

AT-AWG-4010 シリーズ 任意信号発生器

超音波 MEMS の試験

アプリケーションノート

ARB RIDER ➡➡



任意信号発生器

はじめに

このアプリケーションノートでは、AT-AWG-401X シリーズ任意信号発生器を使用して、超音波 MEMS センサの試験、および開発段階で使用する信号を生成する方法について説明します。

AT-AWG-4012 / 14/18 シリーズ任意信号発生器は、MEMS センサの設計、テストと特性評価を実行するために、一般的に使用されるパルス信号とチャープ信号を、容易に生成することができます。

ハイインピーダンスに対して $\pm 12V$ のアナログシフトを結合させた 24Vpp の振幅 (50 Ω に対しては 12Vpp) を考慮しながら、高電圧の振幅や信号幅、立ち上がり／立ち下がり時間がプログラム可能であることが必須とされる試験に対して、AWG-401X は最適な解決策を提供します。



課題：

- ・ 超音波 MEMS センサの開発と試験

解決策：

- ・ AT-AWG-4012/4014/4018 任意信号発生器

結果：

- ・ 超音波 MEMS センサの試験、特性評価、故障解析を容易にします。
- ・ 複雑なパルス列のシナリオを作成する時間を大幅に短縮します。



Active Technologies

MEMS センサに対する一般的な検討事項

MEMS（Micro-Electro-Mechanical Systems：微小電気機械システム）センサは、加速度、回転、角速度、振動、変位、方位、および、その他の物理的および環境的特性を感知することができる機械的構造を統合するため、シリコンの独特な機械的特性を活用してします。

これらを考慮した結果、アナログ・フロント・エンドは優れた高調波歪みを備えよう統合され、電気的な回路と 3 次元の機械的構造を組み合わせた回路が生成されます。

今日、MEMS センサとマイクロフォンは、距離と動きの検出、モバイル、IoT、ドローン、自動車、圧力測定、湿度と温度の検出など、多くの用途で広く使用されています。

MEMS センサの主なタイプ

- ・ 加速度計
- ・ ジャイロ스코ープ
- ・ デジタル電子コンパス（ecompasses）
- ・ 慣性計測装置（Inertial Measurement Units：IMU）
- ・ MEMS マイクロフォン
- ・ 圧力センサ
- ・ 温度センサ
- ・ 近接センサ
- ・ 湿度センサ

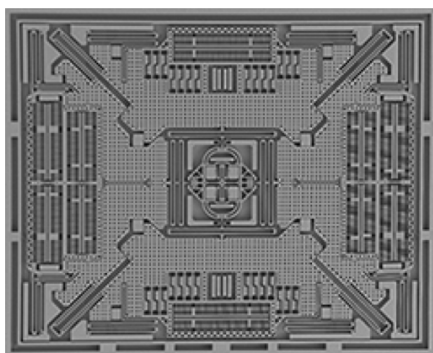


図 1：MEMS センサ

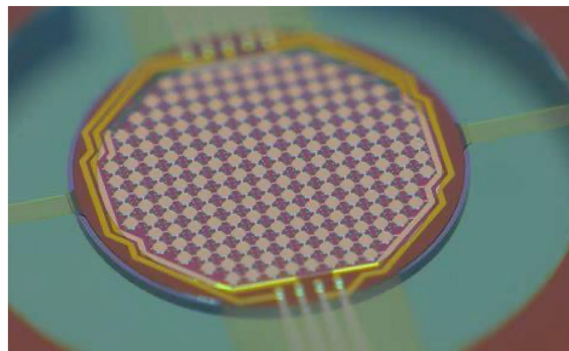


図 2：MEMS センサ

アプリケーション

距離測定のための超音波センサ

COVID-19 の蔓延防止のため、オフィスや工場は、労働者間の社会的距離と安全な労働習慣が確保される環境を作り出すことが求められています。

距離測定の精度は、超音波センサで 1cm 未満、UWB で 10cm 未満であるのに対し、BLE では数メートルであり、推奨される安全距離である約 2m 以内に人が近づくことを検出するためには十分ではありません。

センサに取り付けられた超音波トランスデューサーは、超音波パルスを送信し、物体から反射された波を受信します。

この飛行時間（ToF）を使用すると、目的物からの距離を正確に検出することができます。

産業および自動車アプリケーションのための超音波センサ

産業用アプリケーションには、精密農業、建設機械、ドローン、無人搬送車（AGV）、ロボット、産業用モーターが含まれます。

モーションセンサーのデータは、これらの産業用アプリケーションの中で、自動化、高効率化、および状態監視を可能にする上で非常に重要になっています。

MEMS 加速度計製品は、これらのアプリケーションにおいて必要とされる正確な動き、振動、傾斜の計測を可能にします。

自動車については、MEMS センサは推測航法、車両間の位置、ビジョンシステム、拡張現実、リフトゲート制御、テレマティクスから車載インフォテインメント、スマートアンテナまで幅広いアプリケーションに使用できます。



図 3：農業におけるドローン

気圧センサにおける MEMS

最新の気圧センサは、革新的な静電容量 MEMS アーキテクチャを使用して、競合するテクノロジーよりも低消費電力と低ノイズを実現します。

このような種類の MEMS は、階段の高さよりも小さい 5cm の高さの変化を測定することができ、スマートフォン、タブレット、ウェアラブル端末、ドローン、およびその他の多くのデバイスに最適であり、緊急電話の正確な位置を特定し、活動監視のために標高の変化を追跡し、屋内または 3D ナビゲーションおよびその他のモーションベースまたは位置ベースのサービスをサポートします。



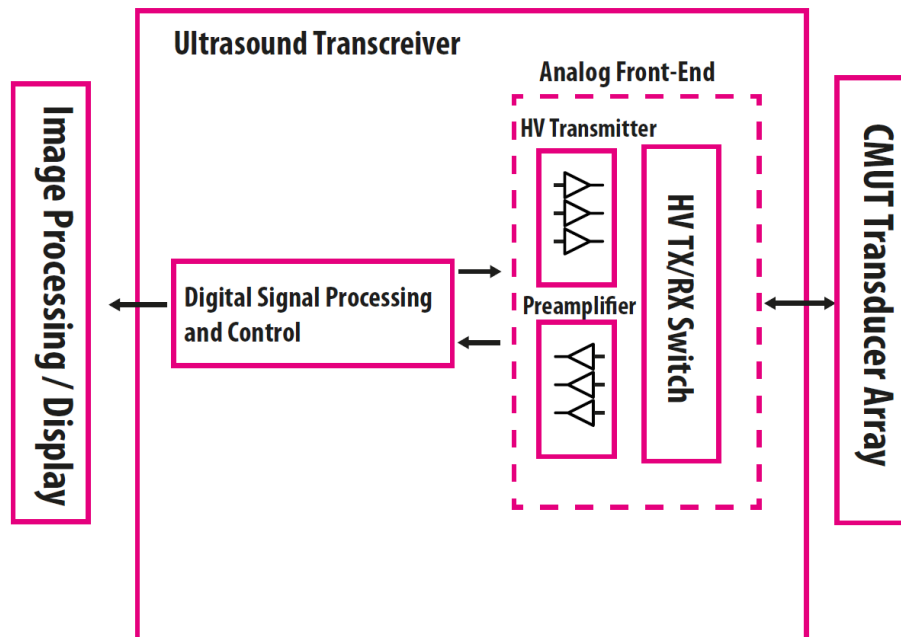
図 4：アウトドアで用いられる気圧センサ

MEMS 用の信号発生器

超音波医療画像アプリケーション

超音波画像法は、磁気共鳴画像法、コンピューター断層撮影法、X 線などの他のよく知られた方法と比較して、人体への害が少ないという特徴から、医療分野で大きな関心を集めています。

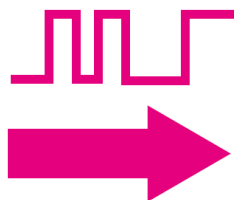
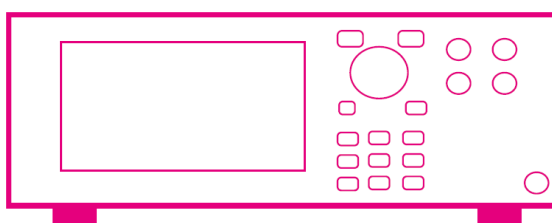
さらに、過去 10 年間の容量性マイクロマシン超音波トランスデューサー (CMUT) デバイス技術の出現により、関心がさらに高まりました。CMUT は、圧電性のものと比較して、より広い動作帯域幅と、大規模アレイの実装において、より簡易に製造できるという利点があります。



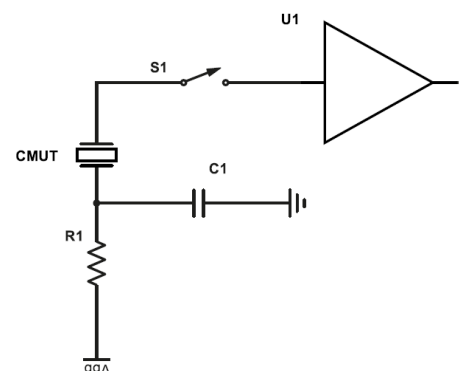
HV 出力パルスドライバとレベルシフターは、オイル環境下での CMUT デバイスを駆動しながら 1.25MHz の周波数で 10Vpp を超えるパルス信号を生成するために、ダイナミックゲートバイアス回路を備えたマルチスタックアーキテクチャを採用しています。

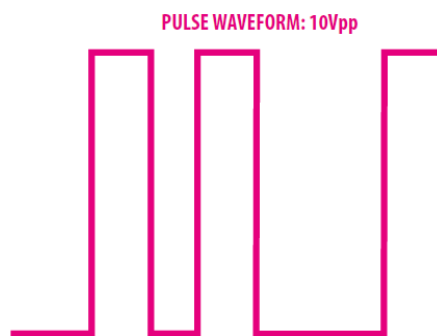
パルス幅、周期、および生成される音圧量は、出力されるパルス信号の最大電圧に関連付いており、特定の医療用画像アプリケーションに依存するシステムレベルと、以下のトランスデューサーのデバイス特性によって決まります。

