

## Application Note

## レンズカバーシステムの特性評価ガイド:LCS-FL-RNG15



## 概要

本書では、LCS-FL-RNG15 と呼ばれるリング ピエゾベースのフラットレンズ カバー システム (LCS) のプロトタイプの特  
性評価ガイドラインと結果を示します。LCS は、ULC1001 電気システムと組み合わせて、超音波レンズ クリーニング  
(ULC) システムを構成します。

## 目次

1 略称.....	1
2 はじめに.....	1
3 インピーダンス応答.....	2
3.1 ピエゾのみ.....	2
3.2 レンズ カバー.....	4
3.3 レンズ カバー システム (LCS).....	5
4 LCS の等価回路モデル.....	7
5 LCS 用 LC フィルタ.....	9
6 水洗浄.....	11
7 消費電力.....	13
8 信頼性.....	15
9 その他のテスト.....	16
9.1 除氷.....	16
9.2 泥のクリーニング.....	16
9.3 光学干渉.....	16
9.4 防水機能.....	16
10 リソース.....	17

## 商標

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

## 1 略称

- LCS — レンズ カバー システム
- ULC – 超音波レンズ クリーニング
- PZT — チタン酸ジルコン酸鉛

## 2 はじめに

超音波レンズ クリーニング (ULC) システムは、車載用、セキュリティ、産業用カメラ システムのカバー レンズから、水、氷、  
その他の汚染物質を自動的に検出してクリーニングする電気機械設計です。この技術の機械的な部分は、レンズ カバー  
システム (LCS) と呼ばれています。図 2-1 は、ハウジング キャップ、フレキシブル シール、薄膜、レンズ、グルー、リング  
トランスデューサ、およびハウジング ベースで構成されるリング ピエゾベース LCS の部品を示しています。レンズ カバー  
は、レンズに接着したトランスデューサと薄膜で構成されています。レンズ カバーはハウジング (キャップ + シール + ベー  
ス) 内に取り付けられ、LCS を作成します。

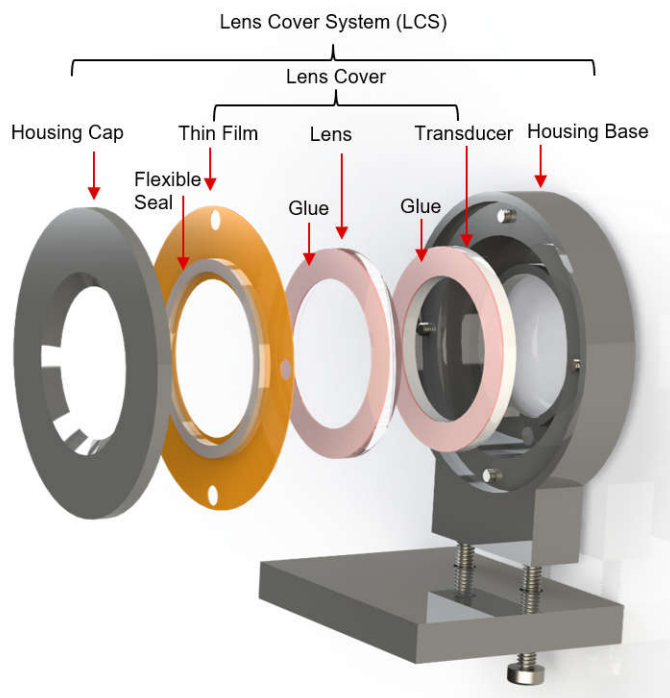


図 2-1. フラットレンズカバー システム (LCS) の図

TI は、リング ピエゾベース LCS: LCS-FL-RNG15 を設計し、プロトタイプ製作を実施しました。本文書では、LCS のパフォーマンスを示すために、プロトタイプのテストと特性評価の結果が示されています。

TI は、LCS-FL-RNG15 プロトタイプに対して、限定的な数の特性評価とテストを実施してきました。完全なテストおよび検証要件は、最終顧客によって確立される必要があります。

### 3 インピーダンス応答

ピエゾベースの負荷を効果的に利用するには、ピエゾ部品のインピーダンス応答と関連システムを理解することが不可欠です。重要なアセンブリフェーズ全体を通して、個々の部品からシステム全体までの範囲のインピーダンス応答を測定することをお勧めします。

本書に記載されているインピーダンス応答は、インピーダンスアナライザー (モデル: Agilent/HP 4294A) によって測定されています。同様のツールを使用できます。

#### 3.1 ピエゾのみ

図 3-1 は、接着前の各ピエゾリングのインピーダンス応答を示しています。プロットされた周波数範囲内には、主に 2 つの共振周波数があります。1 つ目は 59.4kHz であるピエゾの放射モード、2 つ目は 570kHz である厚さモードです。モード 59.4kHz は主に水洗浄に使用され、インピーダンスがはるかに低い 570kHz の高周波モードは加熱に適しているため、除氷に適しています。

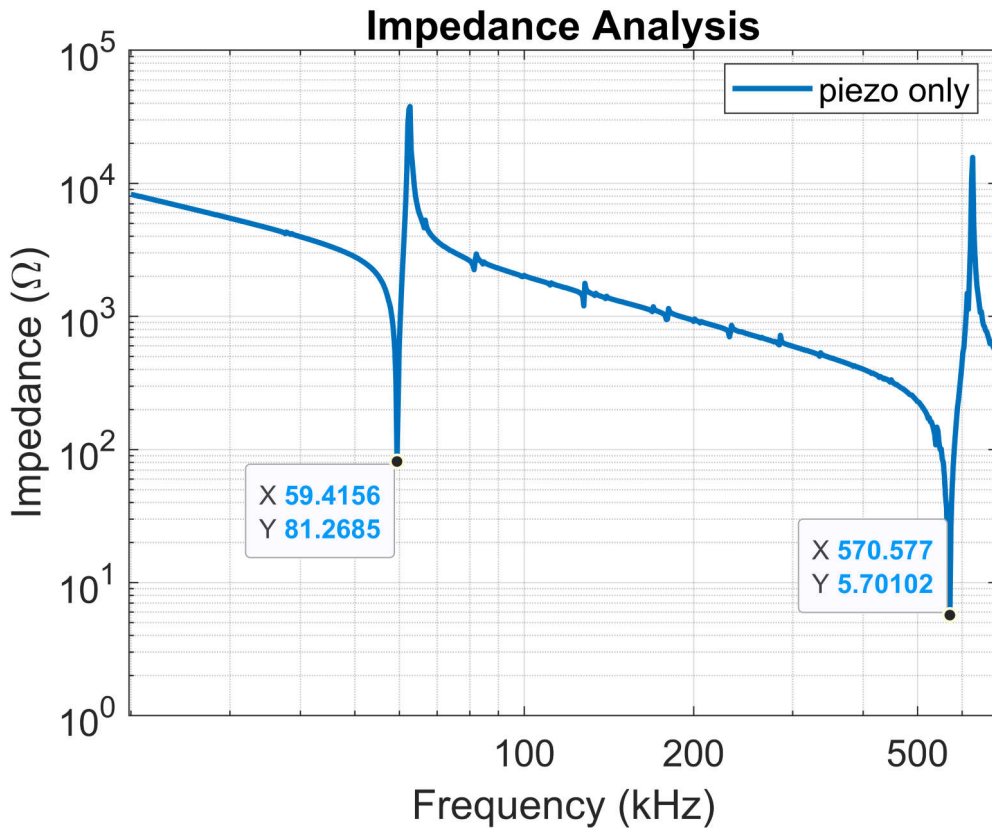


図 3-1. ピエゾのみのインピーダンス応答

ピエゾの定格電圧は、ピエゾ ベンダーによって定義されます。当社のテストでは、Vp が 20V を上回った場合にピエゾが損傷する可能性があることを示しています。レンズに接着すると、ピエゾはより高い電圧 (約 100V) に対応できます。図 3-2 は、損傷したピエゾと放射モードでの正常なピエゾのインピーダンス応答を示しています。損傷したピエゾは、ノイズの多い共振ピークを追加するための、インピーダンスがかなり高くなります。

