

Application Note

镜头盖系统特性指南 : LCS-FL-RNG15



摘要

本文档提供了环形压电式平面镜头盖系统 (LCS) (型号 LCS-FL-RNG15) 的原型特性指南和特性结果。LCS 与 ULC1001 电气系统配合使用，可构建超声波镜头清洗 (ULC) 系统。

内容

1 首字母缩写词.....	1
2 简介.....	1
3 阻抗响应.....	2
3.1 纯压电式.....	2
3.2 镜头盖.....	4
3.3 镜头盖系统 (LCS).....	5
4 LCS 的等效电路模型.....	7
5 LCS 的 LC 滤波器.....	9
6 水清洗.....	11
7 功耗.....	13
8 可靠性.....	15
9 其他测试.....	16
9.1 除冰.....	16
9.2 泥点清洗.....	16
9.3 光干扰.....	16
9.4 防水能力.....	16
10 资源.....	17

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 首字母缩写词

- LCS - 镜头盖系统
- ULC - 超声波镜头清洗
- PZT - 锆钛酸铅

2 简介

超声波镜头清洁 (ULC) 系统是一种机电设计，用于自动检测并清洁汽车、安保和工业摄像头系统镜头上的水、冰或其他污染物。该技术的机械部分称为镜头盖系统 (LCS)。图 2-1 展示了基于环形压电换能器的 LCS 元件，包括外壳盖、柔性密封件、薄膜、透镜、胶水、环形换能器和外壳底座。镜头盖由粘在透镜上的换能器和薄膜组成。镜头盖安装在外壳 (盖子 + 密封件 + 底座) 内以形成 LCS。

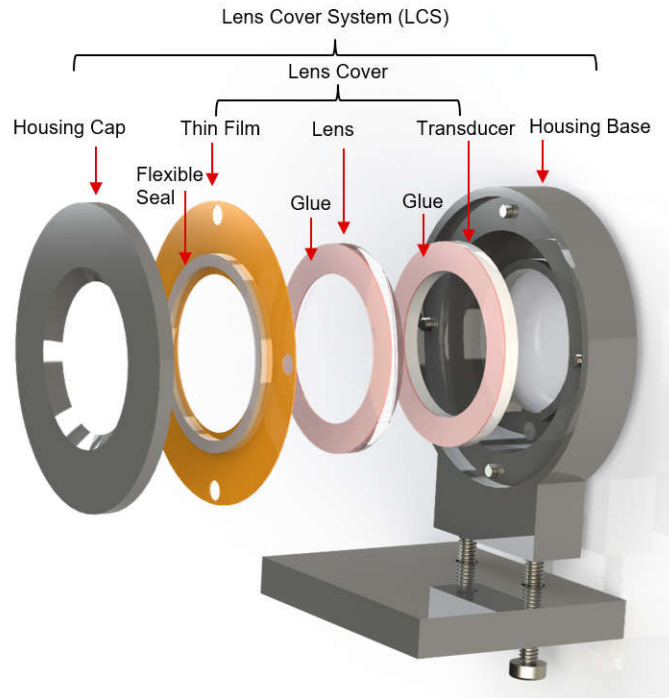


图 2-1. 平板透镜盖系统 (LCS) 图示

TI 已经设计了环形压电式 LCS 并进行了原型设计：LCS-FL-RNG15。本文档提供了原型的测试和特性结果以展示 LCS 的性能。

TI 在 LCS-FL-RNG15 原型上进行了有限数量的特性表征和测试。完整的测试和验证要求必须由最终客户确定。

3 阻抗响应

了解压电元件和相关系统的阻抗响应，对于有效利用压电式负载至关重要。建议测量从单个元件到整个系统在整个关键组装阶段的阻抗响应。

文档中所述的阻抗响应是通过阻抗分析仪（型号：Agilent/HP 4294A）测量的。可以使用类似工具。

3.1 纯压电式

图 3-1 绘制了进行任何粘接之前单个压电环的阻抗响应图。在绘制的频率范围内，有两个主要的谐振频率。第一个谐振频率为 59.4kHz，对应压电元件的径向模式；第二个为 570kHz，对应厚度模式。模式 59.4kHz 主要用于水清洗；570kHz 的高频模式具有低得多的阻抗，有利于加热，因此更适合除冰。

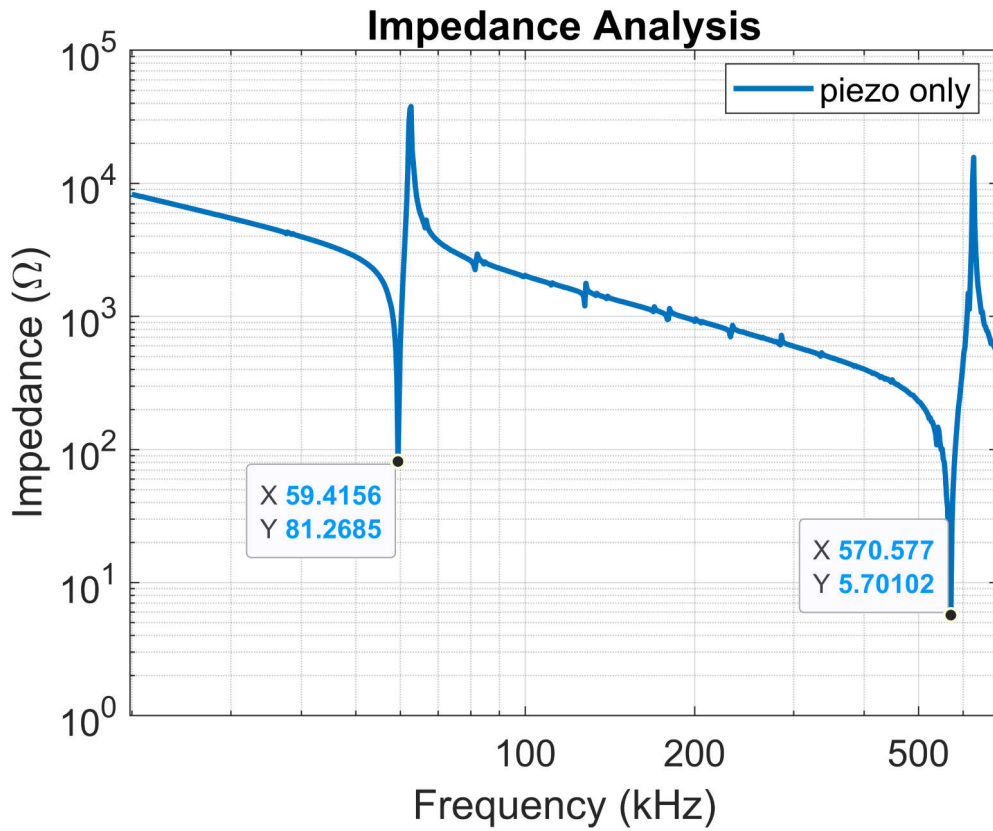


图 3-1. 纯压电式的阻抗响应

压电元件的额定电压应由压电元件供应商定义。我们的测试表明，当 $V_p > 20V$ 时，压电元件可能会损坏。当粘到透镜上时，压电元件可以处理更高的电压 (~100V)。图 3-2 显示了受损压电元件在径向模式下与正常压电元件在径向模式下的阻抗响应对比。受损的压电元件表现出更高的阻抗，并具有额外的噪声谐振峰值。

