

EVM User's Guide: ULC1001-DRV2911EVM

ULC1001-DRV2911 评估模块



说明

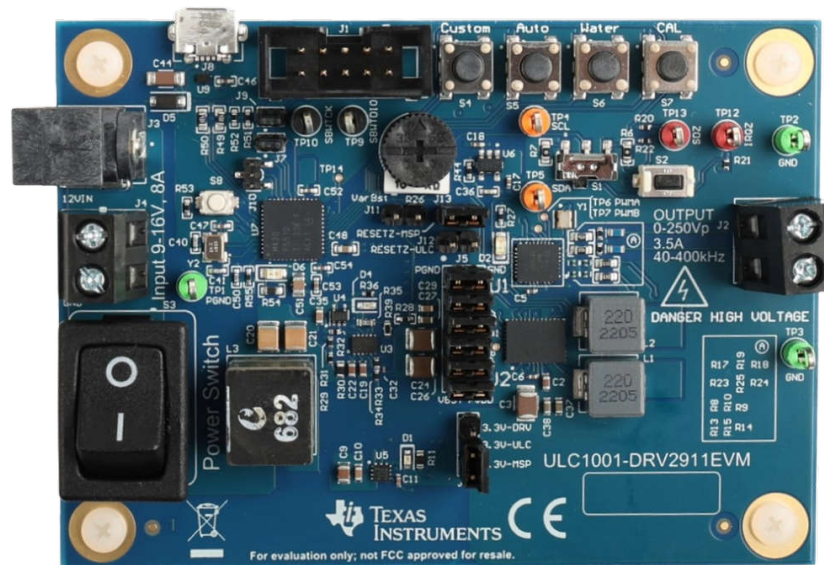
德州仪器 (TI) 开发了超声波镜头清洗 (ULC) 系统，用于去除汽车、安防和工业镜头系统中的水渍、冰凝和其他污染物。ULC 通过高效地清除水渍、冰凝和一些污染物，来改善视线清晰度。在某些用例中，使用 ULC 可以省去清洗器管、喷嘴或雨刮器。ULC 系统是一个机电系统，由压电式镜头盖或镜头系统、外壳和 ULC1001-DRV2911 EVM 组成。ULC1001-DRV2911 EVM 是一款专为激活镜头盖并排出污染物而开发的电气系统。

开始使用

- [ULC1001 产品页面](#)
- [ULC EVM 快速入门视频](#)
- [USB2ANY 工具页面](#)

特性

- 集成可编程清洗模式
 - 水 (排出)
 - 除冰 (融化和排出)
 - 泥点 (脱水和排出)
 - 自动清洁 (检测质量和排出)
 - 自定义清洁模式
- 嵌入式算法
 - 镜头系统校准
 - 自动质量检测
 - 功率调节
 - 系统诊断
- 系统诊断
 - DRV2911 故障报告
 - 镜头系统故障
 - 传感器温度调节
- I²C 用户接口



ULC1001-DRV2911EVM

内容

| | |
|--|-----------|
| 说明..... | 1 |
| 开始使用..... | 1 |
| 特性..... | 1 |
| 1 评估模块概述..... | 3 |
| 1.1 引言..... | 3 |
| 1.2 套件内容..... | 3 |
| 1.3 规格..... | 4 |
| 1.4 器件信息..... | 4 |
| 1.5 通用德州仪器 (TI) 高压评估模块 (TI HV EVM) 用户安全指南..... | 5 |
| 2 硬件..... | 6 |
| 2.1 硬件信息..... | 6 |
| 2.2 连接程序..... | 7 |
| 3 软件..... | 8 |
| 3.1 GUI 设置..... | 8 |
| 3.2 系统概述..... | 8 |
| 3.3 GUI 概述..... | 14 |
| 4 硬件设计文件..... | 38 |
| 4.1 原理图..... | 38 |
| 4.2 PCB 布局..... | 40 |
| 4.3 物料清单 (BOM)..... | 41 |
| 5 其他信息..... | 46 |
| 5.1 商标..... | 46 |

1 评估模块概述

1.1 引言

超声波镜头清洗是一种无需依赖大型元件的全新镜头清洗方案。ULC 在去除水渍和冰凝方面表现出色，并能大幅改善含泥点或灰尘等污染物情况下的视线清晰度。对于严格的清洗应用，ULC 可以与水射流技术协同作业。与传统的水射流系统相比，ULC 无需配备辅助空气喷射系统，并有效减少了用水量。

德州仪器 (TI) 开发了超声波镜头清洗 (ULC) 系统，用于去除汽车和工业系统盖镜头上的水渍、冰凝或其他污染物。该技术采用了一套精密构造的机械系统，该系统包含一个压电换能器，换能器经由直接粘合或借由支架间接固定于镜头（玻璃或其他材料）上，镜头可放置在摄像头表面或整合到摄像头组件内部。用于覆盖摄像头模块的粘接换能器和镜头组合称为镜头盖。镜头盖安装在构成镜头盖系统 (LCS) 的外壳内。在本文档中，LCS 一词兼指镜头盖系统与集成的压电式镜头清洗系统。ULC1001-DRV2911 EVM 是我们开发的一种电气系统，用于驱动 LCS 的压电元件，通过机械振动将镜头上的污染物去除。该 EVM 可通过 PC 端提供的 GUI，轻松地采用 I²C 接口进行控制。原理图如节 4.1 所示。

德州仪器 (TI) 能够开发超声波镜头清洗所需的原型机械系统和可立即投产的电气系统。其他公司开发的机械系统也可以通过 ULC1001-DRV2911 EVM 进行驱动。德州仪器 (TI) 的 LCS 是使用特定参数和元件设计的，可提供高可靠性和出色的清洗性能。有关 LCS 的更多机械详细信息，请参阅机械设计指南。

ULC1001-DRV2911 EVM 是一个灵活的系统，旨在消除超声波镜头清洗应用的设计复杂性。通过 GUI，用户可以快速开始开发和评估超声波镜头清洗应用。另外，EVM 上的四个可编程按钮可灵活设定，通过板载 MSP430 可设定特定的清洗模式。节 1.2 中列出了 ULC1001-DRV2911 EVM 内容。

1.2 套件内容

ULC1001-DRV2911 EVM 未配备任何其他硬件，但 TI 建议购买 [USB2ANY](#)，用于将 GUI 连接到计算机。TI 拥有开源设计 LCS 原型，您可以购买该原型并对超声波镜头清洗技术进行全面评估。使用不同的镜头保护盖时，需要注意的一点是考虑并更新 EVM 上的升压电压和 LC 滤波器。有关 TI 镜头保护盖原型的更多信息和有关要进行的 EVM 更新的详细信息，请参阅机械设计指南。也可以使用 ULC1001-DRV2911 EVM 来测试其他镜头保护盖系统。

1.3 规格

超声波镜头清洗技术的可能应用包括但不限于热成像摄像头、交通监控摄像头、机器视觉摄像头、无线安防摄像头和无人机视觉。图 1-1 展示了简化的系统方框图。

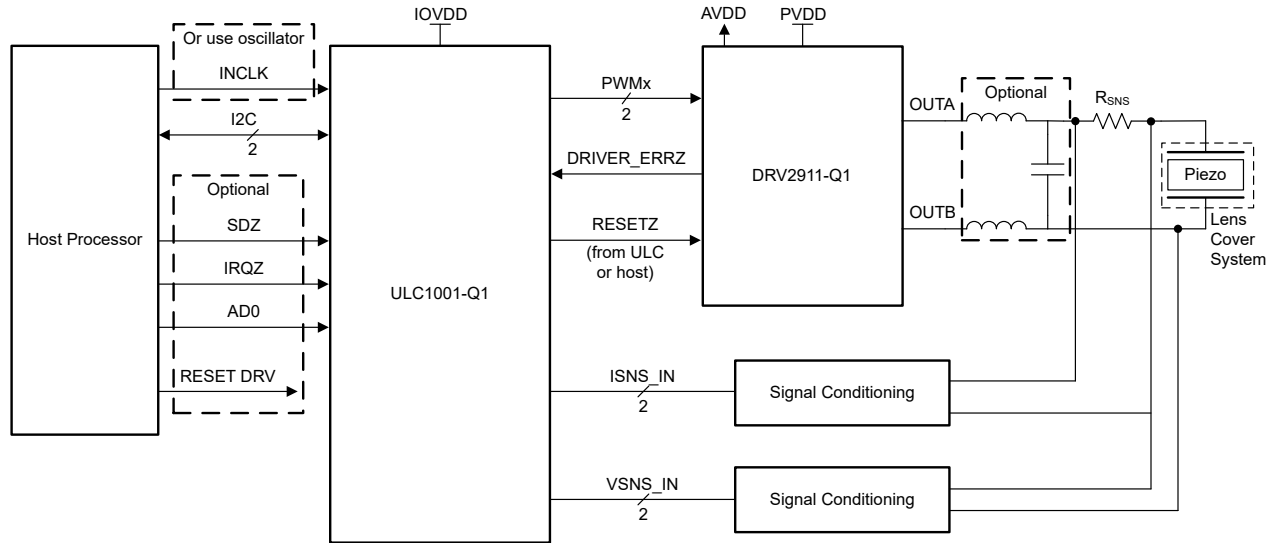


图 1-1. 简化版方框图

1.4 器件信息

ULC1001-DRV2911EVM 包含一个可配置 PWM 调制器 ULC1001-Q1 和一个 PWM 输入驱动器 DRV2911-Q1。ULC1001 器件具备带片上低延迟 DSP 的集成镜头清洗算法，使用集成放大器测量负载电流和电压，并驱动 DRV2911 的 PWM 输入。DRV2911 集成了两个 H 桥，用于驱动基于压电技术的镜头盖系统，绝对最大电压高达 40V。DRV2911 集成了可用于为 ULC1001 等外部电路供电的电源管理 LDO (3.3V/30mA)。EVM 还包含一个 MSP430 微控制器，可通过四个可编程按钮控制 ULC1001。还实现了各种功率器件来为系统供电。

1.5 通用德州仪器 (TI) 高压评估模块 (TI HV EVM) 用户安全指南

务必遵循 TI 的设置和应用说明，包括在建议的电气额定电压和功率限制范围内使用所有接口元件。务必采取电气安全防护措施，这样有助于确保自身和周围人员的人身安全。如需更多信息，请联系 TI 产品信息中心，网址为 <http://ticsc.service-now.com>。

保存所有警告和说明以供将来参考。

警告

务必遵循警告和说明，否则可能引发电击和灼伤危险，进而造成财产损失或人员伤亡。

TI HV EVM 一词是指通常以开放式框架、敞开式印刷电路板装配形式提供的电子器件。TI HV EVM 严格用于开发实验室环境，仅供了解开发和应用高压电路相关电气安全风险且接受过专门培训、具有专业知识背景的合格专业用户使用。德州仪器 (TI) 严禁将其用于任何其他用途或应用。如果用户不符合要求，应立即停止继续使用 HV EVM。

1. 工作区安全。保持工作区整洁有序。
 - a. 每次电路通电时，都必须由具有资质的观察员在场监督。
 - b. TI HV EVM 和接口电子元件通电区域必须设有有效的防护栏和标识。这些标志指示可能存在高压操作，以避免意外接触。
 - c. 开发环境中使用的所有接口电路、电源、评估模块、仪器、仪表、示波器和其他相关装置如果超过 50Vrms/75VDC，则必须置于紧急断电 (EPO) 保护电源板内。
 - d. 使用稳定且不导电的工作台。
 - e. 使用充分绝缘的夹钳和导线来连接测量探针和仪器。尽量不要徒手进行测试。
2. 电气安全：作为一项预防措施，假定整个 EVM 可能存在用户可完全接触到的高电压是一种好的工程做法。
 - a. 执行任何电气测量或其他诊断测量之前，需切断 TI HV EVM 及其全部输入、输出和电气负载的电源。确认 TI HV EVM 已安全断电。
 - b. 确认 EVM 断电后，根据所需的电路配置、接线、测量设备连接和其他应用需求执行进一步操作，同时仍假定 EVM 电路和测量仪器均带电。
 - c. EVM 准备就绪后，根据需要 will EVM 通电。

警告

警告电击危险。

THE 通电后，请勿触摸 EVM 或电路，因为可能存在高压，会造成电击危险。

3. 人身安全：穿戴人员防护装备（例如具有高额定电压的手套或具有侧护板的安全眼镜）或将 EVM 放置于带有联锁装置的保护罩中，避免意外接触。
4. 安全使用限制条件：勿将 EVM 作为整体或部分生产单元使用。

2 硬件

2.1 硬件信息

ULC1001-DRV2911 EVM 可设置为驱动多种类型的镜头盖系统。EVM 包含一个灵活的升压转换器设计和输出路径中的多个滤波器配置。按照以下说明组装系统的硬件和安装软件组件。

小心
LCS 中的压电换能器会由于电场或温度变化而充电。在将 LCS 连接到 ULC1001-DRV2911 EVM 之前，请将 LCS 的引线短接以释放任何电位。

ULC1001-DRV2911 EVM 具有两个输入电源连接器，一个拧紧式端子块 (J4) 和一个 2.5mm 桶形插孔 (J3)。输出通过电路板底部的 J2 端子块连接。一个板载 MSP430 可控制四个具有默认配置的按钮，并可通过 J1 接头连接 USB2ANY。两个引脚接头中的一个可用于控制 DRV2911 故障。由于采用 I2C 协议，使用 GUI 时可通过 ULC1001 (J12) 来处理故障。在类似生产状态 (没有 GUI) 下评估 GUI 时，故障可以通过 ULC1001 (J12) 或 MSP430 (J13) 来处理。

表 3-1 列出了 EVM 上的所有连接、跳线和开关的说明。

表 2-1. ULC1001-DRV2911 EVM 端口和开关说明

| 端口 | 说明 |
|-----|---|
| J1 | USB2ANY 端口与 USB2ANY 随附的 10 引脚电缆兼容。引脚 6 是 GND。引脚 9 是 SCL。引脚 10 是 SDA。 |
| J2 | 输出端子块，根据负载和滤波器配置的不同，可能的输出范围为 0Vp 至 250Vp、3.5A、10kHz 至 400kHz。端子块额定值为 300V、15A。 |
| J3 | 电源输入桶形插孔，2.5mm。输入 9V 至 16V、8A。(使用 J4 或 J3)。 |
| J4 | 电源输入端子块。输入 9V 至 16V、8A。(使用 J4 或 J3)。 |
| J5 | 转换器和 DRV2911 器件之间用于 GND 和 PVDD 的电源连接。 |
| J6 | 用于 ULC1001 电源选择的引脚接头。短接引脚 1-2，从同时为 MSP430 供电的稳压器为 ULC1001 供电，或短接引脚 2-3，从 DRV2911 内部稳压器为 ULC1001 供电。 |
| J7 | 用于断开 MSP430 SCL 连接的引脚接头。 |
| J8 | 用于连接到 MSP430 的 Micro-USB 端口。 |
| J9 | 用于断开 MSP430 SDA 连接的引脚接头。 |
| J10 | UART 连接到 MSP430。 |
| J11 | 用于可变升压调节电路的引脚接头。让跳线使用 R26 电位器短接以实现可变升压，或保持断开状态，默认为 30V 升压。 |
| J12 | 用于从 ULC1001 复位 DRV2911 的引脚接头。如果此引脚短接，则必须将 ULC1001 SD_OUT 置于手动模式并在外部进行控制。如果您通过 DRV2911 (J6) 为 ULC1001 供电，请勿将该引脚短接。 |
| J13 | 用于从 MSP430 复位 DRV2911 的引脚接头。 |
| S1 | I2C 地址选择开关。将 ULC1001 上的 AD0 拉至 VDD 或 GND。将 R6 和 R7 替换为 10kΩ 电阻器可实现额外的 I2C 地址 |
| S2 | ULC1001 (SDZ) 的关断开关。按下开关 S3 时，SDZ 被拉至低电平。 |
| S3 | 适用于整个 EVM 的电源开关。将输入电源与转换器电路断开。 |
| S4 | 从 MSP430 连续运行供水模式。第二次按下可停止连续供水模式。 |
| S5 | 从 MSP430 连续运行自动模式。第二次按下可停止连续自动模式。 |
| S6 | 从 MSP430 运行供水模式。 |
| S7 | 从 MSP430 运行校准。 |
| S8 | 用于 MSP430 编程的 BSL (引导加载程序)。 |

2.2 连接程序

图 1-1 展示了 ULC1001-DRV2911EVM 图片。整个 EVM、LCS 和 USB2ANY 设置如图 2-1 所示。按如下说明设置系统。

1. 关闭 PWR 开关 (OFF = 0)。
2. 拨下或关闭电源，连接到 J3 或 J4。输入 9V 至 16V、8A。8A 电流基于负载要求。
3. 确保 LCS 或负载已放电，并将 LCS 电缆插入 J2 端子块。输出 0Vp 至 250Vp，3.5A，10kHz 至 400kHz。
4. 使用 J1 将 10 引脚 I²C 带状电缆从 ULC1001-DRV2911 EVM 连接到 USB2ANY。
5. 用 Mini USB 电缆将 USB2ANY 与计算机连接起来。
6. 在为器件上电之前，请验证是否遵循了所有安全程序（例如，用于 EVM 设置的个人防护设备或保护外壳）。
7. 打开电源。
8. 将电源开关拨到打开位置 (on = 1)。
9. 从 [TI mySecureSoftware](#) 下载并安装 ULC1001 GUI。

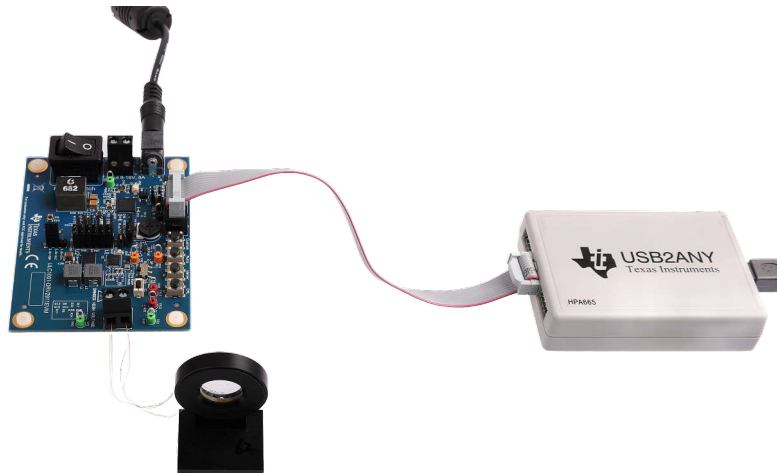


图 2-1. EVM 系统设置示例

3 软件

3.1 GUI 设置

安装并打开 [TI.com](http://ti.com) 上提供的 ULC1001 GUI。默认安装路径为 **C:\Program Files (x86)\Texas Instrument\ULC1001**。必须接受许可协议，并将 Python 2.7 作为附加依赖项进行安装。

主 GUI 屏幕如图 3-1 所示。默认 7 位 EVM I2C 地址为 0x48。打开后，GUI 会自动尝试通过 USB2ANY 接口连接 ULC1001-DRV2911 EVM。成功连接后，点亮的绿色 *connected* 指示灯将显示在 GUI 下方窗格中状态栏的右下角。发生故障的 USB2ANY 接口连接会标记 *Interface not initialized* 错误消息，并允许 GUI 在演示模式下打开。

备注

为了确保 GUI 在使用 Windows OS 进行长期远程设置时不会出现任何连接问题，请禁用 *advanced power settings* 下的 *USB selective suspend setting*。否则，在 PC 处于低功耗状态期间会中断 GUI 连接。