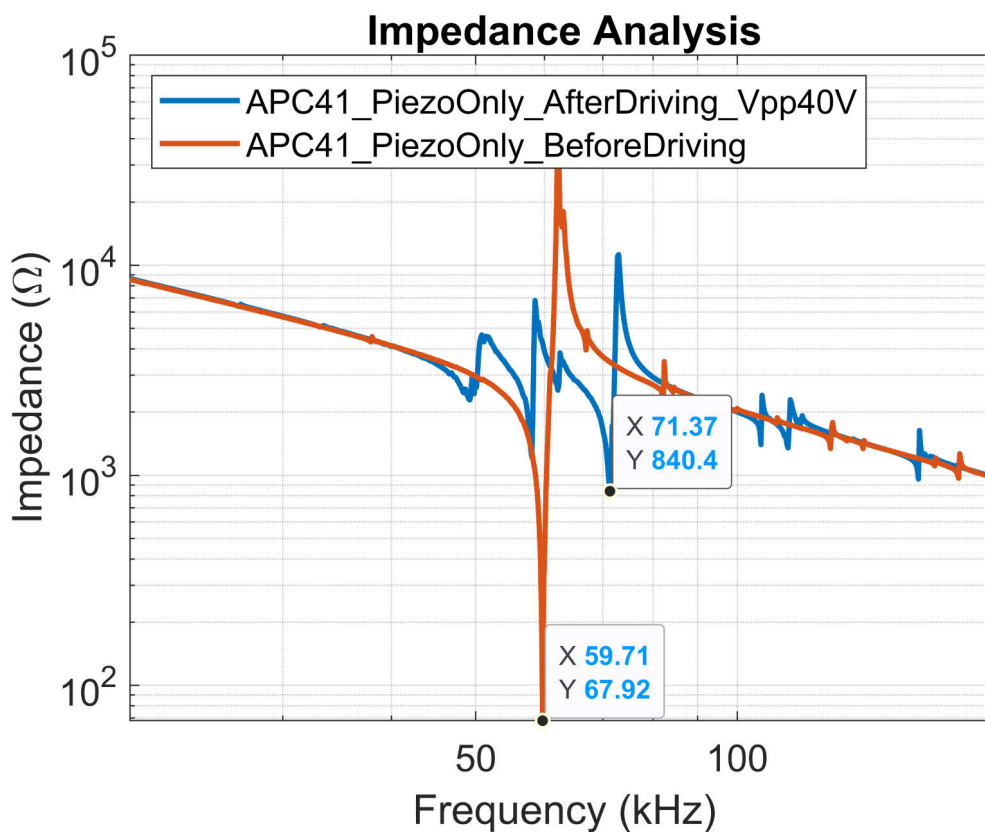


図 3-2. オーバードライブ後にピエゾが破損

### 3.2 レンズ カバー

レンズ カバーの主な部品には、レンズ、トランスデューサ、薄膜があります。このサブシステムは、LCS 全体の機能にとって不可欠です。レンズ カバーのインピーダンス応答を測定することは、ピエゾと最終的な LCS の間の重要な中間ステップに相当します。この測定は、ピエゾをレンズや薄膜に接着した後に発生する共振周波数とインピーダンスの変動を理解するために不可欠です。

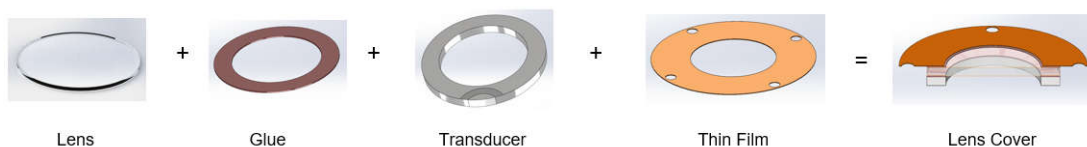


図 3-3. レンズ カバー = レンズ + グルー + トランスデューサ + 薄膜

図 3-4 はレンズ カバーのインピーダンス応答を示しています。20kHz ~ 100kHz の範囲内で 2 つの共振周波数が得られます。65.8kHz のモードでは、インピーダンスが 226.7Ω とはるかに低くなり、29.9kHz のモードに比べて特定の電圧に対してより大きな電流を引き込むことができるため、水を排出するために高い加速レベルが得られる可能性があります。65.8kHz の周波数は、ピエゾ単独の共振周波数から数 kHz 離れていることに注意してください。この偏差は、ピエゾがレンズに接着した後に発生する境界条件で大きな変化が生じることを考慮すると、妥当なものです。

