

Application Brief

使用对数放大器改进电弧故障检测



Nathan Nohr, Saket Goteti

简介

电弧故障检测需要将危险电弧条件与各种其他噪声负载条件和受控电弧条件（例如有刷电机）区分开来。在发生绝缘故障或接线连接不良的情况下，会产生电弧，导致导体之间的间隙足够接近，允许电子跳过间隙。

当该间隙电压达到使间隙电离所需的电平时，电弧信号会以瞬时电流阶跃的形式开始出现。一旦电离传导路径形成，电流路径在电离电弧上就会产生随时间变化的电阻。这会导致宽带频率变化，其振幅比负载电流小 40-60dB。

电弧点火时的初始峰值看起来可能像继电器开关或调光器的初始峰值。开关模式电源和有刷电机会产生与电弧特征相似的噪声负载条件。因此，使用信号重叠较少的更高频率信息来区分受控电弧和不受控电弧非常有用。电弧特征噪声延伸到 1MHz 至 20MHz，其中大部分负载噪声特征都有所减少。

要以数字方式对该信号进行采样和处理，需要 >20MSPS 的采样率和具有足够处理带宽的 MCU（以便实时过滤数据）。电弧检测系统面临的另一个挑战是电弧电流的范围可以跨越多个数量级。例如，UL1699 需要中断 5A-500A 的电流。

为了解决上述难题，该应用优先选择对数检测器，因为它能够包络传入的高频信号并根据输入信号的振幅输出直流/低频信号。除了能将高频转换为低频之外，这些对数检测器还拥有 80-90dB 的动态检测范围以及低输入电压灵敏度，因此可作为此应用的首选。具有 40MHz 带宽和 98dB 动态范围的 LOG300 可以满足上述条件，并能根据传入的高频电弧信号的振幅以对数方式调节输出。

图 1 展示了有刷电机真空腔，当电机中的电刷旋转时，该真空腔内出现了少量正常电弧。3D 图展示了 1 - 30MHz 频率下，0-40ms（两个周期）时间内的电流量级。有刷电机正常运行的情况下，15MHz 和 5MHz 处存在接近恒定的小峰值。

图 2 展示了一个真空电机及一连串电弧。每 8.3ms（60Hz 下的半个周期）就会有一个明显的因电弧点火产生的峰值，虽然基本噪声水平只是略高，但在此情况下，本底噪声来自用于测量电流的探头。下一节展示了一种清晰的电路设计，其中包含用于提取这种高频率噪声的对数检测器，以及用于电弧检测的低电平基本噪声。

