

Application Brief

深度解析 TMCS1143 霍尔效应电流传感器的 IEC 61000-4-5 浪涌抗扰度测试



简介

IEC 61000-4-5 标准定义了浪涌抗扰度测试程序，旨在仿真雷击或开关瞬变对电气/电子设备产生的影响。本文详细介绍了在 IEC 61000-4-5 规定的严苛条件下，对 TMCS1143 (此处提供的信息同样适用于采用 DVF 封装的 TMCS114x 系列器件) 浪涌电流抗扰度性能的全面调查。该器件是一款广受欢迎的霍尔效应电流传感器，广泛用于各种应用 (尤其是能源基础设施)。本文将探讨测试设置、参数、观察到的行为，并最终清晰评估器件承受此关键标准所定义浪涌事件 (高达 20kA) 的能力。

了解 IEC 61000 4-5 和浪涌现象

IEC 61000-4-5 可仿真由直接或间接雷击以及电力系统内的开关瞬变引起的浪涌。这些浪涌具有以下特征：

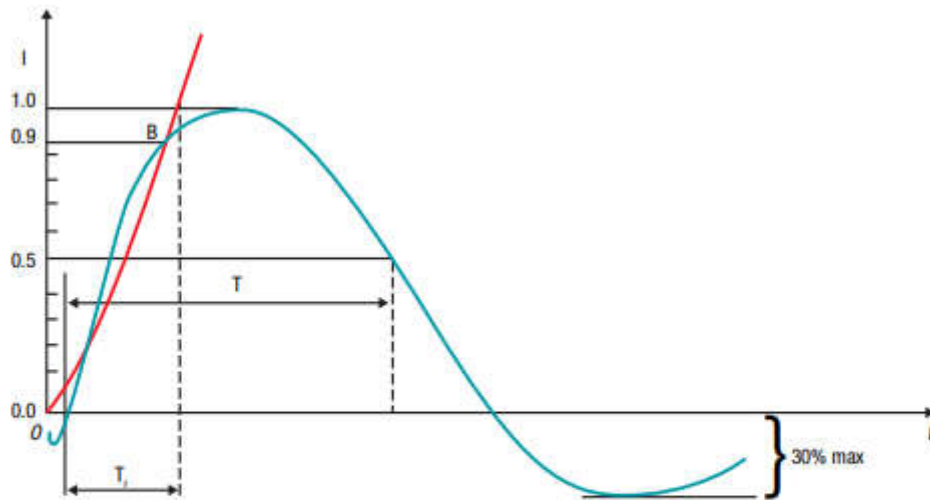
- **高电压和大电流**：该浪涌表示电压和电流暂时急剧增加。
- **上升时间快**：浪涌迅速上升到峰值，对元件的瞬态响应提出了挑战
- **持续时间短**：虽然强度剧烈，但浪涌通常持续时间极短，仅为微秒级。
- **极性**：浪涌可呈现正极性或负极性，反映两种类型的实际事件

该标准根据预期暴露环境以及被测试的端口 (电源、信号、控制) 规定各种浪涌波形和测试级别。主要参数包括浪涌电压 (通常峰值为 0.5kV 至 4kV)、浪涌电流 (通常峰值为 0.5kA 至 8kA)、上升时间 (通常为 50ns 至 1.2 μ s) 和脉冲宽度 (通常为 50 μ s 至 230 μ s)。如果未能提供充分的浪涌防护，可能会导致元件损坏、系统故障和数据丢失。因此，根据 IEC 61000-4-5 定义的浪涌抗扰度测试对于验证电子设备的稳健性至关重要。