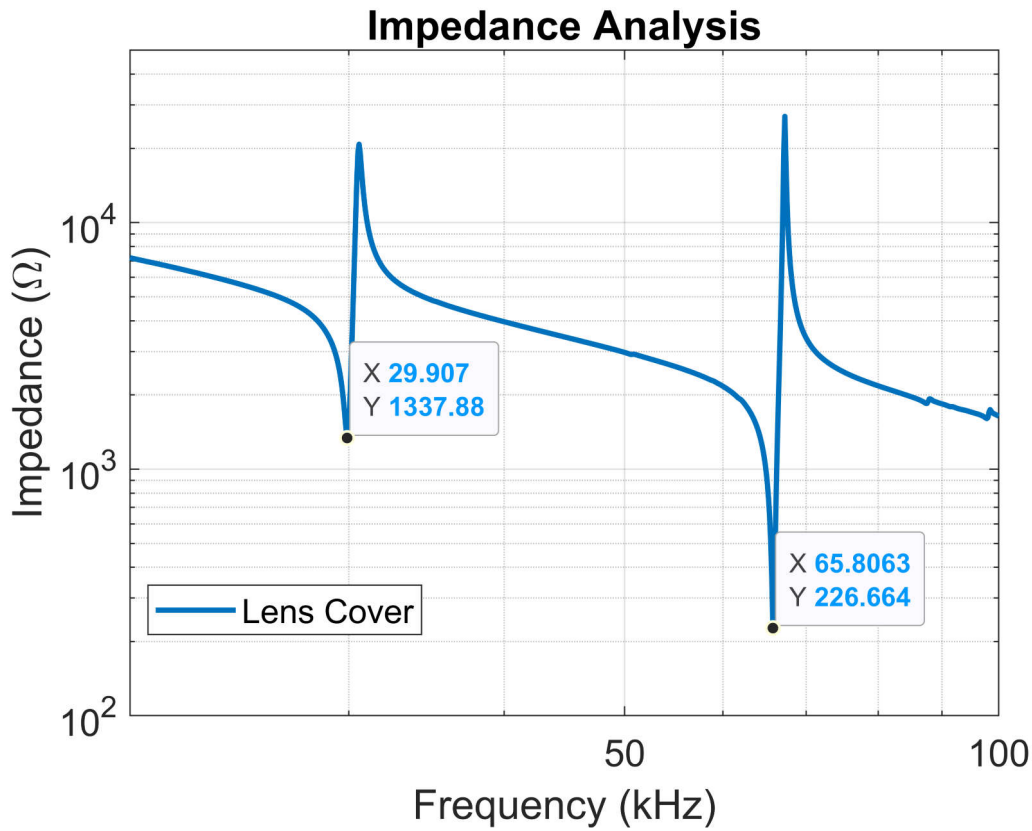


図 3-4. レンズ カバーのインピーダンス応答

### 3.3 レンズ カバー システム (LCS)

レンズ カバーをハウジング内に適切に配置すると、最終レンズ制御システム (LCS) を構成します。ハウジングは減衰の増加に寄与しており、レンズ カバーのインピーダンスが増加する可能性があります。ハウジングからの誘導減衰を可能な限り小さく調整してください。

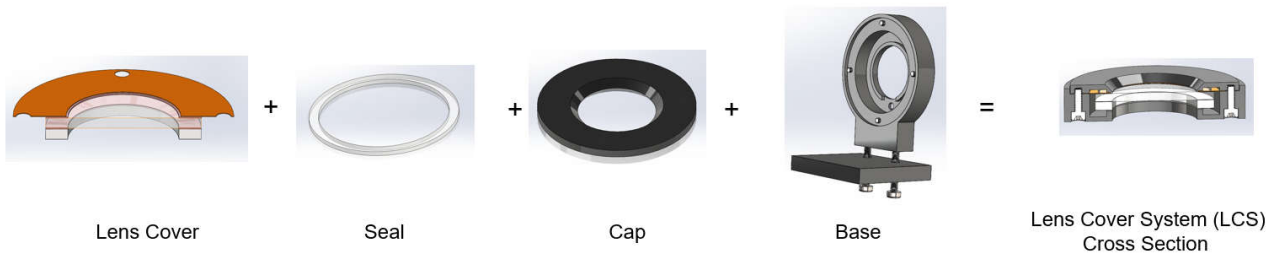


図 3-5. フラット レンズ LCS (LCS): レンズ カバー + キャップ + シール + ベース

図 3-6 は、LCS のインピーダンス応答を示しています。レンズ カバーと比較して、65.8kHz の共振周波数は 66.2kHz に変化しますが、これは比較的小きな値です。インピーダンスは 226.7Ω から 337.6Ω に大きく増加します。

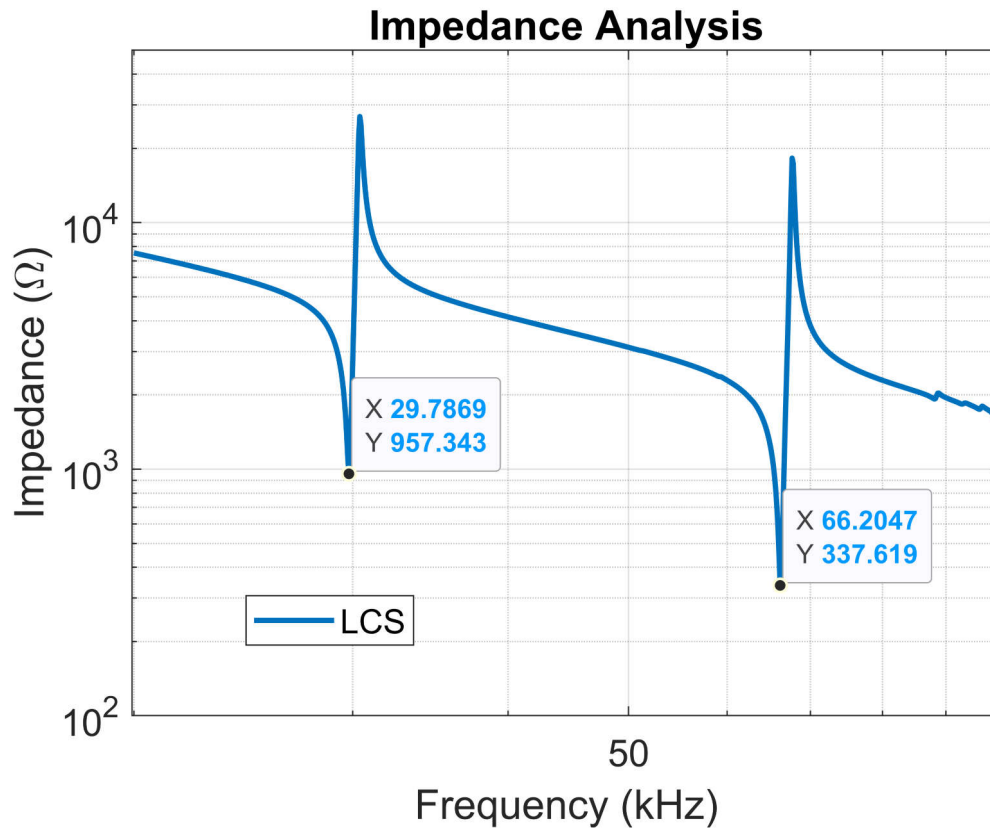


図 3-6. LCS のインピーダンス応答

## 4 LCS の等価回路モデル

圧電デバイス等価回路を理解することは、システムを分析および設計する上で重要です。その理由は、複雑な電気機械的相互作用を管理可能な電気的モデルで簡素化し、性能を予測および最適化できるためです。ピエゾの動作をシミュレートするための複数のモデルが存在しています。ここでは 1 つの例を紹介します。この例では、LCS はバルク抵抗とバルクキャパシタ、さらにいくつかの LRC ネットワークで構成され、図 4-1 に示すように、すべて直列に接続されています。各 RLC 部分は、質量 (L)、コンプライアンス (C)、機械的減衰 (R) などの機械的特性を表し、直列バルクキャパシタと抵抗はデバイスの電極の電気的容量と抵抗を表します。