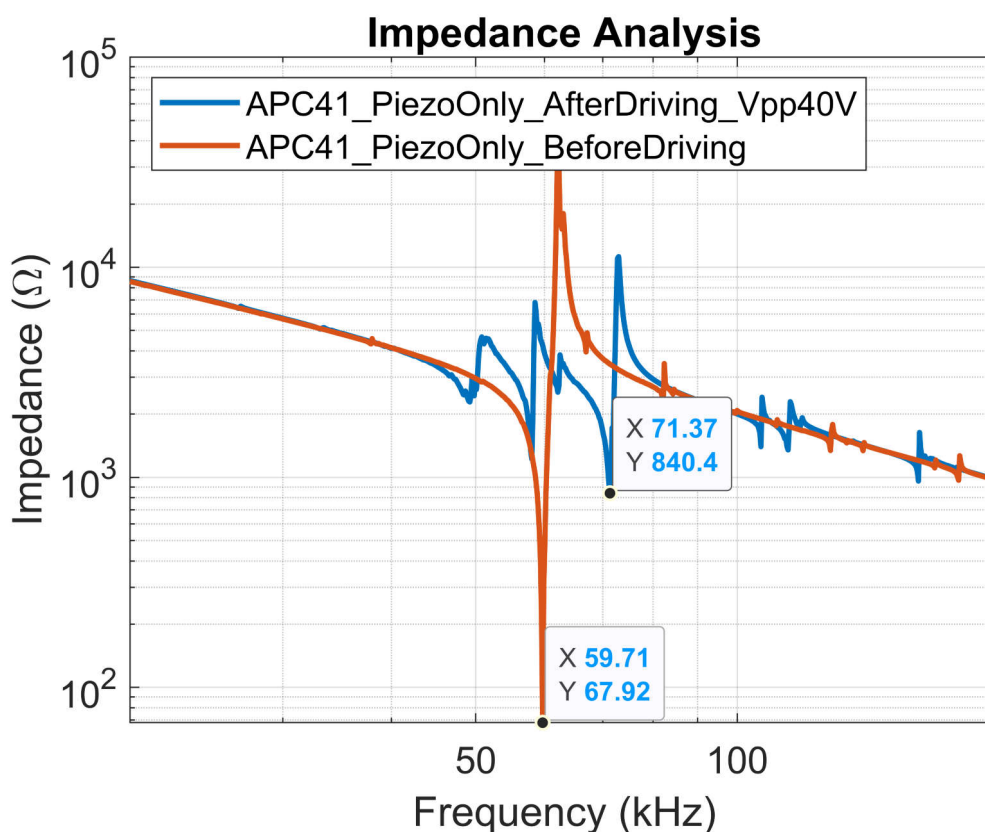


图 3-2. 过驱后压电元件损坏

3.2 镜头盖

镜头盖的主要元件包括透镜、传感器和薄膜。该子系统对于 LCS 的整体功能至关重要。测量镜头盖的阻抗响应是压电元件和最终 LCS 之间的一个重要中间步骤。此测量对于了解在压电元件粘附到透镜/薄膜后发生的谐振频率和阻抗变化至关重要。

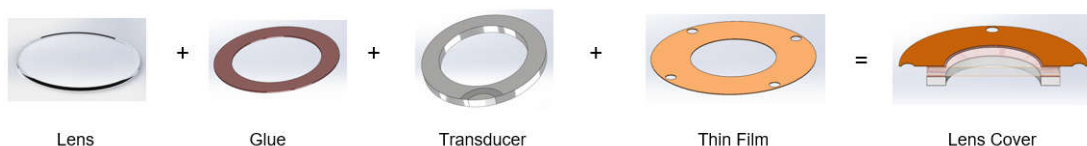


图 3-3. 镜头盖 = 镜头 + 胶水 + 传感器 + 薄膜

图 3-4 显示了镜头盖的阻抗响应。可在 20kHz 至 100kHz 范围内获得两个谐振频率。与 29.9kHz 下的模式相比，65.8kHz 的模式具有低得多的 226.7 Ω 阻抗，在给定电压下会消耗更高的电流，因此可能具有更高的加速度来排水。请注意，65.8kHz 的频率与单独压电的谐振频率相差几 kHz。考虑到一旦压电元件粘附到透镜后边界条件会发生显著变化，此偏差是合理的。