测试级别和注意事项

TMCS1143 器件会经受一系列测试级别：

- **电流级别：**施加的浪涌电流从 12kA 开始，并以 1kA 为增量逐级测试装置，最高至 20kA，在每个电流级别对示例器件进行测试。
- **重复率：**在每个测试级别均施加一系列 5 个重复脉冲（正向和负向浪涌），共 10 个脉冲，两个脉冲之间的时间间隔约为一分钟。
- **运行条件：**TMCS1143 在无电源电压和室温下进行测试。
- **电流波形和持续时间：**由 IEC 61000-4-5 定义的 8/20 μ s 电流波形显示波前时间约为 8 μ s，半峰值时间约为 20 μ s，如图 1 所示。实际测试波形的示例如图 2 所示。



Front time: $T_r = 8\mu\text{s} \pm 20\%$
Time to half-value: $T = 20\mu\text{s} \pm 20\%$

Short circuit current waveform

图 1. 浪涌电流波形

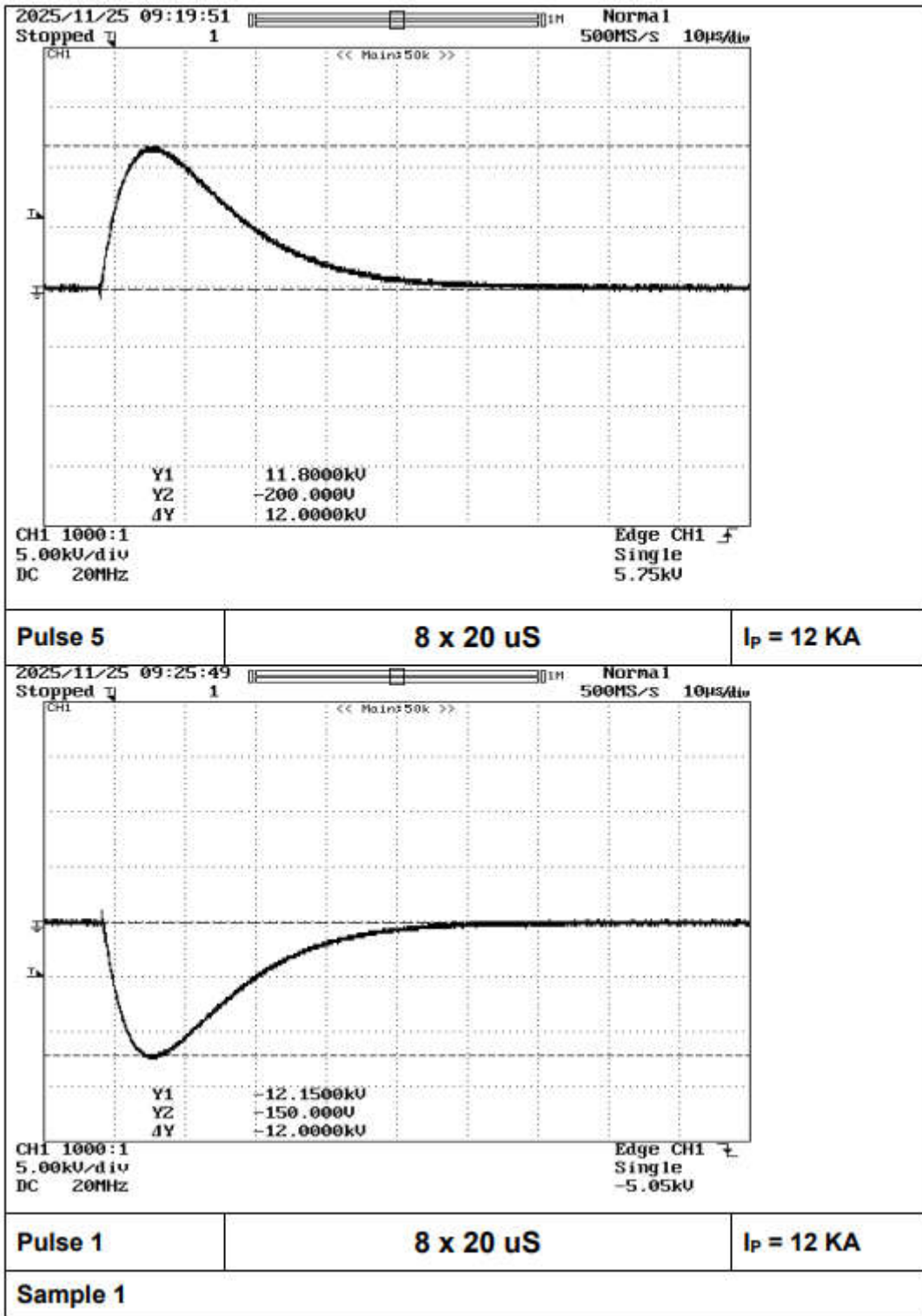


图 2. 实际测试波形

测试设置和方法

TMCS1143 的浪涌抗扰度测试在受控的实验室环境中进行，并遵循 IEC 61000-4-5 规范定义的电流波形。测试设置方框图如图 3 所示。采用了标准化测试设置，其中包括以下关键元件：