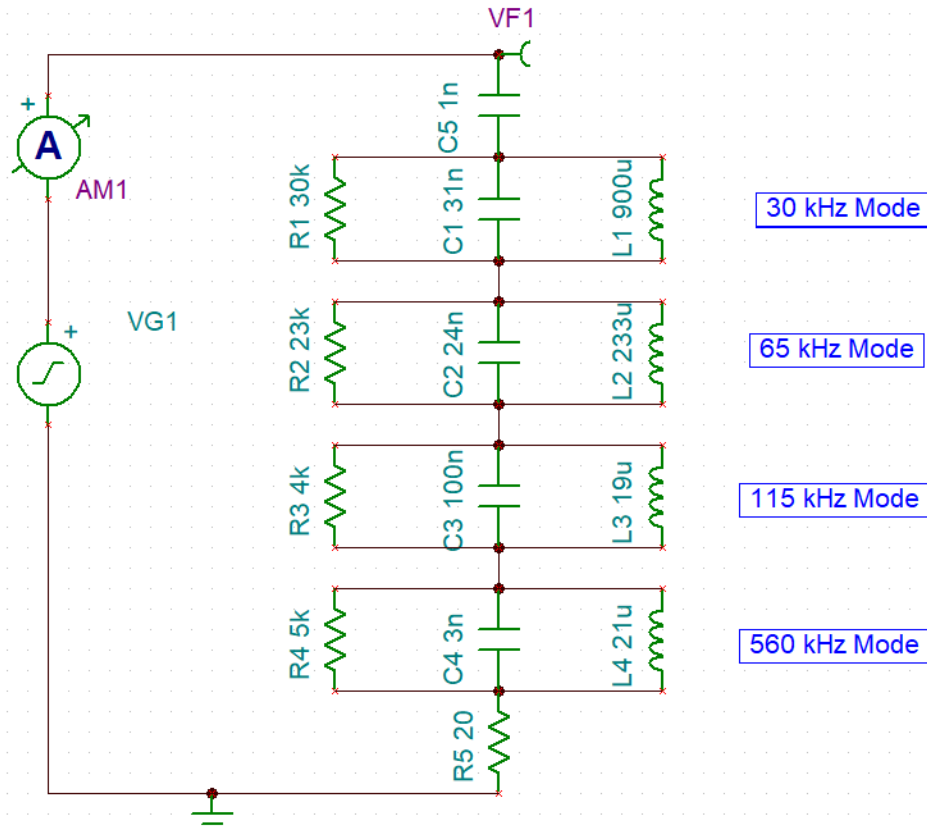


図 4-1. LCS の等価回路モデル

表 4-1. LCS 電気的モデルのパラメータ

パラメータ	単位	値	説明
R1	kΩ	30	30kHz モードの R 部品
R2	kΩ	23	65kHz モードの R 部品
R3	kΩ	4	115kHz モードの R 部品
R4	kΩ	5	560kHz モードの R 部品
R5	kΩ	20e-3	バルク抵抗
C1	nF	31	30kHz モードの C 部品
C2	nF	24	65kHz モードの C 部品
C3	nF	100	115kHz モードの C 部品
C4	nF	3	560kHz モードの C 部品
C5	nF	51	バルク静電容量
L1	μH	900	30kHz モードの L 部品
L2	μH	233	65kHz モードの L 部品

表 4-1. LCS 電氣的モデルのパラメータ (続き)

パラメータ	単位	値	説明
L3	$\mu\text{H}$	319	115kHz モードの L 部品
L4	$\mu\text{H}$	21	560kHz モードの L 部品

図 4-2 は、ラボ データをモデルのシミュレーション データと比較したインピーダンス応答を示しています。表で使用されている受動部品の値を考えると、ラボの結果はシミュレーション モデルとほぼ一致しています。

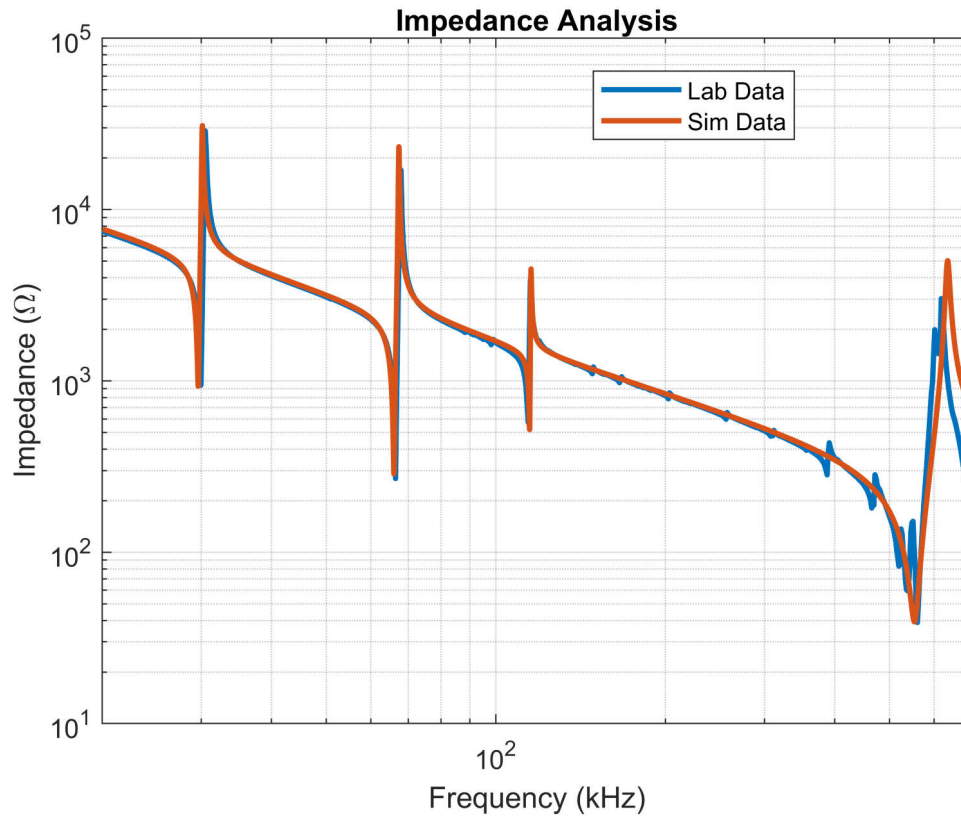


図 4-2. LCS のインピーダンス応答: ラボとシミュレーションの比較



## 5 LCS 用 LC フィルタ

LCS-FL-RNG15 は、効率的に水を排出するために、140Vpp までの高電圧を必要とします。ただし、DRV2911 の最大出力電圧は 35V に制限されているため、電圧要件を満たすには、電圧ゲインの 4 倍が必要です。この目標を達成するため、シンプルな LC フィルタを設計および実装しています。パッシブ LC フィルタは共振周波数に近い値で電圧ゲインを発生させ、インダクタまたはコンデンサの両端の電圧が初期入力電圧を超えられるようにすることができます。この現象は、インダクタに蓄積されたエネルギーによるもので、コンデンサが前後して発振し、部品全体の電圧が入力電圧よりも大幅に大きくなります。この電圧が上昇しても、パワー ゲインは達成できないことに注意してください。

共振ピーク時の電圧ゲインの大きさは、主に回路の選択度 (Q) によって決まります。Q が大きいほど、ピークはより急激になり、電圧ゲインが大きくなります。電力出力は、電源入力によって引き続き制限されることに注意してください。電圧の上昇は電流の減少を伴います。

