

Akeem Whitehead

**摘要**

本文档介绍了使用 PGA460 开发和优化超声波传感器模块时所需的所有必要设计和环境注意事项。超声波模块在不同温度条件、传输介质、目标和传感器类型中表现不同。因此，构建此类模块需要了解可用于配对的不同超声波组件，以及针对外部因素如何影响最小和最大可检测距离的可行性分析。PGA460 器件可以适应多种用例，并能够提供反馈以根据潜在变化补偿或重新调整系统。

**内容**

<b>1 商标</b> .....	2
<b>2 概述</b> .....	3
<b>3 外部性能因素</b> .....	4
3.1 距离要求.....	4
3.2 可检测目标和物体.....	4
3.3 周围环境.....	5
<b>4 元件选型</b> .....	7
4.1 声纳配置.....	7
4.2 传感器选择.....	7
4.3 驱动器选择.....	7
4.4 无源调谐.....	8
<b>5 PGA460 参数</b> .....	11
5.1 中心频率.....	11
5.2 脉冲计数.....	11
5.3 电流限制.....	12
5.4 时变增益和数字增益.....	12
5.5 阈值.....	13
<b>6 线路末端校准</b> .....	14
6.1 传感器参数.....	14
<b>7 修订历史记录</b> .....	15

**插图清单**

图 3-1. 声压的距离衰减特性.....	4
图 4-1. 声纳配置.....	7
图 4-2. 电压驱动器与声压级间的关系.....	8
图 4-3. 使用分析仪的传感器阻抗增益相位图.....	9
图 4-4. 带有调谐元件的传感器和变压器电气模型.....	9
图 4-5. 可变线圈变压器调谐前后的振铃/衰减时间.....	10
图 5-1. 58.5kHz 传感器谐振频率扫描的回波数据转储.....	11
图 5-2. 脉冲计数从 2 增加到 20 以确定脉冲计数限制.....	11
图 5-3. 电流限值从 50mA 增加到 500mA.....	12
图 5-4. 使用 TVG 和数字增益时的可靠与不良情况示例.....	12
图 5-5. 回波数据转储的相关阈值映射.....	13
图 6-1. 频率诊断时序图.....	14
图 6-2. 声压级作为电压等效值.....	15

## 表格清单

表 3-1. 各种材质的声阻抗.....	5
表 3-2. 声纳横截面比较.....	5
表 3-3. 声纳横截面比较.....	5
表 3-4. 空气中声速随温度变化的情况.....	5

## 1 商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 2 概述

德州仪器 (TI) PGA460 超声波传感器信号调节器充当相关超声波传感器的驱动源和接收放大器。所以，超声波模块在所有应用类型中的表现并不一致，因为超声波模块的有效性主要取决于传感器的特性和外部因素。本应用报告讨论了如何选择适合的所需组件，包括传感器类型、驱动模式和无源调谐器件。选择硬件后，本文档介绍了根据应用的性能要求来配置 PGA460 设置的过程。

### 3 外部性能因素

几个外部因素将决定超声波模块的整体性能。这些因素包括最小所需距离、最大所需距离、目标尺寸、目标材质、目标速度、传感器放置方式、环境噪声、环境温度和環境稳定性。如果不考虑这些因素，用户可能无法以 3:1 的推荐信噪比 (SNR) 检测到预期目标。使用基于 PGA460 的阈值映射时，需要较大的 SNR 才能可靠且重复地检测目标。

#### 3.1 距离要求

首先，考虑最小和最大距离要求。空气耦合超声波传感器测量的常见距离要求包括但不限于 30cm 至 8m 之间的物体检测。短距离测量对于单传感器配置来说是一个挑战，其中传感器同时充当发送和接收元件。由于传感器的谐振行为，残余能量将在激励后立即在传感器内振荡一小段时间。这段短暂的突发后持续时间被称为振铃或衰减时间。衰减时间基于传感器的等效模型、传感器激励的时间和强度、驱动器组件匹配或不匹配的谐振频率（基于变压器的次级漏感）以及谐振频率相对于带通滤波器中心频率的偏移。

节 4.4 介绍了用于提高短距离性能的外部匹配网络补偿设计技术。匹配网络中包含电感、电容和电阻组件，可以在经过优化后减少衰减时间并改善使用超声波传感器可以测量的最短距离。远距离测量不会有大问题，因为在物体检测时衰减曲线通常已经减弱到与本底噪声相同的水平。当使用双传感器（双静态）配置（其中包括一个专门用于发送的单独传感器以及另一个专门用于接收的传感器）时，衰减时间变得不再重要，因为接收传感器仅由返回的超声回波激励。对于距离非常短的物体检测（接近 0cm），建议使用双传感器配置。