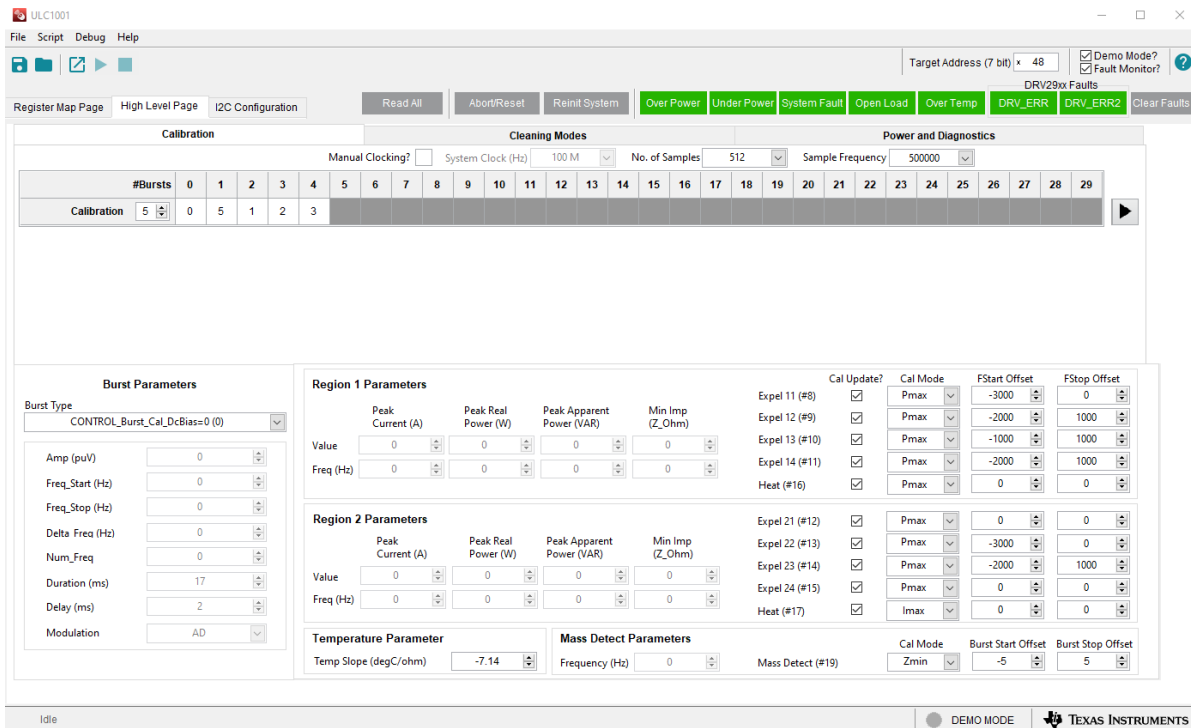


图 3-1. GUI 启动

3.2 系统概述

ULC1001 具有许多需要配置的设置，可实现良好的清洗性能。这些设置分为三个主要选项卡：*Calibration*、*Cleaning Modes* 和 *Power and Diagnostics*。概括而言，ULC1001 会调用校准、清洗、电源监控和故障保护模式。这九种模式中的每一种都包含多达 30 个突发，可以为各种频率范围配置这些突发。突发从 0-23 枚举，每个突发具有八个可配置参数。GUI 对于设置系统和导出用于系统集成的配置文件非常有用。启用某种模式后，ULC1001-DRV2911 EVM 会按图 3-2 中所所示的顺序为给定模式驱动每次突发。

| | | BURSTS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|--------------|--------|----|----|----|----|----|----|----|----|---|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|--|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 28 | 29 | |
| MODES | Auto | 19 | 23 | 16 | 8 | 9 | 13 | 14 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Water | 8 | 9 | 13 | 14 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Deice | 15 | 8 | 9 | 13 | 14 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Mud | 8 | 9 | 13 | 14 | 8 | 9 | 13 | 14 | 17 | 8 | 9 | 13 | 14 | ... | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Calibration | 0 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Power | 20 | 21 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | System Fault | 22 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Burst Parameters

| | |
|-----------------|----------------------|
| Amp (puV) | <input type="text"/> |
| Freq_Start (Hz) | <input type="text"/> |
| Freq_Stop (Hz) | <input type="text"/> |
| Num_Freq | <input type="text"/> |
| Delta_Freq (Hz) | <input type="text"/> |
| Duration (ms) | <input type="text"/> |
| Delay (ms) | <input type="text"/> |
| Modulation | <input type="text"/> |

图 3-2. 系统配置矩阵

有两种类型的突发：有源突发可启用 IV 检测路径（突发 0 至 5 和 19 至 23），无源突发不启用 IV 检测路径（突发 6 至 17）。每个突发都包含以下八个可配置参数：Amp、Delay、Duration、Freq_Start、Freq_Stop、Num_Freq、Delta_Freq 和 Modulation。

备注

突发 18 是一个空闲突发，在每个模式结束时自动返回；用户不会设置该突发。突发 18 不得放置在模式序列中。突发 23 是可能使其连续运行的温度突发。有关将突发 23 添加到序列的信息，请参阅节 3.3.2.3.1。

除突发 0 之外的所有有源突发频率设置必须遵循： $\Delta_{\text{Freq}} \cdot n = (F_s/N) \cdot n = (\text{ULC_RX_mode_cfg 位 [0-4]} / \text{USER_Params_numSamples}) \cdot n$ ，其中 n 是一个整数乘法器。 $\text{Freq_start} \leq \text{Freq_stop}$ 。 Freq_start 和 Freq_stop 必须是 Δ_{Freq} 的整数倍。请参阅表 3-7。

所有无源突发必须使 $\text{Num_Freq} = 0$ 。请参阅表 3-8。

需要对两种类型的寄存器进行编程。8 位硬件 (HW) 寄存器，用于设置硬件配置（如 ADC 采样率）。采用 Q 点表示法的 32 位固件 (FW) 寄存器，用于在 DSP 中设置固件。FW 寄存器的 Q 点符号由每个寄存器的后缀定义；如果不存在后缀，则该寄存器为普通的 32 位寄存器。固件寄存器存储在 I2C 缓冲区中，在调用重新初始化命令之前不会被固件使用。有关运行重新初始化命令的信息，请参阅节 3.3.5.3。

3.2.1 系统 ISR 周期

ULC1001 可配置为在不同的 ISR 周期运行，以适应不同类型的镜头盖系统。ISR 周期与 ADC 采样率 F_s 成反比，与有源突发的最小频率步长 512 成反比。ISR 周期可以通过更改硬件寄存器 ULC_RX_mode_cfg 来进行调整，该值必须等于软件寄存器 USER_Params_fs_Hz_Q9。硬件寄存器会设置用于配置 F_s 的 PLL 时钟分频比。软件寄存器用于配置算法设置，以处理电流和电压检测数据。关系为 $\text{ISR 周期} = 512/F_s$ ，其中 512 是 USER_Params_blockSize。

默认 ISR 周期为 $512/500\text{kpsps} = 1.024\text{ms}$ 。GUI 中的所有时序（例如持续时间或延迟）都按 ISR 周期缩放。当 FS 发生更改时，GUI 会相应地更新时序。建议的采样率为 400kpsps 和 500kpsps。

当 ADC 采样率发生更改时，所有有源突发的 `Delta_Freq` 设置也会更改。关系为 $\Delta_{Freq} = F_s/N$ ，其中 N 是样本数。驱动高 Q 传感器时，可以通过设置最小 F_s 和最大 N 来最小化 Δ_{Freq} 。有效样本数为 512、1024 和 2048。

要实现较低的采样率并最终降低最小输出频率，请启用手动时钟模式。手动时钟模式以及 40MHz、60MHz 和 80MHz 的有效 PLL 时钟。在手动时钟模式下，所有突发时序和有源模式突发频率必须进行适当缩放。请参阅 ULC1001-Q1 数据表，了解将 PLL 时钟更改为 80MHz 和调整所有相关寄存器的示例。

表 3-1. ISR 配置设置

| | |
|-------------------------------------|---|
| <code>ULC_SAR_SAMP_RATES</code> | 设定内部 ADC 采样速率。还必须将 <code>USER_Params_fs_Hz_Q9</code> 设置为相同的值。 |
| <code>USER_Params_numSamples</code> | 设置样本数。必须设置为等于 <code>USER_Params_blockSize*USER_Params_numStages</code> ，其中 <code>USER_Params_blockSize = 512</code> (请勿更改)。GUI 会将 <code>USER_Params_numStages</code> 更改为有效设置 1、2、4。 |

3.2.2 系统驱动电压

可根据所驱动的镜头盖系统来调节为 DRV2911 芯片提供的电压。板载升压转换器 LM5155 (`SNVSB75`) 产生电压 `VBST`，该电压通过 J5 接头连接至 `PVDD`。调节电阻器反馈网络可以改变 `VBST` 电压，从而改变 `PVDD` 电压。采用了电位器 R26，可轻松将 `VBST` 值从 13V 更改为 DRV2911 40V 的绝对最大值。若要启用可变升压电路，请短接跳线 J11 并将 R26 调整为所需的升压电压。要使用默认的 30V 升压电压，请将 J11 保持开路。

3.2.3 系统校准

ULC1001 使用复杂的校准例程来补偿 LCS 中的机械差异。校准例程会配置清洗模式、温度保护、功率监控、质量检测 and 诊断的设置。校准系统时，LCS 必须没有任何碎屑或水并且接近室温 (23°C - 可以调整 `USER_Params_tempParams_calTemp_C_Q21`)。只要 LCS 的阻抗发生变化，例如将 ULC1001-DRV2911 EVM 连接到 LCS 的线长或线规发生变化，就需要重复校准。

连接 ULC1001 并为其供电后，必须先配置并运行校准模式。有 5 个突发可校准不同的算法。建议的顺序是突发 0、5、1、2、3。表 3-2 中描述了每个突发。校准序列如图 3-14 所示。

表 3-2. 有效校准突发

| 突发编号 | 突发后缀 | 说明 |
|------|--|---|
| 0 | <code>CONTROL_Burst_Cal_DcBias</code> | 校准电流和电压检测路径中可能出现的直流偏置。 |
| 1 | <code>CONTROL_Burst_Cal_Region_MassDetect</code> | 校准 <code>MassDetect</code> 算法并更新突发 19。 |
| 2 | <code>CONTROL_Burst_Cal_Region_1</code> | 校准频率范围并更新突发 8-11 和 16。 |
| 3 | <code>CONTROL_Burst_Cal_Region_2</code> | 校准频率范围并更新突发 12-15 和 17。 |
| 5 | <code>CONTROL_Burst_Cal_Region_Temp</code> | 校准温度常数。单频率测量； <code>Freq_start = Freq_stop</code> 。 |

可针对不同类型的系统配置校准突发。本用户指南列出了具有两种振动模式或两个频率范围的系统的设置。

3.2.3.1 直流偏置校准

对于直流偏置校准，请使用 `CONTROL_Burst_Cal_DcBias(0)`；不能为此突发更改默认的 GUI 设置。系统不会为此校准过程创建任何输出波形。ULC1001 决定内部 ADC 中间代码与在没有信号输入的情况下测得的电流和电压值之间的直流失调。

其余校准突发（1-3、5）用于设置清洗模式以及温度、质量检测 and 功率算法。

表 3-3. 直流偏置校准设置

| 寄存器 | 值 (十六进制) |
|---|------------|
| USER_Params_dcBiasParams_numSamples | 0x00002000 |
| USER_Params_dcBiasParams_log2NumSamples | 0x0000000D |
| USER_Params_dcBiasParams_blockSize | 0x00000200 |
| USER_Params_dcBiasParams_numStages | 0x00000010 |
| USER_Params_burstParams_0_0_duration_cnts | 0x00000011 |
| USER_Params_burstParams_0_0_delay_cnts | 0x00000001 |

备注

除了表 3-3 中提到的时长外，`CONTROL_Burst_Cal_DcBias` 的所有突发参数都设置为 0。

3.2.3.2 温度校准

典型校准序列中的第二个突发用于温度校准，`CONTROL_Burst_Cal_Region_Temp(5)`。温度以远离 LCS 阻抗响应中任何谐振频率的单个频率进行校准。图 3-3 展示了一个示例。必须设置温度斜率常数

`USER_Params_tempParams_slope_CperOhm_Q27` 和校准温度 `USER_Params_tempParams_calTemp_C_Q21` 以正确校准 LCS 温度。温度斜率通过测量整个温度范围内的 LCS 阻抗并找到最佳拟合线的斜率来确定，其中 x 轴为阻抗，y 轴为温度，与示例图相反。校准温度 `calTemp` 是运行校准时 LCS 的环境温度（以摄氏度为单位）。阻抗随着温度的升高而降低，从而使温度斜率始终为负值。当校准序列运行时，温度斜率常数 `USER_Params_tempParams_constant_C_Q21` 被设置为一个合适的值。

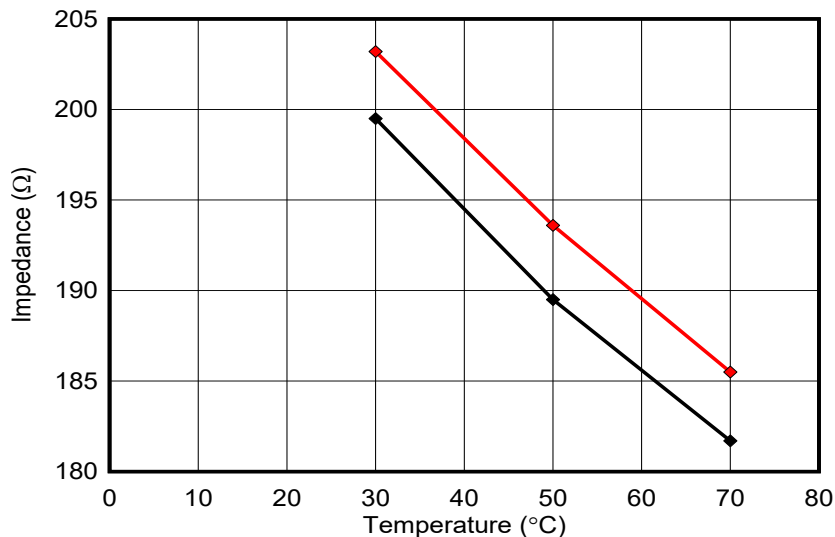


图 3-3. 输出阻抗与温度间的关系

3.2.3.3 自动检测校准

典型校准序列中的第三次突发用于质量检测或自动清洗模式、`CONTROL_Burst_Cal_Region_MassDetect(1)`。此突发的频率范围被设定在 LCS 谐振频率的最小阻抗附近。

3.2.3.4 清洗和电源校准

典型校准序列中的第 4 个和第 5 个突发用于校准清洗模式和电源模式：CONTROL_Burst_Cal_Region_1 (2) 和 CONTROL_Burst_Cal_Region_2 (3)。如果系统以两个频率运行，则使用两个突发 (2 和 3)；否则，使用一个突发。有两个自定义突发 (6、7) 不受校准影响。可根据峰值电流 (Imax)、峰值实际功率 (Pmax)、峰值视在功率 (Smax) 或最小阻抗 (Zmin) 确定清洗校准方法。更多信息，请参阅表 3-10。

3.2.4 系统清洗

德州仪器 (TI) 创建了三种主要的清洗模式：一种是从 LCS 镜头中去除冰凝、泥点和水渍；另一种是自动模式，可对其进行编程，以便在检测到镜头上有水等东西时驱动清洗序列。另外还有两种自定义模式可供灵活使用。表 3-4 中列出了清洗模式的有效突发。下图展示了每种清洗模式的示波器电压和电流波形捕获图，作为参考：图 3-4、图 3-5、图 3-6 和图 3-7。

表 3-4. 有效的清洗突发

| 突发编号 | 突发名称 | 说明 |
|------|------------------------------|--|
| 6 | CONTROL_Burst_Clean_Custom_1 | 运行校准后未更新的自定义突发。 |
| 7 | CONTROL_Burst_Clean_Custom_2 | |
| 8 | CONTROL_Burst_Clean_Expel_11 | 在运行校准区域 1 突发后更新突发起始频率和停止频率。在校准前，可以设置不同的偏移频率。 |
| 9 | CONTROL_Burst_Clean_Expel_12 | |
| 10 | CONTROL_Burst_Clean_Expel_13 | |
| 11 | CONTROL_Burst_Clean_Expel_14 | |
| 12 | CONTROL_Burst_Clean_Expel_21 | 在运行校准区域 2 突发后更新突发起始频率和停止频率。在校准前，可以设置不同的偏移频率。 |
| 13 | CONTROL_Burst_Clean_Expel_22 | |
| 14 | CONTROL_Burst_Clean_Expel_23 | |
| 15 | CONTROL_Burst_Clean_Expel_24 | |
| 16 | CONTROL_Burst_Heat_Region_1 | 长时间突发用于加热序列。在运行校准区域 1 和 2 突发后更新突发起始频率和停止频率。 |
| 17 | CONTROL_Burst_Heat_Region_2 | |
| 19 | CONTROL_Burst_MassDetect | 调用质量检测算法的有源突发。在运行校准 MassDetect 突发后更新突发起始频率和停止频率。 |
| 23 | CONTROL_Burst_Temp | 调用温度保护算法的有源突发。突发频率和振幅必须与温度校准设置匹配。温度保护也可以在不设置此突发的情况下连续运行。 |

自动清洗模式可在检测到水时清除 LCS 镜头上的水。CONTROL_Burst_MassDetect (19) 使得自动清洗模式成为可能。如图 3-7 所示，MassDetect 突发 (19) 放置在水和除冰突发 (23、16、8、9、13、14) 之前。自动模式使用 CONTROL_Burst_MassDetect 在线检测 LCS 在镜头上是否有额外的质量 (例如水)。如果检测到质量，则运行自动模式下的剩余突发。

可以使用“Enable Temp”复选框启用 CONTROL_Burst_Temp (23)，请参阅表 3-13，并以周期性时间间隔连续运行。当连续运行时，温度突发会中断任何无源突发以检查 LCS 温度。测量到温度并低于过热阈值后，该模式将继续从中断的位置运行。这允许 ULC1001-DRV2911 EVM 监测 LCS 的温度并防止过热情况。此突发也可以添加到上述段落中所述的自动清洗模式序列中。可在 MassDetect 突发 (19) 之后添加温度突发 (23) 而后再添加加热突发 (16 或 17)，以集成自动除冰功能。必须首先运行校准模式才能校准温度突发。有关如何通过 ULC1001 GUI 设置温度阈值的详细信息，请参阅节 3.3.2.1。

预定义的清洗模式必须用于初始实验。每种清洗模式都有可调整的设置，以提高清洗性能。为了实现更自由的设计，还支持两种自定义模式。此外，还有两个不受校准影响的自定义突发 (6、7)。有关所有清洗模式的设置，请参阅节 3.3.2.3。