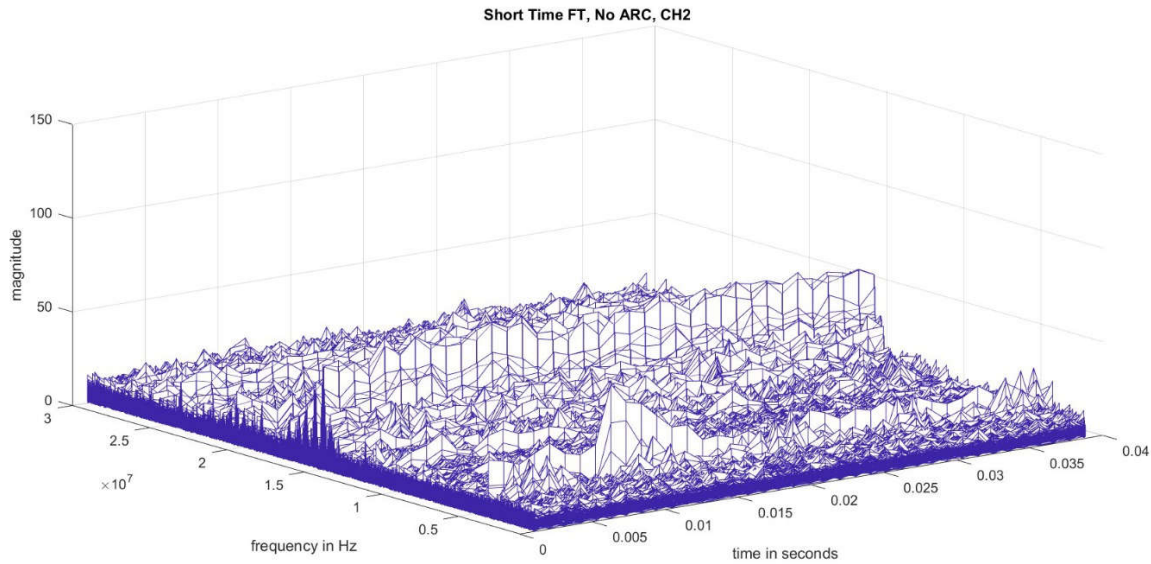


图 1. 真空负载正常运行

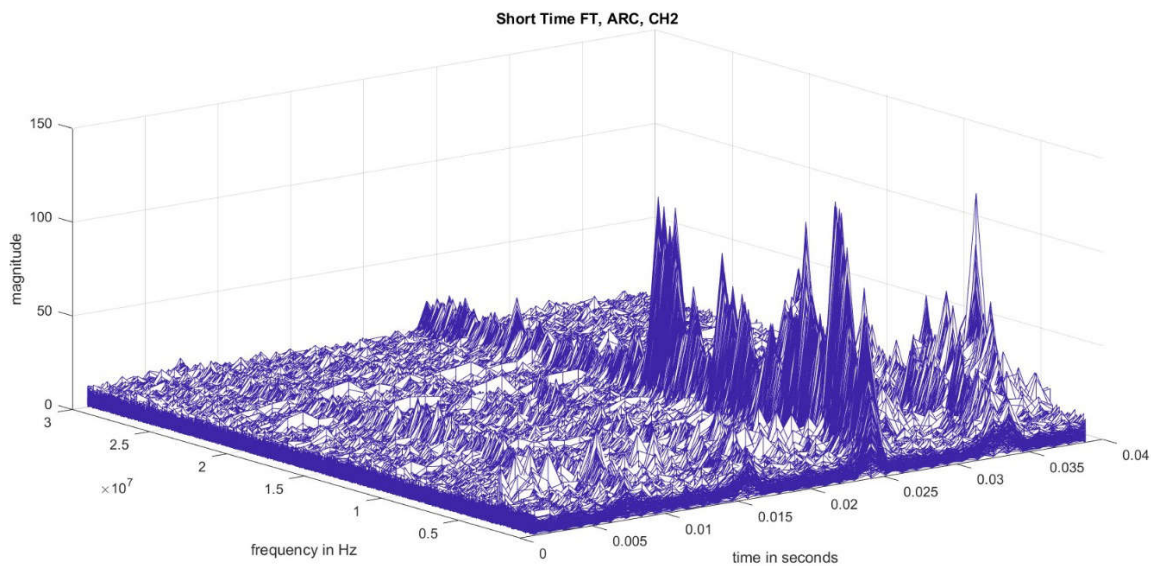


图 2. 带电弧的真空电机

示例：使用 LOG300 进行电弧检测

图 4 展示了使用 TIDA-010971 模拟前端与 UL1699 中定义的电弧发生器收集的电弧数据示例。该 TI 参考设计使用精密运算放大器 TLV387 来集成宽带 PCB di/dt 电流传感器。该参考设计还采用 LOG300 AFE，这是一款整合了低噪声放大器输入级和对数检测器的器件。由于 10MHz 无源滤波器可消除大部分负载噪声，因此在典型负载下 LOG300 的输出几乎保持恒定。在具有 10MHz 频率内容的电弧事件期间，LOG300 输出以对数方式响应，表现为所施加输入的包络。包络输出的频率要低得多，因此可以对该数据进行采样和处理，并且这种方式对采样率和 MCU 带宽的要求要低得多。

即使面对调光器等非正弦负载，LOG300 也能够提供与正常运行明显分离的信号。由于电路和负载阻抗的变化，简单的线性算法可能不足以实现通用电弧检测。为了实现更稳健的电弧故障检测，LOG300 模拟输出数据可用于训练机器学习算法，以便对电弧进行分类。（边缘 AI Studio 中提供了相关示例）