远距离检测必须考虑超声波能量在空气中传播时的衰减。衰减率主要取决于频率。传感器频率与最大可检测距离的关系如下：

↑ 频率 :: ↑ 分辨率 :: ↑ 更窄的方向性 :: ↑ 衰减 :: ↓ 距离

超声波能量并非随距离线性衰减。图 3-1 所示为声压随距离和频率的衰减情况。

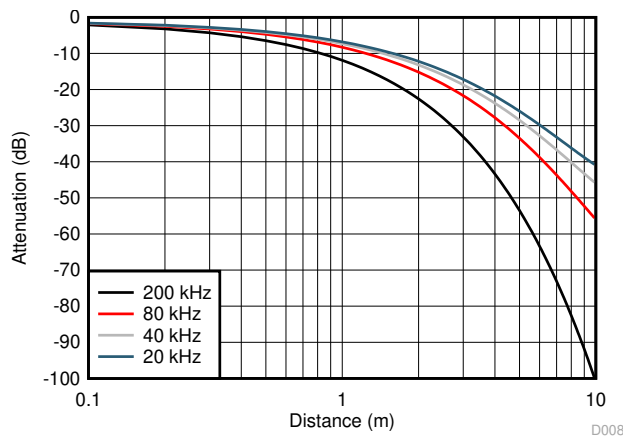


图 3-1. 声压的距离衰减特性

高频传感器的优点包括提高了分辨率和聚焦方向性（前向波束模式），但缺点是衰减增加。超声波能量在通过空气介质传播时发生散射和吸收的速率会随频率而增加，因此最大可检测距离将减小。

#### 3.2 可检测目标和物体

超声回波反射的起始目标类型将影响返回的回波强度。例如，与细小的树相比，大而扁平的钢墙将提供更大的回波。这种差异源于目标的声阻抗、表面粗糙度、方向和最大横截面等综合因素。

声阻抗基于给定材质的密度和声速，对于确定在具有不同声阻抗的两种材质的边界处发生的反射量很重要。空气的声阻抗比大多数液体或固体的声阻抗小四个数量级；因此，基于反射系数的差异，大部分超声波能量会反射到传感器。然而，具有低密度或大量空气间隙的较轻材质（例如海绵、泡沫和松散织物）往往会吸收更多的超声波能量。表 3-1 列举了与空气耦合超声波吸收相关的一些示例材质的特性。

**表 3-1. 各种材质的声阻抗**

材质	密度 (kgm <sup>-3</sup> )	声速 (ms <sup>-1</sup> )	声阻抗 (kgm <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> x 10 <sup>6</sup> )
空气放电	1.3	330	0.000429
海绵	100	750	0.075
脂肪	925	1450	1.38
水	1000	1450	1.45
软组织	1050	1500	1.58
肌肉	1075	1590	1.70
铝	2700	6320	17.1
钢	7800	5900	46.02
铁	7700	5900	45.43
金	19320	3240	62.6

平坦或更光滑的表面会产生更强的反射，而粗糙或起皱的表面会使超声回波向多个方向散射，从而会降低传感器方向的返回强度。与传感器成直角的表面积将提供最大的返回强度。该表面积定义为最大横截面 ( $\sigma$ )，可衡量目标在声纳接收器方向上反射声纳信号的能力，单位为 m<sup>2</sup>，适用于超声波声纳应用和雷达应用。表 3-2 说明了某些目标的声纳横截面如何影响性能。

**表 3-2. 声纳横截面比较**

目标	最大声纳横截面	优势	劣势
球体	$\sigma_{\max} = \pi \times r^2$	非镜面反射	就尺寸而言具有最低的 RCS；同位素辐射
气缸	$\sigma_{\max} = (2 \times \pi \times r \times h^2) / \lambda$	沿径向轴非镜面反射	就尺寸而言具有低 RCS；沿轴镜面反射
扁平矩形板	$\sigma_{\max} = (4 \times \pi \times l^2 \times w^2) / \lambda^2$	就尺寸而言具有最大的 RCS	沿两个轴镜面反射；难以对齐

根据目标，声纳横截面可以根据大小和方向进行平均，从而确定入射功率的反射部分（单位为声压）。表 3-3 列出了与声纳横截面相关的示例目标，因为它们等同于点状目标，旨在说明目标强度的影响。