ゲインは、LC 回路の共振周波数で最大化されます。この値は、次の式を使用して計算されます。

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

直列 RLC 回路の場合

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

理論的には、選択度は無限に高くなる可能性があります。実際には、寄生抵抗と容量により、実現可能な最大 Q と最大電圧ゲインが制限されます。ゲインを小さくするには、LC フィルタの共振周波数を負荷の共振周波数から一定の距離だけ離します。2 つの共振が遠いほど、負荷に印加する電圧ゲインは小さくなります。

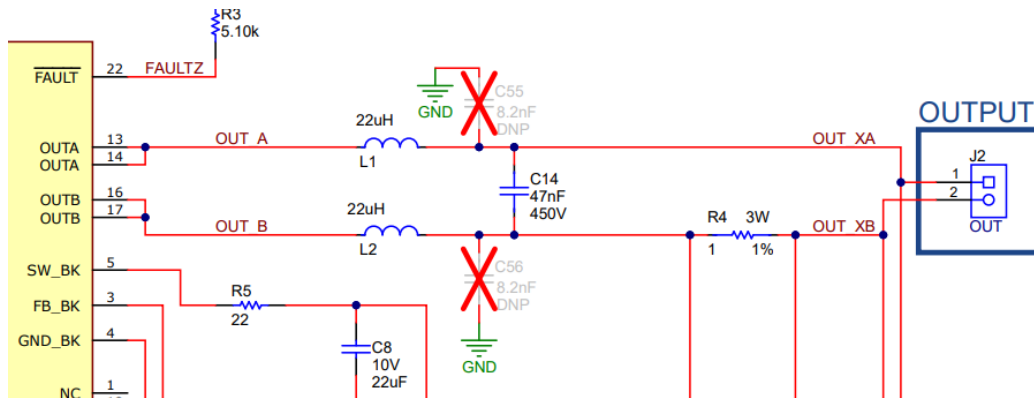


図 5-1. ULC1001-DRV2911EVM の LCS-FL-RNG15 に対するデフォルトの LC フィルタ

ULC1001-DRV2911EVM では、LC を  $L = 22\mu\text{H}$ 、 $C = 47\text{nF}$  に設定しており、計算されたカット オフ共振周波数は 110kHz です。LCS-FL-RNG15 の共振周波数は 66kHz です。周波数距離によりゲインは 4 になります。

図 5-2 にデフォルトの LC フィルタ付き LCS のインピーダンス応答の測定値を示します。LC フィルタの共振周波数の測定値は 112.7kHz で、抵抗は  $0.94\Omega$  と低いです。LCS と LC フィルタ全体でインピーダンスを測定すると、30kHz と 66kHz の 2 つのモードのインピーダンスも大幅に低下します。

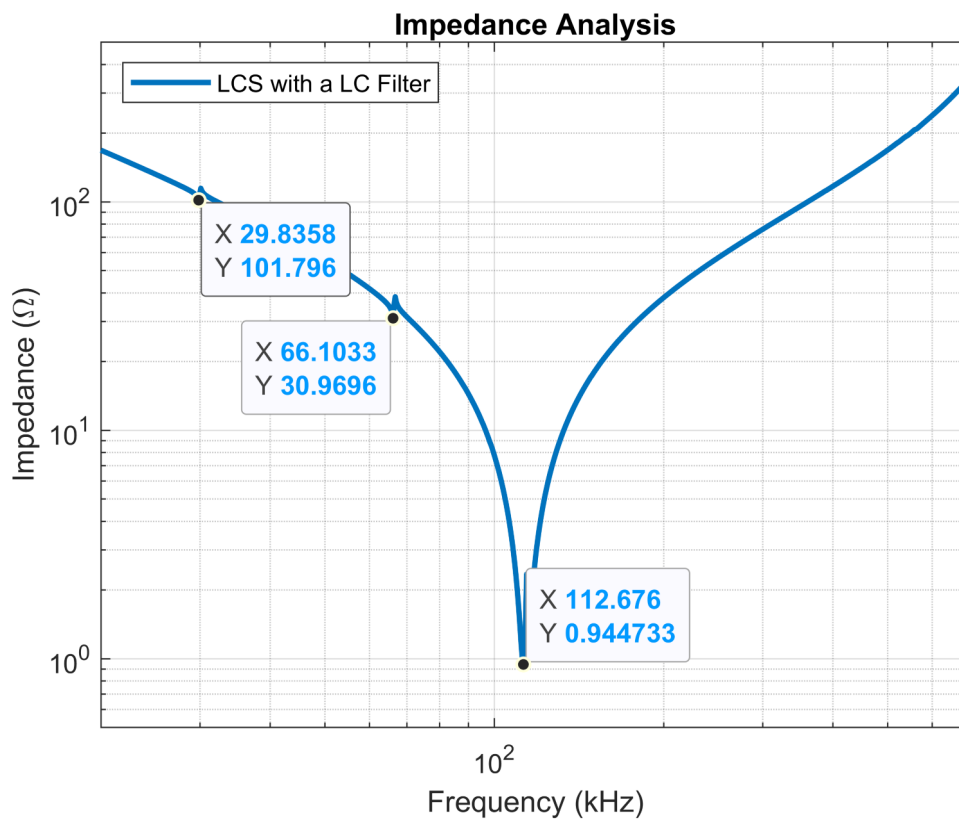


図 5-2. LC フィルタ付き LCS のインピーダンス応答

## 6 水洗浄

図 6-1 は、LCS の GUI 設定 (GUI バージョン: ULC1001 2.4.10) を示しています。ULC1001 GUI の詳細については、ti.com のチュートリアル ビデオを参照してください。