AT-AWG-401X ARBITRARY WAVEFORM GENERATOR



CMUT CIRCUIT & RECEIVER





CMUT に取り付けられた PCB は、水中環境を模倣するために植物油で満たされたガラス容器に配置され、IC に取り付けられたボードは屋外に配置されます。

ハイドロフォンは、CMUT から数ミリメートルの距離に配置され、結果として送信される音圧を測定し、電圧信号に変換します。

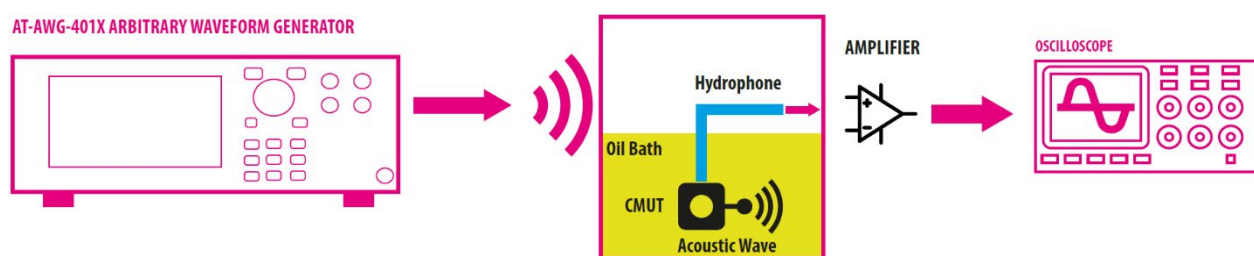


図 5：CMUT センサを駆動する AWG-401X

設計の段階では、外部の任意信号発生器は出力段において CMUT を駆動するため、10Vpp の入力パルスを生成する必要があります。

特定の医療用画像アプリケーションは異なる振幅を持った信号が必要となり：

CMUT は、電気信号を印加された電圧レベルに応じた音圧信号に変換します。

アクティブテクノロジーの AWG-4012/14/18 任意信号発生器は、ハードウェアオフセット機能と組み合わせて、正確な電圧振幅の性能を持っています。12Vpp (50 Ω 負荷に対して) の振幅範囲と $\pm 6V$ (50 Ω 負荷に対して) のハードウェアオフセット電圧は、50 Ω に対して 24Vpp の、もしくはハイインピーダンスに対して 48Vpp の電圧ウィンドウを提供することができます。

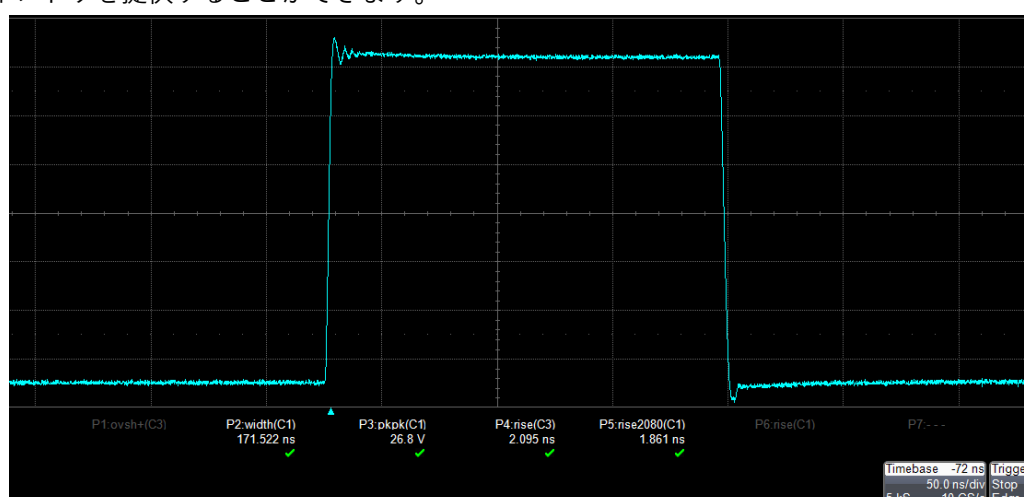


図 6：AWG-401X を使用した、ハイインピーダンスに対する 24Vpp パルス

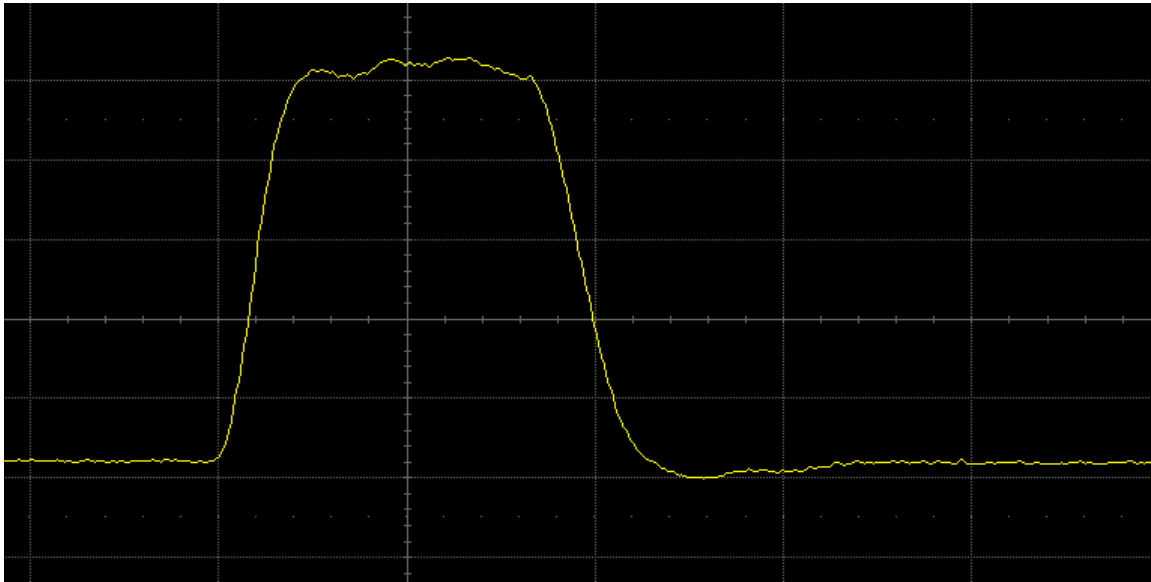


図 7 : 2.5ns の最小パルス幅

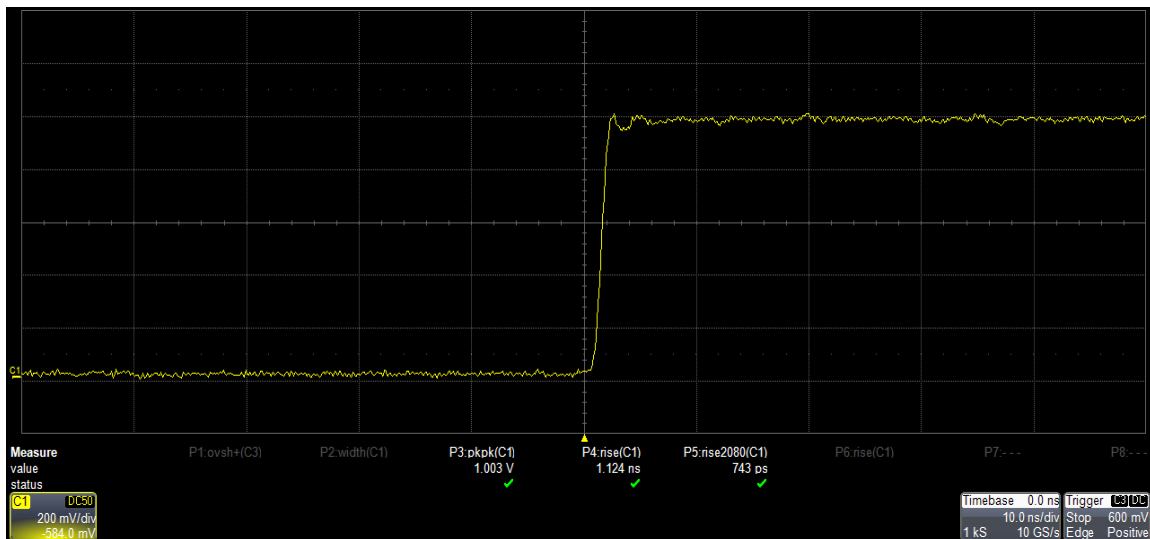


図 8 : 高速立ち上がり時間 - 1.1ns

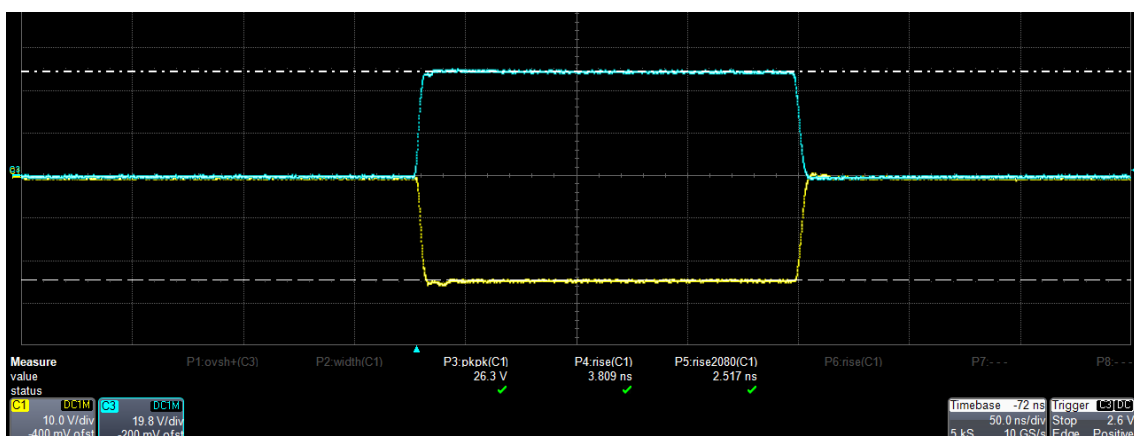


図 9 : AWG-401X の 48V 電圧ウィンドウ

Arbitrary Function Generator モードを使って、全てのパルスのパラメータを、中断することなく動作中に変更することができ、リアルタイムでパルス幅、立ち上がり／立ち下がり時間、周期、遅延、および振幅を制御することができます。