**表 3-3. 声纳横截面比较**

目标	声纳横截面 (dB)
啮齿动物	-20
人体	0
汽车	20
卡车	25
角反射器	40

### 3.3 周围环境

和传感器的可变并联负载一样，温度、湿度和气压的变化会影响声速和传感器传输阻抗特性。温度对超声波传感器的性能影响最大。声音和热量都属于动能形式，因此温度升高会导致分子振动速率增加。由于分子振动会出现波动，声波能够以 300m/s 至 400m/s 的速度传播。使用方程式 1 可计算出空气中的声速 (v) 与温度 (T) 的相关性。

$$v = 331\text{m/s} + 0.6\text{m/s/}^\circ\text{C} \times T \tag{1}$$

表 3-4 所示为声速随温度变化的情况。

**表 3-4. 空气中声速随温度变化的情况**

温度 (°C)	声速 (m/s)
-40	307
-30	313

表 3-4. 空气中声速随温度变化的情况 (continued)

温度 (°C)	声速 (m/s)
- 20	319
- 10	325
0	331
10	337
20	343
30	349
40	355
50	361
60	367
70	373
80	379
90	385
100	391
110	397
120	403

在转换基于超声波飞行时间的回波的往返时间时，为了防止与目标等效的距离误差达到  $\pm 15\text{cm}$ ，必须考虑声速。

传感器的谐振频率随着温度升高而降低。因此，为了补偿相位发生变化的影响，必须以偏移频率驱动传感器，或者必须在超过特定温度时引入外部无源器件，从而将谐振重新调谐到标称频率。PGA460 器件提供了温度去耦模式，能够在温度超出用户指定的值时引入与传感器并联的额外无源器件。

## 4 元件选型

考虑了环境因素后，需要选择声纳配置、超声波传感器类型、传感器频率和驱动器模式。

### 4.1 声纳配置

空气耦合超声波传感器可用于从汽车泊车辅助和自主机器人到纸张计数和房间占用检测等的各种应用。超声波测量最基本的方法是使用单静态配置进行线性飞行时间测距。这种测量需要将单个传感器用作发送器和接收器。由于振铃/衰减时间，单静态配置对最小可检测距离有限制，同时，由于变压器或驱动器电路的负载谐振效应，对最大可检测距离也有限制。

为了改善最小和最大距离要求，需要使用双静态配置将发送和接收功能分离到两个独立的传感器中。双静态选项支持接近 0cm 的检测，特别是在接收传感器与发送传感器相比为凹入状态的情况下。对于角度定向、跟踪和三角测量，需要三个或更多超声波传感器，每个传感器都与一个独立的 PGA460 器件配对。单个 PGA460 器件可以支持单静态或双静态配置以实现单一目的。图 4-1 显示了单静态和双静态配置的示例。