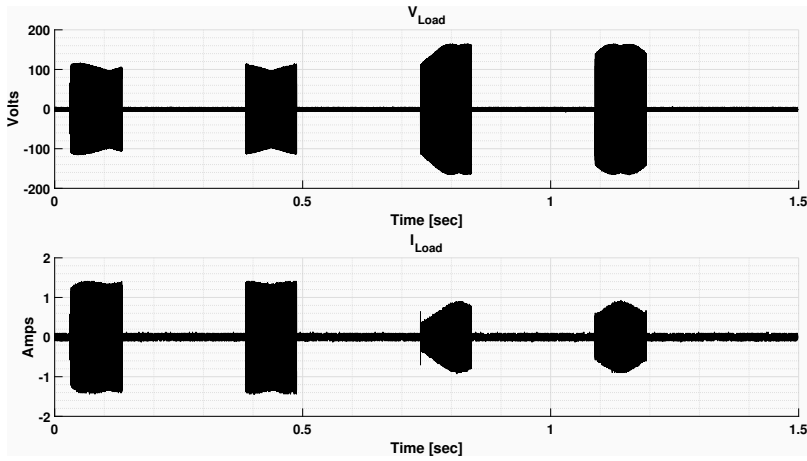


图 3-4. 水渍清洗 LCS 电压和电流

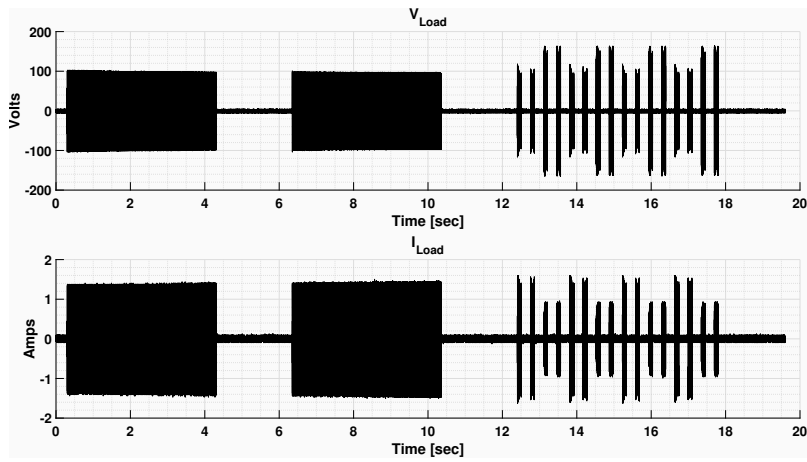


图 3-5. 除冰清洗 LCS 电压和电流

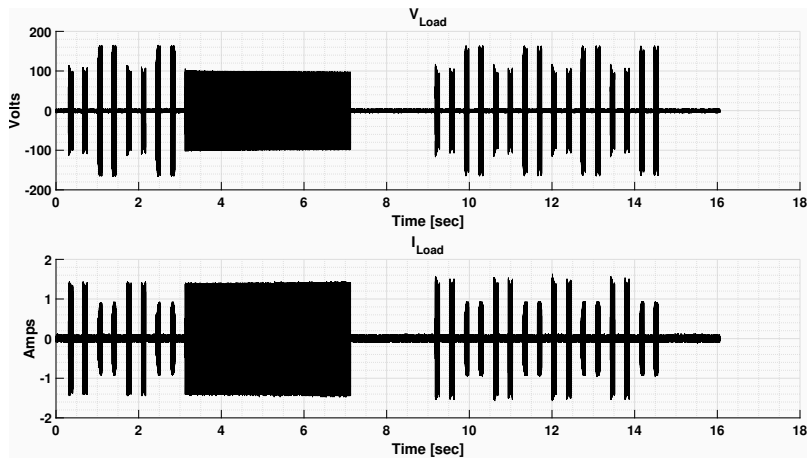


图 3-6. 泥点清洗 LCS 电压和电流

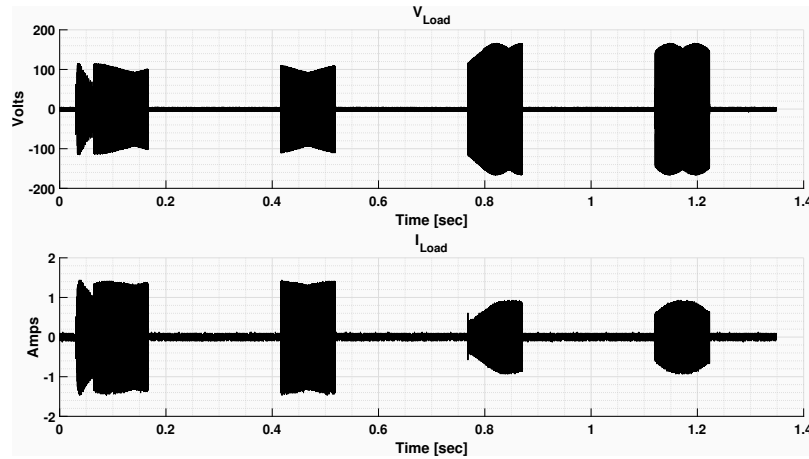


图 3-7. 自动清洗 LCS 电压和电流

3.2.5 系统诊断

德州仪器 (TI) 创建了两种诊断模式，用于限制功率和检测镜头盖系统中的故障。这些模式为系统故障模式和电源模式。表 3-5 中列出了诊断模式的有效突发。

表 3-5. 有效诊断突发

| 突发编号 | 突发名称 | 说明 |
|------|------------------------------|---|
| 20 | CONTROL_Burst_Power_Region_1 | 功率突发用于测量特定区域中的峰值实际功率，并根据可编程阈值调整相应清洗区域的振幅。最初，突发振幅必须匹配各自的区域设置，并且频率范围包括峰值功率频率。 |
| 21 | CONTROL_Burst_Power_Region_2 | |
| 22 | CONTROL_Burst_SystemFault | 系统故障突发测量编程频率区域的最大电流幅度和最小阻抗，以确定是否存在开路负载情况或 LCS 是否损坏。 |

电源模式可用于调节系统功率。此模式可分别针对两个校准频率区域包含两个突发，即突发 2 和 3。每个区域都有一个功率上限和下限阈值。运行电源模式后，该器件会确定一个新的幅值，即安培 (PuV)，以实现干净的突发 (8-17) 和功率突发 (20 和 21)，从而使功率达到上限和下限阈值设定的限值。通过校准测得的功率值存储在 USER_Params_baselineParams_Pmax_W_Q24_1 (区域 1) 和 USER_Params_baselineParams_Pmax_W_Q24_2 (区域 2) 中。运行电源模式后的 LCS 功率值存储在 USER_Flags_Pmax_W_region1_Q24 和 USER_Flags_Pmax_W_region2_Q24 中。

对于系统故障模式，必须适当设置电流阈值寄存器 USER_Params_sfaultParams_Imag_threshold_A_Q9 和阻抗阈值寄存器 USER_Params_sfaultParams_Zthreshold_ohm_Q20，算法才能正确运行。TI 建议使用值 200mA。LCS 的阻抗在损坏时可能发生显著变化。因此，必须根据 LCS 损坏时的预期差值阻抗来设置阻抗阈值。TI 建议使用值 225 Ω。

3.3 GUI 概述

ULC1001 GUI 用于帮助设置 ULC1001 寄存器，以获得出色的清洗和算法性能。图 3-8 中展示了如何在 Windows PC 上打开 GUI 窗口。USB2ANY 接口连接出现故障会标记 *Interface not initialized* 错误消息。GUI 使用户能够监测通信状态、加载和保存配置文件、记录对 ULC1001-DRV2911 EVM 的寄存器读/写、监测 ULC1001-DRV2911 EVM 故障、轻松校准 ULC1001-DRV2911 EVM 以及微调清洗性能。GUI 会将 ULC1001 保持在软件关断状态，PWR_CTL = 0x10，并在用户按下 GUI 界面中的模式按钮时自动初始化和运行系统。以下各小节详细介绍了 GUI 组件和前面提到的用例。

3.3.1 GUI 顶层布局

默认 GUI 窗口包含以下三个窗格：上方窗格、中间窗格、下方窗格。每个窗格都在图 3-8 中的红色框内标注。

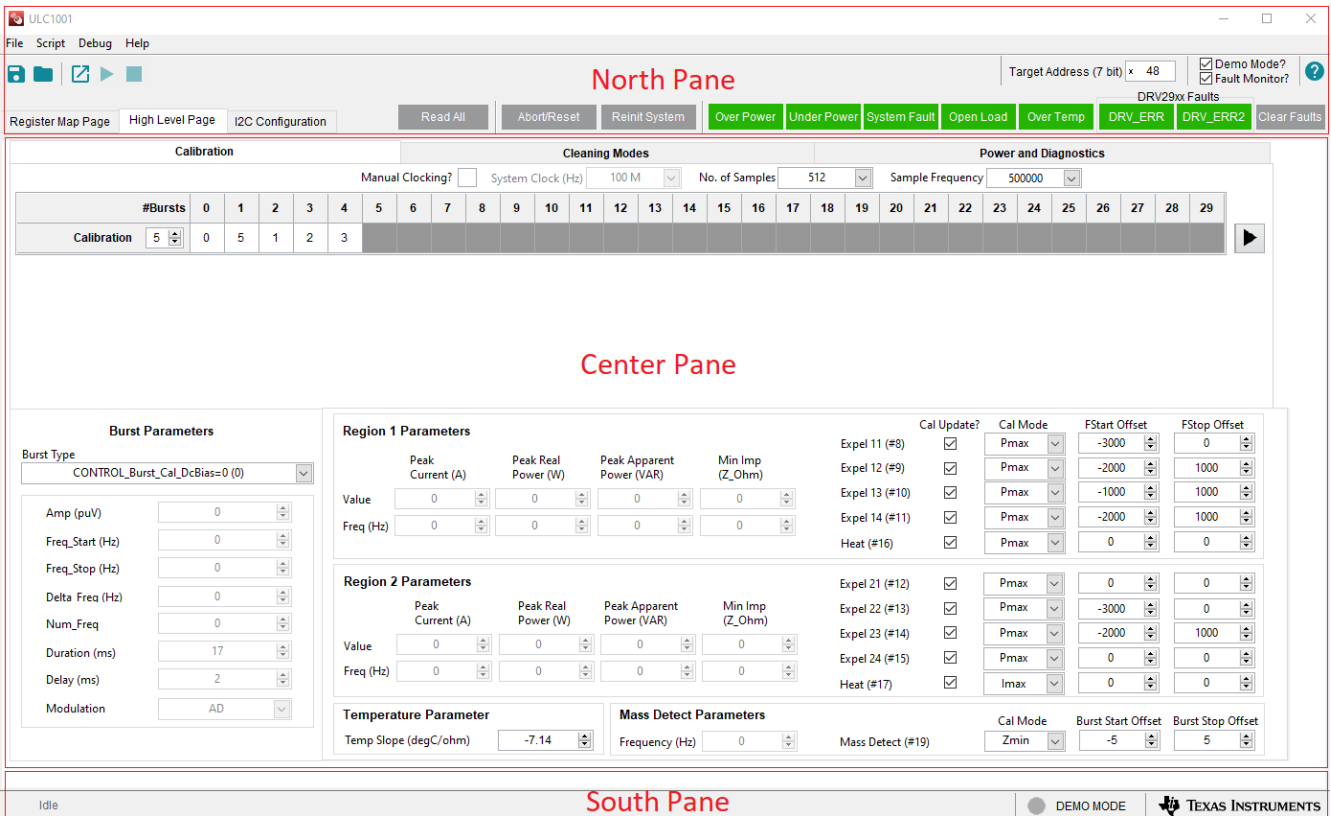


图 3-8. GUI 顶层布局

3.3.1.1 上方窗格

图 3-9 中的 GUI 上方窗格包含标题栏、菜单栏、工具栏、页面选择选项卡以及各种按钮和指示器。主要功能包括：配置和监控通信、加载和保存配置文件、记录 ULC1001-DRV2911 EVM 寄存器读写、监控系统故障、中止和重新初始化系统、更改 7 位目标 I2C 地址以及在页之间切换。

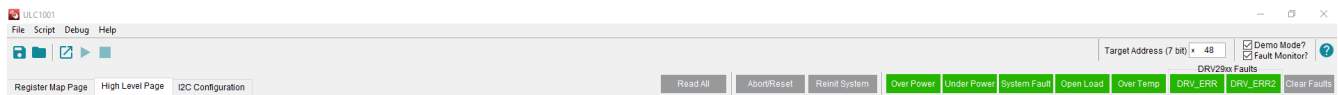


图 3-9. GUI 上方窗格

菜单栏位于图 3-9 中的标题栏下方，其结构如表 3-6 所示。

表 3-6. 菜单栏功能

| 菜单 | 功能 |
|--------|--|
| File | Open Configuration、Save Configuration、Save Config Header File、Exit |
| Script | Launch Script Window、Start Script Recording、Stop Script Recording |
| Debug | Enter/Exit Demo Mode |
| Help | 提供指向 ULC1001-DRV2911 EVM 用户指南和 GUI 版本信息的链接 |

菜单栏下方的快速链接按钮从左到右执行以下功能：

- 保存配置
- 打开配置
- 启动脚本窗口
- 在脚本窗口中开始录制
- 在脚本窗口中停止录制

在上方窗格的右侧，存在用于设置目标 I2C 地址（7 位）、设置/清除演示模式和打开/关闭周期性故障监控的其他功能。ULC1001-DRV2911 EVM 的默认 7 位目标地址为 0x48。如果未选中 Demo Mode 字段框，则 GUI 会通过 USB2ANY 接口连接到 ULC1001-DRV2911 EVM。在 Demo Mode 下，用户可以浏览 GUI 以熟悉 GUI 结构。开启时，故障监控器周期为 100ms。

快速链接按钮下方是页面选择选项卡。所选页面将显示在 GUI 中间窗格中。默认的 High Level Page 提供了开始评估 ULC1001-DRV2911 EVM 清洗性能的最快方法。Register Map Page 和 I²C Configuration 页面用于高级调试和测试。

页面选择选项卡的右侧有以下按钮和指示器：

- Read All：从 ULC1001-DRV2911 EVM 读取所有寄存器并更新 GUI。
- Abort Sequence：这将中止正在运行的清洗、校准或诊断模式。
- Reinit System：这会通知 ULC1001-DRV2911 EVM 使用写入 I²C 缓冲器的值重新初始化寄存器。
- 故障和标志粘滞指示灯：绿色表示无故障，红色表示故障。
- Clear Faults：清除故障和标志。

3.3.1.2 下方窗格

下方窗格包含图 3-10 中所示的 GUI 状态栏。状态栏可用于监控通信状态。通信问题可能包括 USB2ANY 接口连接错误、目标地址不正确或 GUI 初始化不完整。当 GUI 从 ULC1001-DRV2911 EVM 读取或写入寄存器时，左下角的读取/写入指示器会快速循环显示寄存器名称。如果没有正在进行的读取或写入，则状态可能为空闲。双击读取/写入指示器可打开状态日志窗口，该窗口可用于监控 I2C 事务。下方窗格右下角的通信模式运行状况指示器在未连接时呈黄色亮起，在连接时呈绿色亮起，在演示模式下呈灰色亮起。



图 3-10. GUI 下方窗格

3.3.1.3 中间窗格

GUI 中间窗格包含所选 Register Map Page、High Level Page 或 I²C Configuration 页面的子窗格和 GUI 小工具。以下几节介绍了每个页面。

3.3.2 High Level Page

High Level Page 是打开 GUI 时的默认页面，可简化清洗性能评估。High Level Page 包含三个选项卡，如节 3.3.2.2、节 3.3.2.3 和节 3.3.2.4 所示。High Level Page 的顶部显示了模式设置。右下部分包含多个在切换页面时动态更改的其他设置。左下侧显示选定突发的突发参数（节 3.3.2.1），这对所有三个选项卡都是通用的。

3.3.2.1 Burst Parameters

“Burst Parameters”部分始终显示所选模式的 8 个可配置突发参数。可以使用下拉菜单来查看 High Level Page 中每个选项卡的可用突发脉冲。有源和无源突发具有某些参数，必须将这些参数设置为特定值，TI 的算法才能正常运行。GUI 的“Burst Parameters”部分如图 3-11 所示。

有源突发启用 IV 检测路径（0-5、19-23），无源突发不启用 IV 检测路径（6-17）。突发 18 是一个空闲突发，在每个模式结束时自动返回；用户不会设置该突发。每个突发包含以下八个参数：Amp、Delay、Duration、Freq_Start、Freq_Stop、Num_Freq、Delta_Freq 和 Modulation。

除突发 0 之外的所有有源突发频率设置必须遵循： $\Delta_Freq * n = (Fs/N) * n = (ULC_RX_mode_cfg \text{ 位 } [0-4] / USER_Params_numSamples) * n$ ，其中 n 是一个整数乘法器。 $Freq_start \leq Freq_stop$ 。 $Freq_start$ 和 $Freq_stop$ 必须是 Δ_Freq 的整数倍。表 3-7 展示了有源突发参数的设置。图 3-12 展示了如何运行有源突发。

所有无源突发必须使 Num_Freq = 0。对于无源突发，频率以 Delta_Freq/ISR 速率从 Fstart 扫描到 Fstop。当 Fstart = Fstop 时，Delta_Freq 必须设置为 0Hz。表 3-8 展示了无源突发参数的设置。图 3-13 展示了无源突发的运行方式。

Burst Parameters

Burst Type
CONTROL_Burst_Cal_Region_2 (3) ▼

| | |
|-----------------|-----------|
| Amp (puV) | 0.8 |
| Freq_Start (Hz) | 148437.5 |
| Freq_Stop (Hz) | 161132.81 |
| Delta Freq (Hz) | 976.56 |
| Num_Freq | 14 |
| Duration (ms) | 2.05 |
| Delay (ms) | 2.05 |
| Modulation | HEDD ▼ |

图 3-11. Burst Parameters

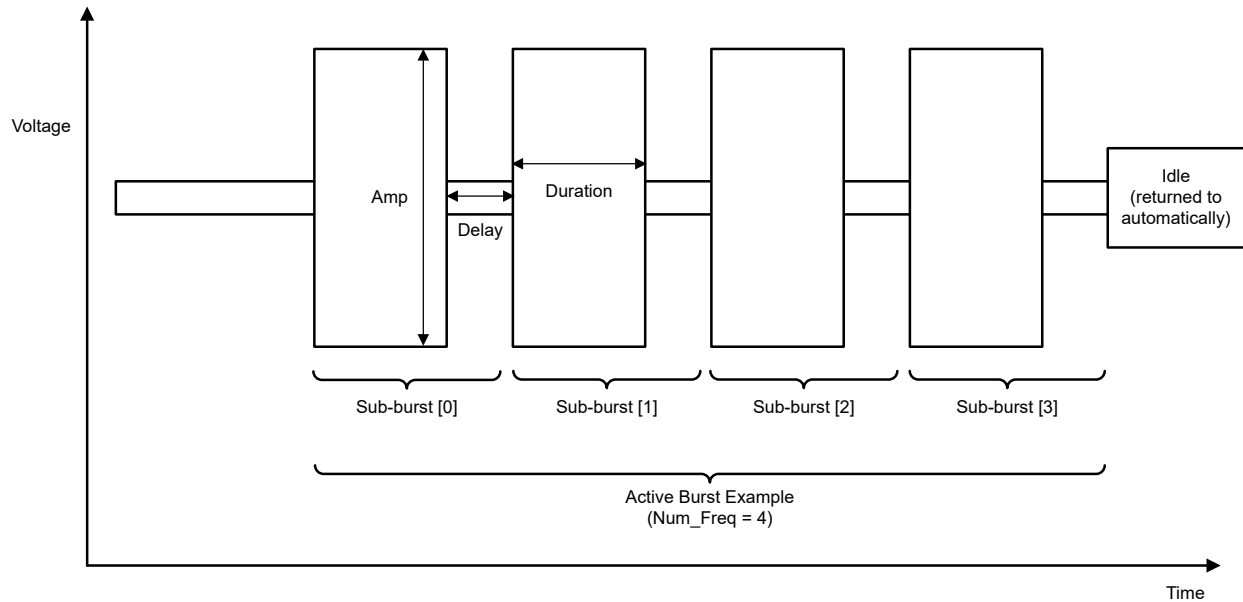


图 3-12. 有源突发示例

表 3-7. 有源突发参数

突发 (0-5、19-23)

| 突发参数 | 说明 |
|-----------------|---|
| Amp [puV] | 突发激励占空比，用于将 PerUnit 值中定义的 LCS 从 0 驱动至 1。由用户选择。 |
| Freq_Start [Hz] | 突发中频率成分开始。Freq_start ≤ Freq_stop。由用户选择。通过 GUI 自动对齐到有效值。 |
| Freq_Stop [Hz] | 突发中频率成分停止。Freq_stop ≥ Freq_start。由用户选择。通过 GUI 自动对齐到有效值。 |
| Delta_Freq [Hz] | 每个频率阶跃的 Freq_Stop 和 Freq_Start 之间的频率增量。 对于 ULC1001-DRV2911 EVM，GUI 默认值始终为 976.56Hz。 Delta_Freq = Fs/N。由 GUI 自动更新。 |

表 3-7. 有源突发参数 (续)

突发 (0-5、19-23)

| 突发参数 | 说明 |
|---------------|--|
| Num_Freq | 等于 $((\text{Freq_Stop} - \text{Freq_Start}) / \text{Delta_Freq}) + 1$ 。 由 GUI 自动更新。 |
| Duration [ms] | 每个激励频率驱动 LCS 的持续时间。 持续时间必须等于 $\text{USER_Params_numStages} + 1$ (默认为 2 个 ISR 周期, 2ms)。 由 GUI 自动更新。 |
| Delay [ms] | 每个频率阶跃结束时在 Freq_Start 和 Freq_Stop 之间放置的额外延迟。 |
| Modulation | 在直接驱动和标准 AD 调制之间更改调制方法。AD 调制使用 10 倍于编程频率的载波频率。 |