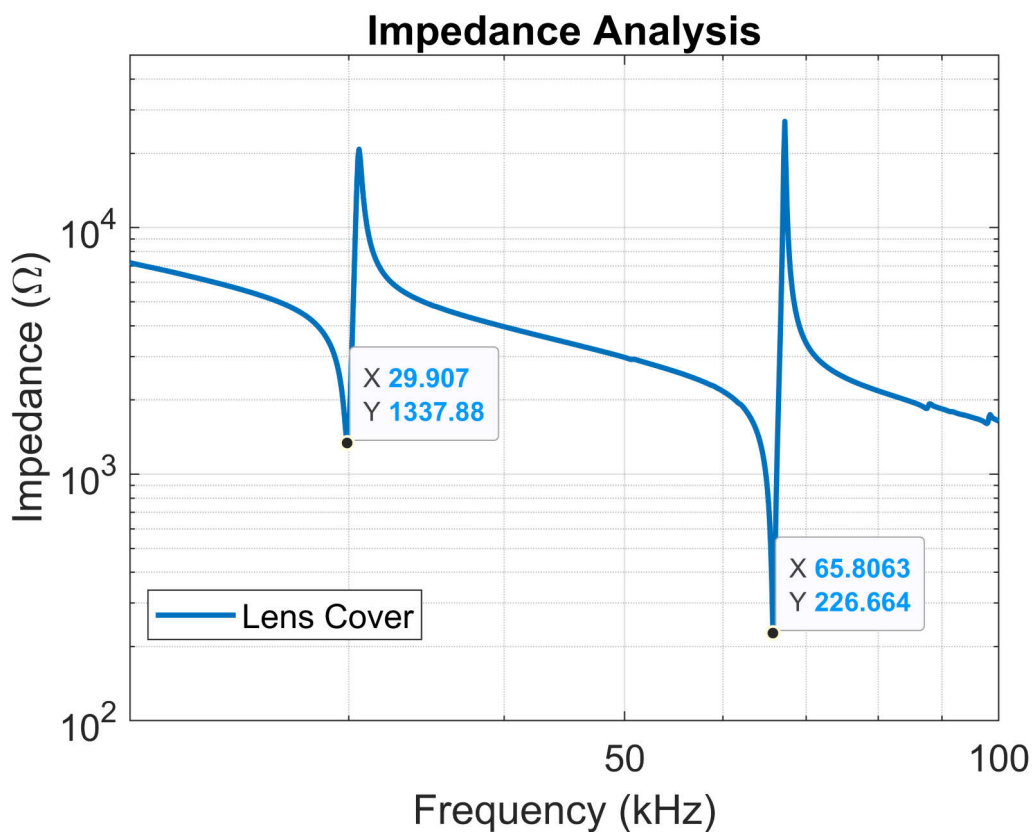


图 3-4. 镜头盖的阻抗响应

3.3 镜头盖系统 (LCS)

一旦镜头盖正确放置在外壳内，就会构成最终的镜头控制系统 (LCS)。外壳可提供额外的阻尼，使得镜头盖阻抗增加。应尽可能地调节来自外壳的感应阻尼。



图 3-5. 平面镜头 LCS (LCS) : 镜头盖 + 外壳盖 + 密封件 + 底座

图 3-6 显示了 LCS 的阻抗响应。与镜头盖相比，65.8kHz 的谐振频率变为 66.2kHz，相对较小。阻抗从 226.7 Ω 显著增加到 337.6 Ω 。

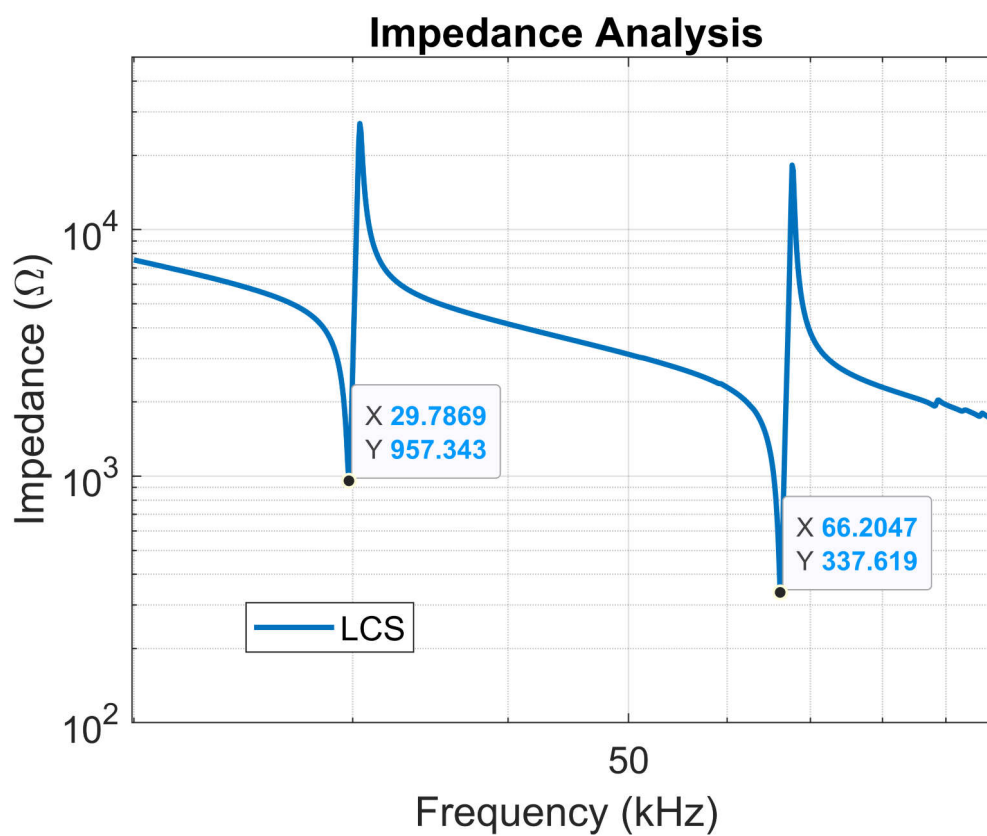


图 3-6. LCS 的阻抗响应

4 LCS 的等效电路模型

了解压电式器件等效电路对于分析和设计系统至关重要，因为这样可以将复杂的机电交互简化为易于管理的电气模型，从而实现性能预测和优化。有多个模型可以模拟压电压的行为，这里我们提供了一个示例。在示例中，LCS 由一个大容量电阻器和一个大容量电容器以及多个 LRC 网络组成，这些网络都串联在一起，如图 4-1 所示。每个 RLC 部分代表机械特性，如质量 (L)、顺应性 (C) 和机械阻尼 (R)，而串行大容量电容器和电阻器表示器件电极的电容和电阻。