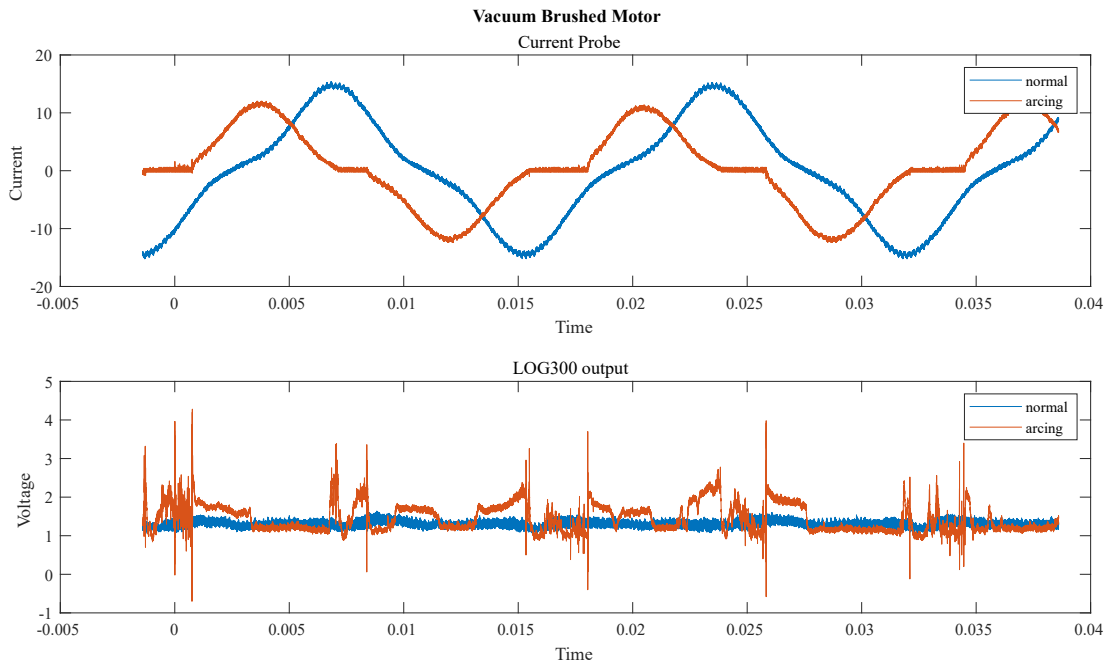


图 3. 真空电机正常状态与电弧状态

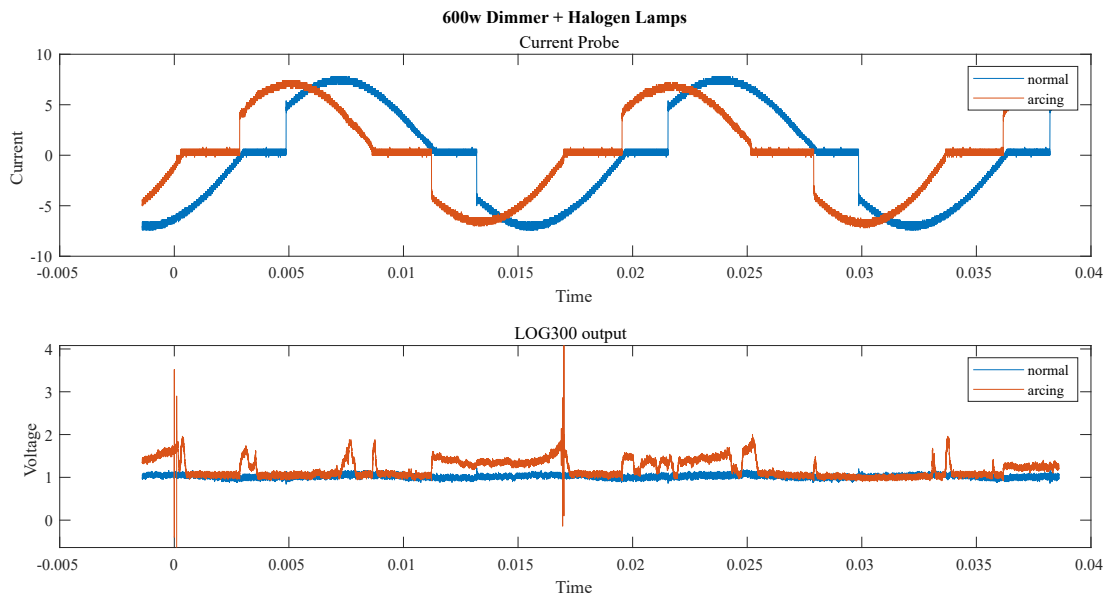


图 4. 调光器正常状态与电弧状态

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