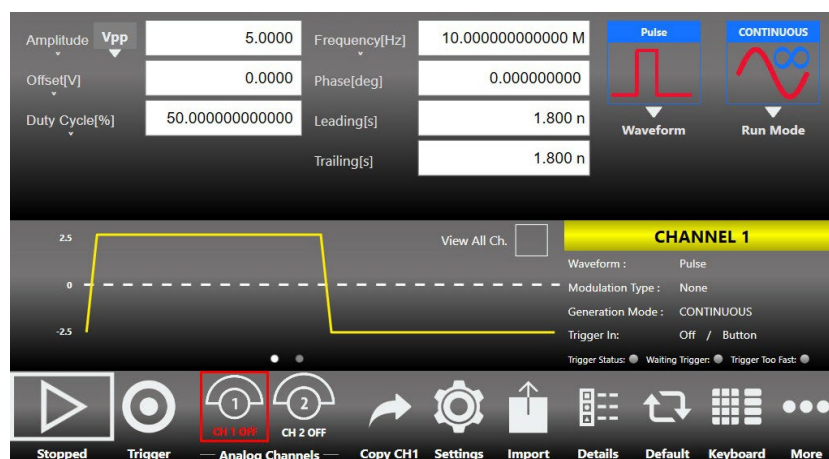


図 10：AFG モードの UI

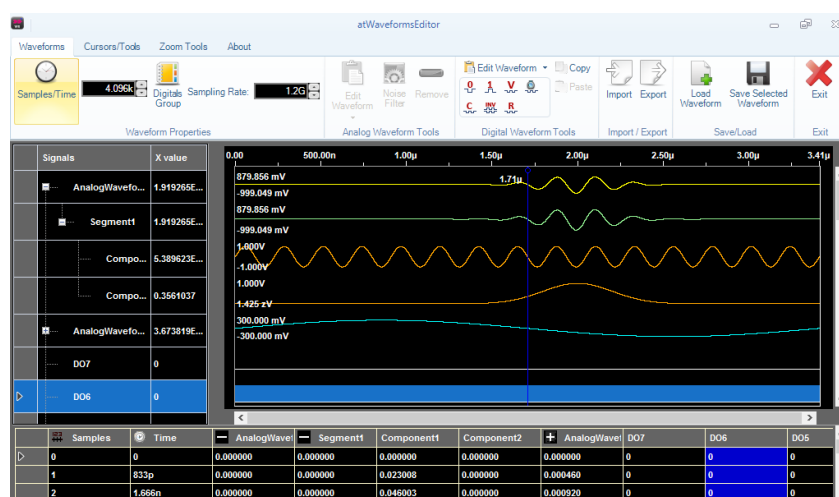


図 11：AT 波形エディタ

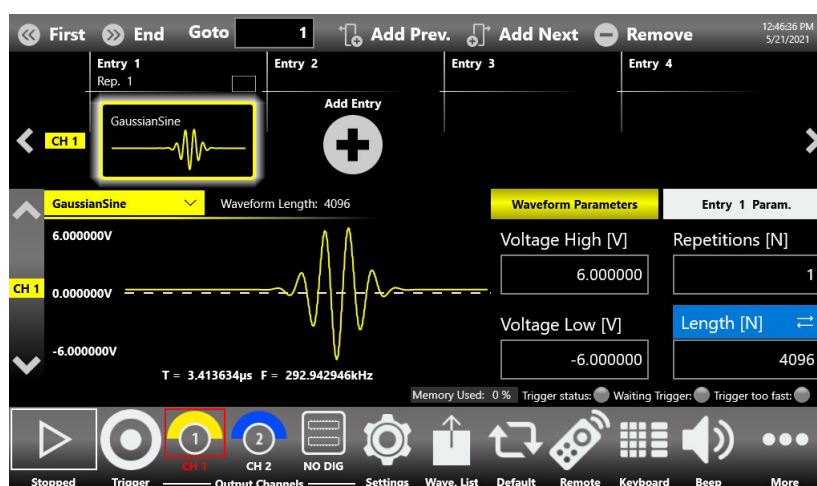


図 12：AWG モードの UI

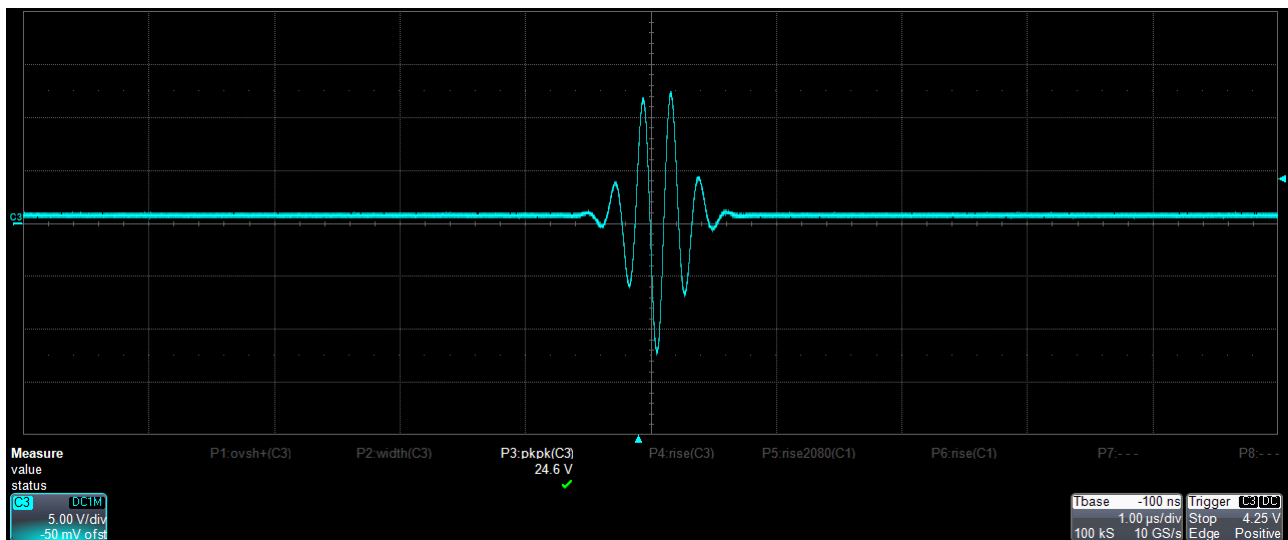


図 13：AWG-401X で生成した自動車用センサ信号

医療用画像アプリケーション用のマルチレベルパルス

医療用超音波画像のアプリケーション、特に容量性マイクロマシン超音波トランスデューサー（CMUT）を使用するアプリケーション向けに、2 レベルまたは 3 レベルのパルスが提供されています。

パルス生成には、デバイスの信頼性を損なわずにプロセス制限を超える HV 動作を可能にする、ダイナミックにバイアスされたスタックトランジスタと組み合わせたブートストラップ回路を使用しています。

医療用超音波画像は、さまざまな臓器のリアルタイム画像を、非侵襲的に低コストで高い時空間の分解能で提供することにより、臨床診療に大きな影響を与えてきました。近年においては、容量性マイクロマシン超音波トランスデューサー（CMUT）は、サイズが小さく、帯域幅が広く、インターフェース回路との統合が容易なため、従来のバルク圧電トランスデューサーに比べていくつかの利点があります。圧電トランスデューサーと比較すると、一般的に CMUT は同じトランスデューサー領域に対して大きな電気的インピーダンスを持っています。

超音波パルスジェネレーターは、医療用超音波画像システムの重要な構成要素の 1 つであり、ターゲットの組織に向けて超音波圧力パルスを生成するための高電圧（HV）出力スイング機能を備えた CMUT を含む、超音波トランスデューサーを駆動します。

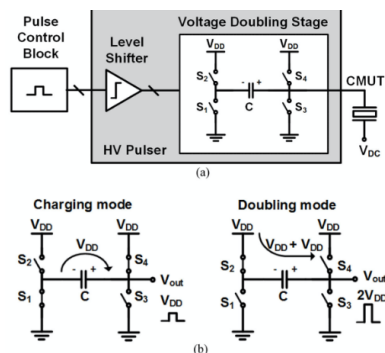


図 14：超音波生成回路

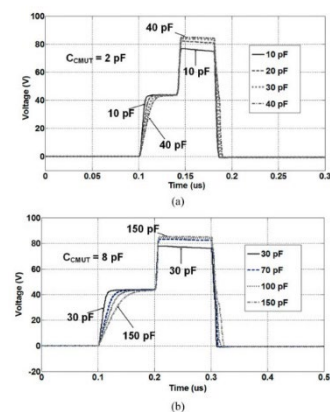


図 15：マルチレベルパルス

アクティブテクノロジーの波形編集ツールは、このようなアプリケーションのキーファクターである、マルチレベルパルスを簡単に作成することができます。さらに、ノイズやフィルターを追加して、実際の環境をシミュレートすることも可能です。