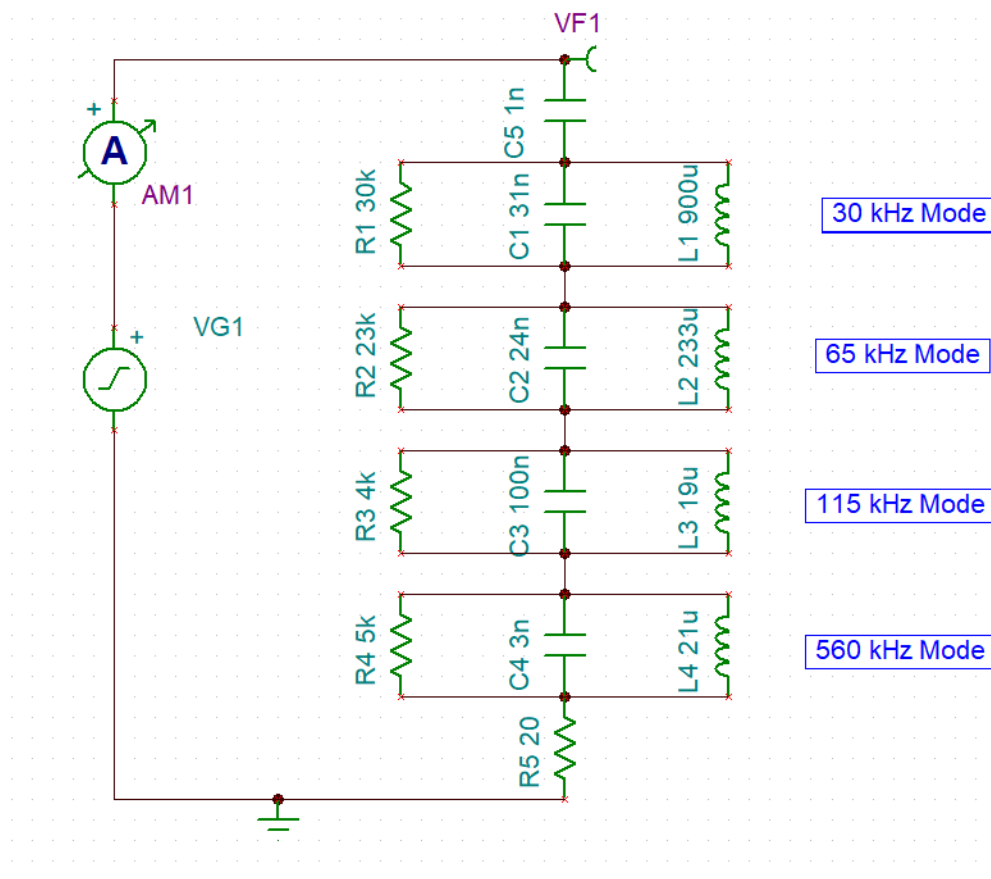


图 4-1. LCS 的等效电路模型

表 4-1. LCS 电气模型参数

参数	单位	值	说明
R1	k Ω	30	30kHz 模式下的 R 分量
R2	k Ω	23	65kHz 模式下的 R 分量
R3	k Ω	4	115kHz 模式下的 R 分量
R4	k Ω	5	560kHz 模式下的 R 分量
R5	k Ω	20e-3	大容量电阻
C1	nF	31	30kHz 模式下的 C 分量
C2	nF	24	65kHz 模式下的 C 分量
C3	nF	100	115kHz 模式下的 C 分量
C4	nF	3	560kHz 模式下的 C 分量
C5	nF	51	大容量电容
L1	μ H	900	30kHz 模式下的 L 分量
L2	μ H	233	65kHz 模式下的 L 分量

表 4-1. LCS 电气模型参数 (续)

参数	单位	值	说明
L3	uH	319	115kHz 模式下的 L 分量
L4	uH	21	560kHz 模式下的 L 分量

图 4-2 展示了将实验室数据与来自模型的仿真数据进行比较的阻抗响应。考虑到表中使用的无源器件值，实验结果与仿真模型非常一致。

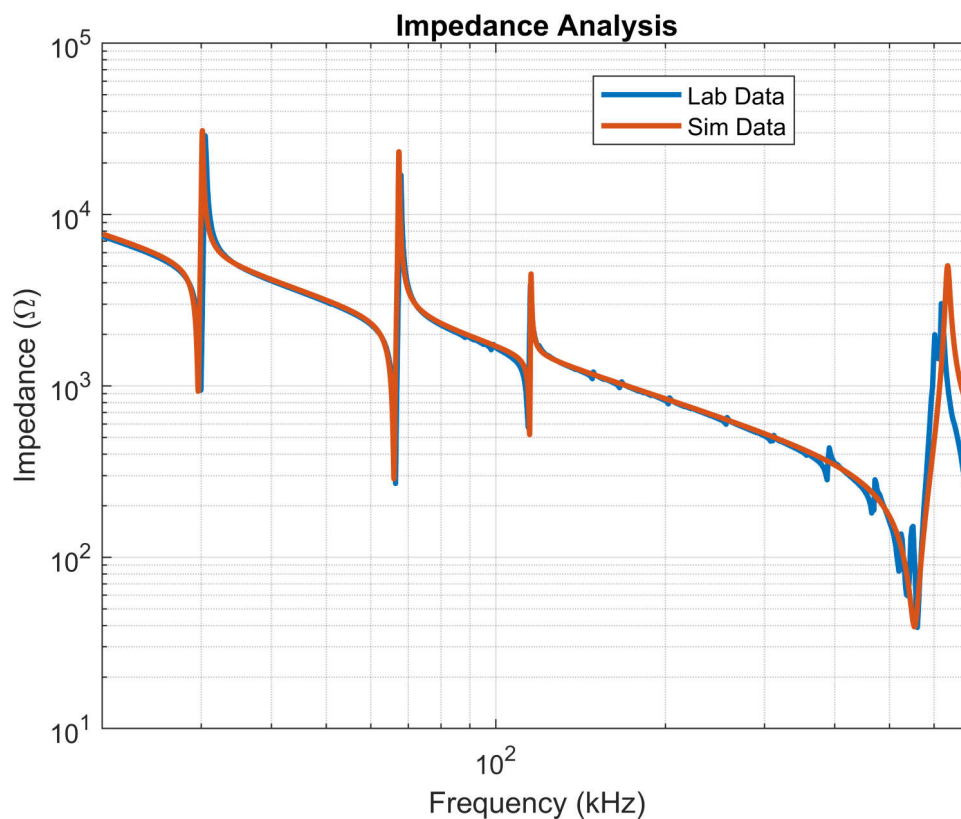


图 4-2. LCS 的阻抗响应：实验室与仿真数据比较

5 LCS 的 LC 滤波器

LCS-FL-RNG15 需要高达 140Vpp 的电压才能高效排水。但是，DRV2911 的最大电压输出限制为 35V，因此需要 4 倍的电压增益来满足电压要求。为了实现这一目标，设计并实施了一个简单的 LC 滤波器。无源 LC 滤波器可能会在谐振频率附近表现出电压增益，从而允许电感器或电容器两端的电压超过初始输入电压。这种现象是存储在电感器和电容器中的能量来回振荡造成的，使得元件两端的电压远大于输入电压。请注意，尽管电压增加，但无法实现功率增益。

谐振峰值处的电压增益量主要由电路的品质因数 (Q) 决定。Q 越高，峰值越陡峭，电压增益越大。请记住，功率输出仍然受电源输入的限制。电压增加时，电流减小。

在 LC 电路的谐振频率下，增益达到最大，可使用以下公式计算：

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (1)$$

对于串联 RLC 电路，

$$Q = \frac{1}{2\pi f_0 CR} \quad (2)$$

理论上，品质因数可以无限高。实际上，寄生电阻和电容会限制可实现的最大 Q，从而限制最大电压增益。为了降低增益，LC 滤波器的谐振频率可以与负载的谐振频率保持一定的距离。两个谐振中越多，施加到负载的电压增益就越小。

