计算机室
4	工业	重工业厂区、发电厂、高压变电站控制室
5 ⁽¹⁾	严酷工业	重工业厂区、中压及高压变电站的开关站

(1) 标准中明确将 5 类描述为具有载流数千安的导体、母线或中压/高压线路，以及承载全部雷电流的防雷系统接地导体的环境。

3.4 实际安装中观测到的场强

IEC 61000-4-8 附录 D 包含来自实际安装现场的场强测量值。这些值有助于理解通过满足 5 类要求可获得的裕量水平。

设备安装位置	观测到的典型场强
家用电器，距表面 0.3m	0.03 - 10A/m (最大值 $\approx$ 20A/m)
家用电器，距表面 1.5m	< 0.1A/m (最大 0.4A/m)
高压线路正下方	每 1,000A 线路电流 10 - 16A/m
高压线横向 30m 处	每 1,000A 线路电流 3 - 5A/m
高压变电站 (220/400kV)，靠近 500A 线路	9 - 14A/m
高压变电站继电器室	1 - 7A/m
高压变电站设备室	$\approx$ 0.7A/m
电力/工业厂房，距 2,200A 母线 0.3 - 1.5m	6 - 85A/m
其他工业厂房场源	4 - 30A/m

由于场强随距离增加而迅速衰减，接近程度与电流幅值同样关键。这就是为什么正好位于电源边界处的隔离器是需要最大裕度和最高抗扰度等级的元件。

4 IEC 61000-4-9 — 脉冲磁场抗扰度

4.1 IEC 61000-4-9 测试模拟的内容

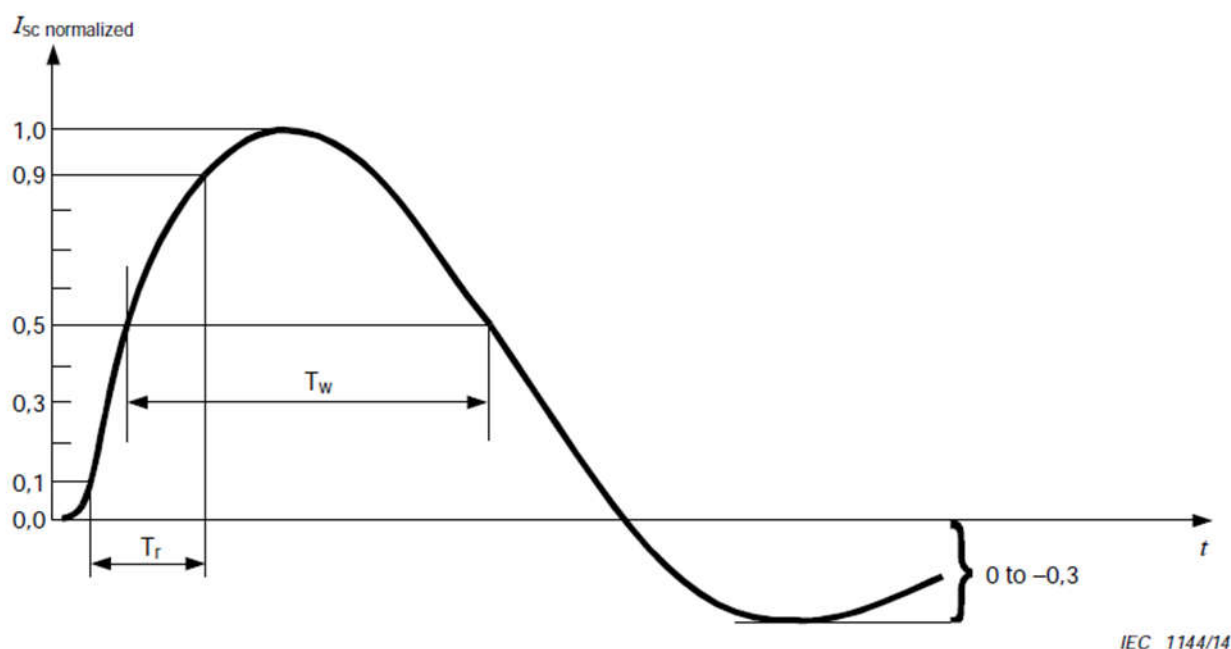
IEC 61000-4-8 关注的是稳态频率磁场，而 IEC 61000-4-9 关注的是瞬态磁场：由雷击建筑物、桅杆或防雷引下线产生的磁场，以及低、中、高压系统中的故障电流产生的磁场。所述环境包括工业装置、发电站、铁路装置和中压/高压变电站。