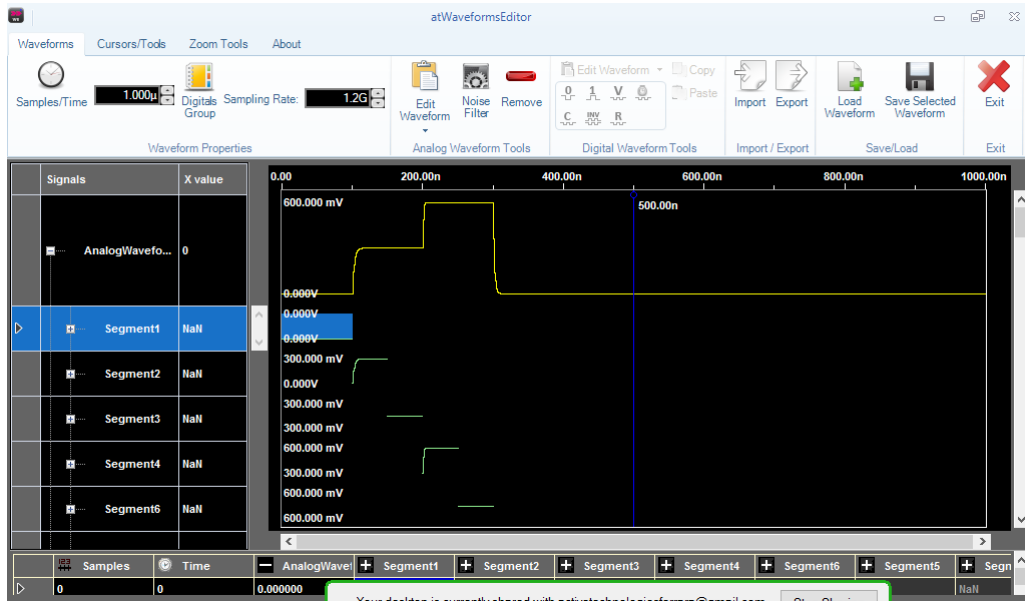


図 16：AT の波形編集用 UI でマルチレベルパルスを生成

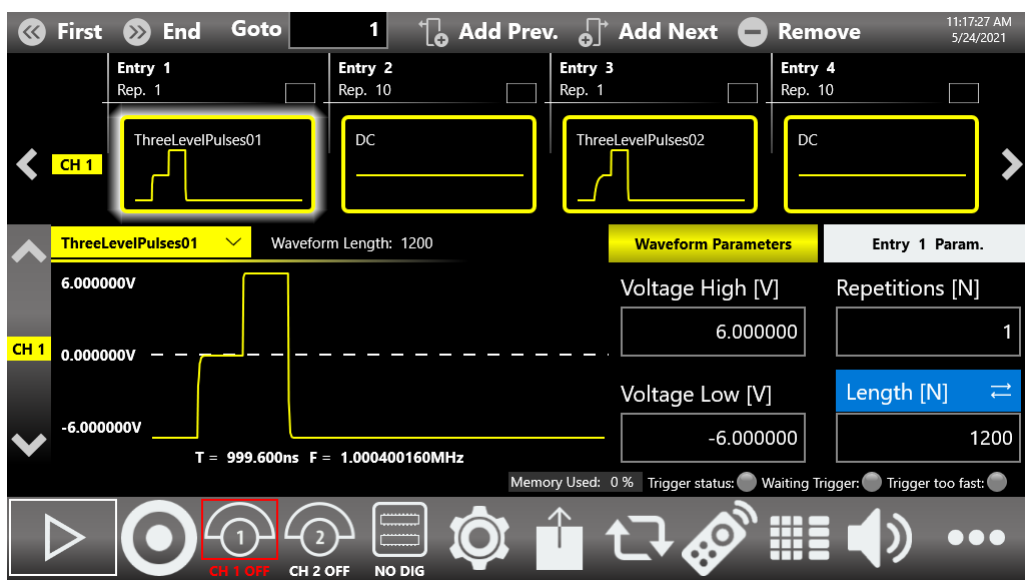


図 17：True Arb の UI のマルチレベルパルス

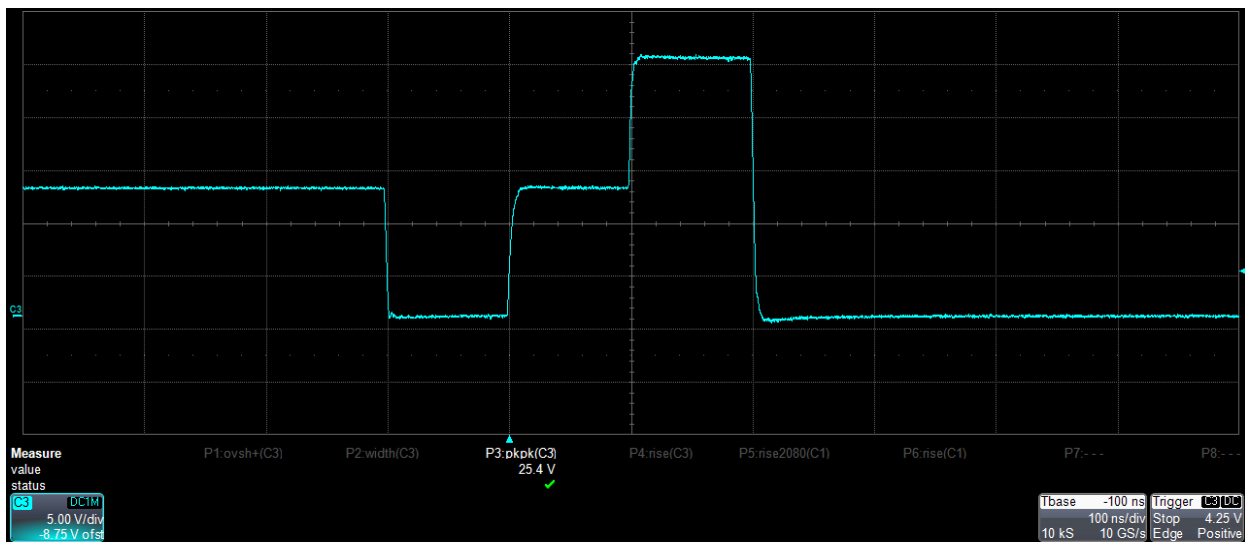


図 18 : AWG-401x のマルチレベルパルス

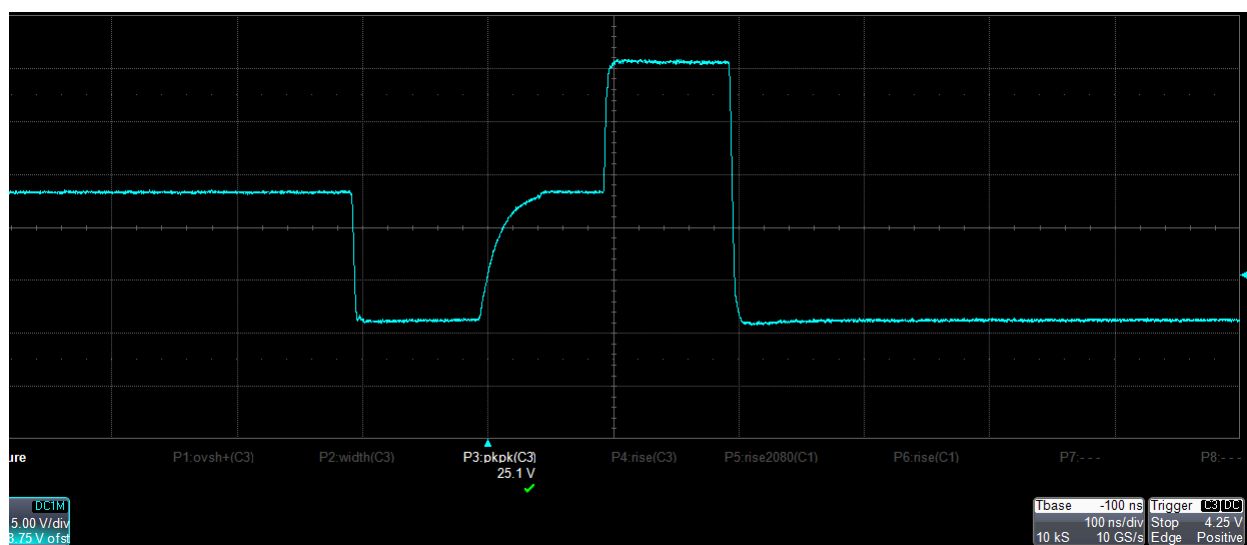


図 19 : AWG-401X のスロープを変更したマルチレベルパルス

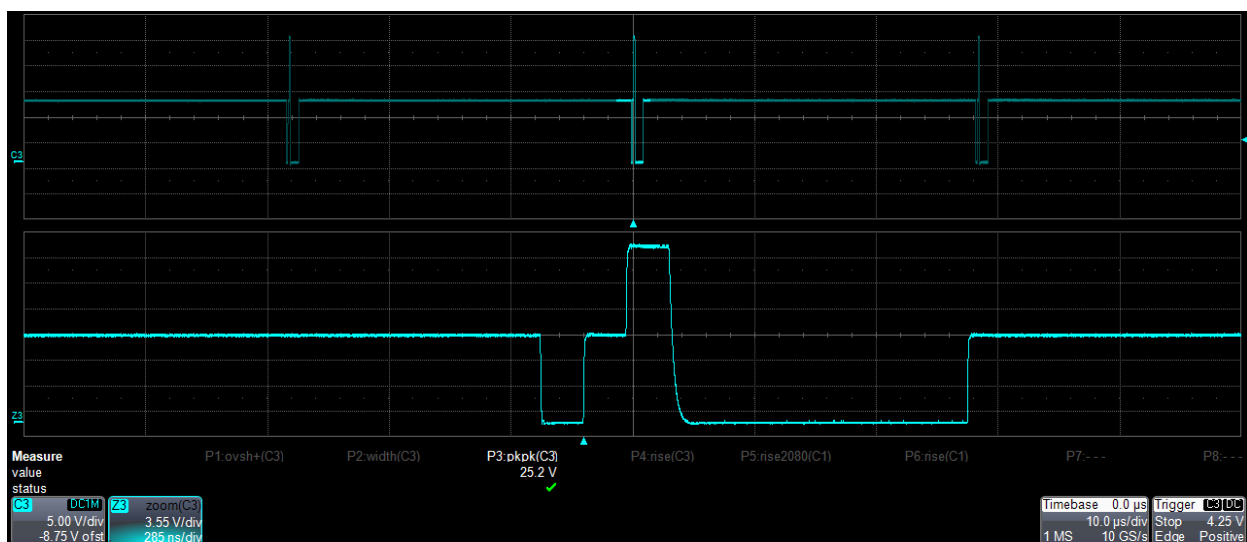


図 20 : AWG-401X のマルチレベルパルス

自動運転車用の超音波センサのセキュリティ

自動車は、“モノのインターネット”（IoT）にとって最も有望なセクターの1つです。自動運転技術は、車両が自分で運転環境を監視できるようにする最新のセンサに基づいて構築されています。