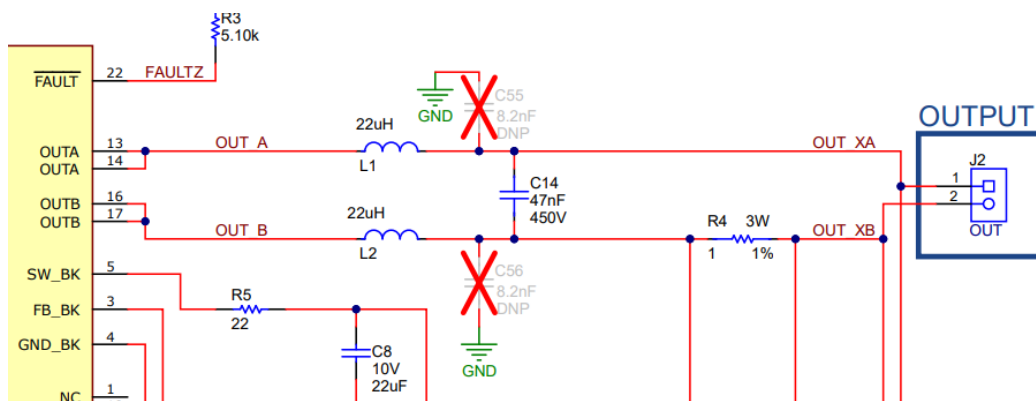


图 5-1. ULC1001-DRV2911EVM 中 LCS-FL-RNG15 的默认 LC 滤波器

在 ULC1001-DRV2911EVM 中，LC 设置为 L = 22uH 和 C = 47nF，计算得出的截止谐振频率为 110kHz。LCS-FL-RNG15 的谐振频率通常为 66kHz。频率距离可产生 4 的增益。

图 5-2 显示了使用默认 LC 滤波器时 LCS 的测量阻抗响应。在 0.94Ω 低电阻下，测得的 LC 滤波器谐振频率为 112.7kHz。在测量 LCS 和整个 LC 滤波器的阻抗时，两种模式在 30kHz 和 66kHz 下的阻抗也会显著降低。

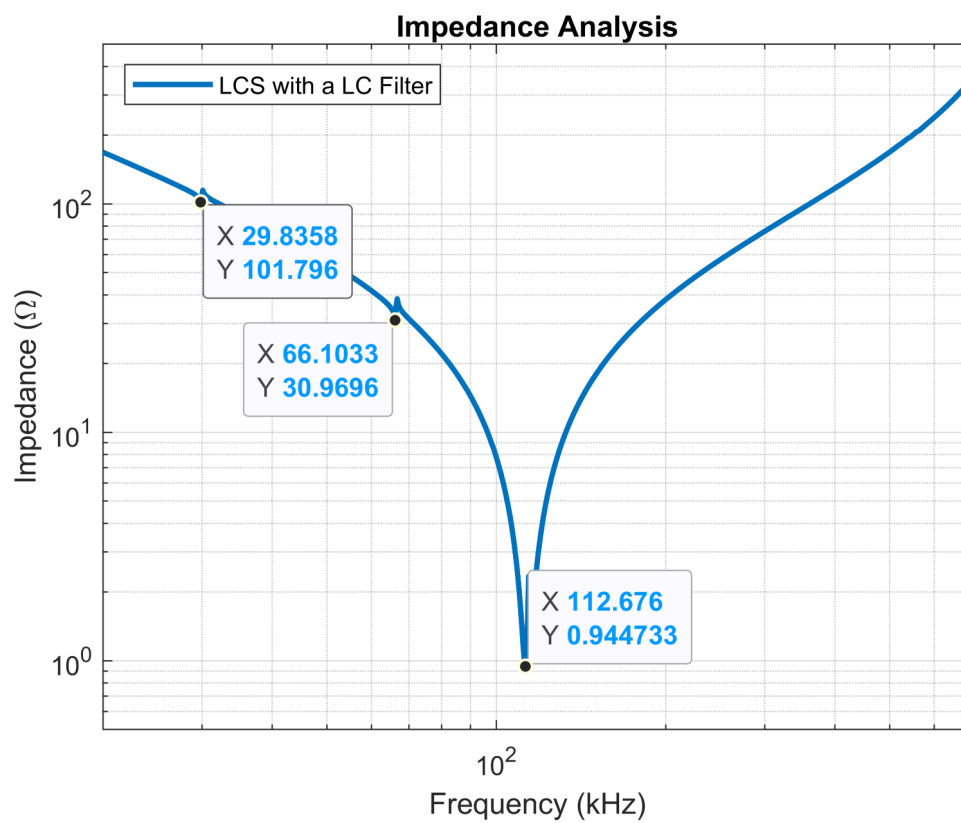


图 5-2. 带有 LC 滤波器的 LCS 的阻抗响应

6 水清洗

图 6-1 显示了 LCS 的 GUI 设置 (GUI 版本 : ULC1001 2.4.10)。有关 ULC1001 GUI 的更多信息, 请参阅 TI.com 上的教程视频。