由于电流在微秒级而非毫秒级的时间内上升，dB/dt 比 IEC 61000-4-8 测试中高出几个数量级，这意味着对于数据传输隔离器来说，这是更严苛的测试，尽管磁场只短暂存在。

4.2 脉冲磁场的脉冲电流波形

该扰动通过使用组合波发生器（用于 IEC 61000-4-5 浪涌测试的同一发生器系列）驱动感应线圈产生，产生 8/20μs 短路电流波形，如图 4-1 所示：

参数	值
波前时间, T_f	$8\mu s \pm 20\%$ ($T_f = 1.25 \times T_r$)
半值持续时间, T_d	$20\mu s \pm 20\%$ ($T_d = 1.18 \times T_w$)
峰值短路电流	100A 至 1000A
极性	正和负
重复率	每分钟 1 次或更快
冲击次数	5 次正极性脉冲 + 5 次负极性脉冲



Front time: $T_f = 1.25 \times T_r = 8 \mu s \pm 20\%$
Duration: $T_d = 1.18 \times T_w = 20 \mu s \pm 20\%$

NOTE 1 The value 1.25 is the reciprocal of the difference between the 0.9 and 0.1 thresholds.

NOTE 2 The value 1.18 is derived from empirical data.

图 4-1. 根据 IEC 61000-4-9 产生脉冲磁场的短路电流 (8/20 μs) 波形

4.3 IEC 61000-4-9 脉冲磁场测试等级

IEC 61000-4-9 同样在附录 C 中给出了终端设备安装类（与环境类 — 如何选择等级类似），作为选择适当测试等级的信息性指导，如下所述。由于预计会在恶劣环境中遇到这些脉冲磁场，本标准仅适用 3、4 和 5 类。

等级	脉冲磁场强度 (A/m, 峰值)
1 ⁽¹⁾	不适用
2 ⁽¹⁾	不适用
3	100A/m
4	300A/m
5	1000A/m

等级	脉冲磁场强度 (A/m , 峰值)
X	特殊

(1) 根据 IEC 61000-4-9 , 1 和 2 级不适用 — 不够恶劣的环境 (即 1 和 2 类) 被认为不存在显著的脉冲磁场干扰。

5 类测试总结 — 我们的目标

标准	字段类型	5 类测试等级	等效磁通密度
IEC 61000-4-8	工频, 连续	50/60Hz 时 100A/m	$\cong 126\mu\text{T}$
IEC 61000-4-9	脉冲, 8/20 μs	1,000A/m, 峰值	$\cong 1.26\text{mT}$

通过 5 类测试, 意味着器件在整个严酷度范围内没有任何磁场限制 — 系统设计人员无需降额、屏蔽或调整隔离器方向即可满足系统级磁场抗扰度要求。

6 “通过” 的含义 — 性能判据

测试结果分为四类, 适用的产品标准规定了哪个类别是可接受的:

类别	说明
A	性能正常, 处于规格范围内
B	可自我恢复的暂时性性能下降或功能丧失
C	需要操作人员干预或系统复位的暂时性性能下降或功能丧失
D	不可恢复的性能下降或功能丧失 — 包括硬件损坏、软件损坏或数据丢失

对于隔离器件, “通过” 定义为性能判据 A, 即在施加磁场的整个时间段内满足以下所有条件:

- 任何隔离数据通道上均无位错误
- 隔离输出无毛刺、无丢失边沿或多余边沿
- 无电源故障或 UVLO 置位
- 隔离式电源轨 (对于集成 DC/DC 转换器的器件) 保持在规定的稳压范围内。