したがって、自動運転車の安全性は、センサの信頼性によって決まります。

これらは IoT デバイスにおいて距離計測や占有検知の用途で広く使用されていますが、車両においては次の2つのシナリオに対応しています。

1. 低速走行時の駐車支援
2. 高速走行時の死角検知

センサは存在するすべての障害物を検出し、誤警報を回避する必要があり、車両は次の2つのシナリオを正しく処理する必要があります。

1. **障害物で停止**：車両は経路上にある障害物に向かって走行するのを止め、能動的な衝突を避けなければならない。
2. **障害物を避けながら走行**：走行経路上に障害物がない場合、車両は走行を続け、不意な交通による受動的な衝突を防がなければならない。

設計段階では、実験室のスタンドアロンの超音波センサや、屋外の複数の車両の車載センサへのアタックをシミュレートすることができます。

任意信号発生器を使用して作成された無線信号を送信することで、さまざまなアタックのシナリオを作成して、次の状況をシミュレートすることができます。

1. **車両が走行すべき時に停止させる**：オンボードの超音波センサを欺いて、ランダムなスプーフィング（なりすまし）と適応型のスプーフィングの2種類のスプーフィング・アタックを設計することにより、検出範囲内のどこにでも存在しない障害物を報告させます。
2. **車両が停止すべき時に走行させる**：超音波センサの設計により、障害物を隠すことが可能になります。ジャミング・アタックまたは適応型のスプーフィングは、どちらもセンサが道路上の障害物の存在を報告するのを防ぐことができます。

超音波センサは、1990 年代初頭に駐車支援システムのセンサとして自動車に初めて導入されました。

アタックシナリオ：攻撃者は、オンボードのセンサから物理的な信号を盗聴し、任意の形式（周波数、振幅、期間、位相など）で偽造されたエコーをアクティブに生成し、これによって同時に伝播される他の物理的な信号を不正な状態、または乗っ取ることが可能になります。

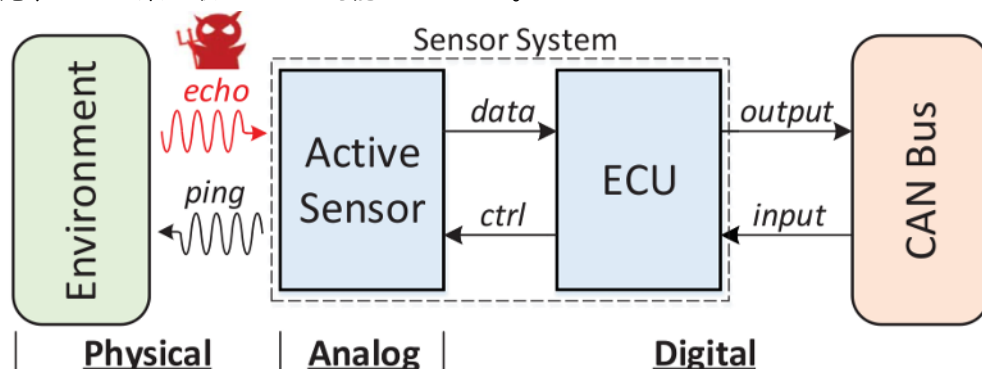


図 21：自動車のアタックのブロック図

1. **スプーフィング（なりすまし）アタック**：スプーフィング・アタック（なりすまし攻撃）には、センサによって送信されたものと同じ信号、例えば同じ周波数、変調方式などで慎重に作成された信号（超音波パルスなど）を放出することが含まれます。

この結果、センサはスプーフィング信号を本物の信号と同じように解釈し、存在しない障害物を誤って検出する可能性があります。スプーフィング信号のタイミングを注意深く調整することにより、敵は自分が選んださまざまな場所に偽の障害物を「作成」する可能性があります。

2. **ジャミング・アタック**：ジャミング・アタックには、実際の信号を乗っ取るために、類似しているがより強力な信号を注入することが含まれます。通常、センサは良性な周囲ノイズに対して影響を受けないように設計されていますが、強い干渉を受けるとは考えられていません。ジャミング・アタックによって、センサが障害物を検出できるかどうかは定かではありません。干渉が非常に強くセンサのサービス妨害を引き起こす場合、センサと自動車が素直に停止し、致命的な事故を引き起こさないようにするかどうかは定かではありません。

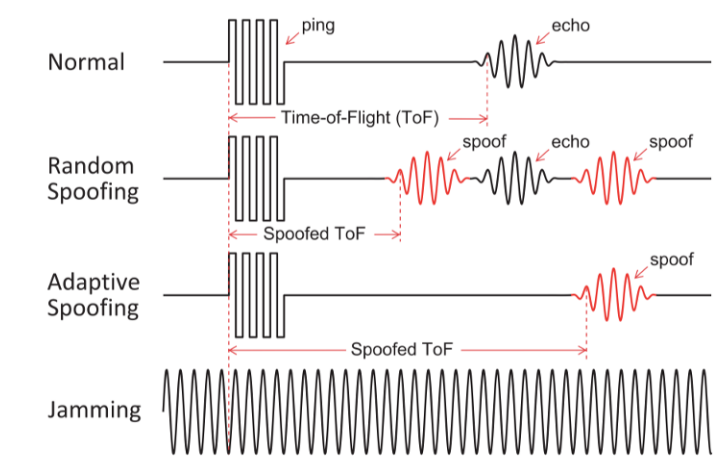


図 22：スプーフィングとジャミング・アタック

ランダムなスプーフィング信号の構築：スプーフィング・アタックを検証するため、動作周波数がターゲットのセンサの周波数と同じである超音波トランスデューサーを取得します。

トランスデューサーを駆動するため、容易に手に入る任意信号発生器を利用します。

以下の図は、一時停止として機能する DC レベルと超音波の応答であるエコーからなる、一連のパルスがロードされた AWG-401X シリーズのシーケンサーを表しています。

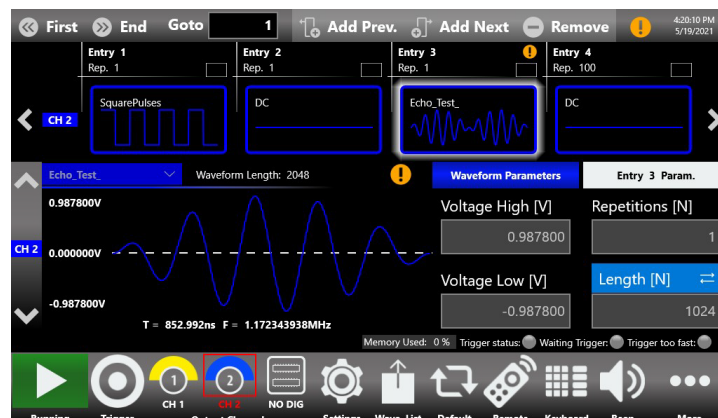


図 23：True-Arb のユーザ・インターフェイス

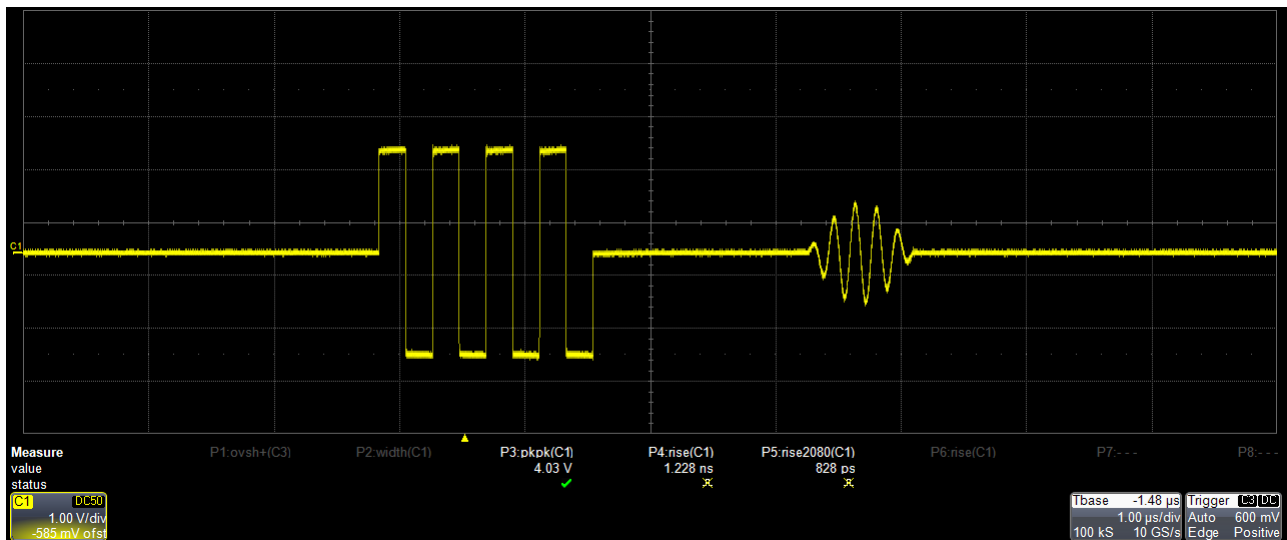
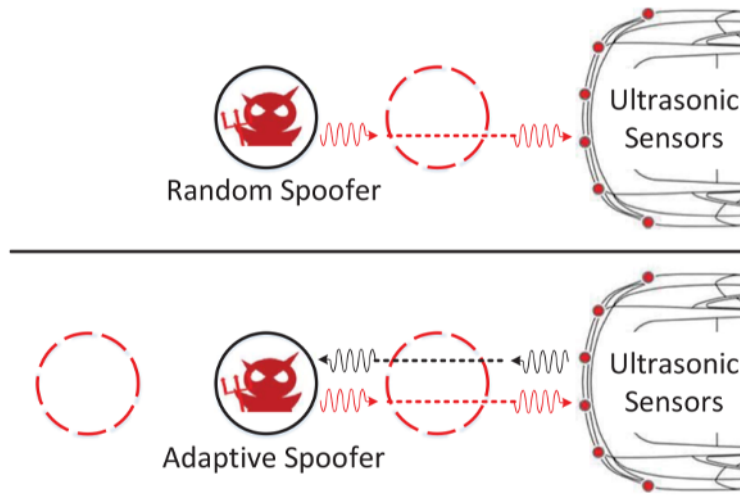