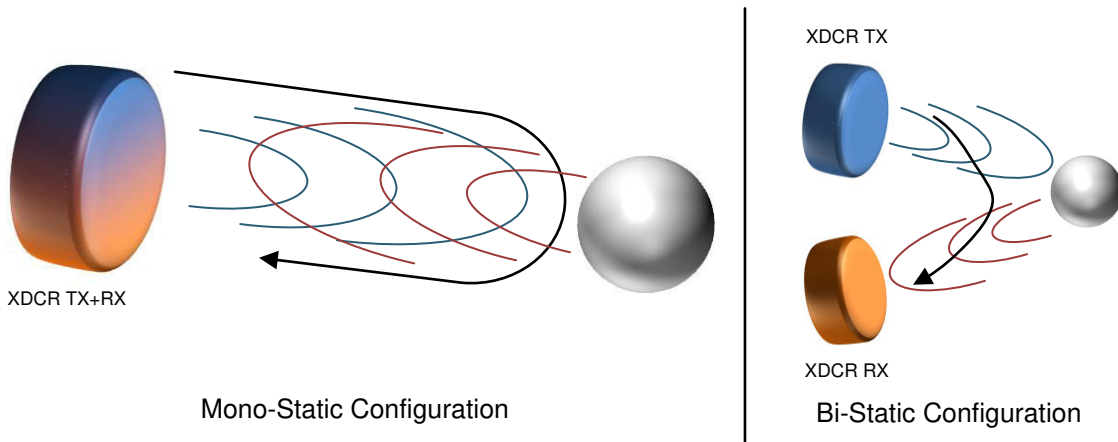


图 4-1. 声纳配置

### 4.2 传感器选择

选择传感器时，最初需要考虑运行环境。如果传感器模块将暴露在室外，放置在忙碌的仓库或生产车间中，或者会经常发生移动，例如环境中存在水滴、脏污或飞尘，则建议使用闭顶式或闭面式传感器。闭顶式传感器通常是密封的，可以防止压电膜遭到环境碎屑或外来颗粒物损坏，并且能够承受更宽的温度范围。由于闭顶式传感器有额外的保护开销，必须用平均达 100V<sub>PP</sub> 的正弦电压激励来压电膜。如果不需要保护开销，并且传感器将在受控的室内环境中运行，则可以使用开顶式传感器作为替代方案。开顶式传感器能够提高驱动器和接收器的灵敏度，因为压电膜直接暴露在空气中，并且传感器表面存在较少的声阻抗失配问题。开顶式传感器的驱动电压要求通常可降低 9/10，平均为 10V<sub>PP</sub>。

### 4.3 驱动器选择

传感器需要一个正弦波或方波电压驱动器，以在指定的谐振频率下正确激励用于振荡的压电膜。开顶式和闭顶式空气耦合传感器的种类繁多，因此最大驱动电压规格通常介于 5V<sub>PP</sub> 到 200V<sub>PP</sub> 之间。当需要尽可能增大为远距离测量产生的声压级 (SPL) 时，驱动电压规格是重要的考虑因素。SPL 定义为声音的有效声压或 RMS 声压相对于听力参考值阈值的对数度量值，以分贝 (dB) 为单位。在最大驱动电压规格下，传感器能够产生的 SPL 量会饱和，因此驱动超过最大驱动规格的传感器不会产生额外增益。图 4-2 所示为驱动电压和可传输 SPL 之间的典型关系。

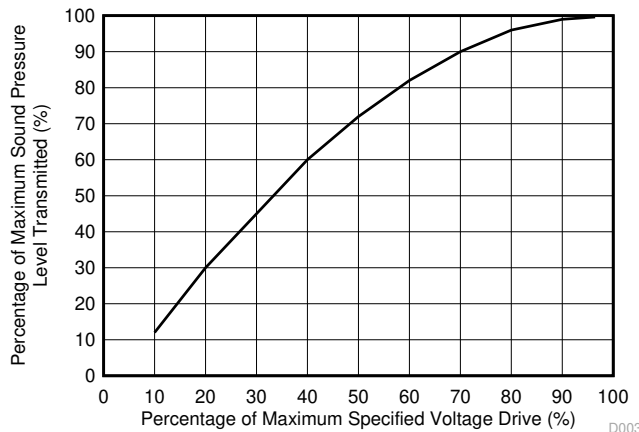


图 4-2. 电压驱动器与声压级间的关系

为了能够为闭顶式传感器产生平均达  $100V_{PP}$  的大型驱动电压，单端或中心抽头变压器通常与传感器配对，使初级与次级匝数比可作为 10 倍乘数。该比值是假设 PGA460 电源电压为 6V 至 18V 直流电压时的常见匝数比。变压器驱动器模式可在次级将低压直流基准放大为正弦波形。如果开顶式传感器需要平均达  $10V_{PP}$  的较小驱动电压，则可将变压器替换为使用半桥或全桥驱动器配置的直接驱动器。直接驱动器模式允许 PGA460 器件和传感器参考相同的电源电压，而无需任何升压电路来激励传感器。PGA460 器件只能在半桥模式下使用单静态配置。全桥模式仅在使用 PGA460 器件时在双静态配置中兼容。在短距离到中等距离应用中可以直接驱动闭顶式传感器，但这些传感器在远距离应用中不会生成大量的可传输 SPL。

#### 4.4 无源调谐

在为短距离测量优化超声波模块时，必须考虑传感器和变压器建模，以尽可能缩短单静态配置的振铃/衰减时间。

##### 4.4.1 阻抗增益相位分析仪

阻抗增益相位分析仪是一种仪器，它能够扫描传感器的频率并根据阻抗 ( $\Omega$ ) 和相位 ( $^\circ$ ) 绘制相应的图。此仪器的一个示例是 HP 4194A 阻抗增益相位分析仪。当具备 Butterworth-Van Dyke (BVD) 模型时，可以根据这些图推断出传感器的等效电路。BVD 参数拟合是一些分析仪的内置功能，或者可以使用数值计算环境（例如 MATLAB）进行拟合。