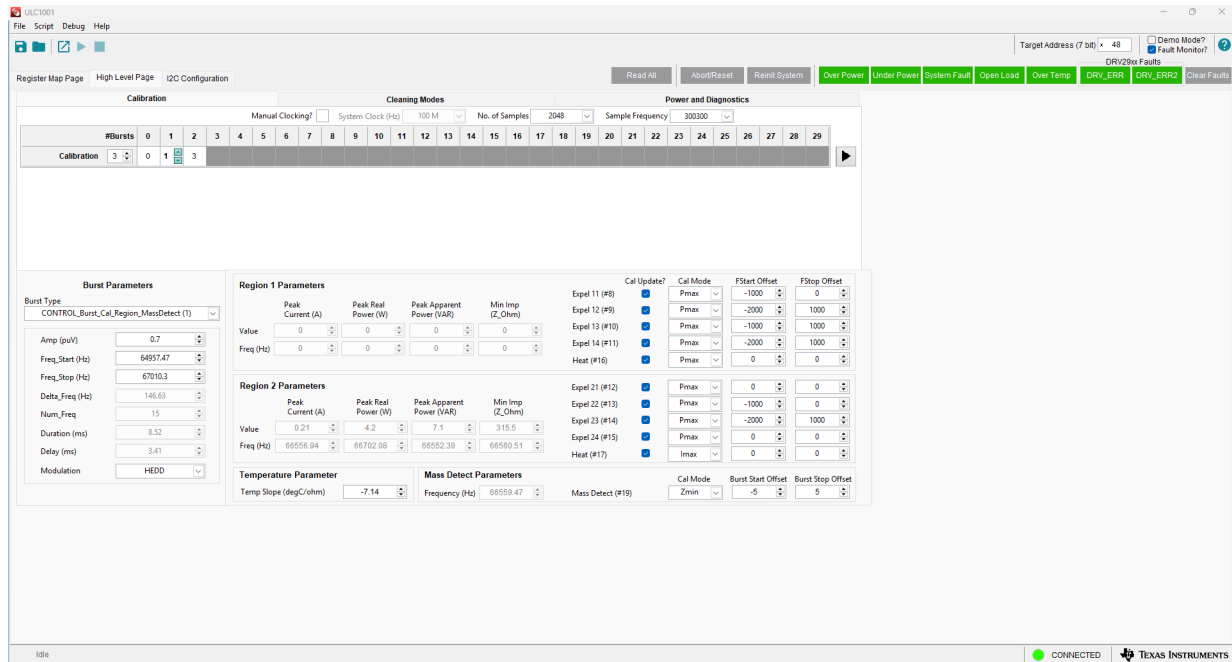


图 6-1. GUI 设置 : 校准结果

图 6-2 显示了供水模式的 GUI 设置。

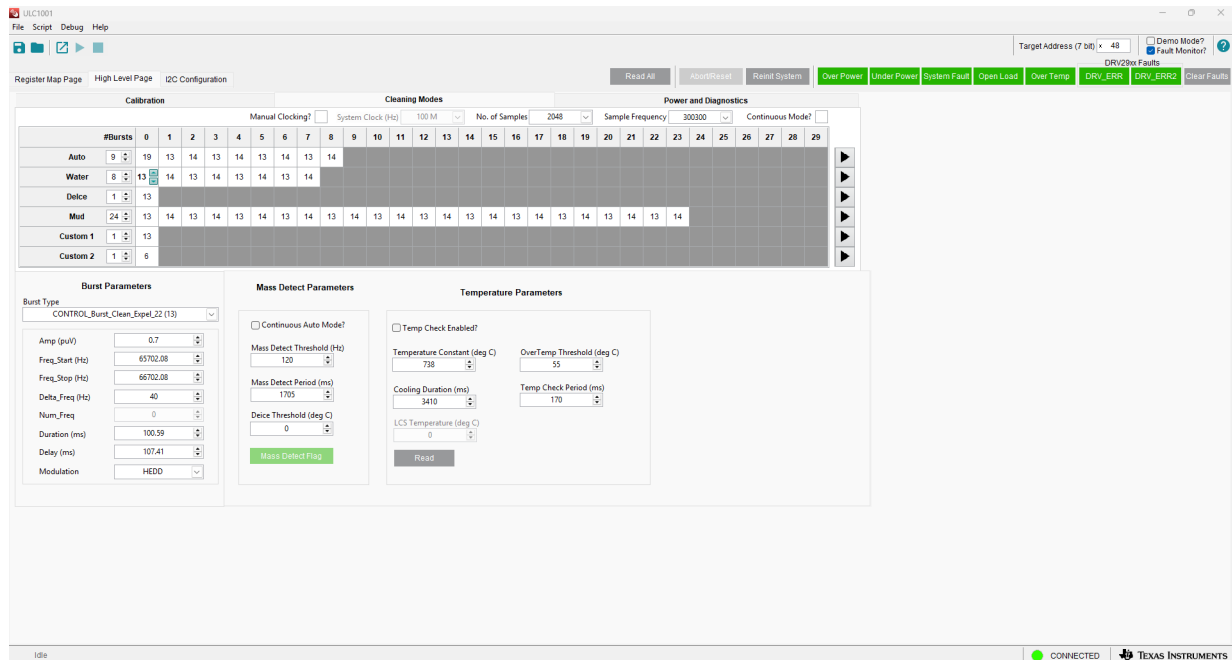


图 6-2. GUI 设置 : 用于清洗的供水模式

图 6-3 展示了在供水模式中观察到的水清洗性能。显然，大部分水滴已被排出；然而，镜头边缘仍残留少量细雾（在典型应用中会迅速消散）。这种现象很常见，因为加速度在透镜中心达到最大，而在外边缘降至零。

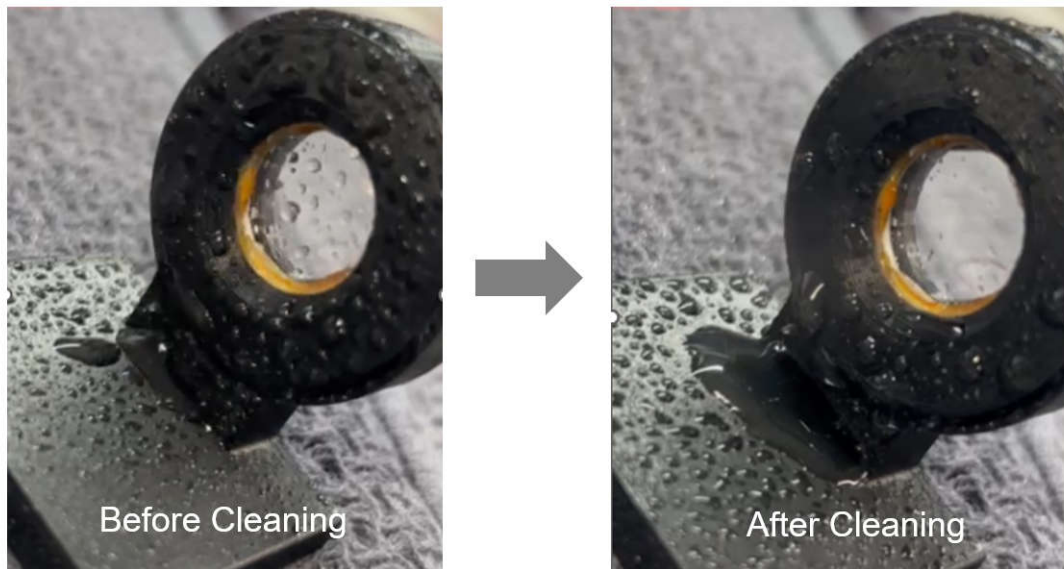


图 6-3. 水清洗结果：清洁前和清洁后

7 功耗

图 7-1 显示了使用 ULC1001-DRV2911EVM 测量功耗的设置。电压探头和电流探头用于测量 LCS 上的电压和电流。来自数字电源的电流也已记录下来。有关如何使用 ULC1001-DRV2911EVM 的详细信息，请参阅 [ULC1001-DRV2911EVM 用户指南](#)。