- **浪涌发生器**：经过校准的浪涌发生器，能够生成 IEC 61000-4-5 中定义的波形，包括 8/20 μ s 电流波形。
- **测试板**：TMCS1143 安装在标准 TMCS1143 EVM 上，未针对更大限度地减小寄生电感和电容采取任何特殊措施。该电路板为浪涌发生器和监测设备提供连接点。
- **监测设备**：
 - **示波器 (Yokogawa DL7100)**：用于监测注入被测器件 (DUT) 的浪涌波形（电压和电流）。
 - **电流探头 (Pearson 5664)**：用于测量流过 TMCS1143 输入引脚的电流。
- **器件测试**：在对 TMCS1143 器件施加应力之前，先将其安装在测试板上，并在自动化测试设计中进行验证。记录并保存施加应力前的数据，以便与施加应力后的数据进行比较。在施加应力期间，浪涌电流会施加到器件的 IN+ 引脚。

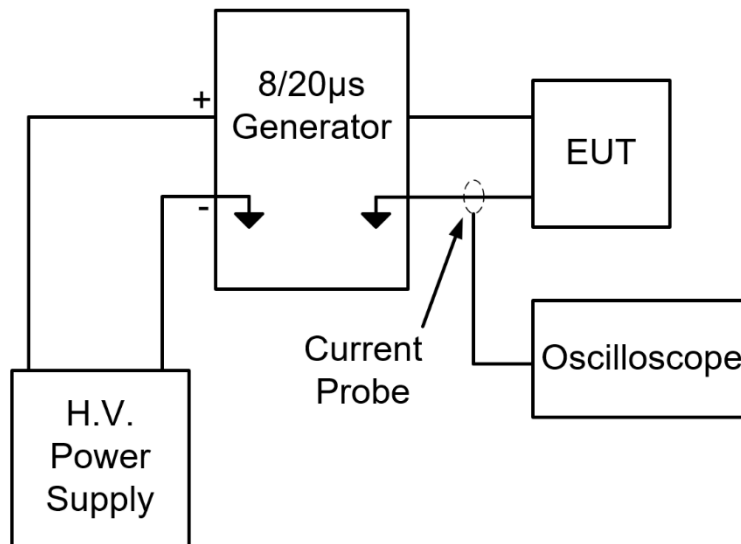


图 3. 浪涌电流测试设置方框图

测试观察结果

浪涌抗扰度测试揭示了关于 TMCS1143 性能的重要洞察：

- **物理损坏**：在所施加的任何电流级别下进行测试的任何器件均未出现明显的物理损坏。每个器件在施加应力前和施加应力后均拍摄了图像，两者之间没有明显差异。示例器件的施加应力前和施加应力后图像如图 4 所示。