图 4-3 中的示例显示了将传感器从 35kHz 扫描到 70kHz 的分析仪图。相角峰值（红色）表示传感器的谐振中心频率。阻抗（紫色）对应于传感器的电抗分量或电感和电容特性。在谐振时，电流和电压同相，使得相角为  $0^\circ$ ，也就是观察到的上升阻抗斜率中点。



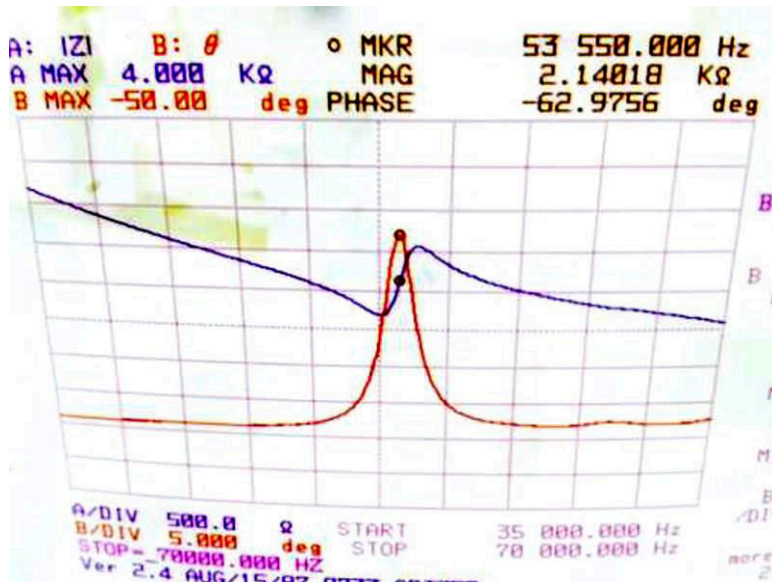


图 4-3. 使用分析仪的传感器阻抗增益相位图

#### 4.4.2 调谐电容器

使用变压器驱动模式时，变压器的等效电路会引入额外的寄生效应。对性能影响最大的寄生特性是变压器的次级侧漏感 ( $L_{SEC}$ )。传感器在单频下的谐振效率最高。例如，无法以 20kHz、30kHz 或 50kHz 驱动 40kHz 传感器；谐振频率出现任何漂移都会导致 SPL 损失。当将串联电感引入传感器时，驱动频率、传感器等效 BVD 模型以及有效和预期接收频率都将不匹配。为了使变压器的次级电感与传感器的谐振频率相匹配，需要在传感器上并联一个调谐电容器 ( $C_{TUNE}$ ) (请参阅图 4-4)。

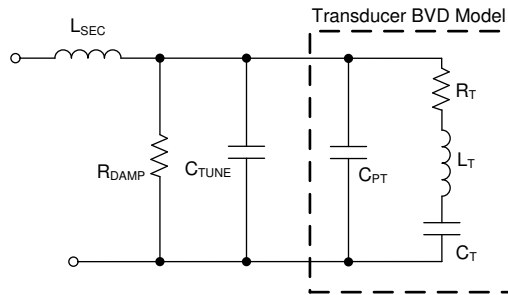


图 4-4. 带有调谐元件的传感器和变压器电气模型

可使用方程式 2 计算  $C_{TUNE}$  的值。

$$C_{TUNE} = \frac{C_T \times L_T}{L_{SEC}} - C_{PT} \quad (2)$$

如果调谐电容器太大，衰减系数会显著增加。调谐电容的典型值范围为 100pF 至 2000pF。以半桥配置和全桥配置来驱动传感器时，谐振主要取决于传感器，因此不需要使用调谐电容器。

#### 4.4.3 阻尼电阻

阻尼电阻 ( $R_{DAMP}$ ) 是与传感器并联的电阻，有助于减少振铃/衰减时间，不会损害驱动器强度，因此可以更大限度地进行远距离测量。阻尼电阻可以在后励磁时立即作为泄放电阻使变压器驱动模式和电桥驱动模式受益。阻尼电阻在突发和接收段期间对传感器有即时负载影响，因此建议在所有单静态配置中均使用阻尼电阻。由于传感器组件的复杂性和数量，优化  $R_{DAMP}$  的值目前是通过反复试错来监测衰减曲线的任意过程。鉴于  $R_{DAMP}$  的值范围为 500  $\Omega$  至 25k  $\Omega$ ，TI 建议使用电位器来扫描和微调特定传感器、驱动器和组件组合的值。