図 24：一連のパルスと超音波センサ

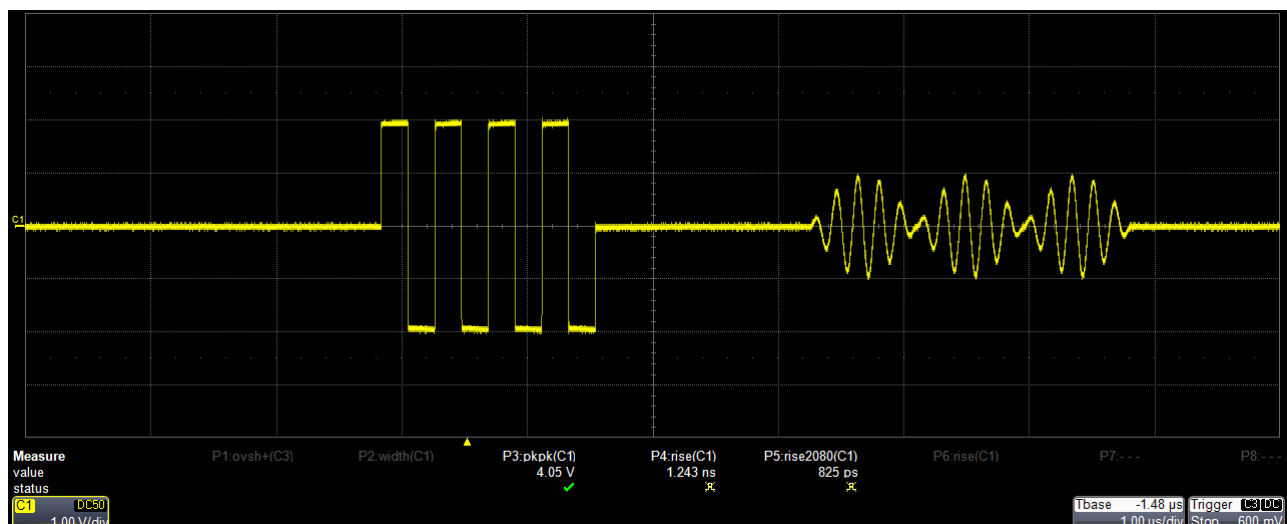


図 25：送受信されたセンサの信号

AWG-4012/14/18 はガウス・ランダム・ノイズ発生器を内蔵しており、ノイズの多い環境での超音波センサの反応をエミュレートしたり、応答信号と環境の間の干渉をシミュレートするため、信号にノイズを加えたりすることができます。

Waveform Editor ソフトウェア・パッケージは、簡単な方法で複雑なアナログやデジタル波形を作ることができ、さらに、編集されたノイズやフィルターを信号に加えることができます。

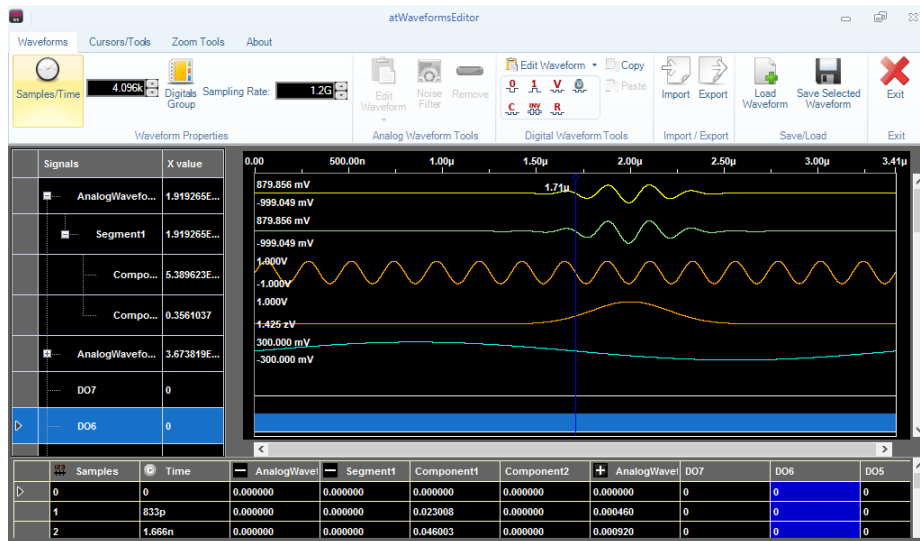


図 26 : AT-Waveform Editor のユーザ・インターフェイス

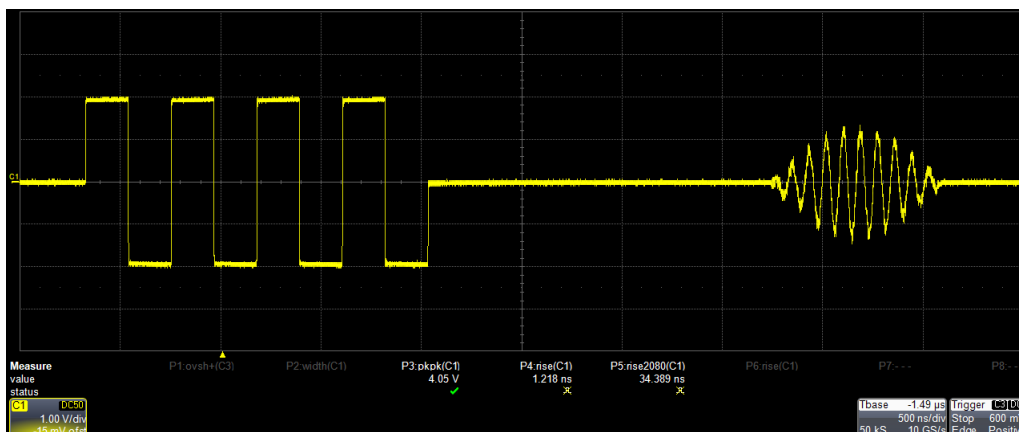


図 27 : MEMS センサから受信した歪んだ信号

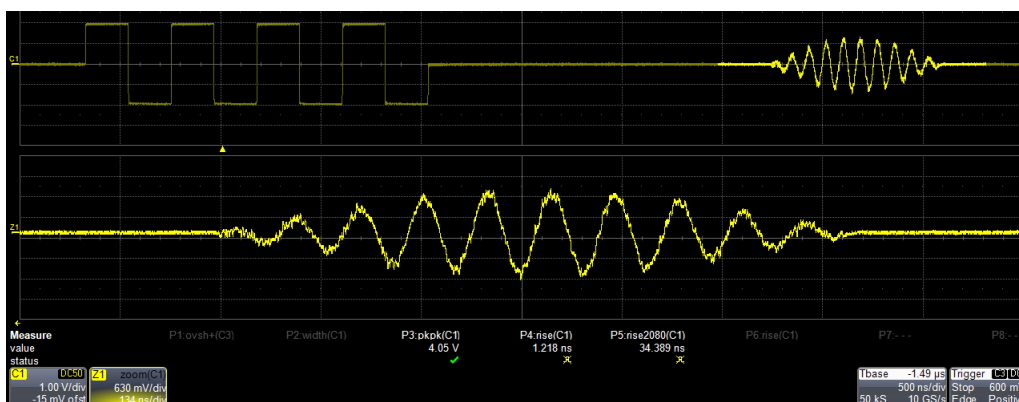


図 28 : センサから受信したノイズの多い信号をシミュレート

ジャミング・アタック

ジャミング・アタックは、センサのメンブレン（膜）に継続的な振動を誘発する超音波ノイズを誘発し、距離測定を不可能にします。

電圧レベル：圧電結晶によって生成される音の振幅は、結晶を駆動する信号の電圧レベルに依存します。したがって、有効なジャミングの距離は、この印加電圧によって決まります。