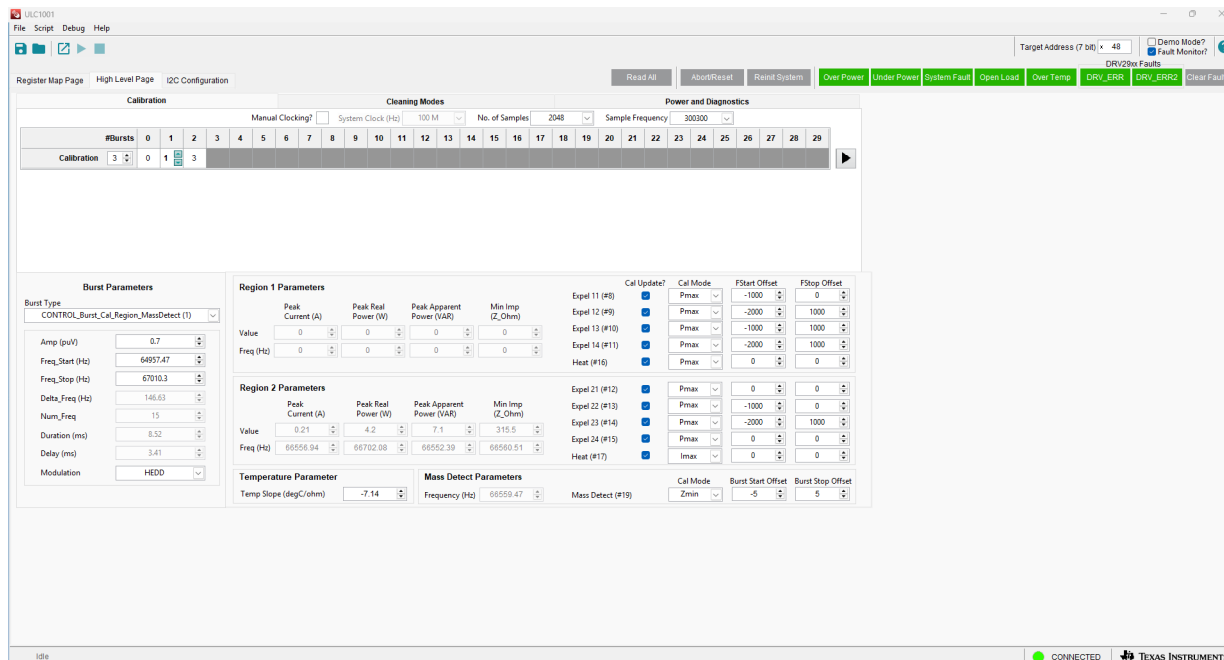


図 6-1. GUI 設定: 較正された結果

図 6-2 は、水モードの GUI 設定を示しています。

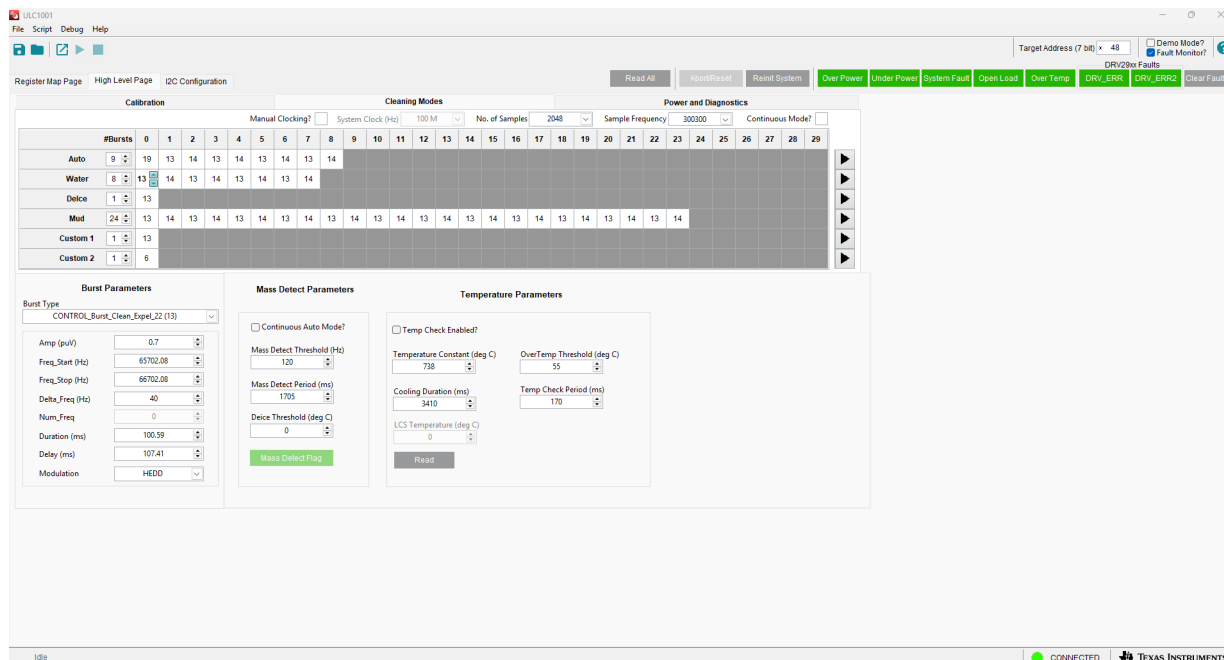


図 6-2. GUI 設定: クリーニング用の水モード

図 6-3 は、水モード動作で観測された水洗浄性能を示しています。水滴の大部分が排出されていることは明らかですが、レンズの端に細かい霧が残っています (一般的な用途では急速に消失します)。この現象は、レンズの中心で加速が最大化され、外縁ではゼロに減少するため、典型的な現象です。

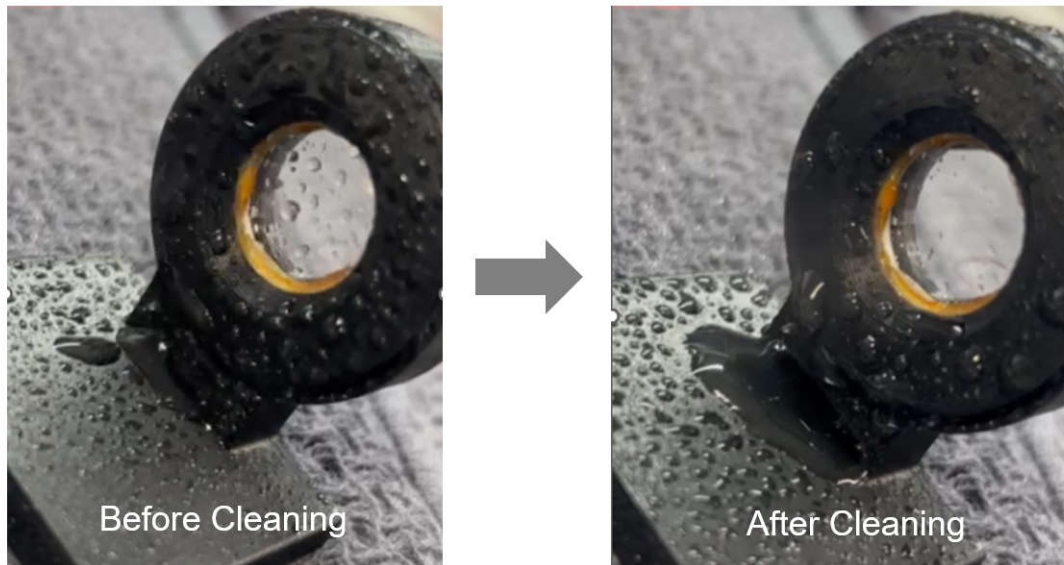


図 6-3. 水洗浄の結果: 洗浄前と洗浄後

## 7 消費電力

図 7-1 は、消費電力を測定するための ULC1001-DRV2911EVM による構成を示しています。電圧プローブと電流プローブを使用して、LCS 全体の電圧と電流を測定しました。電源からの電流も記録されています。ULC1001-DRV2911EVM の使用方法の詳細については、「[ULC1001-DRV2911EVM ユーザーガイド](#)」を参照してください。