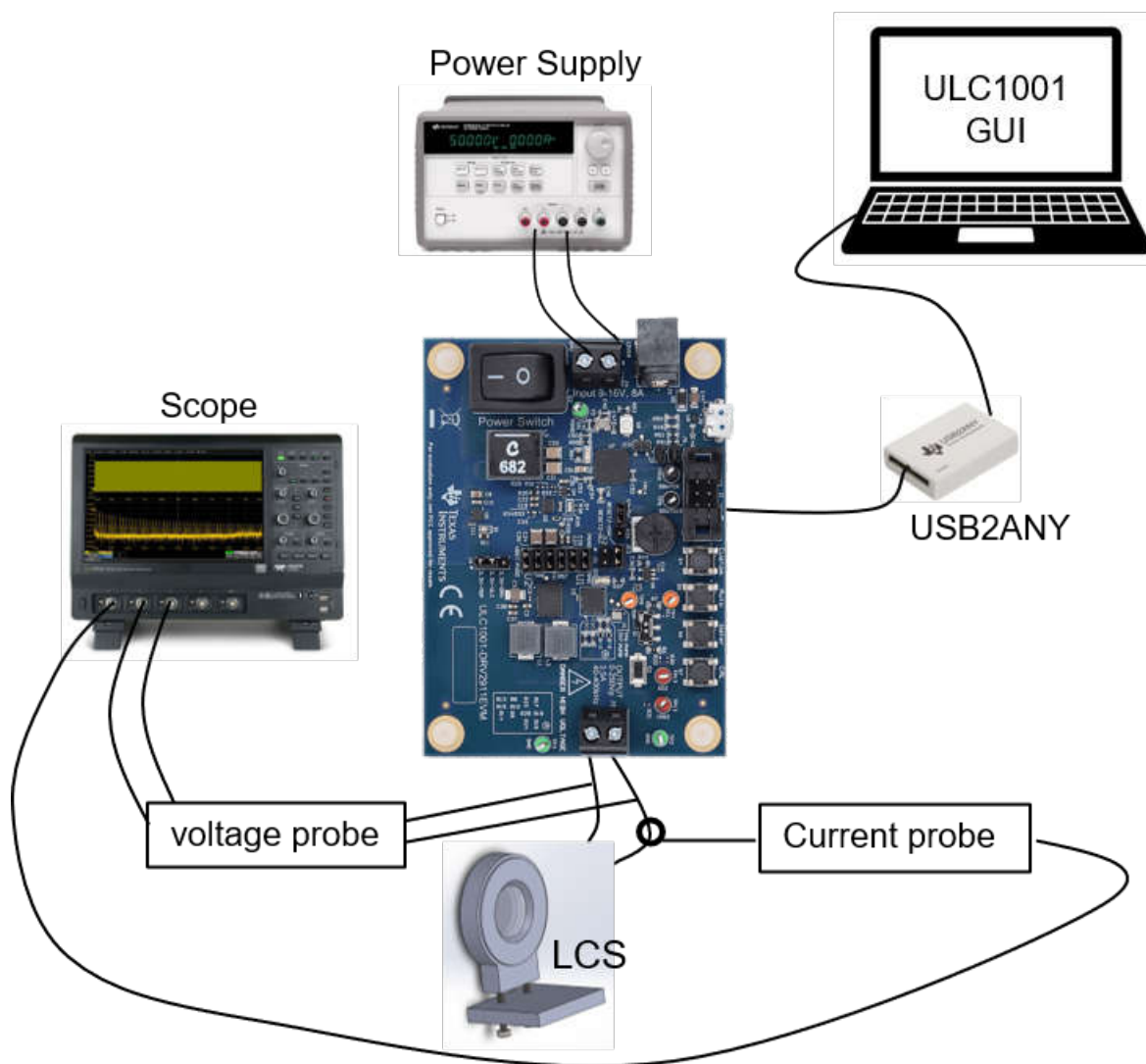


图 7-1. 使用 ULC1001-DRV2911EVM 进行测量设置

图 7-2 展示了在 f_1 (30kHz) 和 f_2 (66kHz) 附近 LCS 上的电压和电流。峰值电压为 140V，峰值电流为 0.4A。请注意，LCS 上的电压和电流具有相位差。LCS 的峰值功率可以通过来自电源的电流轻松估算。

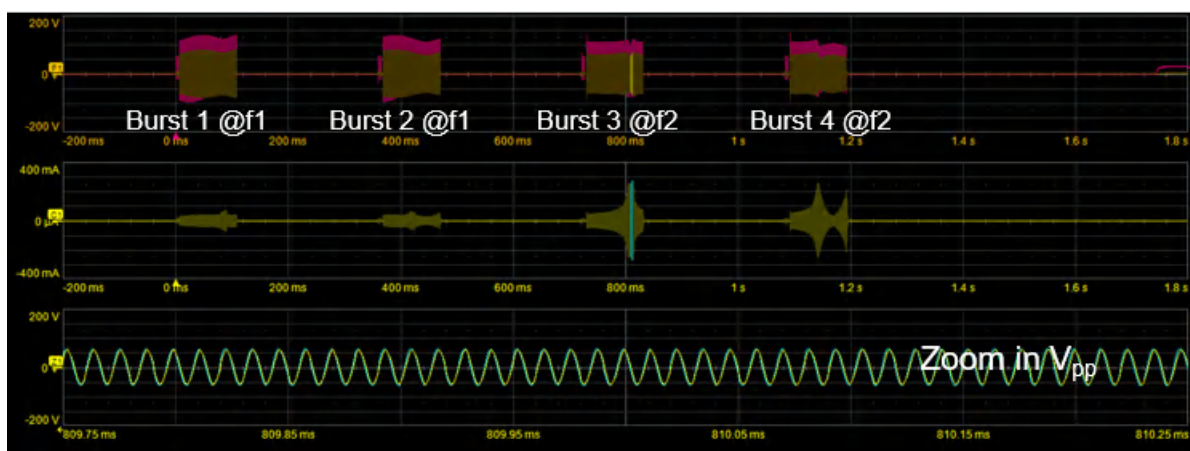


图 7-2. 供水模式期间 LCS 的功耗

表 7-1 显示了 LCS 的电气特性。

表 7-1. LCS 的电气特性

参数	值	单位	说明
Vp	70	V	LCS 上的峰值电压
Ip	0.5	A	LCS 上的峰值电流
Vd	12	V	电源直流电压
Id	0.35	A	电源的直流峰值电流
P	4.2	W	峰值功率

8 可靠性

高可靠性对于振动器件至关重要。我们已运行 100 万次循环测试，只需在 ULC1001GUI 中启用连续模式即可达成。每个循环由供水模式下的突发 13 和突发 14 各执行一次构成。每次突发包含 100ms 的持续时间和 200ms 的延迟（可以调整）。运行一个循环大约需要 600ms，运行 100 万次循环大约需要 6.95 天。