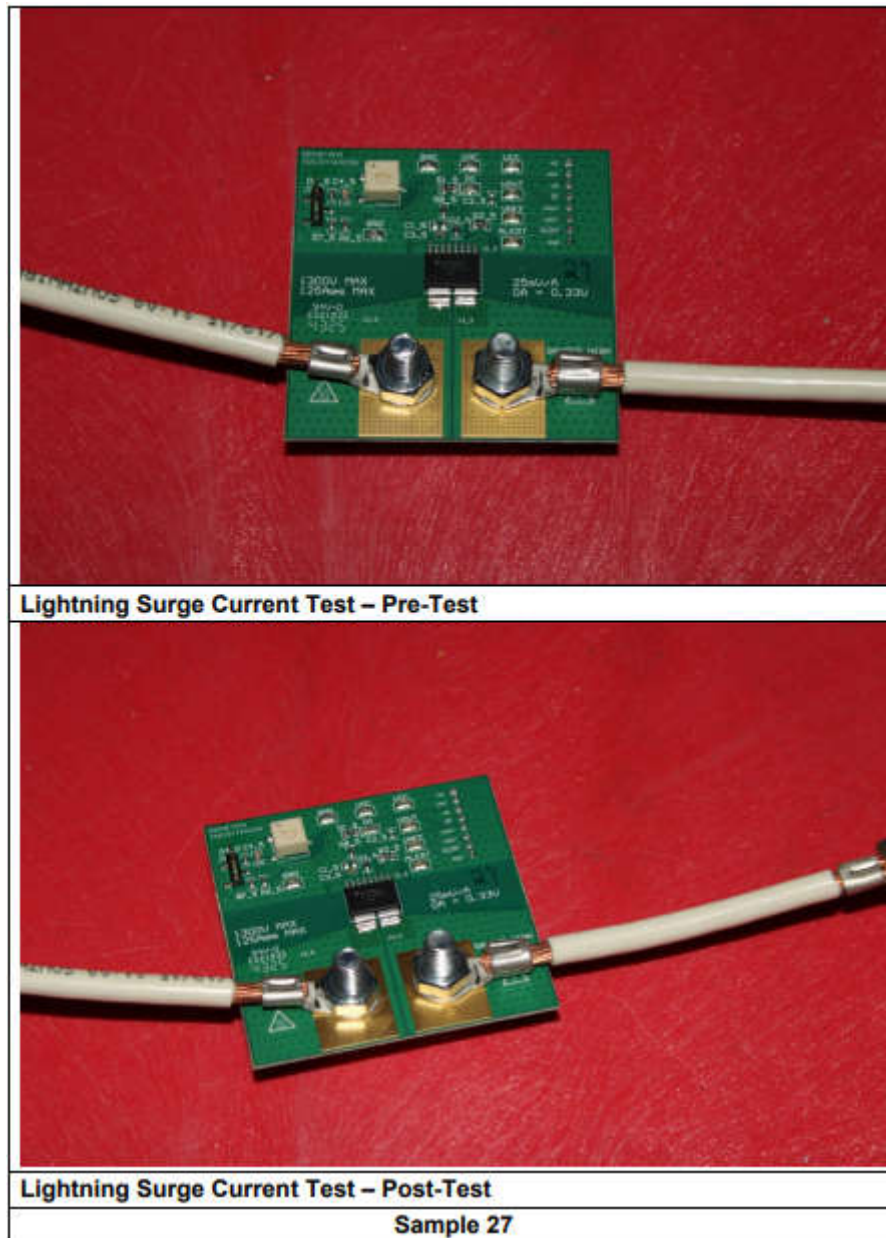


图 4. 施加应力前和施加应力后的 PCB 图像

- **电气性能**：观察施加应力前和施加应力后的数据，以下各项性能变化最显著：输入导体电阻（包括 DUT 引线框架以及适配器卡、焊料、电缆、硬件和互连器）、灵敏度误差和失调电压误差，在 20kA 时对装置施加应力发生的变化最大。虽然这些参数确实发生了变化（尤其是在 20kA 测试级别），但在施加应力后的测试期间，所有器件仍在规格限值内运行，并且在施加应力前和施加应力后测试之间未观察到任何其他测试参数发生显著变化。在每个测试的浪涌电流级别下，施加应力前和施加应力后收集的示例装置平均测量值请参阅表 1。