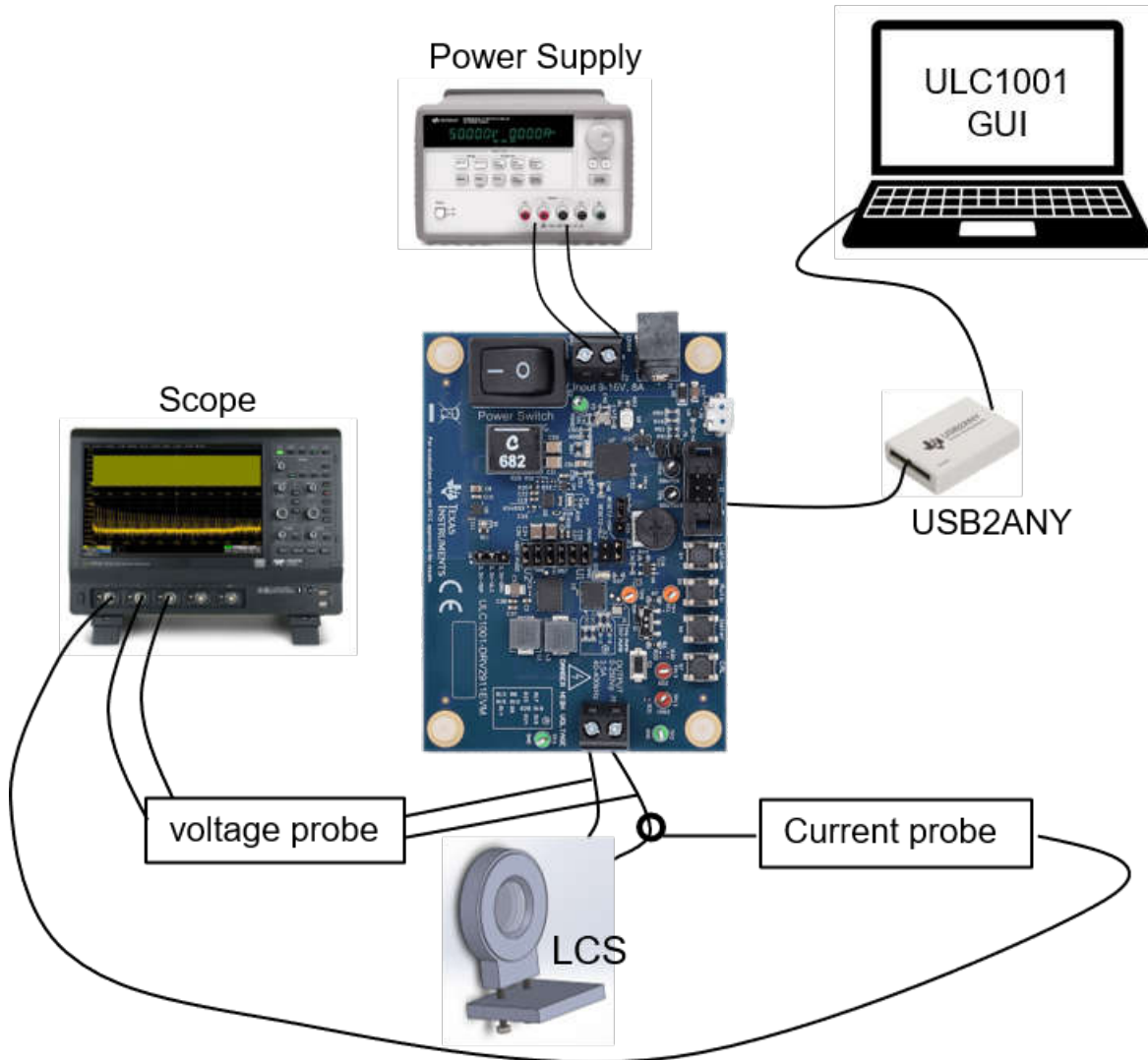


図 7-1. ULC1001-DRV2911EVM を使用した測定時の設定

図 7-2 は、 $f_1$  (30kHz) および  $f_2$  (66kHz) 付近の LCS の電圧と電流を示しています。ピーク電圧は 140V で、ピーク電流は 0.4A です。LCS を流れる電圧と電流には位相差があることに注意してください。LCS のピーク電力は、電源からの電流を使用して簡単に推定できます。

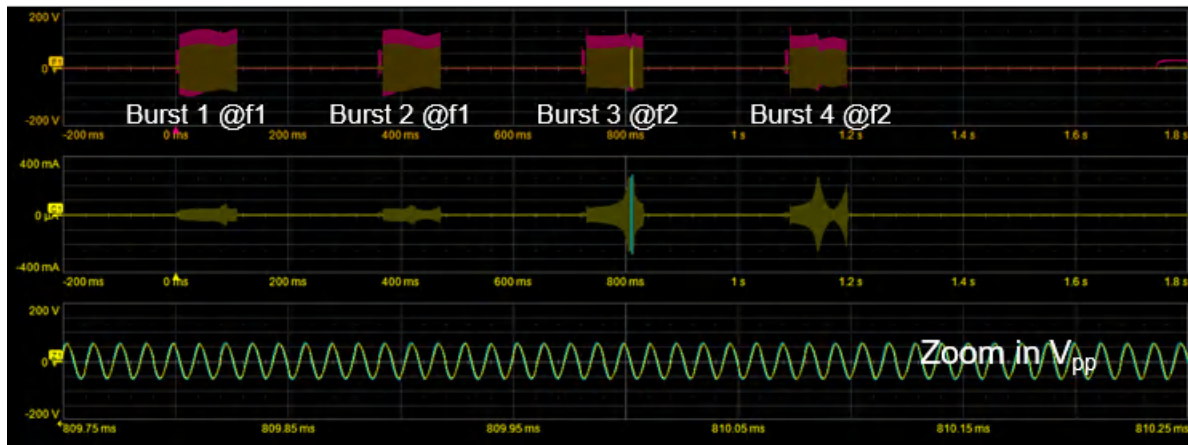


図 7-2. 水モード時の LCS の消費電力

表 7-1 は、LCS の電気的特性を示しています。

表 7-1. LCS の電気的特性

パラメータ	値	単位	説明
Vp	70	V	LCS に流れるピーク電圧
Ip	0.5	A	LCS に流れるピーク電流
Vd	12	V	電源の DC 電圧
Id	0.35	A	電源の DC ピーク電流
P	4.2	W	ピーク電力

## 8 信頼性

振動するデバイスには高い信頼性が不可欠です。当社では、ULC1001GUI で連続モードを有効にするだけで達成可能な 100 万サイクルのテストを実行しています。各サイクルは、水モードバースト 13 とバースト 14 を 1 回実行することによって定義されています。各バーストは、100ms の持続時間と 200ms の遅延 (調整可能) で構成されています。1 サイクルの実行には約 600ms、100 万サイクルの実行には約 6.95 日かかります。