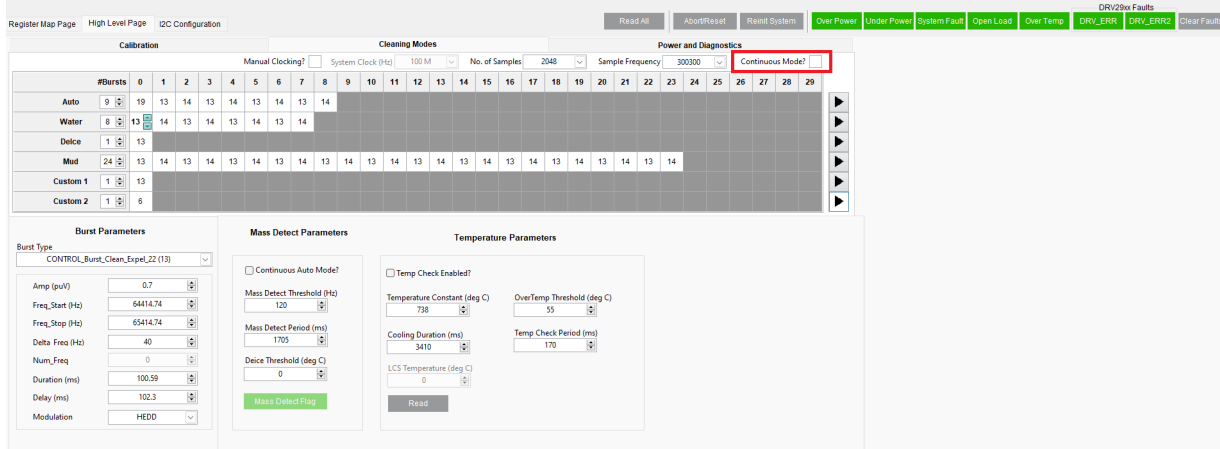


图 8-1. GUI 设置：连续模式

图 8-2 展示了长期测试之前和之后 LCS 的阻抗响应。长期测试完成后，LCS 的阻抗变化极小，从而保持了有效的水清洗能力。这一结果凸显了该系统的高可靠性。

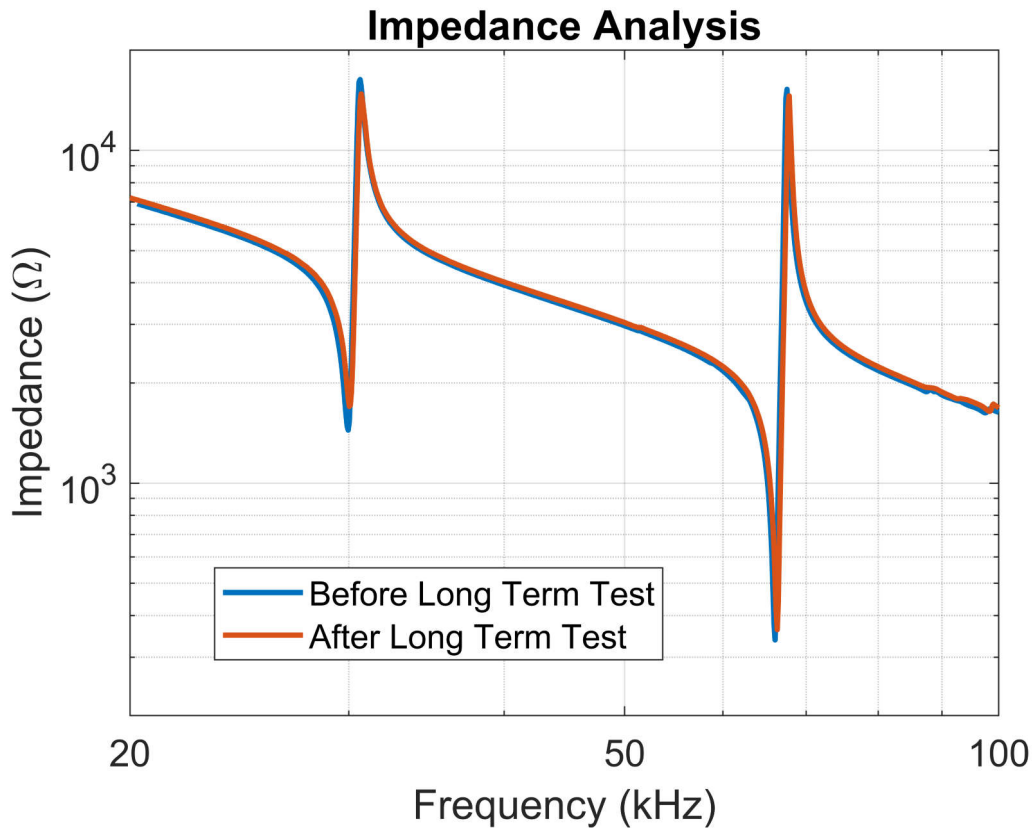


图 8-2. 长期测试之前和之后 LCS 的阻抗

9 其他测试

9.1 除冰

与水清洗相比，除冰需要更大的功率。在 LCS 的设计中，560kHz 工作模式的阻抗显著低于 65kHz 模式，因而更有利于产热并促进除冰。为了使用 ULC1001-DRV2911EVM 有效实现除冰模式，有必要消除 LC 低通滤波器，因为在 560kHz 时电压衰减相当高。

鉴于所需的除冰速度，可能需要加入单独的加热元件，以实现最佳的除冰效率。这一建议源于与其他专门指定的加热替代方案相比，压电材料的加热效率相对有限。

9.2 泥点清洗

该原型目前的有效清除泥土和灰尘的能力有限，尤其是在面临重污染物或粘性污染物时。为了在这些条件下获得良好的效果，请将喷水器与 LCS 一起使用，以获得更好的泥点和灰尘清除性能。或者，与 TI 硬件合作伙伴协作，可以获得专为解决泥点和灰尘问题而定制的更强大 LCS 设计。

9.3 光干扰

我们的硬件合作伙伴已经证明，平面镜头盖对摄像头成像质量的影响可以忽略不计。但请注意，德州仪器 (TI) 尚未执行任何单独的测试。

9.4 防水能力

德州仪器 (TI) 尚未对原型的防水性能进行任何测试。

10 资源

1. 德州仪器 (TI), [什么是超声波镜头清洁技术?](#)。
2. 德州仪器 (TI), [超声波镜头清洗：一项您未曾意识到必备的固态技术。](#)
3. 德州仪器 (TI), [ULC1001-Q1 具有 I/V 检测放大器的可配置超声波 PWM 驱动器。](#)
4. 德州仪器 (TI), [ULC1001-DRV2911EVM 用户指南。](#)

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 © 2025，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月