AWG-4012/14/18 任意信号発生器はハイインピーダンスに対して 24V までの方形波を生成することができます。

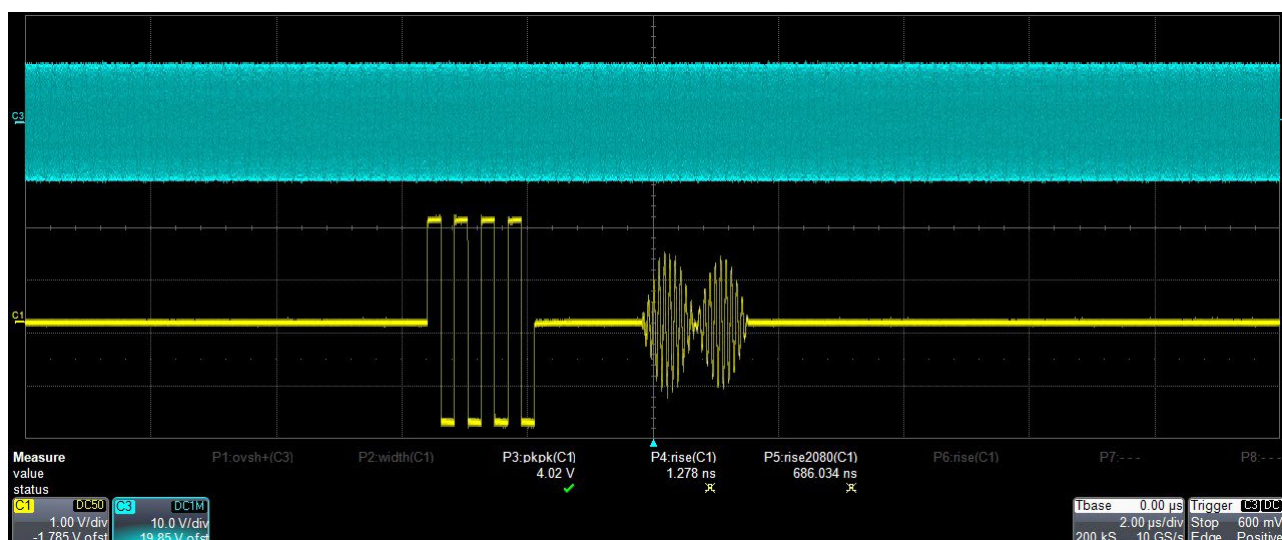


図 29：CHIRP 信号

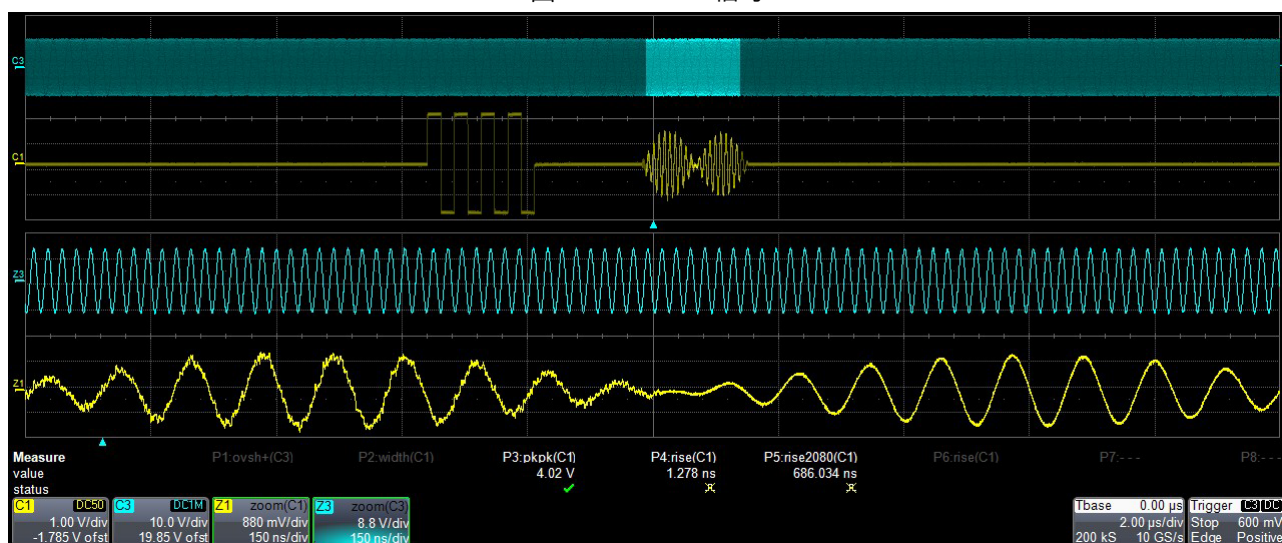


図 30：CHIRP 信号

センサ用超音波通信と測距システム

超音波の飛行時間型（Time of Flight : ToF）センサは、ドローンやロボット工学、および自動車や産業用アプリケーションにおいて、最適な測距センサとして一般的には認識されています。それらは光学センサや赤外線センサに比べて多くの利点を提供しています。ターゲットのサイズや色に関係なく、最も正確な距離測定を可能にし、周囲のノイズの影響を受けず、直射日光の下でも機能します。これらの理由により、堅牢で正確かつ信頼性の高い超音波センサは、産業および自動車のアプリケーションで広く使用されています。

従来の超音波センサと同じ性能と信頼性を提供する MEMS ベースの超音波センサですが、フォームファクタは従来の超音波センサの最大 1000 分の 1、消費電力は最大 100 分の 1 です。ミニチュアセンサは十分に小さく、スマートフォンやウェアラブルなどのコンパクトなコンシューマ向けアプリケーションにおいて、超音波によるセンシングの全範囲を可能にします。

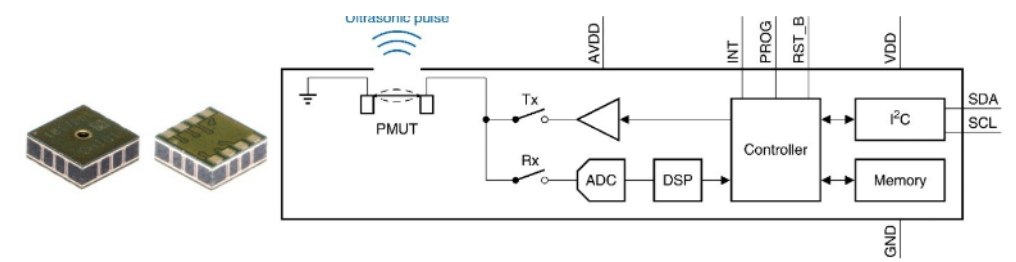
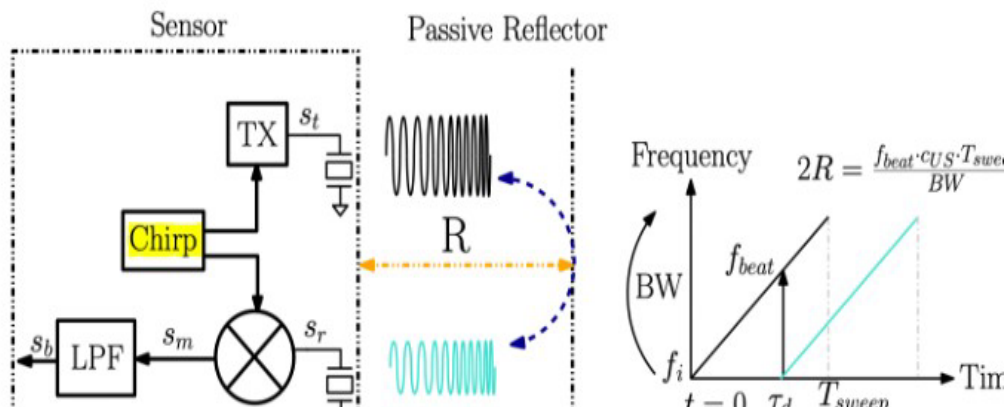


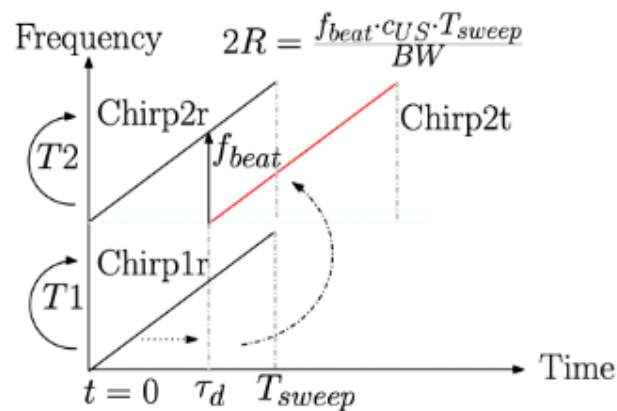
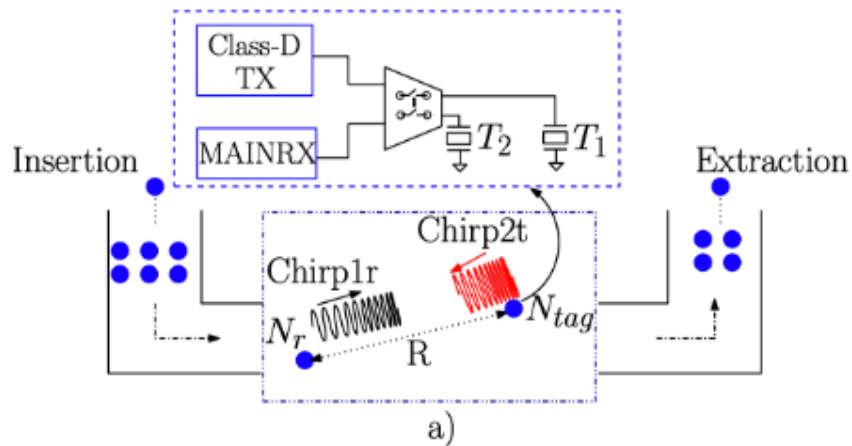
図 31：外部ラッチを使ったアドレス/データ・バスのデマルチプレクサ

センサは、超音波の「チャープ」を発出し、センサの視野内のターゲットから戻るエコーを“聞く”ことで距離を測定します。それぞれのエコーは音速で移動し、エコーの飛行時間は当該ターゲットまでの正確な距離の測定値を提供します。



時間的にリニアに増加する周波数で信号を送信するよりも、時間的に鋸歯状（上下）に周波数が変化する「チャープ」を使用して、ノードの相対距離と速度を推定する必要があります。

従来の FMCW 方式は、環境内の複数のオブジェクトから反射されたエコーを使用し、これらのオブジェクトの距離の測定を可能にします。この方法は、go-with-the-flow（「時流に乗った」）アプローチの測距方法とすることができます。この場合、一群内の各ノードは互いに独立した距離測定を実行します。このため、同期している必要はありません。