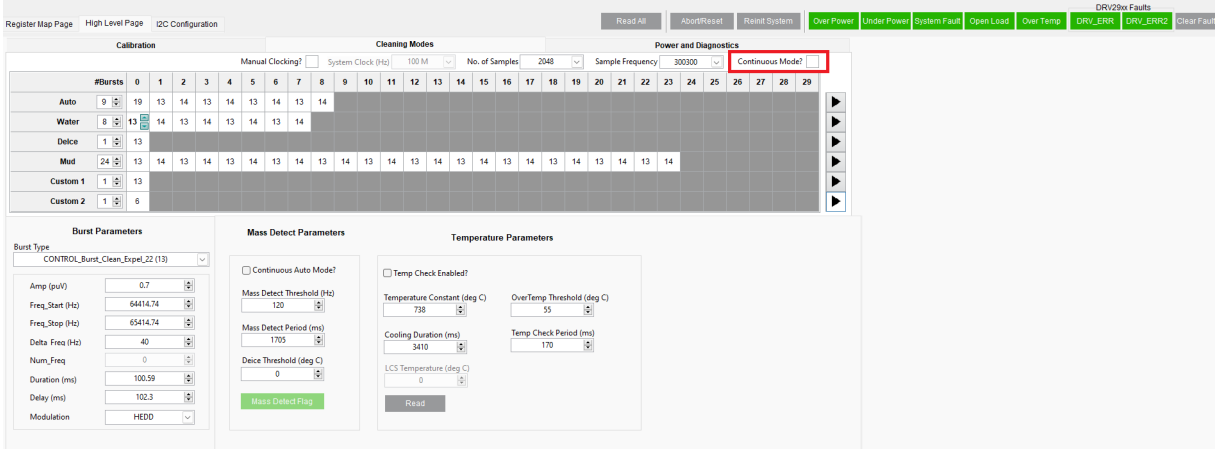


図 8-1. GUI 設定: 連続モード

図 8-2 は、長期テスト前とその後の両方の LCS のインピーダンス応答を示しています。長期テストの完了後、LCS はインピーダンスの変化を最小限に抑え、効果的な水洗浄能力を維持していました。この結果は、システムの信頼性が高いことを強調しています。

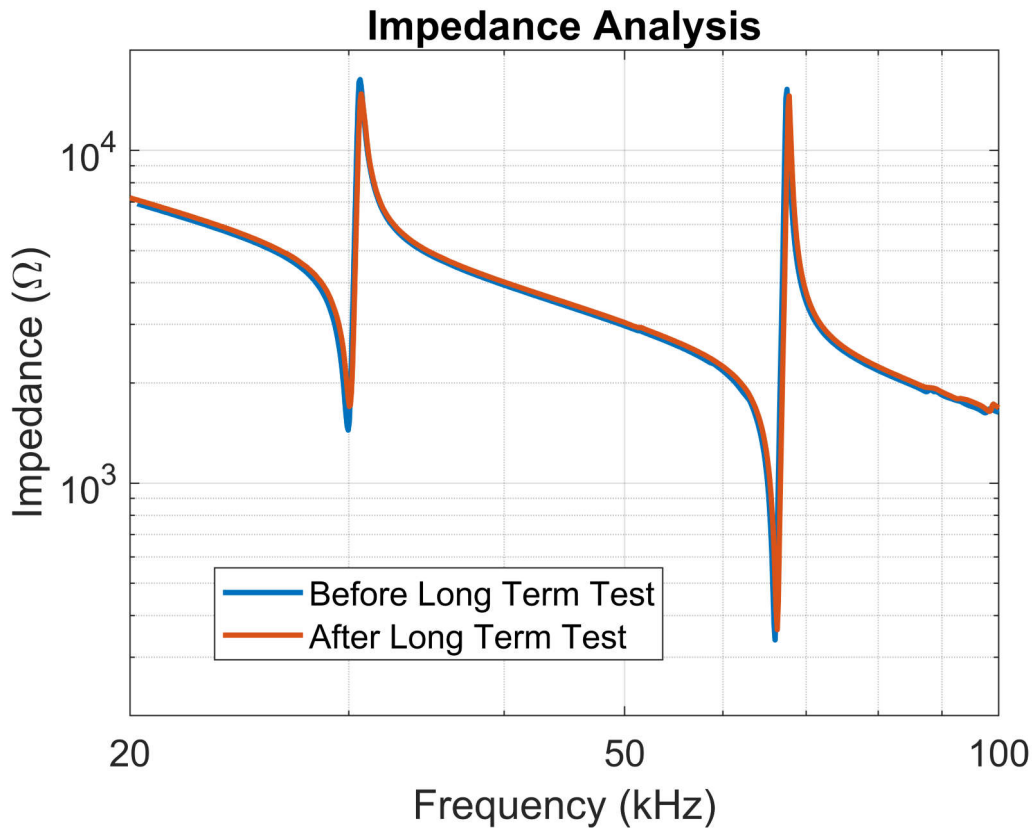


図 8-2. 長期テスト前と後の LCS のインピーダンス

## 9 その他のテスト

### 9.1 除氷

除氷には、水洗浄に比べてより多くの電力が必要です。LCS の設計では、560kHz で動作するモードは、65kHz のモードに比べてインピーダンスが大幅に低いいため、熱を生成して除氷を促進するのに有利になります。ULC1001-DRV2911EVM を使用して除氷モードを効果的に実施するには、560kHz での電圧減衰がかなり大きいいため、LC ローパスフィルタを除去する必要があります。

必要な除氷速度を考慮すると、最適な除氷効率を達成するために個別の加熱要素を組み込む必要がある場合があります。この推奨事項は、圧電材料の加熱効率が、他の特別に指定された加熱代替手段と比較して比較的限られていることに起因しています。

### 9.2 泥のクリーニング

現時点では、このプロトタイプは、特に重度または粘着性の汚染物質に直面した場合、泥やほこりを効果的に除去する能力が限られています。これらの条件で良好な結果を得るには、LCS の横にウォーター ジェットを使用して、泥やほこりのクリーニング性能を向上させてください。あるいは、TI ハードウェア パートナーと連携することで、泥やほこりの問題に対処するためにカスタマイズされた、より堅牢な LCS 設計を提供することもできます。

### 9.3 光学干渉

当社のハードウェア パートナーは、フラットレンズ カバーがカメラの画像品質に及ぼす影響は無視できる程度であることを実証しています。ただし、テキサス インストルメンツではまだ個別のテストを行っていないことに注意してください。

### 9.4 防水機能

テキサス インストルメンツでは、プロトタイプの防水機能に関するテストを行っていません。



## 10 リソース

1. テキサス インスツルメンツ、[「超音波レンズクリーニング技術の概要」](#)
2. テキサス インスツルメンツ、[「超音波レンズクリーニング: 必要性が認識されていなかった半導体技術」](#)
3. テキサス インスツルメンツ、[「ULC1001-Q1 I/V センス アンプ搭載の設定可能な超音波 PWM ドライバ」](#)
4. テキサス インスツルメンツ、[「ULC1001-DRV2911EVM ユーザー ガイド」](#)。

## 重要なお知らせと免責事項

TI は、技術データと信頼性データ(データシートを含みます)、設計リソース(リファレンス デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の黙示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、TI 製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適した TI 製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとし、

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されている TI 製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、TI はその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。TI や第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、TI およびその代理人を完全に補償するものとし、TI は一切の責任を拒否します。

TI の製品は、[TI の販売条件](#)、[TI の総合的な品質ガイドライン](#)、[ti.com](#) または TI 製品などに関連して提供される他の適用条件に従い提供されます。TI がこれらのリソースを提供することは、適用される TI の保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。TI がカスタム、またはカスタマー仕様として明示的に指定していない限り、TI の製品は標準的なカタログに掲載される汎用機器です。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案する場合も、TI はそれらに異議を唱え、拒否します。

Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated

最終更新日：2025 年 10 月