7 测试设置详细信息

根据 IEC 61000-4-8/9 标准，单个独立隔离器件严格来说并不完全等同于一个“EUT”——这两项标准旨在测试安装在各种恶劣环境中的终端设备。为了验证 TI 的隔离器件能够承受 5 类测试等级且性能达到“性能判据 A”，独立器件被安装在电路板上进行测试，且不施加任何磁屏蔽。这样可使器件直接暴露于由连接至测试电流发生器的感应线圈所产生的磁场中（符合 IEC 61000-4-8 和 IEC 61000-4-9 的要求），如图 7-1 所示。

为了在磁场测试期间监测器件级性能，DUT 安装在一块评估板上，并在一个有代表性、持续监测的功能环路中运行：

1. **DUT 板**：一个专门设计的特性测试板，其尺寸足够小，可置于 $1\text{m} \times 1\text{m}$ 线圈的最大暴露区域内。
2. **输入信号**：向输入侧注入的一种已知码型（例如，固定频率方波）。
3. **输出监测**：通过码型检查器/错误计数器实时比较隔离后的输出信号/功率与输入，同时用示波器捕捉任何毛刺。
4. **电源**：两侧均以标称值及推荐工作范围的极限值供电；对于集成 DC/DC 转换器的器件，监测隔离式电源输出。
5. **方向**：旋转电路板，使芯片的差分环路在全部三个轴向上暴露于磁场中。这一点很重要，因为耦合与投影到磁场方向上的环路面积成正比，因此仅测试单一方向不是有效的测试。

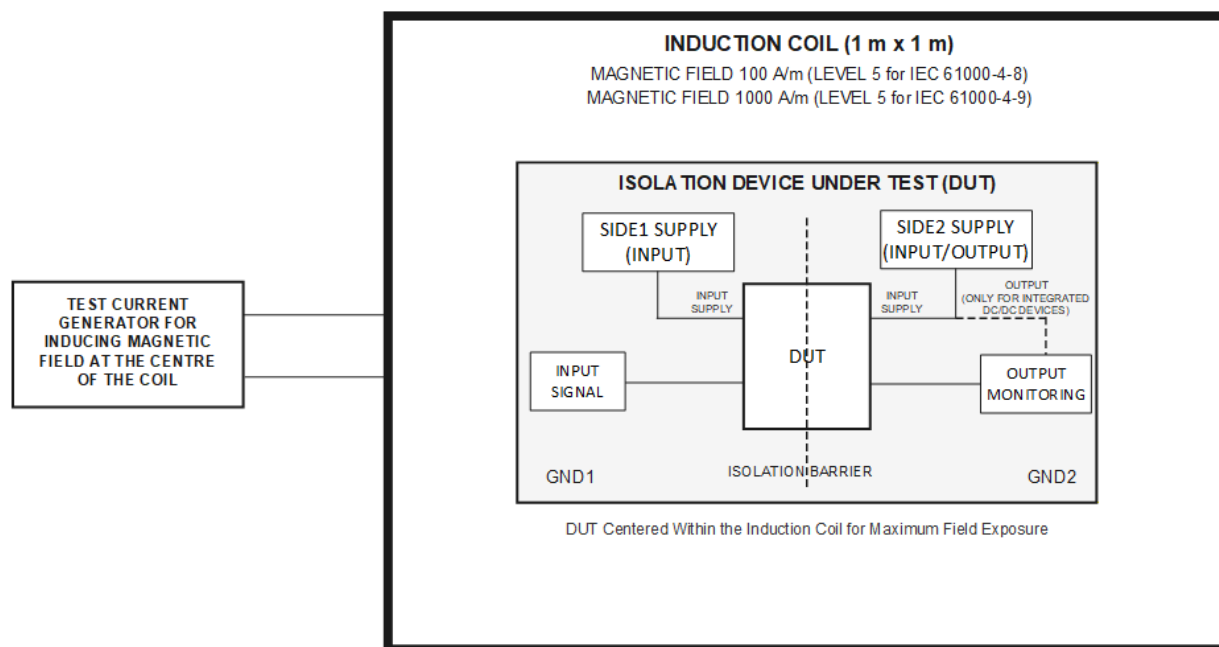


图 7-1. 磁场抗扰度测试设置

8 测试结果与总结

表 8-1 中列出的所有器件均已通过 IEC 61000-4-8 和 IEC 61000-4-9 的最高严酷度等级 (5 级/5 类) 测试, 且在全部三个正交磁场方向下均达到“性能判据 A”。实现这一性能无需任何外部屏蔽、方向调整或布局限制。