#### 4.4.4 可调变压器

除了附加的调谐电容器之外，可变线圈变压器还提供了进一步调谐变压器次级侧电感的能力。可调变压器可通过螺旋式变压器的顶部凹槽进行调整，这对于需要优化短距离性能的系统特别有用。若要观察变压器的调谐效果，必须监测振铃/衰减曲线或低噪声放大器输出。图 4-5 显示了在调谐变压器以实现  $-600\mu\text{s}$  (+10cm) 改进之前和之后的传感器振铃/衰减曲线。

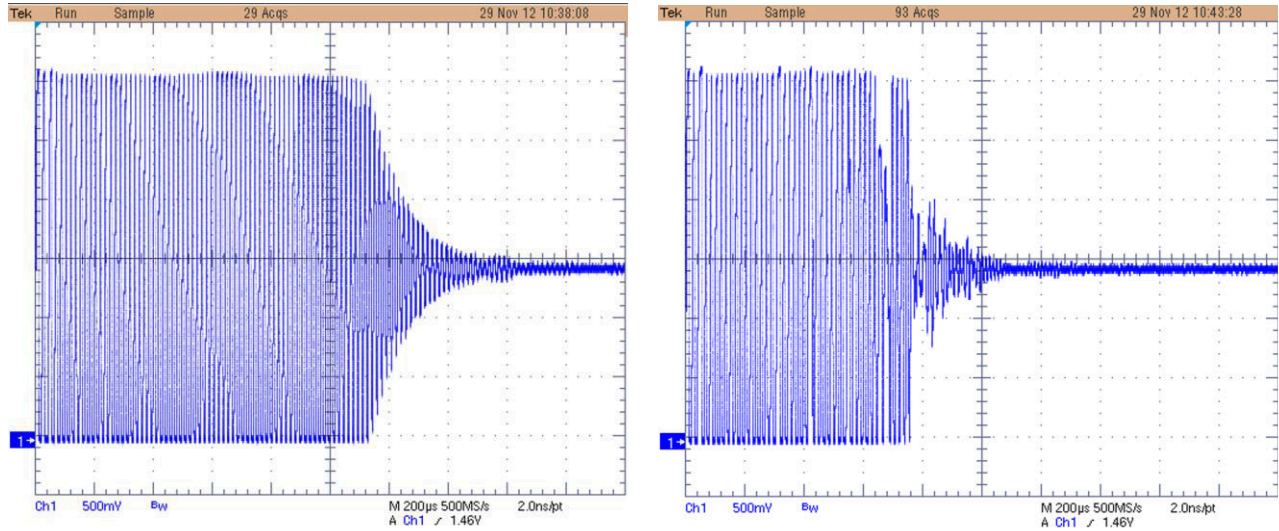


图 4-5. 可变线圈变压器调谐前后的振铃/衰减时间

## 5 PGA460 参数

当所有参数都由软件控制和验证时，优化将是最具成本效益的方法且耗时极少。由于集成了 PGA460 器件的所有重要运行参数，可实现基于软件的性能扫描和自动化模块表征。本部分按照从最重要到最不重要的顺序列出了 PGA460 寄存器和参数。本部分中使用的超声波模块示例假设使用的是 Murata MA58MF14-7N 闭顶式传感器和 EPCOS B78416A2232A003 固定中心抽头变压器，且电压基准为 12V 直流电压。

### 5.1 中心频率

脉冲的生成由突发控制逻辑电路实现，脉冲频率可配置为 30kHz 至 80kHz (分 251 步) 或 180kHz 至 480kHz，并通过 PGA460 EEPROM 中的 FREQ 位进行配置。在分辨率步长为 200Hz 时，如果传感器在其容差规格范围内接受扫描，则可以找出最佳谐振频率。

图 5-1 中的示例显示了在标称 58.5kHz 传感器的  $\pm 2\text{kHz}$  单增量扫描范围内每个频率值下执行突发和监听循环时允许的返回峰值幅度变化大小。在此示例中，58.6kHz 的频率产生了最佳的峰值结果，且未使衰减时间延长。