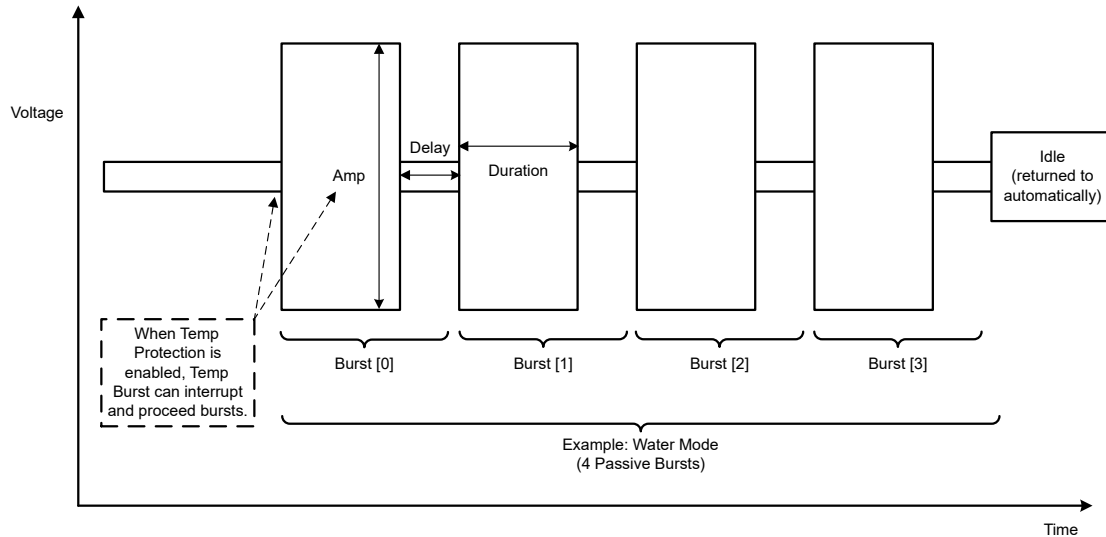


图 3-13. 无源突发示例

表 3-8. 无源突发参数

突发 (6-17)

| 突发参数 | 说明 |
|-----------------|--|
| Amp [pV] | 突发激励占空比, 用于将 PerUnit 值中定义的 LCS 从 0 驱动至 1。由用户选择。 |
| Freq_Start [Hz] | 突发中频率成分开始。 $\text{Freq_start} \leq \text{Freq_stop}$ 。校准后自动更新。 |
| Freq_Stop [Hz] | 突发中频率成分停止。 $\text{Freq_stop} \geq \text{Freq_start}$ 。校准后自动更新。 |
| Delta_Freq [Hz] | 增量频率是指每个 ISR 时间阶跃的频率变化。 如果 $\text{Fstart} = \text{Fstop}$, 则设置 $\text{Delta_Freq} = 0$ 。 对于 ULC1001-DRV2911 EVM, GUI 默认为 40Hz。 |
| Num_Freq | 对于无源突发, $\text{Num_Freq} = 0$ 。 |
| Duration [ms] | 每个激励频率驱动 LCS 的持续时间。 GUI 默认为 98 个 ISR 周期, 对于 ULC1001-DRV2911 EVM 为 100ms。 |
| Delay [ms] | 在突发结束时放置的额外延迟。 |
| Modulation | 在直接驱动和标准 AD 调制之间更改调制方法。AD 调制使用 10 倍于编程频率的载波频率。 |

3.3.2.2 校准设置

连接 ULC1001-DRV2911 EVM 并为其通电后, 首先运行校准模式。ULC1001 校准模式会测量多个电气参数, 例如阻抗、实际和视在功率以及编程频率范围的电流幅度。这些测量用于设置清洗模式、温度保护、功率监控、质量检测 and 诊断。有关校准突发的详细信息, 请参阅节 3.2.3。校准模式序列如图 3-14 所示。校准参数和设置如图 3-15 所示。有关配置校准模式设置和运行校准的分步教程, 请参阅节 3.3.5.5。

备注

必须正确编程三个比例因子，才能确保有源突发中使用的电流和电压检测数据正确无误。USER_Params_ohms_sf_Q22、USER_Params_watts_sf_Q18 和 USER_Params_Imag_max_sf_Q27。请参阅图 3-16。

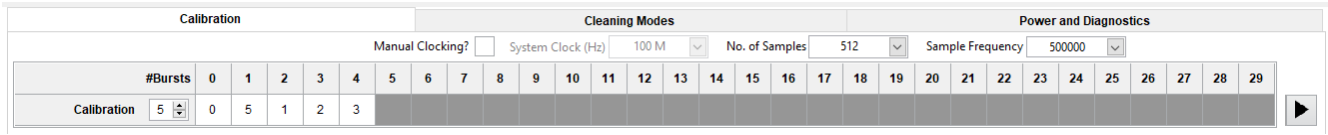


图 3-14. 校准模式序列

为了实现良好的校准，枚举的校准序列如下所示：

- 0 - CONTROL_Burst_Cal_DcBias
- 5 - CONTROL_Burst_Cal_Region_Temp
- 1 - CONTROL_Burst_Cal_Region_MassDetect
- 2 - CONTROL_Burst_Cal_Region_1
- 3 - CONTROL_Burst_Cal_Region_2

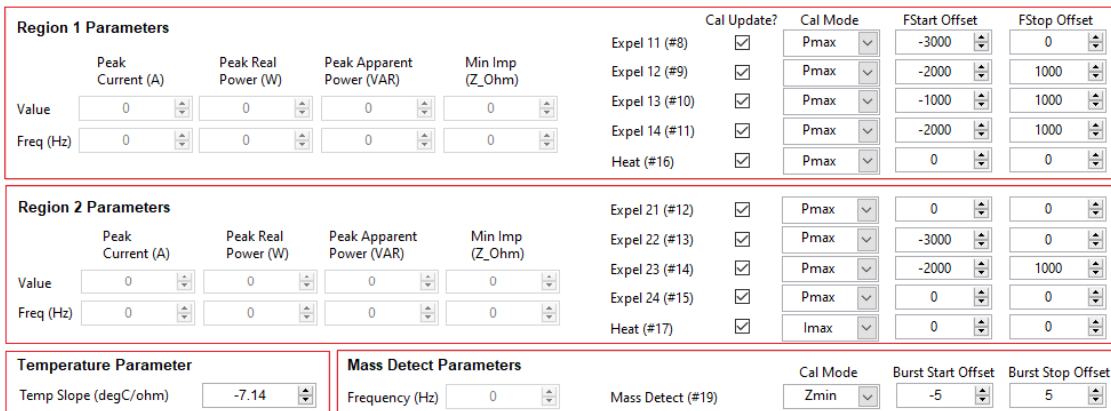


图 3-15. 校准设置和参数

有关温度斜率设置的详细信息，请参阅节 3.2.3.2。

表 3-9. 温度校准设置

| 参数 | 说明 |
|-------------|---|
| 温度斜率 [°C/Ω] | LCS 温度估算算法斜率；TI 提供了 ULC1001-DRV2911 EVM 套件内容中提供的 LCS。 |

小心

在高于 65°C 的条件下运行 LCS 会缩短工作寿命，并可能损坏 LCS，具体取决于机械镜头盖系统。

运行区域 1 和区域 2 校准序列后，将返回区域参数。链接到这些字段的寄存器为

USER_Params_baselineParams，其中的后缀描述了参数。每个区域参数都有一个关联频率，用于根据校准设置页面右侧的校准模式设置更新清洗模式突发。这些参数包括峰值电流、峰值实际功率、峰值视在功率和最小阻抗，如表 3-10 中所述。无论校准模式设置如何，都会返回所有区域参数，但校准算法只使用校准模式设置中所用的频率。下面列出了这些校准模式设置：

- Clean_Expel_11 的 USER_Params_controlParams_calMode_8 (8)
- Clean_Expel_12 的 USER_Params_controlParams_calMode_9 (9)
- Clean_Expel_13 的 USER_Params_controlParams_calMode_10 (10)
- Clean_Expel_14 的 USER_Params_controlParams_calMode_11 (11)

- Clean_Expel_21 的 USER_Params_controlParams_calMode_12 (12)
- Clean_Expel_22 的 USER_Params_controlParams_calMode_13 (13)
- Clean_Expel_23 的 USER_Params_controlParams_calMode_14 (14)
- Clean_Expel_24 的 USER_Params_controlParams_calMode_15 (15)
- Heat_Region_1 的 USER_Params_controlParams_calMode_16 (16)
- Heat_Region_2 的 USER_Params_controlParams_calMode_17 (17)
- massDetect 的 USER_Params_controlParams_calMode_19 (19)

表 3-10. 校准模式设置

| 校准模式 | 说明 |
|------------------|-------------|
| I _{max} | 区域中的最大电流幅度。 |
| P _{max} | 区域内的最大实际功率。 |
| S _{max} | 区域中的最大视在功率。 |
| Z _{min} | 区域中的最小阻抗幅度。 |

F Start Offset 和 *F Stop Offset* 这两列用于保存校准算法的频率偏移值。突发 8-17 根据频率值进行更新。由于突发 19 是一种有源突发，因此起始频率和终止频率根据整数 *Burst Offset* 值进行更新。因此，根据校准频率值 $\pm\Delta_{\text{Freq}}*n$ 更新突发 19，其中 $\Delta_{\text{Freq}} = F_s/N$ ，n 是整数。

如前所述，区域 1 校准突发 (2) 会更新清洗突发 8-11 和加热突发 16，区域 2 校准突发 (3) 会更新清洗突发 12-15 和加热突发 17。运行校准时，仅更新启用了控制位的清洗和加热突发。这允许在重新运行校准过程中仅更新特定突发，而不是该区域的所有突发。在 GUI 中，可以通过 *Cal Update?* 复选框启用/禁用这些设置。下面还列出了这些使能设置：

- 区域 1 Clean_Expel_11 的 USER_Params_Update_Expel_11 (8)
- 区域 1 Clean_Expel_12 的 USER_Params_Update_Expel_12 (9)
- 区域 1 Clean_Expel_13 的 USER_Params_Update_Expel_13 (10)
- 区域 1 Clean_Expel_14 的 USER_Params_Update_Expel_14 (11)
- 区域 2 Clean_Expel_21 的 USER_Params_Update_Expel_21 (12)
- 区域 2 Clean_Expel_22 的 USER_Params_Update_Expel_22 (13)
- 区域 2 Clean_Expel_23 的 USER_Params_Update_Expel_23 (14)
- 区域 2 Clean_Expel_24 的 USER_Params_Update_Expel_24 (15)
- 区域 1 Heat_Region_1 的 USER_Params_Update_Heat_Region_1 (16)
- 区域 2 Heat_Region_2 的 USER_Params_Update_Heat_Region_2 (17)

3.3.2.2.1 电压和电流检测电路

ULC1001 电流和电压检测放大器的每个输入都需要一个分压器，以将传感器上的高电压从 0V 降低至 0.9V。电流和电压检测放大器的电路表示如图 3-16 所示，其中 I-sense Amp 和 V-sense Amp 中的项在 ULC1001 的内部。分压器中使用的电阻器必须具有 0.1% 的容差，以便实现高精度功率测量。有三个比例因子，即 USER_Params_ohms_sf_Q22、USER_Params_watts_sf_Q18 和 USER_Params_Imag_max_sf_Q27，分别用于将测量值转换为功率、阻抗和电流值。使用以下公式确定比例因子以及电流和电压检测放大器增益。表 3-11 包含用于常见电压电平的典型电阻器值。

备注

VDD 和 GND 之间的等效电阻必须 $\geq 4k\Omega$ 。R_F 固定为 84kΩ。

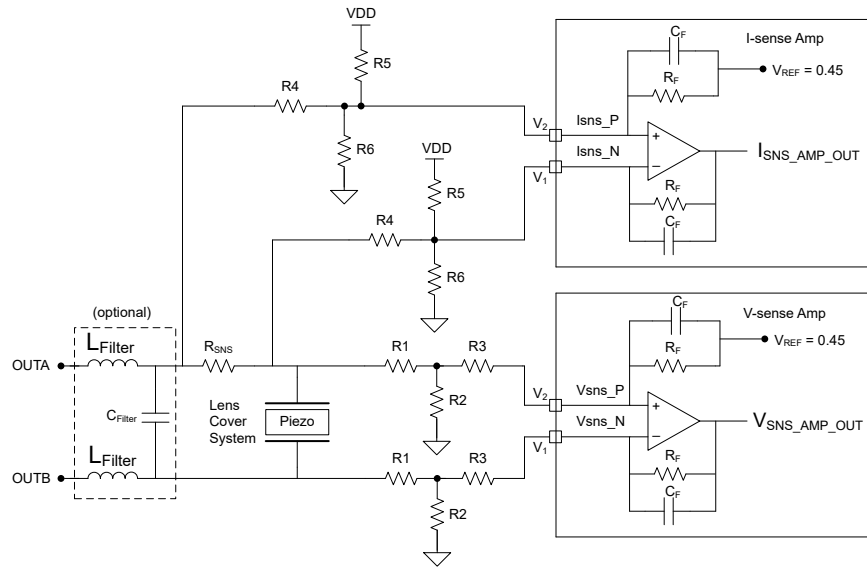


图 3-16. 电压和电流检测放大器

$$USER_Params_ohms_sf_Q22 = \frac{ISNSGAIN}{VSNSGAIN} \quad (1)$$

$$USER_Params_watts_sf_Q18 = \frac{1}{VSNSGAIN} \times \frac{1}{ISNSGAIN} \times 0.2025 \quad (2)$$

$$USER_Params_Imag_max_sf_Q27 = \frac{0.9}{ISNSGAIN} \quad (3)$$

$$ISNSGAIN \left(\frac{V}{A} \right) = \frac{R_f \times R_{SNS}}{R_4} \quad (4)$$

$$VSNSGAIN \left(\frac{V}{V} \right) = 1.043 \times \frac{R_f}{R_1 \times R_3 \times \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)} \quad (5)$$

表 3-11. 电压和电流检测电阻参考值

R5 = 6kΩ。R6 = 2kΩ

| 差分电压 (峰峰值) | R1 | R2 | R3 | R4 |
|------------|-------|--------|-------|-------|
| 460 | 1.3MΩ | 6.34kΩ | 294kΩ | 422kΩ |
| 90 | 360kΩ | 30kΩ | 1MΩ | 150kΩ |
| 40 | 150kΩ | 30kΩ | 1MΩ | 150kΩ |

3.3.2.3 清洗模式设置

德州仪器 (TI) 创建了四种主要清洗模式，用于去除 LCS 镜头中的冰凝、泥点和水渍。GUI 允许为这些清洗模式调整所需的选择设置，用户也可以自由创建两个自定义清洗模式。

如节 3.2 中所述，有 9 种模式可包含多达 30 个可配置的突发。每个突发的播放顺序为突发的编程顺序，并且 #bursts 设置必须正确才能播放所需数量的突发。#Burst 寄存器为 USER_Params_numBurstsPerMode_x，其中 x 等于 0 到 9。按以下语法 USER_Params_modeSequence_n_m 使用寄存器对模式序列进行枚举，其中 n 等于模式编号 (0-9)，m 等于突发序列顺序 (0-29)。每种模式最多有 30 个突发。以下各部分显示了德州仪器 (TI) 的预定义突发。

任何清洗模式 (自动模式除外) 都可以通过选中突发 29 列名上方右上角的 *Continuous Mode* 复选框来连续运行。当某模式持续运行时，取消选中 *Continuous Mode* 复选框可将 ULC1001 重新置于单模式；该模式再运行一次，然后停止。

备注

运行自动模式时，不要选中“Continuous Mode”复选框和“Continuous Auto Mode”复选框。请参阅节 3.3.2.3.1。

“Cleaning Modes”页面上的附加参数如图 3-17 所示，并在表 3-12 和表 3-13 中进行了介绍。

Mass Detect Parameters

Continuous Auto Mode?

Mass Detect Threshold (Hz)
500

Mass Detect Period (ms)
1024

Deice Threshold (deg C)
0

Mass Detect Flag

Temperature Parameters

Temp Check Enabled?

Temperature Constant (deg C) OverTemp Threshold (deg C)
280 55

Cooling Duration (ms) Temp Check Period (ms)
2048 102

LCS Temperature (deg C)
0

Read

图 3-17. 清洗模式设置

表 3-12. 质量检测参数

| 参数 | 说明 |
|---------------------------|--|
| Continuous Auto Mode? 复选框 | 当器件处于有功率模式时，启用自动模式可在不设置 USER_Commands_flag_newCommand 的情况下自动运行。PWR_CTL = 0x00。 |
| Mass Detect Threshold | 频率阻抗阈值，用于控制系统对 LCS 上污染物的敏感性。 |
| Mass Detect Period | 启用连续自动模式时使用的时间间隔。 |
| Deice Threshold | 在自动模式序列中激活除冰的温度阈值。 |

表 3-13. 温度参数

| 参数 | 说明 |
|---------------------------|--|
| Continuous Temp? 复选框 | 此复选框控制温度算法的运行方式。选中后，温度突发根据温度检查周期运行，并中断任何无源突发以检查 LCS 温度，然后返回所播放的突发。启用后，温度突发也会在任何模式开始时运行 |
| Temperature Constant [°C] | LCS 温度估算算法常数自动通过校准模式更新。 |
| OverTemp Threshold [°C] | ULC1001 会标记过热条件的 LCS 温度阈值。 |
| Cooling Duration [sec] | 在过热情况下 ULC1001 向 LCS 提供的冷却时间。 |
| Temp Check Period [sec] | 连续模式下各次温度检查间隔的时间段。 |

3.3.2.3.1 自动清洗

德州仪器 (TI) 专有自动清洗模式包含五个突发，这些突发是枚举突发 (19、8、9、13、14)。自动清洗模式利用德州仪器 (TI) 的质量检测算法来调用清洗算法。枚举突发 (8、9、13、14) 的设置与供水模式中使用的设置相同。必须根据节 3.2.3.3 和表 3-7 设置枚举突发 (19) 的突发参数。用户不能在 GUI 中直接更新该突发。相反，通过设置和运行校准模式来自动更新突发。温度突发 (23) 也可添加到集成自动除冰功能的自动清洗模式中。除冰序列示例为 (19、23、16 或 17、8、9、13、14)。如果突发 19 在镜头上检测到质量，并且突发 23 确定 LCS 温度低于阈值 `USER_Params_Deice_TempThreshold_C_Q21`，则会执行加热突发 (16 或 17)，然后执行其余的供水突发 (8、9、13、14)。如果突发 19 在 LCS 上检测到质量，并且突发 23 确定 LCS 温度高于阈值 `USER_Params_Deice_TempThreshold_C_Q21`，则会跳过下一个突发 (通常为加热突发)，然后执行其余的供水突发。如果突发 19 确定镜头上没有质量，则不会执行以下所有突发。

备注

通过选中位于“Mass Detect Parameters”部分中的“Continuous Auto Mode”复选框，可以连续运行“Auto Cleaning Mode”。要求器件处于工作模式 (`PWR_CTL = 0x00`) 并进行初始化。

3.3.2.3.2 水渍清洗

德州仪器 (TI) 专有水渍清洗模式包含 4 个突发，这些突发是枚举突发 (8、9、13、14)。前两个突发 (8 和 9) 用于在第一个频率区域进行清洗，而后两个突发 (13 和 14) 在第二个频率区域进行清洗。这些突发通过运行节 3.2.3.4 来设置。对于只有一个相关频率区域的单模系统，此模式可配置为枚举突发 (8、9、10、11) 或 (12、13、14、15)。灵活的 GUI 允许用户修改供水模式，以获得出色的清洗性能。

3.3.2.3.3 除冰清洗

德州仪器 (TI) 专有除冰模式包含五个突发，这些突发是枚举突发 (16、8、9、13、14)。枚举突发 (8、9、13、14) 的设置与供水模式中使用的设置相同。额外突发 (16) 是用于加热传感器的加热模式。额外突发 (16) 可与突发 17 互换，也可根据加热区域进行手动编程。可以根据需要调整热突发的持续时间。这些突发通过运行节 3.2.3.4 来设置。了解 LCS 加热的速率并相应地设置温度保护设置非常重要。TI 建议在运行除冰模式时启用持续温度保护。

3.3.2.3.4 泥点清洗模式

德州仪器 (TI) 专有泥点清洗模式由 25 个突发组成。从透镜中清除泥点的方法包括两组水渍清洗突发、一组加热突发以及另外四组水清洗突发。可以根据 LCS 来调整这些突发。其理念是最初的水流突发将泥点混合物中的水分排出，然后将泥点加热到干燥状态，最后排出干泥污染物。可以根据需要调整热突发的持续时间。这些突发通过运行节 3.2.3.4 来设置。了解 LCS 加热的速率并相应地设置温度保护设置非常重要。TI 建议在运行泥点清洗模式时启用持续温度保护。