8.1 两种标准的测试条件：

1. IEC 61000-4-8 (工频磁场) -
 - a. 50Hz 工频磁场
 - b. 全部三个正交方向
 - c. 1m × 1m 标准感应线圈
 - d. 连续施加磁场, 持续 180 秒
2. IEC 61000-4-9 (脉冲磁场) -
 - a. 8/20μs 脉冲磁场
 - b. 全部三个正交方向
 - c. 1m × 1m 标准感应线圈
 - d. 每个方向 10 次正极性脉冲 + 10 次负极性脉冲
 - e. 每个脉冲的重复间隔为 10 秒

表 8-1. TI 隔离器件的磁场抗扰度测试等级与性能总结

被测器件 (DUT)	DUT 结果所代表的器件系列	器件类别	IEC 61000-4-8		IEC 61000-4-9	
			5 级 (100A/m)	性能	5 级 (1000A/m)	性能
ISOW6441	ISOW64xx	数字隔离器 + 隔离式电源	通过	性能判据 A	通过	性能判据 A
ISOW3080	ISOW308x	隔离式 RS485 收发器 + 隔离式电源	通过	性能判据 A	通过	性能判据 A
ISOW1050	ISOW1050	隔离式 CAN 收发器 + 隔离式电源	通过	性能判据 A	通过	性能判据 A
ISO6441	ISO64xx	数字隔离器	通过	性能判据 A	通过	性能判据 A
ISO6041	ISO60xx	数字隔离器	通过	性能判据 A	通过	性能判据 A
ISOM8610	ISOM8xxx	光耦仿真器	通过	性能判据 A	通过	性能判据 A
ISO7241	ISO72xx	数字隔离器	通过	性能判据 A	通过	性能判据 A
ISO7041	ISO70xx	数字隔离器	通过	性能判据 A	通过	性能判据 A

上述测试结果证明, TI 的隔离器件对磁场干扰具有稳健性, 并且在终端设备实现甚至 5 类/5 级磁场抗扰度时, 不会成为抗扰度性能的限制因素。

9 针对终端设备性能的系统设计注意事项

即使 TI 隔离器本身对磁场具有固有的稳健性，周围系统设计仍值得关注，因为电路板层面的环路面积远大于隔离器封装内部的环路面积：

1. 尽量减小隔离栅两侧的环路面积。将信号和返回路径布设为紧密的耦合对，因为感应电压与所包围的环路面积成正比。
2. 将去耦电容器尽可能靠近电源引脚放置。电源环路通常是电路板上靠近隔离器的最大环路。
3. 避免将信号走线并行布置于大电流导体，或布置于其正下方。
4. 对穿过噪声区域的信号使用差分传输方式 — 耦合到紧密差分对中的磁场在很大程度上是共模的，并在接收器侧被抑制。
5. 请记住，距离是可灵活利用的裕量，因为场强会随距离增大而快速衰减；与强磁场源多拉开几厘米往往更有效。

10 总结

TI 的隔离产品（表 8-1）通过几项关键架构创新实现了 IEC 61000-4-8 和 IEC 61000-4-9 规定的磁场抗扰度 5 类的性能，例如小差分环路面积、具有明确噪声容限的良好匹配差分信号以及不依赖磁耦合的隔离栅，这进而确保系统设计中使用的 TI 隔离器件不会成为终端设备性能的限制因素。这一点通过测试结果得到了进一步验证，证明了成功实现 5 类/5 级性能。

11 参考资料

1. IEC 61000-4-8:2009 , *Electromagnetic compatibility (EMC) — Part 4-8: Testing and measurement techniques — Power frequency magnetic field immunity test* , 2.0 版。
2. IEC 61000-4-9:2016 , *Electromagnetic compatibility (EMC) — Part 4-9: Testing and measurement techniques — Impulse magnetic field immunity test* , 2.0 版。
3. IEC 61000-4-5 , ...*Surge immunity test* (组合波发生器定义) 。
4. Agilent Technologies , *Compliance Testing to IEC/EN 61000-4-8* , 应用手册 1319 , 出版物 5968-3730E。

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