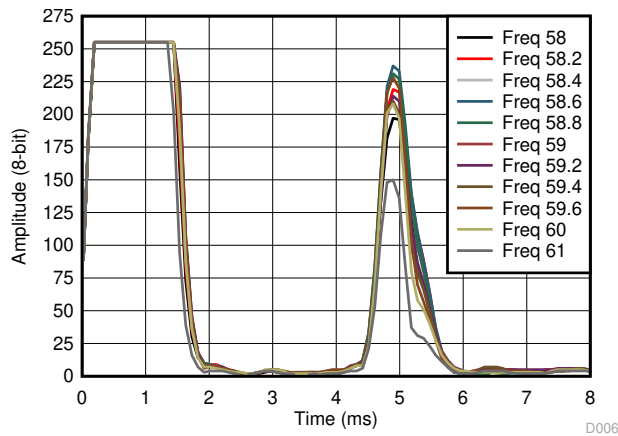


图 5-1. 58.5kHz 传感器谐振频率扫描的回波数据转储

### 5.2 脉冲计数

在大脉冲计数和短振铃/衰减周期之间存在着相互折衷。脉冲计数值越大，传感器激励长度越长，需要的能量越多，传感器释放时的振铃时间也就越长。结果，检测短距离物体变得困难。然而，如果短距离检测不是问题，那么优化传感器的 SPL 饱和点将有助于长期节能。传感器本身并不能通过超出驱动电压或脉冲计数规格而无限产生更多的声压级。相反，如果传感器供过于求和过度激励，则传感器特性会发生变化，并且使用寿命会缩短。

图 5-2 中的示例显示了传感器的 SPL 会在哪个点由于脉冲计数而饱和。对于示例中的这个特定传感器，峰值幅度的改善没有超过 20 个脉冲。根据传感器数据表中的规格，该传感器每个突发周期的脉冲不应超过 20 次。

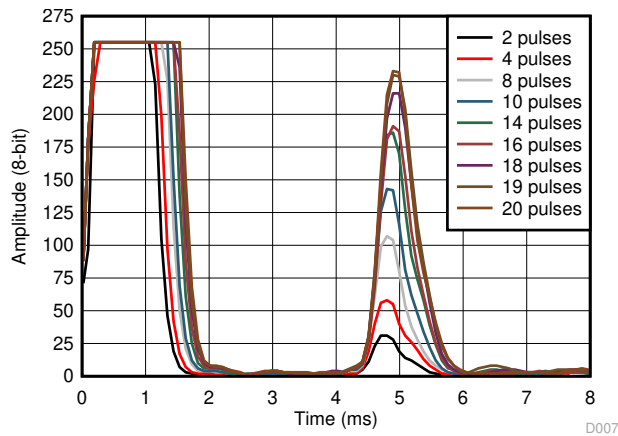


图 5-2. 脉冲计数从 2 增加到 20 以确定脉冲计数限制

### 5.3 电流限制

电流限制与变压器驱动模块更为相关，因为与电桥驱动模式相比，变压器驱动解决方案通常需要更高的驱动电流流过初级绕组。然而，电流限制仍然会对形成的最大声压级产生影响，具体取决于与电桥驱动解决方案配对的传感器。

图 5-3 中的示例表明，变压器驱动解决方案对电流限制非常敏感，接近 PGA460 器件提供的 450mA 至 500mA 的最大限值。较小的电流限值也会产生较短的衰减时间，因此优势就是对于中短距离的评估可以提供中等程度的电流限制。

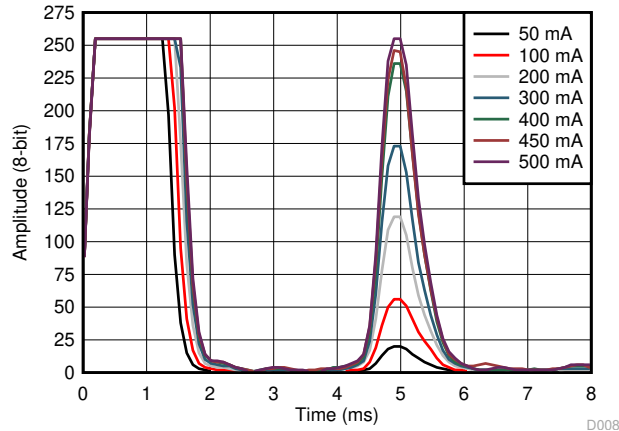
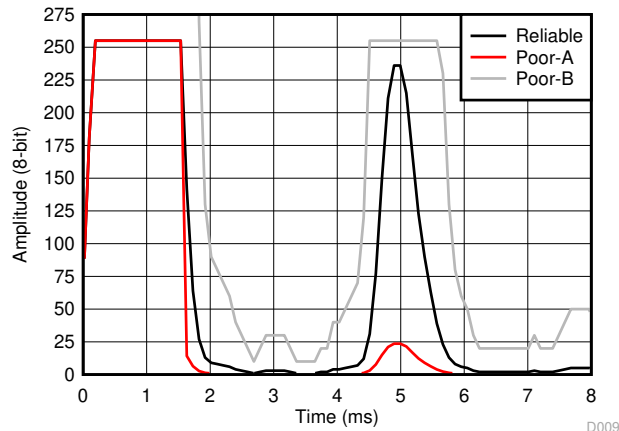