3.3.2.4 电源和诊断设置

德州仪器 (TI) 创建了两个附加模式来调节传送到 LCS 的功率，识别 LCS 的故障，以及检查输出端是否存在开路负载情况。有关诊断模式的更多详细信息，请参阅节 3.2.5。

功率模式包含两个突发 (20 和 21)。突发 20 对应于电源区域 1，该区域使用校准区域 1 进行校准。突发 21 对应于电源区域 2，该区域使用校准区域 2 进行校准。为方便起见，校准后的功率值显示在 GUI 的“Power Parameters”部分，如图 3-18 的右侧所示。表 3-14 中介绍了其余的设置。

系统故障模式是单个突发，对应于校准区域系统故障。此模式的可用设置显示在图 3-18 的左侧，并在表 3-15 中进行了说明。

| Power Parameters | | Diagnostic Parameters | |
|--------------------------------------|-----------------|--------------------------------------|-----------------|
| <input type="checkbox"/> Continuous? | | <input type="checkbox"/> Continuous? | |
| Auto Power Check Period (ms) | 10240 | Auto Fault Check Period (ms) | 25600 |
| | Region 1 | | Region 2 |
| Upper Threshold (W) | 30 | Upper Threshold (W) | 41 |
| Lower Threshold (W) | 20 | Lower Threshold (W) | 30 |
| Calibrated Power (W) | 0 | Calibrated Power (W) | 0 |
| LCS Power (W) | 0 | LCS Power (W) | 0 |
| | | Impedance Fault Threshold (Ohms) | 225 |
| | | Open Load Threshold (A) | 0.2 |

图 3-18. 电源和诊断设置

表 3-14. 电源参数

| 参数 | 说明 |
|--------------------------|--|
| Continuous? 复选框 | 当器件处于有功功率模式时，启用连续电源检查可在不设置 USER_Commands_flag_newCommand 的情况下自动运行。PWR_CTL = 0x00 |
| Auto Power Check Period | 启用连续功率模式时使用的的时间间隔 |
| Region 1 Upper Threshold | 区域 1 的功率阈值上限 |
| Region 1 Lower Threshold | 区域 1 的功率阈值下限 |
| Region 2 Upper Threshold | 区域 2 的功率阈值上限 |
| Region 2 Lower Threshold | 区域 2 的功率阈值下限 |

表 3-15. 诊断参数

| 参数 | 说明 |
|---------------------------|---|
| Continuous? 复选框 | 当器件处于有功功率模式时，启用连续诊断检查可在不设置 USER_Commands_flag_newCommand 的情况下自动运行。PWR_CTL = 0x00。 |
| Auto Fault Check Period | 启用连续诊断模式时使用的的时间间隔。 |
| Impedance Fault Threshold | 用于确定 LCS 中的故障的阈值。 |
| Open Load Threshold | 用于检测开路负载条件的电流阈值。 |

3.3.3 Register Map Page

Register Map Page 在电子表格视图中列出 ULC1001 寄存器和详细信息。图 3-19 展示了硬件寄存器的一个示例，图 3-20 展示了 GUI 中的固件寄存器示例。点击寄存器会在右侧显示不同的字段。将鼠标移到某个字段上可突出显示树中的相应位。可以通过以下三种方式之一设置寄存器的值：

1. 双击并在 **Value** 列中输入十六进制值。
2. 点击任何位可在 0 和 1 之间切换。
3. 在 **Field View** 中更改字段值。

由于比例因子会自动应用于 GUI 后端，因此实际设置为器件的字段值和寄存器值不一致。某些寄存器是相关的，例如 **High Level Page** 中与突发参数对应的寄存器。当更新 **Register Map Page** 中的寄存器值时，相关寄存器（如果有）也会更新。

备注

并非所有对 **High Level Page** 字段执行的参数优化函数（例如值边界和舍入函数）都在 **Register Map Page** 中执行。对于在 **Register Map Page** 中写入的任何寄存器，这些寄存器在用户切换回 **High Level Page** 之前没有优化值。

| Register Name | Address | Default | Mode | Size | Value | 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | | | |
|----------------------------|---------|---------|------|------|-------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--|--|--|
| ULC1001 | 0x00 | 0x00 | R/W | 8 | 0x00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PAGE | 0x01 | 0x00 | R/W | 8 | 0x01 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SW_RESET | 0x02 | 0x02 | R/W | 8 | 0x02 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PWR_CTL | 0x04 | 0x00 | R/W | 8 | 0x00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MISC_CFG1 | 0x05 | 0x22 | R/W | 8 | 0x22 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MISC_CFG2 | 0x06 | 0x00 | R/W | 8 | 0x00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| TDM_CFG0 | 0x1C | 0x11 | R/W | 8 | 0x11 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| INT_MASK2 | 0x1D | 0x80 | R/W | 8 | 0x80 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| INT_MASK3 | 0x21 | 0x00 | R | 8 | 0x00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| INT_LIVE2 | 0x22 | 0x00 | R | 8 | 0x00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| INT_LIVE3 | 0x26 | 0x00 | R | 8 | 0x00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| INT_LTCH2 | 0x27 | 0x00 | R | 8 | 0x00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| INT & CLK CFG | 0x30 | 0x01 | R/W | 8 | 0x1D | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DIN_PD | 0x31 | 0x40 | R/W | 8 | 0x00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MISC | 0x32 | 0x80 | R/W | 8 | 0x80 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CLOCK_CFG | 0x38 | 0x01 | R/W | 8 | 0x01 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DIN_PD2 | 0x42 | 0x07 | R/W | 8 | 0x07 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| INT_MASK8 | 0x4E | 0x0C | R/W | 8 | 0x0C | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| INT_LIVE8 | 0x4F | 0x00 | R | 8 | 0x00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| INT_LTCH8 | 0x50 | 0x00 | R | 8 | 0x00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ULC debug errors | 0x54 | 0xE0 | R/W | 8 | 0xE0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ulc_manual_clk_mode_en | 0x76 | 0x00 | R/W | 8 | 0x00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ULC_RX_mode_cfg | 0x79 | 0x54 | R/W | 8 | 0x54 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| REV_ID | 0x7D | 0x00 | R | 8 | 0x00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| I2C_CHSUM | 0x7E | 0x00 | R/W | 8 | 0x00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| BOOK | 0x7F | 0x00 | R/W | 8 | 0x00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PWM_AD_mod_enable | 0x04 | 0x00 | R/W | 8 | 0x00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| pll_integw_reg_3b3 | 0x07 | 0x20 | R/W | 8 | 0x20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| pll_vcl_clk_div_factor_reg | 0x08 | 0x20 | R/W | 8 | 0x20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| INT_MASK7 | 0x32 | 0xC0 | R/W | 8 | 0xC0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| INT_LIVE7 | 0x33 | 0x00 | R/W | 8 | 0x00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| INT_LTCH7 | 0x34 | 0x00 | R/W | 8 | 0x00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

图 3-19. GUI Register Map Page (硬件寄存器)

3.3.4 I²C 配置页面

图 3-21 中的 I²C 配置页支持通过指定 Book Address、Page Address 和 Register Address 直接向器件写入原始值。ULC1001 器件同时具有 8 位和 32 位寄存器，因此必须在执行读取操作时提及要读取的字节数。

备注

在此页面所做的任何更改都不会反映在其他页面中。用户必须按上方窗格中的 *Read All* 按钮，才能在其他页面中显示当前值。

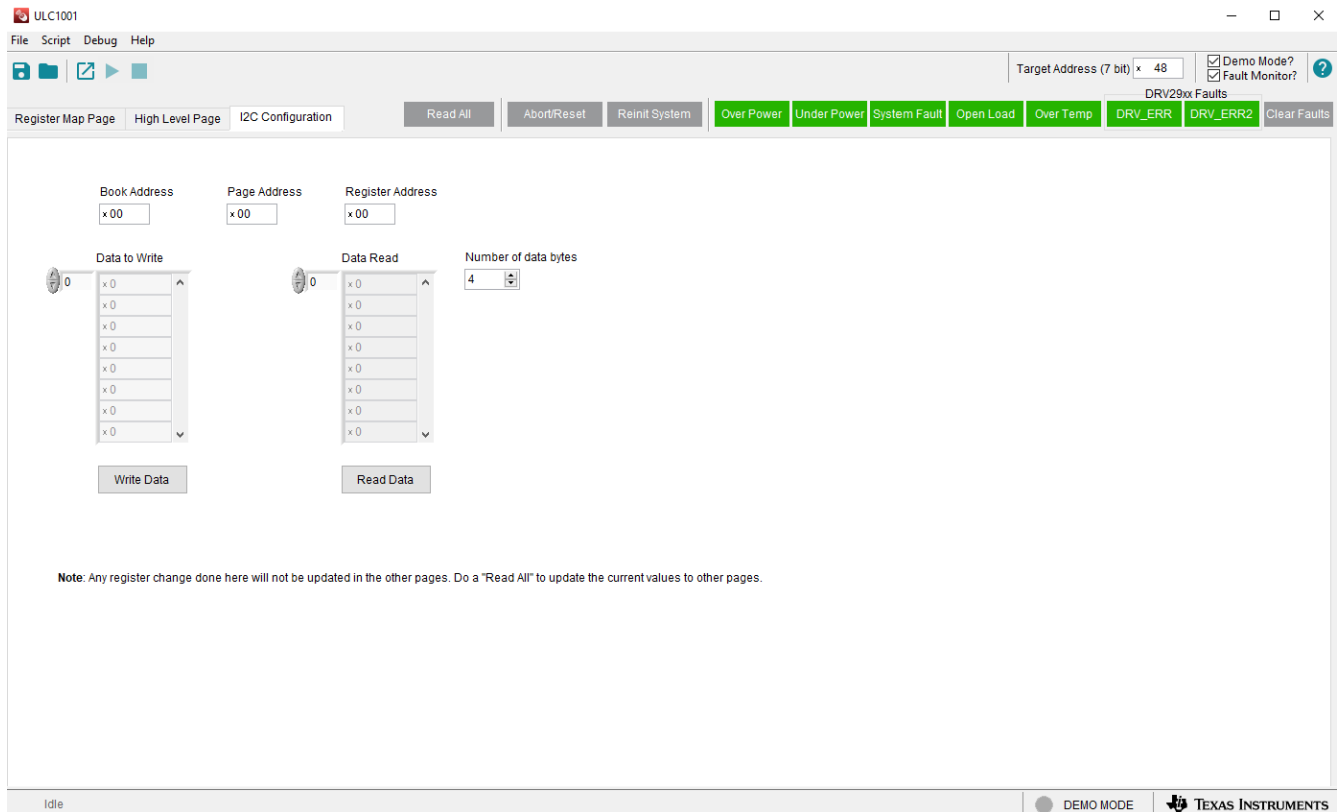


图 3-21. I²C 配置

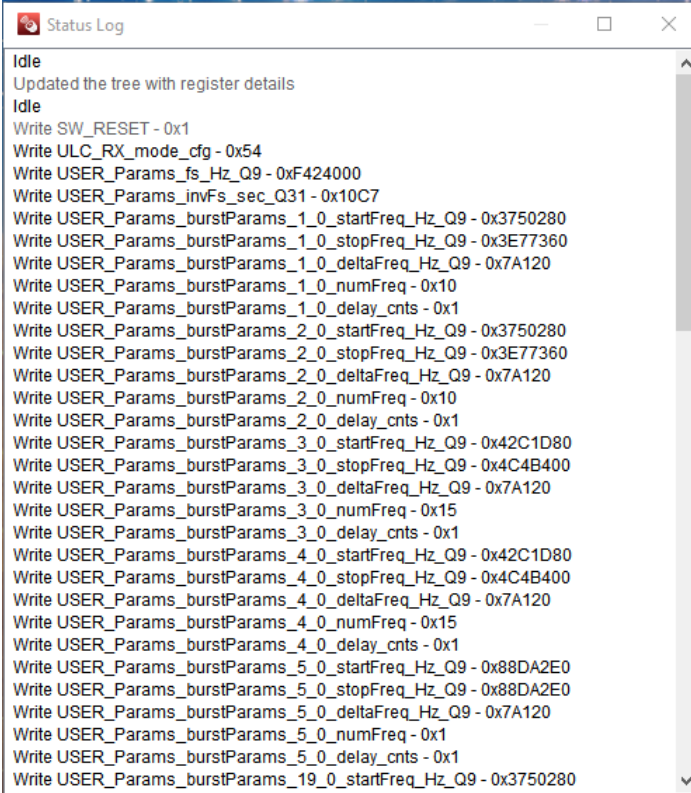
3.3.5 GUI 函数

3.3.5.1 监控通信状态

GUI 状态栏位于图 3-22 所示的下方窗格中。状态栏可用于监控通信状态。右下角的通信模式运行状况指示器在未连接时呈黄色亮起，在连接时呈绿色亮起，在演示模式下未亮起。首次打开后，GUI 会自动尝试通过 USB2ANY 接口连接 ULC1001-DRV2911 EVM。成功连接后，点亮的绿色 *connected* 指示器将显示在状态栏的右下角。此连接大约需要 25 秒。通信问题可能包括 USB2ANY 接口连接错误、目标地址不正确或 GUI 初始化不完整。当 GUI 从 ULC1001-DRV2911 EVM 读取或写入寄存器时，状态栏左下角的 *Read/Write Status Indicator* 会快速循环显示寄存器名称。双击状态栏上的 *Read/Write Status Indicator* 将打开一个浮动窗口，其中显示了整个状态日志，如图 3-23 所示。右键点击此浮动窗口将显示用于清除日志、保存日志或设置大小的选项。状态日志用于记录寄存器读取/写入序列。要创建寄存器读/写脚本，请参阅节 3.3.5.9。



图 3-22. GUI 状态栏



```

Status Log
Idle
Updated the tree with register details
Idle
Write SW_RESET - 0x1
Write ULC_RX_mode_cfg - 0x54
Write USER_Params_fs_Hz_Q9 - 0xF424000
Write USER_Params_invFs_sec_Q31 - 0x10C7
Write USER_Params_burstParams_1_0_startFreq_Hz_Q9 - 0x3750280
Write USER_Params_burstParams_1_0_stopFreq_Hz_Q9 - 0x3E77360
Write USER_Params_burstParams_1_0_deltaFreq_Hz_Q9 - 0x7A120
Write USER_Params_burstParams_1_0_numFreq - 0x10
Write USER_Params_burstParams_1_0_delay_cnts - 0x1
Write USER_Params_burstParams_2_0_startFreq_Hz_Q9 - 0x3750280
Write USER_Params_burstParams_2_0_stopFreq_Hz_Q9 - 0x3E77360
Write USER_Params_burstParams_2_0_deltaFreq_Hz_Q9 - 0x7A120
Write USER_Params_burstParams_2_0_numFreq - 0x10
Write USER_Params_burstParams_2_0_delay_cnts - 0x1
Write USER_Params_burstParams_3_0_startFreq_Hz_Q9 - 0x42C1D80
Write USER_Params_burstParams_3_0_stopFreq_Hz_Q9 - 0x4C4B400
Write USER_Params_burstParams_3_0_deltaFreq_Hz_Q9 - 0x7A120
Write USER_Params_burstParams_3_0_numFreq - 0x15
Write USER_Params_burstParams_3_0_delay_cnts - 0x1
Write USER_Params_burstParams_4_0_startFreq_Hz_Q9 - 0x42C1D80
Write USER_Params_burstParams_4_0_stopFreq_Hz_Q9 - 0x4C4B400
Write USER_Params_burstParams_4_0_deltaFreq_Hz_Q9 - 0x7A120
Write USER_Params_burstParams_4_0_numFreq - 0x15
Write USER_Params_burstParams_4_0_delay_cnts - 0x1
Write USER_Params_burstParams_5_0_startFreq_Hz_Q9 - 0x88DA2E0
Write USER_Params_burstParams_5_0_stopFreq_Hz_Q9 - 0x88DA2E0
Write USER_Params_burstParams_5_0_deltaFreq_Hz_Q9 - 0x7A120
Write USER_Params_burstParams_5_0_numFreq - 0x1
Write USER_Params_burstParams_5_0_delay_cnts - 0x1
Write USER_Params_burstParams_19_0_startFreq_Hz_Q9 - 0x3750280

```

图 3-23. GUI 状态日志

3.3.5.2 加载和保存配置文件

GUI 寄存器值可以保存到配置文件以供日后使用。配置文件保存 GUI 和 ULC1001 寄存器映射状态。使用此功能，如果在运行校准模式并加载包含校准文件的配置文件后保存 GUI 配置，则可以跳过校准模式。此外，可以保存配置头文件以进行终端系统集成。

若要打开和保存配置文件，请使用菜单栏中的“File”菜单或上方窗格工具栏中的 *Save* 和 *Open* 按钮，如图 3-9 所示。打开校准文件后，GUI 最多可能需要一分钟来完成寄存器更新。当状态栏中的 *Read/Write Status Indicator* 显示 *Idle* 时，即表示配置文件加载完毕。必须选择上方窗格中的 *Reinit System* 按钮，以便 ULC1001 使用写入其 I²C 缓冲器的寄存器值重新初始化内部变量。

头文件可用于通过按钮修改使用的板载 MSP430 软件。可以在“File”菜单中点击“File-Save Configuration to Header File”来完成此修改。EVM 上还有一个 EEPROM 芯片，可容纳 ULC1001 头文件的一部分，具体说就是 PRAM。包含 PRAM 在内的整个头文件大小为 46KB。对于新设计，TI 建议使用可保存整个头文件的微控制器。在这种情况下，不需要 EEPROM 芯片。

3.3.5.2.1 MSP430 固件编程

板载 MSP430 让用户可以使用按钮控制来运行校准和清洗模式。MSP430 可以自动将配置文件加载到 ULC1001 器件。要修改正在使用的特定 LCS 的固件，请按照以下说明操作：

1. 下载并安装 CCS。使用 CCS 版本 12 进行初始固件开发。
2. 创建一个 CCS 工作区或使用一个现有的工作区。
3. 通过选择 *Project - New CCS Project* 来新建一个空工程。
 - a. 目标器件是 *MSP430F5510*。
 - b. 工程名称是 *ulc-pram*。
 - c. 选择 *Empty Project*。
4. 通过选择 *Project - New CCS Project* 来新建一个空工程。
 - a. 目标器件是 *MSP430F5510*。
 - b. 工程名称是 *ulc-demo*。
 - c. 选择 *Empty Project*。
5. 从 TI.com 下载两个工程文件 (*ulc-pram* 和 *ulc-demo*) 。
6. 对于每个工程，将以下文件夹/文档从下载的工程复制到相应的 CCS 工程目录中。
 - a. *firmware-source*
 - b. *.ccsproject*
 - c. *.cproject*
 - d. *.project*
 - e. *Ink_msp430f5510*
7. 将配置头文件保存在 GUI 中。请参阅节 3.3.5.2。
8. 重命名头文件 *ulc_gui_header_default_no_PRAM.h*，并替换位于 *\firmware-source\register_setting* 的 *ulc-demo* CCS 工程中的头文件。
9. 开启 EVM。
10. 使用 MSP-FET 闪存仿真工具 II 编译并加载 *ulc-pram* 固件。或者，编译工程并使用 UniFlash 独立闪存工具中的 *.out* 文件。该固件将 PRAM 加载至 EEPROM。对 EVM 执行下电上电。
11. 使用 MSP-FET 闪存仿真工具 II 编译并加载 *ulc-demo* 固件。或者，编译工程并使用 UniFlash 独立闪存工具中的 *.out* 文件。这是用于控制 ULC1001 并与之通信的主固件。

要将 MSP-FET 工具连接至 EVM，请使用测试点 9 和 10，即 SBWTDIO 和 SBWTCK。这些引脚按如下方式映射到 MSP-FET 工具：

- SBWTDIO : TP9 连接到 MSP-FET 引脚 1。
- SBWTCK : TP10 连接到 MSP-FET 引脚 7。
- GND : 任何 GND TP 都连接到 MSP-FET 引脚 9。

3.3.5.3 重新初始化系统

上方窗格中的 *Reinit System* 按钮会命令 ULC1001 在 GUI 中初始化已更改的新参数。按下每种模式最右侧的 *Run* 按钮时，不需要点击 *Reinit System* 按钮。当 GUI 中的参数发生更改时，会将命令发送到系统。但是，在按下 *Reinit System* 按钮之前，这些命令不会更新。按下该按钮后，系统首先使用任何新设置重新初始化，从 ULC1001 执行全部读取，并根据 ULC1001 设置更新所有 GUI 设置。