表 1. 施加应力前和施加应力后的测试数据

浪涌级别 (kA)	装置	输入导体电阻 (mΩ)		灵敏度误差 (%)		失调电压误差 (mV)	
		前	后	前	后	前	后
12	1-3	70.69	74.04	-0.16	-0.13	-0.23	-0.24
13	4-6	70.68	77.25	-0.16	-0.11	-0.37	-0.37
14	7-9	72.50	74.73	-0.15	-0.17	-0.04	-0.09
15	10-12	72.28	72.55	-0.11	-0.11	-0.02	-0.07
16	13-15	72.02	82.72	-0.12	-0.16	-0.23	-0.30
17	16-18	73.45	87.17	-0.09	-0.10	-0.24	-0.26
18	19-21	72.31	83.44	-0.10	-0.14	-0.04	-0.09
19	22-24	75.87	90.48	-0.10	-0.09	-0.30	-0.28
20	25-27	75.50	93.65	-0.11	0.43	-0.04	0.19

缓解策略和设计注意事项

为增强包含 TMCS1143 的系统的浪涌抗扰度，建议使用以下缓解策略：

- **外部浪涌保护**：在系统输入端采用金属氧化物压敏电阻 (MOV) 或瞬态电压抑制器 (TVS 二极管) 等外部浪涌保护器件 (SPD)，可在浪涌电流到达 TMCS1143 之前有效地进行分流。选择具有足够浪涌电流处理能力的合适 SPD 至关重要。有关如何实现这些器件的基本方框图如图 5 所示。如需深入了解和获取有关浪涌保护器件设计的信息，请参阅在[太阳能系统中使用封装内霍尔效应电流传感器的设计注意事项](#)第 5 节。

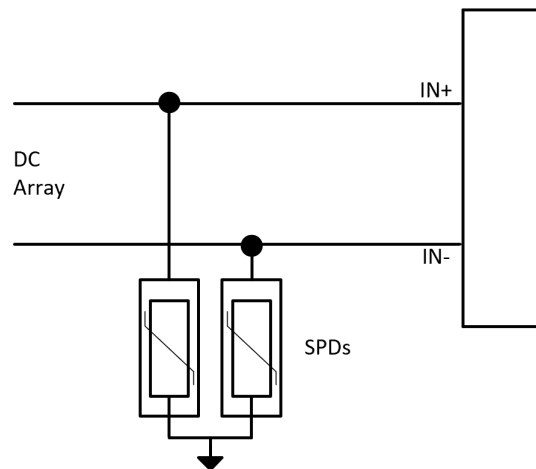


图 5. SPD 示例电路方框图

- **缓冲器网络**：跨电感负载的缓冲器网络有助于吸收电感反冲产生的能量，从而在浪涌事件期间降低 TMCS1143 上的应力。
- **正确接地和屏蔽**：实施稳健的接地方案并利用屏蔽电缆可以更大限度地减少电磁干扰 (EMI) 的影响并提高浪涌抗扰度。

结语

TMCS1143 的 IEC 61000-4-5 浪涌抗扰度测试表明，该器件具有适合许多应用的高稳健性水平，特别是太阳能逆变器和电源转换系统等能源基础设施应用中常见的高达 20kA 的电流级别。通过采用合适的浪涌保护技术（包括外部 SPD、缓冲器网络和稳健的接地实践），系统设计人员能够显著提升使用 TMCS1143 的系统的整体浪涌抗扰度，并确保其在具有挑战性的电气环境中可靠运行。清楚地了解器件在特定应力条件下的局限性，便可做出更明智的设计选择并有助于保障长期性能。

商标

所有商标均为其各自所有者所有。

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