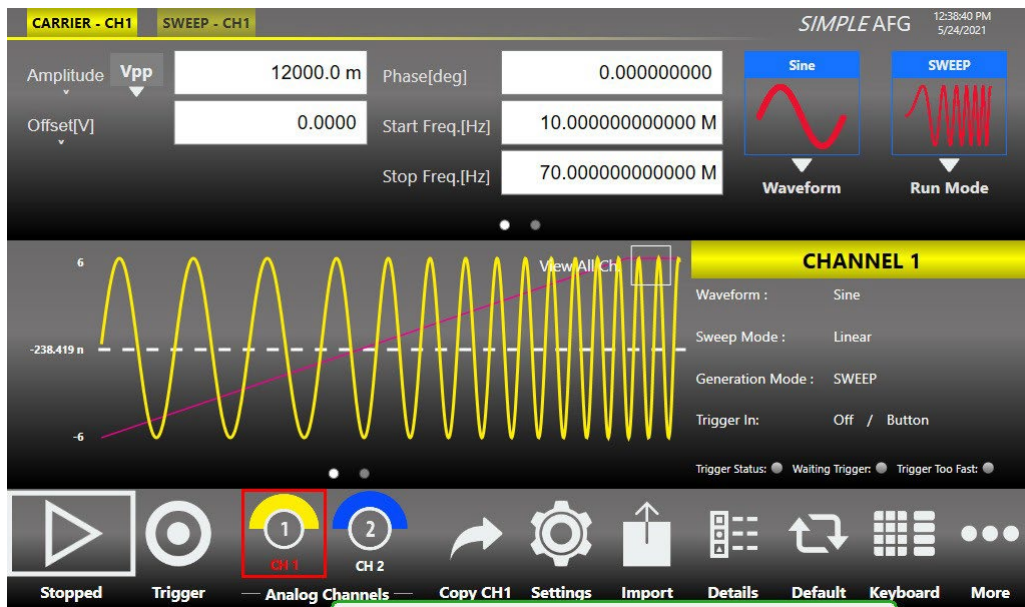


図 32 : AFG の UI Sweep モード

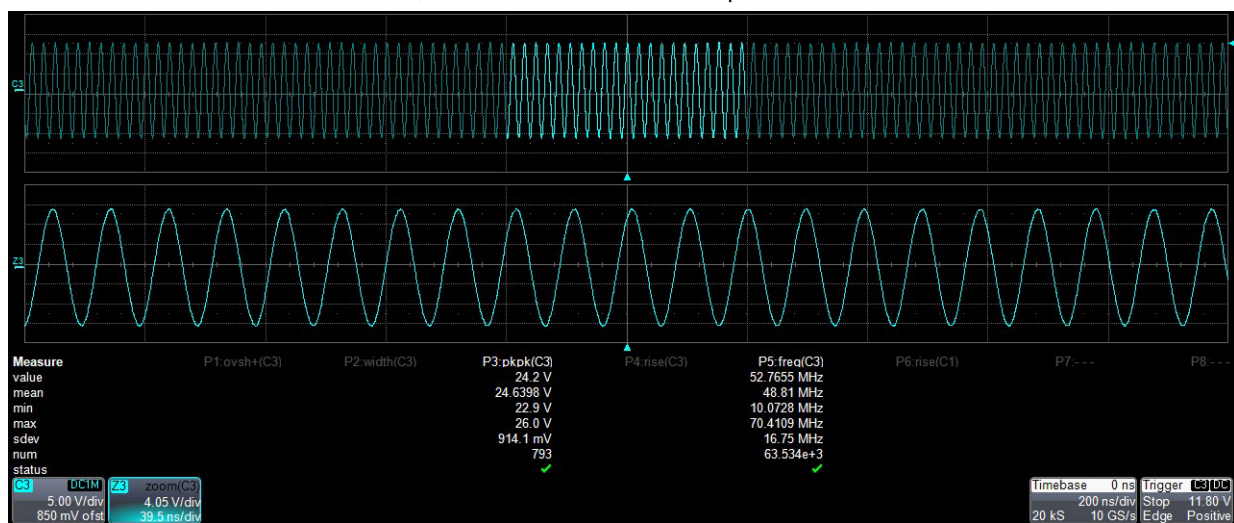


図 33 : 周波数をスイープした正弦波を生成

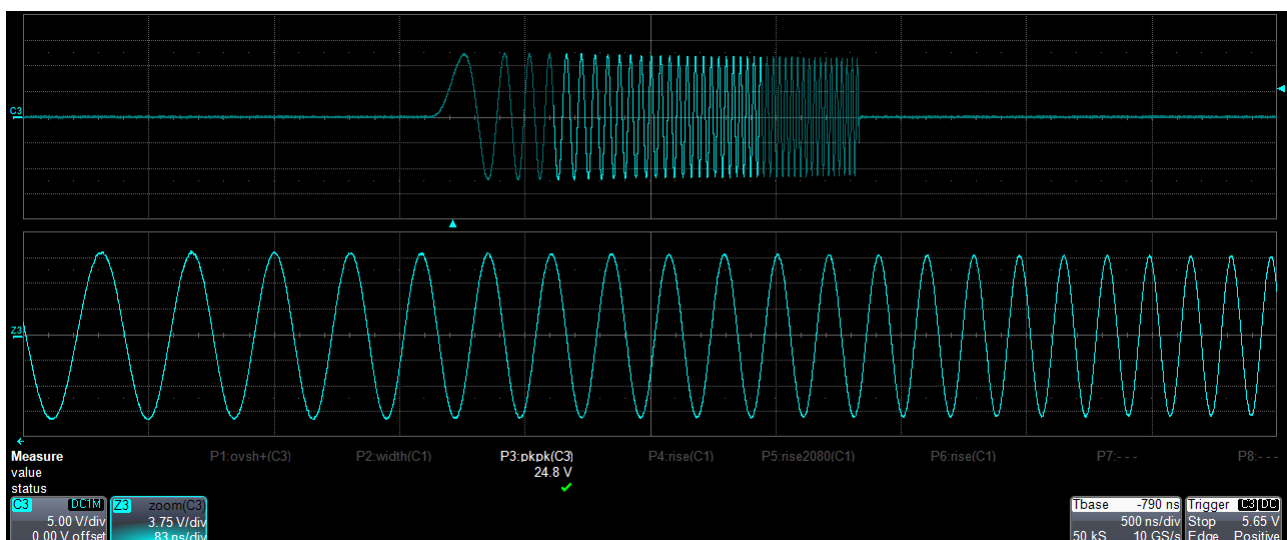


図 34 : 「チャープ」信号を生成

コンクリート内の損傷を検出するための超音波 MEMS

コンクリートやモルタルなどの土木工学の分野においては重要な、材料の損傷の有無を検出するため、過去数十年にわたって、ノンリニアな超音波の技術が開発されてきました。

高電圧信号と組み合わせた高解像度の超音波波形の生成は、サンプルの微細構造内での僅かな変動の検出を可能とし、従来のリニアの超音波技術と比較して、小さな亀裂や損傷した領域の存在を検出するのに適しています。

スロー・ダイナミクス

AWG-4012/14/18 任意信号発生器を使用して、サンプルの一端を励起させます。応答信号はデータ取得用のデジタルオシロスコープを使用して、もう一方の端で検出されます。信号が定常状態に達すると、短い時間間隔で記録されます。

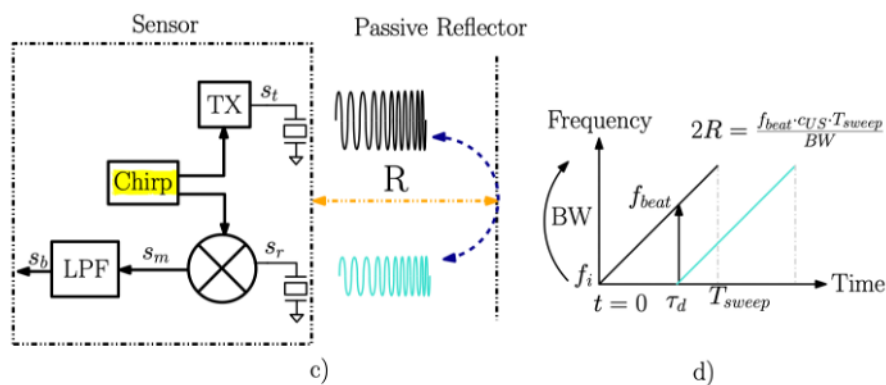


図 35：損傷を検出するための MEMS センサのブロック図

ファスト・ダイナミクス

同じサンプルと実験環境は、高速ダイナミクス効果を検討するためにも使用されます。この場合、ソースの振幅変化に対する手順が異なります。

圧縮波を励起しているため、エッジの信号振幅はサンプルのひずみ振幅に比例します。結果は、同様のサンプルの文献から得られる値と一致しており、材料の軟化とひずみの増加に伴う減衰の増加を示しています。

まとめ

超音波 MEMS センサは、広範囲のアプリケーションに適応することができることから、近年では一般的になっています。

半導体とデジタル画像の企業は、この特定のマーケット・セグメントに対してお金と開発時間を投資しており、2025 年には 60 億 (USD) の市場規模になると予測されています。

AWG-4012/14/18 任意信号発生器は、次世代の超音波 MEMS とその構成部品の開発、試験、および特性評価を行うのに、キーとなるコンポーネントです。

※ 製品を廃棄する場合には、地方自治体の条例・規則に従って廃棄してください。

●製品改良等により、外觀および性能の一部を予告なく変更することがあります。

※ 社名、商品名等は各社の商標または登録商標です。

●お問い合わせは、下記当社営業部および営業所または取次店へお問い合わせください。

●価格は変更の可能性があります。ご注文の際にはご確認を頂きますようお願い申し上げます。

IWATSU
岩崎通信機株式会社

技術的なお問い合わせ フリーダイヤル：

0120-102-389 E-mail: info-tme@iwatsu.co.jp

受付時間 土日祝日を除く営業日の 9:00 ~ 12:00/13:00 ~ 17:00

T&Mカンパニー T&M営業部

URL: <https://www.iwatsu.co.jp/tme>

■計測営業課 〒168-8501 東京都杉並区久我山1-7-41 TEL 03-5370-5474 FAX 03-5370-5492

■アカウント営業課 〒168-8501 東京都杉並区久我山1-7-41 TEL 03-5370-5474 FAX 03-5370-5492

■国際営業課 〒168-8501 東京都杉並区久我山1-7-41 TEL 03-5370-5483 FAX 03-5370-5492

■西日本営業所 〒550-0005 大阪府大阪市西区西本町2-3-6山岡ビル1F TEL 06-6535-9200 FAX 06-6535-9215

■中日本営業所 〒460-0002 愛知県名古屋市中区丸の内3-7-33(アカモビル) TEL 052-228-3834 FAX 052-951-3576