重新初始化的寄存器序列如表 3-16 所示。

表 3-16. 重新初始化模式序列

| 寄存器 | 读取/写入 | 数据 | 说明 |
|-----|-------|----------|-----------------------------|
| 00 | W | 00 | 更改为 Page 0 |
| 7F | W | 00 | 更改为 Book 0 |
| 02 | W | 00 | 将器件置于工作模式。 |
| 不适用 | 不适用 | 不适用 | 等待 5ms |
| 00 | W | 1A | 更改为 page 0x1A |
| 58 | W | 0000000E | 设置 UserCommand 寄存器中的重新初始化命令 |
| 5C | W | 00000001 | 告知器件有一个新命令待执行。 |
| 不适用 | 不适用 | 不适用 | 一直等到上面的寄存器 0x5C = 0。(5ms)。 |
| 00 | W | 00 | 更改为 page 0 |
| 02 | W | 02 | 将器件置于软件关断模式 |

在 GUI 中，可在 Python 窗口中使用以下脚本来重新初始化系统。

```
GUI_Module=__import__('ULC1001')

import time #import time for delays

GUI=GUI_Module.Device_GUI("ULC1001.exe",6640.000000)
GUI.write_register("ULC1001","PWR_CTL",0x0) # put device in active mode
GUI.write_register("USER_Commands","USER_Commands_userCommand",0xE) # command for Reinit
GUI.write_register("USER_Commands","USER_Commands_flag_newCommand",0x1) # sets lock bit
time.sleep(0.01) #delay 10ms
GUI.write_register("ULC1001","PWR_CTL",0x02) # returns device to Software Shutdown
```

3.3.5.4 故障和标志监视及清除

GUI 监视器标志和故障是位于上方窗格中的绿色/红色 LED 框。ULC1001 会报告 5 个标志，并从 DRV2911 放大器读取一个故障。上方窗格右侧有一个复选框，用于启用或禁用 GUI 的故障监视功能，该功能可读取标志和故障。故障监视周期为 500ms。故障寄存器的读取不会由中详述的状态日志记录或节 3.3.5.9 中所述的 Python 脚本记录器记录。选择 **Clear Faults** 按钮后，标志和故障指示器将清零。

故障和标志如表 3-17 所述。表 3-18 展示了读取故障的序列，表 3-19 展示了清除故障的序列。

表 3-17. 故障和标志

| 标志名称 | 寄存器 | 说明 |
|---------------|---------------------------------|----------------------------------|
| Over Power | USER_Flags_flag_overPowerFault | 当功率超过阈值上限时设置粘滞标志。 |
| Under Power | USER_Flags_flag_underPowerFault | 当功率低于阈值下限时设置粘滞标志。 |
| System Fault | USER_Flags_flag_systemFault | 当运行系统故障模式并且 LCS 发生机械故障时，会设置粘滞标志。 |
| Open Load | USER_Flags_flag_openLoad | 当测得的 LCS 电流过低时，会设置粘滞标志。 |
| Over Temp | USER_Flags_flag_overTemp | 当测得的 LCS 温度高于用户设置的过热阈值时，会设置粘滞标志。 |
| DRV_ERR 故障 | INT_LTCH7, 位 6 | DRV2911 设置粘滞故障。 |
| DRV_ERR2 故障 | INT_LTCH7, 位 7 | 驱动器的第二个故障。不用于 DRV2911。 |

表 3-18. 读取标志和故障序列

| 寄存器 | 读取/写入 | 数据 | 说明 |
|-----|-------|-----|------------------|
| 00 | W | 00 | 更改为 Page 0 |
| 7F | W | 00 | 更改为 Book 0 |
| 02 | W | 00 | 将器件置于工作模式。 |
| 不适用 | 不适用 | 不适用 | 等待 5ms |
| 00 | W | 1A | 更改为 page 0x1A |
| 60 | R | 不适用 | 开路加载标志 |
| 64 | R | 不适用 | 过功率标志 |
| 68 | R | 不适用 | 过热标志 |
| 6C | R | 不适用 | 系统 (LCS) 标志 |
| 70 | R | 不适用 | 功率不足标志 |
| 00 | W | 02 | 更改为 page 2 |
| 34 | R | 不适用 | 位 6 = DRV2911 故障 |
| 00 | W | 00 | 更改为 page 0 |
| 02 | W | 02 | 将器件置于软件关断模式 |

表 3-19. 清除标志和故障序列

| 寄存器 | 读取/写入 | 数据 | 说明 |
|-----|-------|----------|------------------------------------|
| 00 | W | 00 | 更改为 Page 0 |
| 7F | W | 00 | 更改为 Book 0 |
| 02 | W | 00 | 将器件置于工作模式。 |
| 不适用 | 不适用 | 不适用 | 等待 5ms |
| 00 | W | 1A | 更改为 page 0x1A |
| 58 | W | 0000000D | 在 UserCommand 寄存器中设置 ClearFlags 命令 |
| 5C | W | 00000001 | 告知器件有一个新命令待执行。 |
| 不适用 | 不适用 | 不适用 | 一直等到上面的寄存器 0x5C = 0。(5ms)。 |
| 00 | W | 00 | 更改为 page 0 |
| 30 | W | 05 | 位 2 = 1 会清除粘滞故障。默认寄存器值为 0x01。 |
| 02 | W | 02 | 将器件置于软件关断模式 |

在 GUI 中，可在 Python 窗口中使用以下脚本来清除标志。

```

GUI_Module=__import__('ULC1001')
import time

GUI=GUI_Module.Device_GUI("ULC1001.exe",6640.000000)
GUI.write_register("ULC1001","PWR_CTL",0x0) # put device in active mode
GUI.write_register("USER_Commands","USER_Commands_userCommand",0xD) # command for clearFaults
GUI.write_register("USER_Commands","USER_Commands_flag_newCommand",0x1) # sets lock bit
time.sleep(0.01) #delay 10ms
GUI.write_register("ULC1001","INT & CLK CFG",0x1D) # clears hardware sticky flauts
GUI.write_register("ULC1001","PWR_CTL",0x02) # returns device to Software shutdown
  
```

3.3.5.5 运行校准

连接 ULC1001-DRV2911 EVM 并为其通电后，必须首先运行校准模式，并且在 LCS 的阻抗发生变化时需要重复运行该模式。变化包括将线缆长度或线规连接从 ULC1001 更改为 LCS。

对于校准，ULC1001 会测量多个频率范围内的阻抗来求解两个谐振频率，并使用温度常量来监测 LCS 的温度。校准模式最多可以包含五个突发，如节 3.3.2.2 所述。校准突发有多种可调设置，如表 3-7 所述。针对不同类型的超声波镜头盖系统，可以配置校准突发。本用户指南详细介绍了具有两种振动模式或两个频率范围的系统的设置。

备注

运行校准模式后，表 3-2 中的所有突发都会根据校准结果进行更新。如果未运行校准突发 (1-3、5)，则返回值为 0。运行校准模式后，对表 3-8 中的起始频率和终止频率执行额外更新。

使用以下步骤执行校准模式：

1. 清理 LCS 上的任何碎屑或水，并在室温环境 (23°C) 中设置。
2. 为所有线性调频脉冲参数选择适当的振幅。TI 建议使用 stemnic 传感器的 TI LCS 的振幅为 0.65puv。
3. 为每种校准突发类型 (1-3, 5) 选择频率 (*Freq_Start*) 和停止频率 (*Freq_Stop*)。要求 $Freq_Stop \geq Freq_Start$ 。校准模式会搜索该频率范围内的编程值；请参阅表 3-10。GUI 会自动略微调整频率值和 *Num_Freq* 线性调频脉冲参数，以优化校准突发参数。要求 $Num_Freq \leq 32$ 。
4. 使用校准概述页面中模式配置矩阵旁边的 *Run/Play* 按钮运行校准模式。
5. 一直等到校准模式完成 (在校准模式运行时，除 *GUI Abort/Reset Sequence* 按钮外，所有按钮均灰显)。
6. 注意区域参数 (*R1 Frequency* 和 *R2 Frequency*)。这些参数必须在步骤 3 中选择的频率范围内。如果是，则校准已完成。如果没有，则通过按如下方式更新 *Freq_Start* 和 *Freq_Stop* 来重复上述步骤 3：
 - a. 如果区域频率 = *Freq_Start*，则为对应的突发类型选择较低的 *Freq_Start*。满足 $Num_Freq \leq 32$ 要求还需要降低 *Freq_Stop*。
 - b. 如果区域频率 = *Freq_Stop*，则为对应的 *Burst Type* 频率选择更高的 *Freq_Stop*。满足 $Num_Freq \leq 32$ 要求还需要提高 *Freq_Start*。

备注

像 Bode 100™ 这样的阻抗分析仪可以用来查找 LCS 的共振频率，从而更快地确定校准模式的频率起始参数和停止参数。然而，LCS 谐振频率取决于驱动电压。因此，*R1 - Frequency* 和 *R2 - Frequency* 的校准模式计算可以根据使用阻抗分析仪求出的值偏移。

备注

手动更改区域参数时请谨慎操作；某些频率可能会产生高电压并损坏 ULC1001-DRV2911 EVM 中的电路。

运行校准模式的寄存器序列如表 3-20 所示。

表 3-20. 校准模式序列

| 寄存器 | 读取/写入 | 数据 | 说明 |
|-----|-------|----------|-------------------------------------|
| 00 | W | 00 | 更改为 Page 0 |
| 7F | W | 00 | 更改为 Book 0 |
| 02 | W | 00 | 将器件置于工作模式。 |
| 不适用 | 不适用 | 不适用 | 等待 5ms |
| 00 | W | 1A | 更改为 page 0x1A |
| 58 | W | 00000002 | 在 UserCommand 寄存器中设置校准命令 |
| 5C | W | 00000001 | 告知器件有一个新命令待执行。 |
| 不适用 | 不适用 | 不适用 | 一直等到上面的寄存器 0x5C = 0。等待时间取决于校准模式的设置。 |
| 00 | W | 00 | 更改为 page 0 |
| 02 | W | 02 | 将器件置于软件关断模式 |

在 GUI 中，可在 Python 窗口中使用以下脚本来校准系统。

```
GUI_Module=__import__('ULC1001')
import time

GUI=GUI_Module.Device_GUI("ULC1001.exe",6640.000000)
GUI.write_register("ULC1001","PWR_CTL",0x0) # put device in active mode
GUI.write_register("USER_Commands","USER_Commands_userCommand",0x2) # command for Calibration
GUI.write_register("USER_Commands","USER_Commands_flag_newCommand",0x1) # sets lock bit
time.sleep(x) # set appropriate wait time
GUI.write_register("ULC1001","PWR_CTL",0x02) # returns device to Software Shutdown
```

3.3.5.6 运行清洗模式

德州仪器 (TI) 创建了三种主要的清洗模式：一种是从 LCS 镜头中去除冰凝、泥点和水渍；另一种是自动模式，可对其进行编程，以便在检测到镜头上有水渍等污染物时驱动清洗序列。另外还有两种自定义模式可供灵活使用。假设用户已经运行校准模式并更新了相应的设置，则可以通过点击“Cleaning Modes High Level Page”中模式配置矩阵旁边的 *Run/Play* 按钮来运行清洗模式。为方便起见，*Run/Play* 按钮会自动将器件置于 *Active Mode*，并在运行该模式之前发送 *Reinit System* 命令。该器件在清洗模式后返回到 *Software Shutdown Mode*。TI 强烈建议每系列清洗模式的 *Amp (puV)* 设置与运行校准模式时使用的 *Amp (puV)* 设置相等。

运行任何清理模式时，除 *GUI Abort Sequence* 按钮外，其余部分都显示为灰色。*Abort Sequence* 按钮会结束运行模式，并将 ULC1001-DRV2911 EVM 复位为清洗模式启动之前的器件状态。

备注

运行自动模式时，不要选中“Continuous Mode”复选框和“Continuous Auto Mode”复选框。请参阅节 3.3.2.3.1。

运行校准模式的寄存器序列如表 3-21 所示。

表 3-21. 清洗模式序列

0x3 = 自定义模式 1、0x4 = 自定义模式 2、0x5 = 器件、0x6 = 自动模式、0x7 = 泥点模式。

| 寄存器 | 读取/写入 | 数据 | 说明 |
|-----|-------|----------|---|
| 00 | W | 00 | 更改为 Page 0 |
| 7F | W | 00 | 更改为 Book 0 |
| 02 | W | 00 | 将器件置于工作模式 |
| 不适用 | 不适用 | 不适用 | 等待 5ms |
| 00 | W | 1A | 更改为 page 0x1A |
| 58 | W | 0000000X | 在 UserCommand 寄存器中设置清洗模式命令 |
| 5C | W | 00000001 | 通知器件待执行新命令 |
| 不适用 | 不适用 | 不适用 | 一直等到上面的寄存器 0x5C = 0 。等待时间取决于清洗模式的设置。 |
| 00 | W | 00 | 更改为 page 0 |
| 02 | W | 02 | 将器件置于软件关断模式 |

在 GUI 中，可在 Python 窗口中使用以下脚本，以运行清洗模式。清洗模式为 0x3 = 自定义模式 1、0x4 = 自定义模式 2、0x5 = 除冰、0x6 = 自动模式、0x7 = 泥点模式。

```
GUI_Module=__import__('ULC1001')
import time

GUI=GUI_Module.Device_GUI("ULC1001.exe",6640.000000)
GUI.write_register("ULC1001","PWR_CTL",0x0) # put device in active mode
# Set Cleaning Command (0x3-0x7)
GUI.write_register("USER_Commands","USER_Commands_userCommand",0xx) # set Cleaning Command
GUI.write_register("USER_Commands","USER_Commands_flag_newCommand",0x1) # sets lock bit
time.sleep(x) # set appropriate wait time
GUI.write_register("ULC1001","PWR_CTL",0x02) # returns device to Software shutdown
```

3.3.5.7 运行诊断模式

德州仪器 (TI) 创建了两个附加模式来调节传送到 LCS 的功率，识别 LCS 的故障，以及检查输出端是否存在开路负载情况。有关诊断模式的更多详细信息，请参阅节 3.2.5。假设用户已经运行校准模式并更新了相应的设置，则可以通过点击“Power and Diagnostics”概述页面中模式配置矩阵旁边的 *Run/Play* 按钮来运行诊断模式。为方便起见，*Run/Play* 按钮会自动将器件置于 *Active Mode*，并在运行该模式之前发送 *Reinit System* 命令。该器件在诊断模式后返回到 *Software Shutdown Mode*。TI 强烈建议每系列诊断模式的 *Amp (puV)* 设置与运行校准模式时使用的 *Amp (puV)* 设置相等。

运行校准模式的寄存器序列如表 3-22 所示。

表 3-22. 诊断模式序列

0x8 = 电源模式，0x9 = 系统故障模式

| 寄存器 | 读取/写入 | 数据 | 说明 |
|-----|-------|----------|-------------------------------------|
| 00 | W | 00 | 更改为 Page 0 |
| 7F | W | 00 | 更改为 Book 0 |
| 02 | W | 00 | 将器件置于工作模式 |
| 不适用 | 不适用 | 不适用 | 等待 5ms |
| 00 | W | 1A | 更改为 page 0x1A |
| 58 | W | 0000000X | 在 UserCommand 寄存器中设置诊断模式命令 |
| 5C | W | 00000001 | 通知器件待执行新命令。 |
| 不适用 | 不适用 | 不适用 | 一直等到上面的寄存器 0x5C = 0。等待时间取决于诊断模式的设置。 |
| 00 | W | 00 | 更改为 page 0 |
| 02 | W | 02 | 将器件置于软件关断模式 |

在 GUI 中，可在 Python 窗口中使用以下脚本，以运行清洗模式。清洗模式为 0x8 = 电源模式，0x9 = 系统故障模式

```
GUI_Module=__import__('ULC1001')
import time

GUI=GUI_Module.Device_GUI("ULC1001.exe",6640.000000)
GUI.write_register("ULC1001","PWR_CTL",0x0) # put device in active mode
# Set Diagnostic Command (0x8-0x9)
GUI.write_register("USER_Commands","USER_Commands_userCommand",0xX) # set Diagnostic Command
GUI.write_register("USER_Commands","USER_Commands_flag_newCommand",0x1) # sets lock bit
time.sleep(x) # set appropriate wait time
GUI.write_register("ULC1001","PWR_CTL",0x02) # returns device to Software Shutdown
```

3.3.5.8 运行中止

可以执行中止序列以停止正在运行的清洗、校准、诊断或电源模式。

表 3-23. 中止序列

0x1 = 中止模式

| 寄存器 | 读取/写入 | 数据 | 说明 |
|-----|-------|----------|---------------|
| 00 | W | 00 | 更改为 Page 0 |
| 7F | W | 00 | 更改为 Book 0 |
| 00 | W | 1A | 更改为 Page 0x1A |
| 58 | W | 00000001 | 中止系统 |
| 不适用 | 不适用 | 不适用 | 等待 1ms |
| 00 | W | 00 | 更改为 Page 0 |
| 01 | W | 01 | SW 复位 |
| 不适用 | 不适用 | 不适用 | 等待 2ms |
| 不适用 | W | 不适用 | 重新加载所有寄存器 |

在 GUI 中，可以在 Python 窗口中使用以下脚本来运行中止模式。中止模式为 $0x1 =$ 中止。

```
GUI_Module=__import__('ULC1001')
import time

GUI=GUI_Module.Device_GUI("ULC1001.exe",6640.000000)
# Set Abort Command (0x1)
GUI.write_register("USER_Commands","USER_Commands_userCommand",0x1) # set Abort Command
time.sleep(x) # set appropriate wait time
GUI.write_register("ULC1001","SW_RESET",0x1)
time.sleep(x) # set appropriate wait time
# Re-load all registers
```

3.3.5.9 脚本录制

GUI 寄存器读/写操作可录制在脚本文件中，然后存储脚本文件并根据需要进行重放。保存和运行录制的脚本与保存和加载配置文件类似，如节 3.3.5.2 中所述。但是，脚本录制的优点是会保存 GUI 按钮点击的确切序列和设置更改。

脚本录制窗口可从 **Script** 菜单中启动，如图 3-24 所示，也可通过工具栏中的快捷方式启动。按下 **Start Recording** 按钮时，Python 记录窗口将呈绿色闪烁，如图 3-25 所示。按下 **Stop Recording** 按钮后，窗口将变为白色。

可以如图 3-26 所示保存脚本，也可以重新打开并运行脚本，如图 3-27 所示。某些命令需要等待时间，以便系统初始化或进入工作模式。可以插入 Python 时间库并使用 **WAIT** 命令。

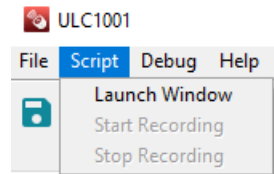


图 3-24. 脚本菜单

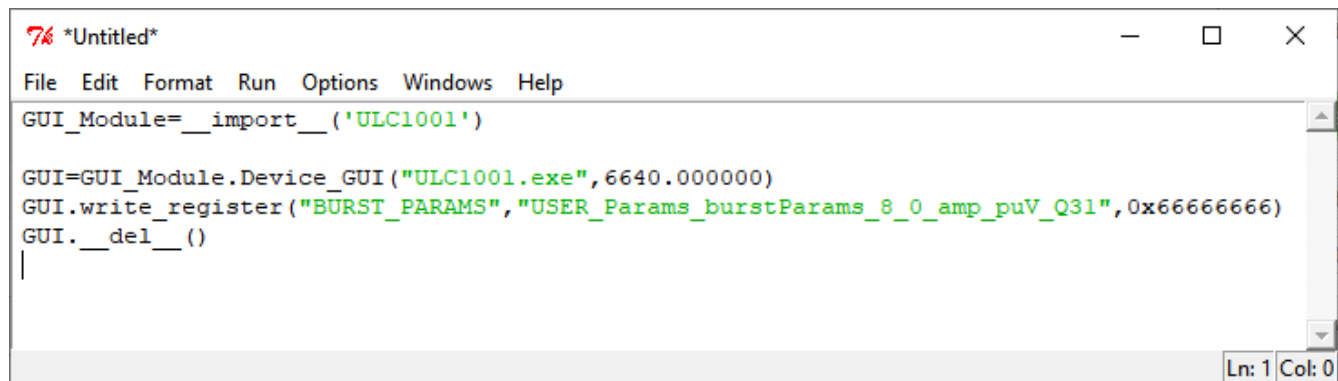


图 3-25. Python 录制窗口

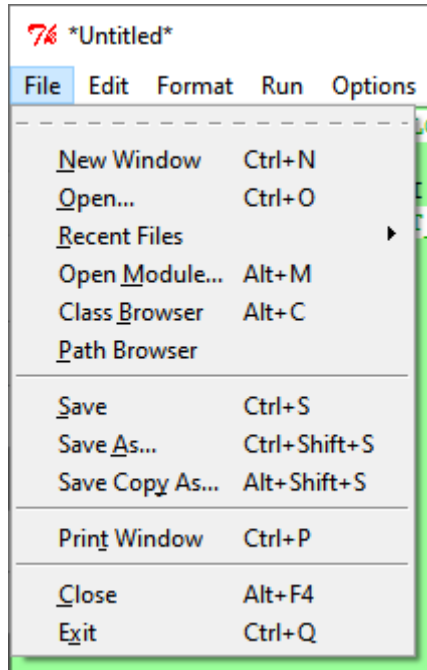


图 3-26. 保存录制的 Python 脚本

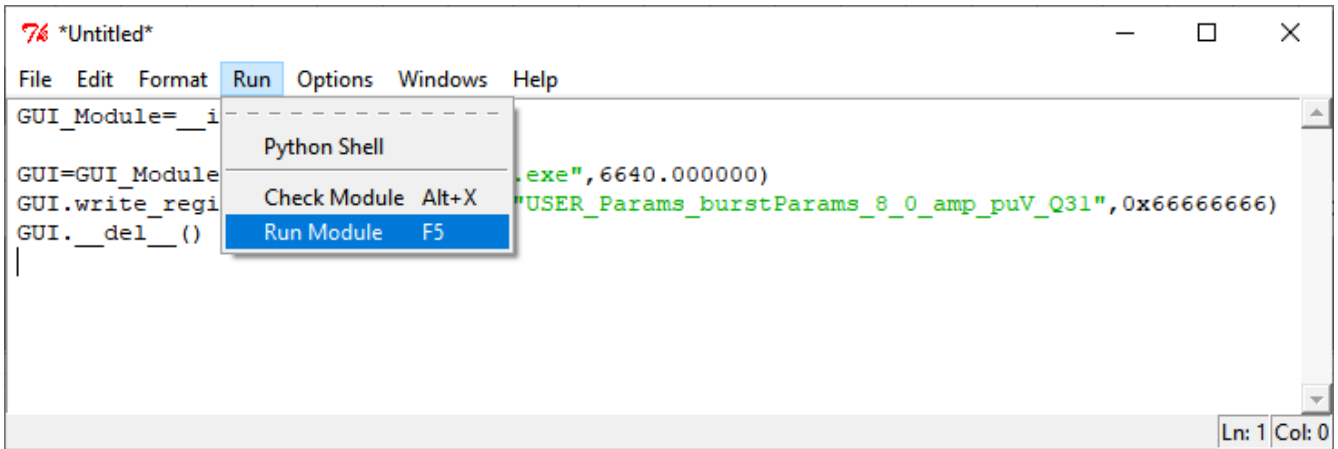


图 3-27. 运行录制的 Python 脚本

4 硬件设计文件

4.1 原理图

图 4-1、图 4-2 和图 4-3 展示了 ULC1001-DRV2911 EVM 原理图。

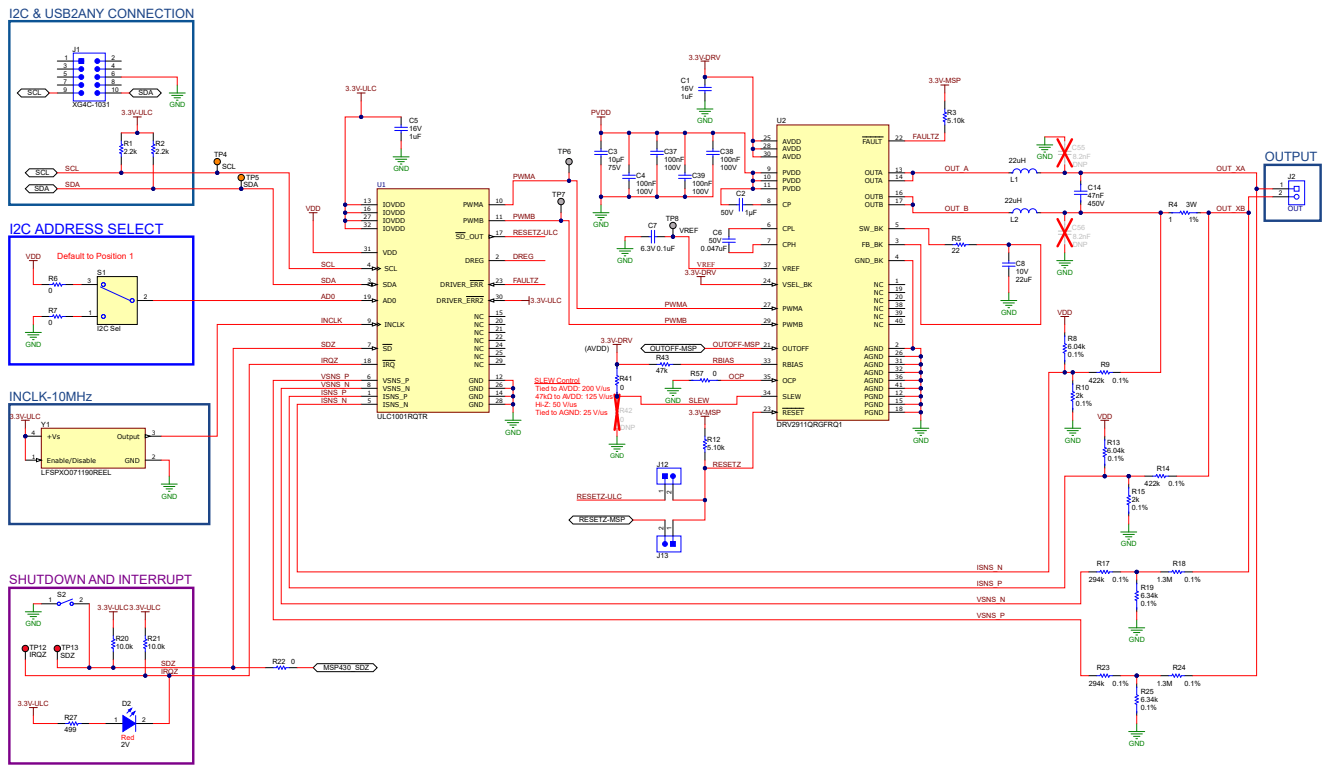


图 4-1. ULC1001-DRV2911 EVM 原理图

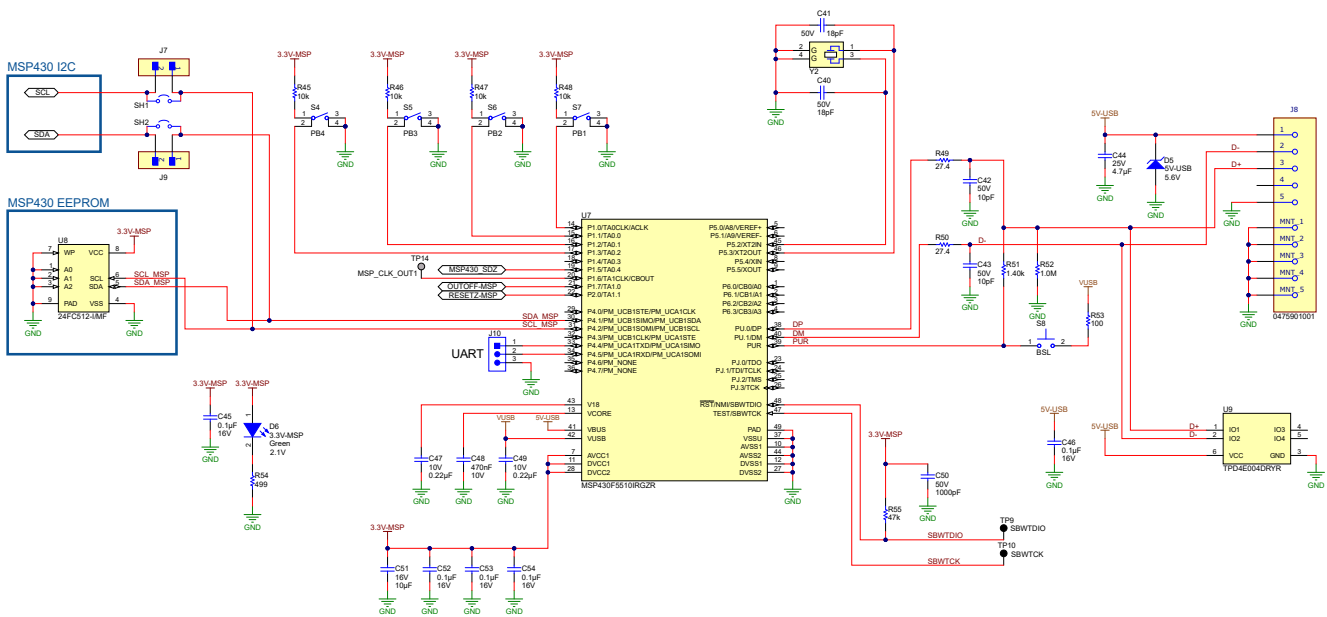


图 4-2. ULC1001-DRV2911 EVM MSP430 原理图

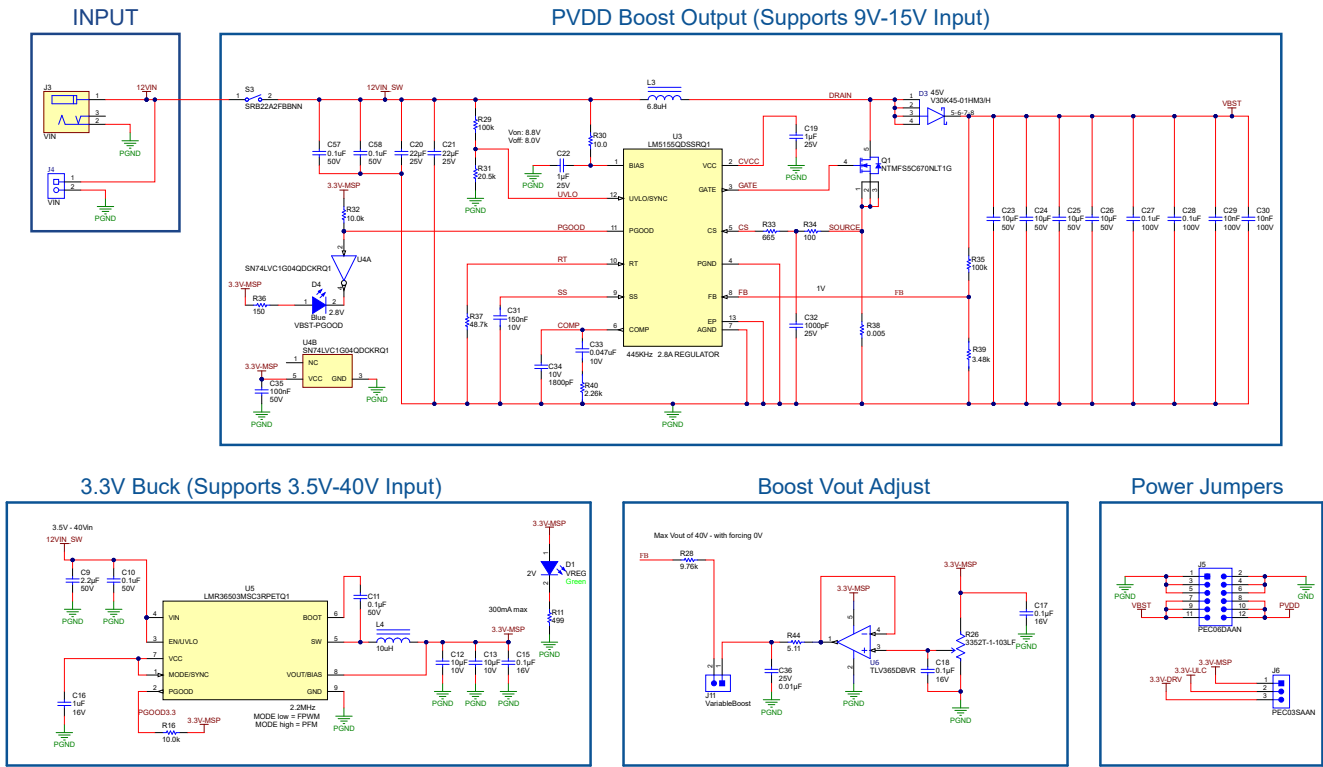


图 4-3. ULC1001-DRV2911 EVM 电源

4.2 PCB 布局

下图显示了 ULC1001-DRV2911 EVM 层图。

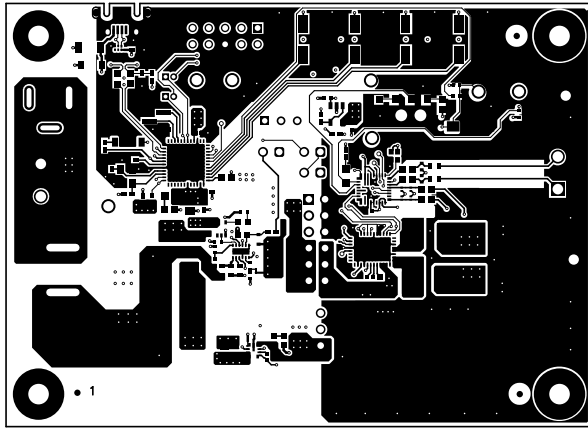


图 4-4. 顶层

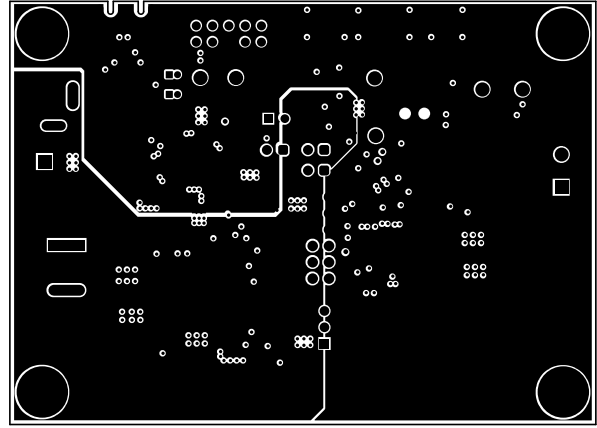


图 4-5. 信号层 1

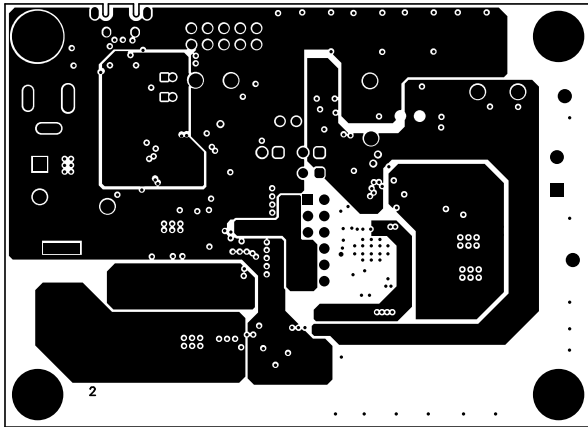


图 4-6. 信号层 2

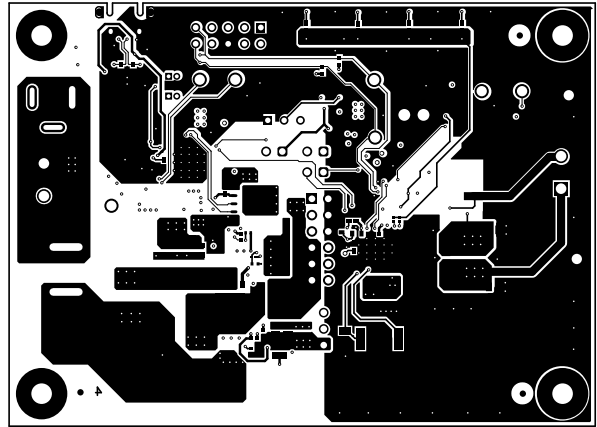


图 4-7. 底层

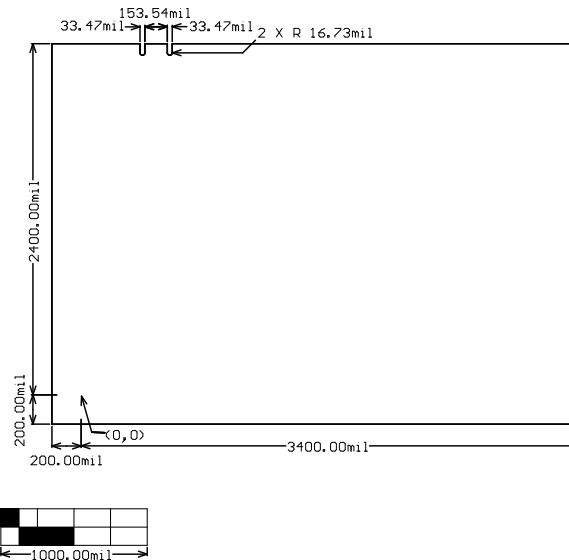


图 4-8. 电路板尺寸

4.3 物料清单 (BOM)

表 4-1. ULC1001-DRV2911 EVM 物料清单

| 位号 | 数量 | 值 | 说明 | 封装参考 | 器件型号 | 制造商 |
|------------------------|----|---------|---|------|----------------------|---------------------------|
| C1、C5、C16 | 3 | 1uF | 电容, 陶瓷, 1uF, 16V, +/-10%, X5R, 0402 | 0402 | EMK105BJ105KVHF | Taiyo Yuden |
| C2 | 1 | 1uF | 电容、陶瓷、50V、1uF、X7R 0603 10% | 0603 | UMK107AB7105KA-T | Taiyo Yuden |
| C3 | 1 | 10uF | 电容, 陶瓷, 10uF, 75V, +/-20%, X7R, AEC-Q200 1 级, 1210 | 1210 | CGA6P1X7R1N106M250AC | TDK |
| C4、C27、C28、C37、C38、C39 | 6 | 0.1uF | 电容, 陶瓷, 0.1uF, 100V, +/-10%, X7R, 0603 | 0603 | GRM188R72A104KA35J | MuRata |
| C6 | 1 | 0.047uF | 电容, 陶瓷, 0.047uF, 50V, +/-10%, X7R, 0402 | 0402 | C1005X7R1H473K050BB | TDK |
| C7 | 1 | 0.1uF | 电容, 陶瓷, 0.1uF, 6.3V, +/-10%, X7R, 0402 | 0402 | GRM155R70J104KA01D | MuRata |
| C8 | 1 | 22uF | 电容, 陶瓷, 22uF, 10V, +/-10%, X7R, 1206 | 1206 | GRM31CR71A226KE15L | MuRata |
| C9 | 1 | 2.2uF | 电容, 陶瓷, 2.2uF, 50V, +/-10%, X7R, AEC-Q200 1 级, 0805 | 0805 | CGA4J3X7R1H225K125AB | TDK |
| C10、C35、C57、C58 | 4 | 0.1uF | 电容, 陶瓷, 0.1uF, 50V, +/-10%, X7R, AEC-Q200 1 级, 0603 | 0603 | CGA3E2X7R1H104K080AA | TDK |
| C11 | 1 | 0.1uF | 电容, 陶瓷, 0.1uF, 50V, +/-10%, X7R, AEC-Q200 1 级, 0402 | 0402 | CGA2B3X7R1H104K050BD | TDK |
| C12、C13 | 2 | 10uF | 电容, 陶瓷, 10uF, 10V, +/-10%, X7R, AEC-Q200 1 级, 0805 | 0805 | GCJ21BR71A106KE01L | MuRata |
| C14 | 1 | 47nF | 电容, 陶瓷, 47nF ±10% 450V X7T SMD 0805 | 0805 | C2012X7T2W473K125AA | TDK |
| C15、C17、C18 | 3 | 0.1uF | 电容, 陶瓷, 0.1uF, 16V, +/-5%, X7R, AEC-Q200 1 级, 0402 | 0402 | GCM155R71C104JA55D | MuRata |
| C19、C22 | 2 | 1uF | 电容, 陶瓷, 1uF, 25V, +/-10%, X7R, AEC-Q200 1 级, 0603 | 0603 | GCM188R71E105KA64D | MuRata |
| C20、C21 | 2 | 22uF | 电容, 陶瓷, 22uF, 25V, ±10%, X7R, 1210 | 1210 | CL32B226KAJNFNE | Samsung Electro-Mechanics |
| C23、C24、C25、C26 | 4 | 10uF | 电容, 陶瓷, 10uF, 50V, ±10%, X7R, 1210 | 1210 | CL32B106KBJNNWE | Samsung Electro-Mechanics |
| C29、C30 | 2 | 0.01uF | 电容, 陶瓷, 0.01uF, 100V, +/-10%, X7R, AEC-Q200 1 级, 0603 | 0603 | CGA3E2X7R2A103K080AA | TDK |
| C31 | 1 | | 0.15uF ±20% 10V 陶瓷电容器 X7R 0402 (公制 1005) | 0402 | CGA2B1X7R1A154M050BC | TDK |
| C32 | 1 | 1000pF | 电容, 陶瓷, 1000pF, 25V, +/-10%, X7R, AEC-Q200 1 级, 0201 | 0201 | CGA1A2X7R1E102K030BA | TDK |
| C33 | 1 | | 多层陶瓷电容器, 0.047uF, 10V, 10%, 0402, 纸质 T/R | 0402 | LMF105B7473KVHF | Taiyo Yuden |
| C34 | 1 | 1800pF | 电容, 陶瓷, 1800pF, 10V, +/-10%, X7R, 0201 | 0201 | GRM033R71A182KA01D | MuRata |
| C36 | 1 | 0.01uF | 电容, 陶瓷, 0.01uF, 25V, ±10%, X7R, 0402 | 0402 | CL05B103KA5NNNC | Samsung Electro-Mechanics |
| C40、C41 | 2 | 18pF | 电容, 陶瓷, 18pF, 50V, +/-5%, COG/NP0, 0402 | 0402 | CL05C180JB5NNNC | Samsung Electro-Mechanics |
| C42、C43 | 2 | 10pF | 电容, 陶瓷, 10pF, 50V, +/-5%, COG/NP0, AEC-Q200 1 级, 0402 | 0402 | CGA2B2C0G1H100D050BA | TDK |

表 4-1. ULC1001-DRV2911 EVM 物料清单 (续)

| 位号 | 数量 | 值 | 说明 | 封装参考 | 器件型号 | 制造商 |
|---------------------|----|--------|--|--|---------------------|-----------------------------|
| C44 | 1 | 4.7uF | 电容, 陶瓷, 4.7μF, 25V, +/-10%, X7R, AEC-Q200 1 级, 1206 | 1206 | GCM31CR71E475KA55L | MuRata |
| C45、C46、C52、C53、C54 | 5 | 0.1uF | 电容, 陶瓷, 0.1μF, 16V, ±10%, X7R, 0402 | 0402 | EMK105B7104KV-F | Taiyo Yuden |
| C47、C49 | 2 | 0.22uF | 电容, 陶瓷, 0.22μF, 10V, +/-10%, X7R, AEC-Q200 1 级, 0402 | 0402 | LMK105B7224KVHF | Taiyo Yuden |
| C48 | 1 | 0.47uF | 电容, 陶瓷, 0.47μF, 10V, +/-10%, X7R, 0603 | 0603 | C0603C474K8RACTU | Kemet |
| C50 | 1 | 1000pF | 电容, 陶瓷, 1000pF, 50V, +/-5%, C0G/NP0, 0402 | 0402 | C1005NP01H102J050BA | TDK |
| C51 | 1 | 10uF | 电容, 陶瓷, 10μF, 16V, ±20%, X5R, 0805 | 0805 | 885012107014 | Würth Elektronik |
| D1 | 1 | 绿色 | LED, 绿色, SMD | 1.6mm x 0.8mm | LTST-C193KGKT-5A | Lite-On |
| D2 | 1 | 红色 | LED, 红色, SMD | 红色 0805 LED | LTST-C170KRKT | Lite-On |
| D3 | 1 | | 二极管, 肖特基, 45V, 30A, 表面贴装 FlatPAK (5x6) | FlatPAK5x6 | V30K45-01HM3/H | Vishay |
| D4 | 1 | 蓝色 | LED, 蓝色, SMD | 1.6mm x 0.8mm | LTST-C193TBKT-5A | Lite-On |
| D5 | 1 | 5.6V | 二极管, 齐纳, 5.6V, 500mW, SOD-123 | SOD-123 | MMSZ5232B-7-F | Diodes Inc. |
| D6 | 1 | 绿色 | LED, 绿色, SMD | 0805 LED | LTST-C171GKT | Lite-On |
| H1、H2、H3、H4 | 4 | | 机械螺钉, 圆头, #4-40 x 1/4, 尼龙, 飞利浦盘形头 | 螺钉 | NY PMS 440 0025 PH | B&F Fastener Supply |
| H5、H6、H7、H8 | 4 | | 六角螺柱, 0.5"L #4-40 尼龙 | 螺柱 | 1902C | Keystone |
| J1 | 1 | | 接头 (有罩), 100mil, 5x2, 金, TH | TH, 10 引线, 接头体 8.5mm x 20mm, 间距 2.54mm | XG4C-1031 | Omron Electronic Components |
| J2、J4 | 2 | | 端子块, 5.08mm, 2x1, TH | 端子块, 5.08mm, 2x1, TH | 039544-3002 | Molex |
| J3 | 1 | | 电源插孔, 小型, 2.5mm 外径, R/A, TH | 插孔, 14.5mm x 11mm x 9mm | RAPC712X | Switchcraft |
| J5 | 1 | | 接头, 100mil, 6x2, 锡, TH | 接头, 6x2, 100mil, 锡 | PEC06DAAN | Sullins Connector Solutions |
| J6 | 1 | | 接头, 100mil, 3x1, 锡, TH | 接头, 3 引脚, 100mil, 锡 | PEC03SAAN | Sullins Connector Solutions |
| J7、J9 | 2 | | 连接器接头穿孔 2 位 0.050" (1.27mm) | HDR2 | M50-3530242 | Harwin |
| J8 | 1 | | USB - micro AB - 插座连接器 5 位置表面贴装, 直角; 穿孔 | CONN_USB_7MM50_5MM90 | 0475901001 | Molex |
| J10 | 1 | | 接头, 1.27mm, 3x1, 金, SMT | 接头, 1.27mm, 3x1, SMT | GRPB031VWTC-RC | Sullins Connector Solutions |
| J11、J12、J13 | 3 | | 接头, 2.54mm, 2x1, 锡, TH | 接头, 2.54mm, 2x1, TH | TSW-102-07-T-S | Samtec |
| L1、L2 | 2 | 22uH | 电感器, 屏蔽, 金属复合物, 22μH, 2.4A, 0.1248Ω, SMD | SMD | SPM6545VT-220M-D | TDK |
| L3 | 1 | 6.8uH | 电感, 屏蔽, 复合, 6.8μH, 18.5A, 0.01Ω, SMD | 电感器, 11.3mm x 10mm x 10mm | XAL1010-682MEB | Coilcraft |
| L4 | 1 | 10uH | 电感, 屏蔽, 复合, 10μH, 0.61A, 0.56Ω, SMD | XPL2010 | XPL2010-103MLB | Coilcraft |
| LBL1 | 1 | | 热转印打印标签, 0.650" (宽) x 0.200" (高) - 10,000/卷 | PCB 标签, 0.650 x 0.200 英寸 | THT-14-423-10 | Brady |

表 4-1. ULC1001-DRV2911 EVM 物料清单 (续)

| 位号 | 数量 | 值 | 说明 | 封装参考 | 器件型号 | 制造商 |
|-----------------|----|-------|---|--------------------|--------------------|------------------|
| Q1 | 1 | 60V | MOSFET, N 沟道, 60V, 71A, SO-8FL | SO-8FL | NTMFS5C670NLT1G | ON Semiconductor |
| R1、R2 | 2 | 2.2k | 电阻, 2.2k, 5%, 0.063W, AEC-Q200 0 级, 0402 | 0402 | CRCW04022K20JNED | Vishay-Dale |
| R3、R12 | 2 | 5.10k | 电阻, 5.10k, 1%, 0.05W, 0201 | 0201 | RC0201FR-075K1L | Yageo America |
| R4 | 1 | 1 | 1Ω ±1% 3W 片上电阻 2010 (公制 5025), 汽车 AEC-Q200, 电流检测, 防潮, 可承受脉冲 | 2010 | VMP-1R00-1.0-U | Isabellenhuette |
| R5 | 1 | 22 | 电阻, 22, 5%, 1.5W, AEC-Q200 0 级, 2512 | 2512 | CRCW251222R0JNEGHP | Vishay-Dale |
| R6、R7 | 2 | 0 | 电阻, 0, 5%, 0.1W, 0603 | 0603 | RC0603JR-070RL | Yageo |
| R8、R13 | 2 | 6.04k | 6.04kΩ ±0.1% 0.05W, 1/20W 片上电阻 0201 (公制 0603), 抗硫化, 汽车 AEC-Q200, 防潮薄膜 | 0201 | TNPW02016K04BEEED | Vishay |
| R9、R14 | 2 | 422k | 电阻, 422k, 0.1%, 0.1W, 0603 | 0603 | RT0603BRD07422KL | Yageo America |
| R10、R15 | 2 | 2k | 2kΩ ±0.1% 0.05W, 1/20W 片上电阻 0201 (公制 0603), 抗硫化, 汽车 AEC-Q200, 防潮薄膜 | 0201 | TNPW02012K00BEEED | Vishay Dale |
| R11、R54 | 2 | 499 | 电阻, 499, 1%, 0.1W, 0603 | 0603 | CRCW0603499RFKEAC | Vishay-Dale |
| R16、R20、R21、R32 | 4 | 10.0k | 电阻, 10.0kΩ, 1%, 0.063W, 0402 | 0402 | RC0402FR-0710KL | Yageo America |
| R17、R23 | 2 | 294k | 电阻, 294k, 0.1%, 0.1W, 0603 | 0603 | RT0603BRD07294KL | Yageo America |
| R18、R24 | 2 | 1.3M | 1.3MΩ ±0.1% 0.125W, 1/8W 片上电阻 0603 (公制 1608), 抗硫化, 汽车 AEC-Q200, 薄膜 | 0603 | MCT0603MD1304BP500 | Vishay Dale |
| R19、R25 | 2 | 6.34k | 电阻薄膜, 0402, 6.34kΩ, 0.1%, 1/16W, ±25ppm/°C, 模制 SMD, 纸质 T/R | 0402 | RT0402BRD076K34L | Yageo |
| R22 | 1 | 0 | 电阻, 0, 5%, 0.1W, AEC-Q200 0 级, 0402 | 0402 | ERJ-2GE0R00X | Panasonic |
| R26 | 1 | 10kΩ | 10kΩ, 0.5W, 1/2W 穿孔, 拨轮电位器, 顶部调节 | PTM_PTH_8MM9_9MM53 | 3352T-1-103LF | Bourns |
| R27 | 1 | 499 | 电阻, 499, 1%, 0.063W, AEC-Q200 0 级, 0402 | 0402 | CRCW0402499RFKED | Vishay-Dale |
| R28 | 1 | 9.76k | 电阻, 9.76k, 1%, 0.063W, AEC-Q200 0 级, 0402 | 0402 | CRCW04029K76FKED | Vishay-Dale |
| R29 | 1 | 100k | 电阻, 100k, 1%, 0.1W, 0402 | 0402 | ERJ-2RKF1003X | Panasonic |
| R30 | 1 | 10.0 | 电阻, 10.0, 1%, 0.1W, AEC-Q200 0 级, 0603 | 0603 | CRCW060310R0FKEA | Vishay-Dale |
| R31 | 1 | 20.5k | 电阻, 20.5k, 1%, 0.063W, AEC-Q200 0 级, 0402 | 0402 | CRCW040220K5FKED | Vishay-Dale |
| R33 | 1 | 665 | 电阻, 665, 1%, 0.063W, AEC-Q200 0 级, 0402 | 0402 | CRCW0402665RFKED | Vishay-Dale |
| R34 | 1 | 100 | 电阻, 100, 1%, 0.1W, 0402 | 0402 | ERJ-2RKF1000X | Panasonic |
| R35 | 1 | 100k | 电阻, 100kΩ, 1%, 0.1W, AEC-Q200 0 级, 0603 | 0603 | CRCW0603100KFKEA | Vishay-Dale |
| R36 | 1 | 150 | 电阻, 150, 1%, 0.063W, AEC-Q200 0 级, 0402 | 0402 | CRCW0402150RFKED | Vishay-Dale |
| R37 | 1 | 48.7k | 电阻, 48.7kΩ, 1%, 0.063W, AEC-Q200 0 级, 0402 | 0402 | CRCW040248K7FKED | Vishay-Dale |
| R38 | 1 | 0.005 | 电阻, 0.005, 1%, 3W, AEC-Q200 0 级, 2512 | 2512 | CRE2512-FZ-R005E-3 | Bourns |
| R39 | 1 | 3.48k | 1kΩ ±1% 0.1W, 3.48/10W 片上电阻 0603 (公制 1608), 汽车 AEC-Q200, 防潮厚膜 | 0603 | RK73H1JTDD3481F | KOA Speer |

表 4-1. ULC1001-DRV2911 EVM 物料清单 (续)

| 位号 | 数量 | 值 | 说明 | 封装参考 | 器件型号 | 制造商 |
|---|----|--------|---|-----------------------|--------------------|---------------------------------|
| R40 | 1 | | 电阻厚膜 0201 2.26K Ω 1% 1/20W \pm 200ppm/ $^{\circ}$ C 模制 SMD SMD T/R | 0201 | ERJ-1GNF2261C | Panasonic Electronic Components |
| R41 | 1 | 0 | 0 Ω 跳线 0.125W, 1/8W 片式电阻器 0603 (公制 1608) 汽车类 AEC-Q200 厚膜 | 0603 | ERJ-H3G0R00V | Panasonic |
| R43、R55 | 2 | 47k | 电阻, 47k, 5%, 0.063W, AEC-Q200 0 级, 0402 | 0402 | CRCW040247K0JNED | Vishay-Dale |
| R44 | 1 | 5.11 | 电阻, 5.11, 1%, 0.063W, AEC-Q200 0 级, 0402 | 0402 | CRCW04025R11FKED | Vishay-Dale |
| R45、R46、R47、R48 | 4 | 10k | 电阻, 10k, 5%, 0.063W, AEC-Q200 0 级, 0402 | 0402 | CRCW040210K0JNED | Vishay-Dale |
| R49、R50 | 2 | 27.4 | 电阻, 27.4, 1%, 0.1W, 0603 | 0603 | RC0603FR-0727R4L | Yageo |
| R51 | 1 | 1.40k | 电阻, 1.40k, 1%, 0.063W, AEC-Q200 0 级, 0402 | 0402 | CRCW04021K40FKED | Vishay-Dale |
| R52 | 1 | 1.0Meg | 电阻, 1.0M, 5%, 0.063W, AEC-Q200 0 级, 0402 | 0402 | CRCW04021M00JNED | Vishay-Dale |
| R53 | 1 | 100 | 电阻, 100, 1%, 0.063W, AEC-Q200 0 级, 0402 | 0402 | CRCW0402100RFKED | Vishay-Dale |
| R57 | 1 | 0 | 0 Ω 跳线 0.1W, 1/10W, 5.8A 片式电阻器 0201 (公制 0603) 汽车级 AEC-Q200 金属箔 | 0201 | HCJ0201ZTOR00 | Stackpole Electronics |
| S1 | 1 | | 开关, SPDT, 滑动, 开-开, 2 位, 0.1A, 12VDC, R/A, SMD | 7.2mm x 4mm | AYZ0102AGRLC | C&K Components |
| S2 | 1 | | 开关, SPST-NO, Off-Mom, 0.05A, 12VDC, SMD | 6mm x 3.5mm | EVQ-5PN04K | Panasonic |
| S3 | 1 | | 开关, SPST, 关-开, 10A, 125V, TH | 15.01mm x 19mm | SRB22A2FBBNN | Conergy |
| S4、S5、S6、S7 | 4 | | 开关, SPST-NO, Off-Mom, 0.05A, 12V, SMT | 6mm x 6mm | TL3301AF160QJ | E-Switch |
| S8 | 1 | | 开关, 触控式, 单刀单掷-常开, 0.05A, 12V, SMT | 开关, 4.4mm x 2 x 2.9mm | TL1015AF160QG | E-Switch |
| SH1、SH2 | 2 | | 1.27mm, 2 位母跳线插座, 手柄分流器, 黑色 | CONN_SHUNT2 | M50-2000005 | Harwin |
| SH-J1、SH-J2、SH-J3、SH-J4、SH-J5、SH-J6、SH-J7、SH-J8、SH-J9 | 9 | | 分流器, 100mil, 镀金, 黑色 | 分流器, 2 位, 100mil | 881545-2 | TE Connectivity |
| TP1、TP2、TP3 | 3 | | 测试点, 通用, 绿色, TH | 绿色多用途测试点 | 5126 | Keystone Electronics |
| TP4、TP5 | 2 | | 测试点, 通用, 橙色, TH | 橙色通用测试点 | 5013 | Keystone Electronics |
| TP9、TP10 | 2 | | 测试点, 通用, 黑色, TH | 黑色通用测试点 | 5011 | Keystone Electronics |
| TP12、TP13 | 2 | | 测试点, 通用, 红色, TH | 红色通用测试点 | 5010 | Keystone Electronics |
| U1 | 1 | | 具有 I/V 检测放大器的可配置超声波 PWM 驱动器 | VQFN-HR32 | ULC1001QWRQTRQ1 | 德州仪器 (TI) |
| U2 | 1 | | 用于超声波镜头清洗的全桥 PWM 输入压电式驱动器 | VQFN40 | DRV2911QRGFRQ1 | 德州仪器 (TI) |
| U3 | 1 | | 汽车级 2.2MHz 宽输入非同步升压控制器, DSS0012C (WSON-12) | DSS0012C | LM5155QDSSRQ1 | 德州仪器 (TI) |
| U4 | 1 | | 汽车类单路逆变器, DCK0005A, 大型 T&R | DCK0005A | SN74LVC1G04QDCKRQ1 | 德州仪器 (TI) |
| U5 | 1 | | LMR36503/06-Q1 宽输入 60V 同步直流/直流降压转换器, RPE0009A (VQFN-9) | RPE0009A | LMR36503MSC3RPETQ1 | 德州仪器 (TI) |
| U6 | 1 | | CMOS 放大器 1 电路轨至轨 SOT-23-5 | SOT-23-5 | TLV365DBVR | 德州仪器 (TI) |
| U7 | 1 | | 混合信号微控制器, RGZ0048A (VQFN-48) | RGZ0048A | MSP430F5510IRGZR | 德州仪器 (TI) |
| U8 | 1 | | 512K I2C 串行 EEPROM, DFN-8 | DFN-8 | 24FC512-I/MF | Microchip |

表 4-1. ULC1001-DRV2911 EVM 物料清单 (续)

| 位号 | 数量 | 值 | 说明 | 封装参考 | 器件型号 | 制造商 |
|----|----|---|--|-----------------------|---------------------|---------------------|
| U9 | 1 | | 适用于高速数据接口的 4 通道 ESD 保护阵列， DRY0006A (USON-6) | DRY0006A | TPD4E004DRYR | 德州仪器 (TI) |
| Y1 | 1 | | 10MHz XO (标准) CMOS 振荡器 3.3V 启用/禁用 4- SMD, 无引线 | SMT_XTAL_2MM0_1MM6 | LFSPXO071190REEL | IQD |
| Y2 | 1 | | 晶振, 24.000MHz, 18pF, SMD | 3.2mm x 0.8mm x 2.5mm | ABM8-24.000MHZ-B2-T | Abracon Corporation |

5 其他信息

5.1 商标

Bode 100™ is a trademark of OMICRON electronics.

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