图 5-3. 电流限值从 50mA 增加到 500mA

### 5.4 时变增益和数字增益

实现增益特征时应确保使峰值回波接近饱和而不截断峰值。此实现方式可确保捕获最大 SNR，从而以最大粒度设置阈值时序和水平。增益特征不一定会增强 SNR，而是会将回波数据转储结果按比例缩放。

图 5-4 中的示例比较了可靠的回波数据转储输出与两个不太良好的输出。



**RELIABLE**

峰值回波幅度接近饱和。正确缩放的 SNR 为 3:1。

**POOR-A**

回波幅度太低，因为时变增益太低且没有应用数字增益。

**POOR-B**

饱和峰值会钳制幅度并有效降低 SNR。还会增加衰减时间。

图 5-4. 使用 TVG 和数字增益时的可靠与不良情况示例

时变增益应随时间的推移而更激进地升高和降低，从而补偿声音的衰减。借助数字增益乘法器来缩放中远距离回波。

## 5.5 阈值

设置阈值是进行优化的最重要功能，这样就不会有误报或噪声瞬态促使器件计算不必要信号的距离、幅度和宽度，而且还将确保提供足够的余量以保证能够识别来自目标对象的最坏情况（弱）反射。默认情况下以及对于初始评估，TI 建议将阈值设置为回波平均峰值的 50%。

图 5-5 中的示例显示了如何设置阈值以获得可靠的回波数据转储。本底噪声最大值为 24 且回波峰值为 236 时，50% 的段处于 130。超声波测量结果对应于在回波数据转储曲线上计算和观察到的实际距离。

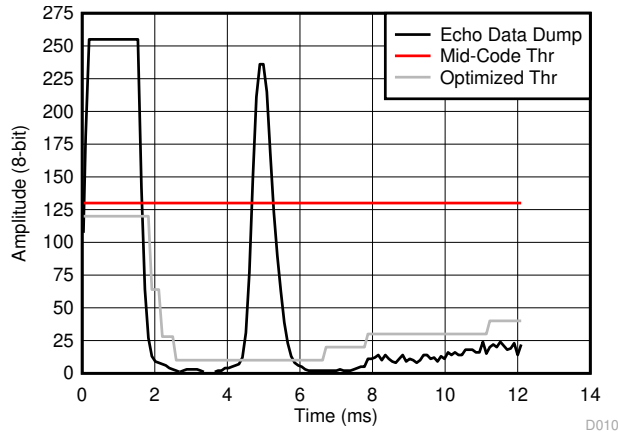


图 5-5. 回波数据转储的相关阈值映射

阈值设置得越接近回波基点，结果就越稳定和准确；然而，这也会增加误报的风险，除非已知噪声是稳定的、可控的或可重复的。

## 6 线路末端校准

每个元件的公差范围都是独立的，因此 PGA460、超声波传感器和变压器的组合会改变传感器模块的性能。所以，每个模块的发送声压级和接收灵敏度可能不相同，并很可能导致在可检测的最小和最大距离中出现性能损失。为了避免这种性能损失，并识别有缺陷的模块，可以对每个元件应用功能测试和调谐程序。

### 6.1 传感器参数

本次讨论将以单个传感器的校准为例，但这些技术也适用于双静态配置。

#### 6.1.1 最优频率和声压级测量

在给定温度下，传感器谐振频率与标称频率的容差通常为  $\pm 5\%$  或  $\pm 2\text{kHz}$ 。若要测量传感器的谐振频率，可以使用两种方法：PGA460 频率诊断和外部麦克风测量。

##### 6.1.1.1 PGA460 的频率诊断功能

PGA460 器件具有测量传感器振铃/衰减频率的功能。用户可以设置频率测量的开始时间 (FDIAG\_START) 和窗口长度 (FDIAG\_LEN)，从而验证传感器的性能和调谐是否正确。此外，在 PGA460 器件中实现了频率误差功能，用于表示测得的传感器频率超出 FDIAG\_ERR\_TH 阈值参数设定的限制。测得的频率和误差状态均可以通过任何接口选项读取。

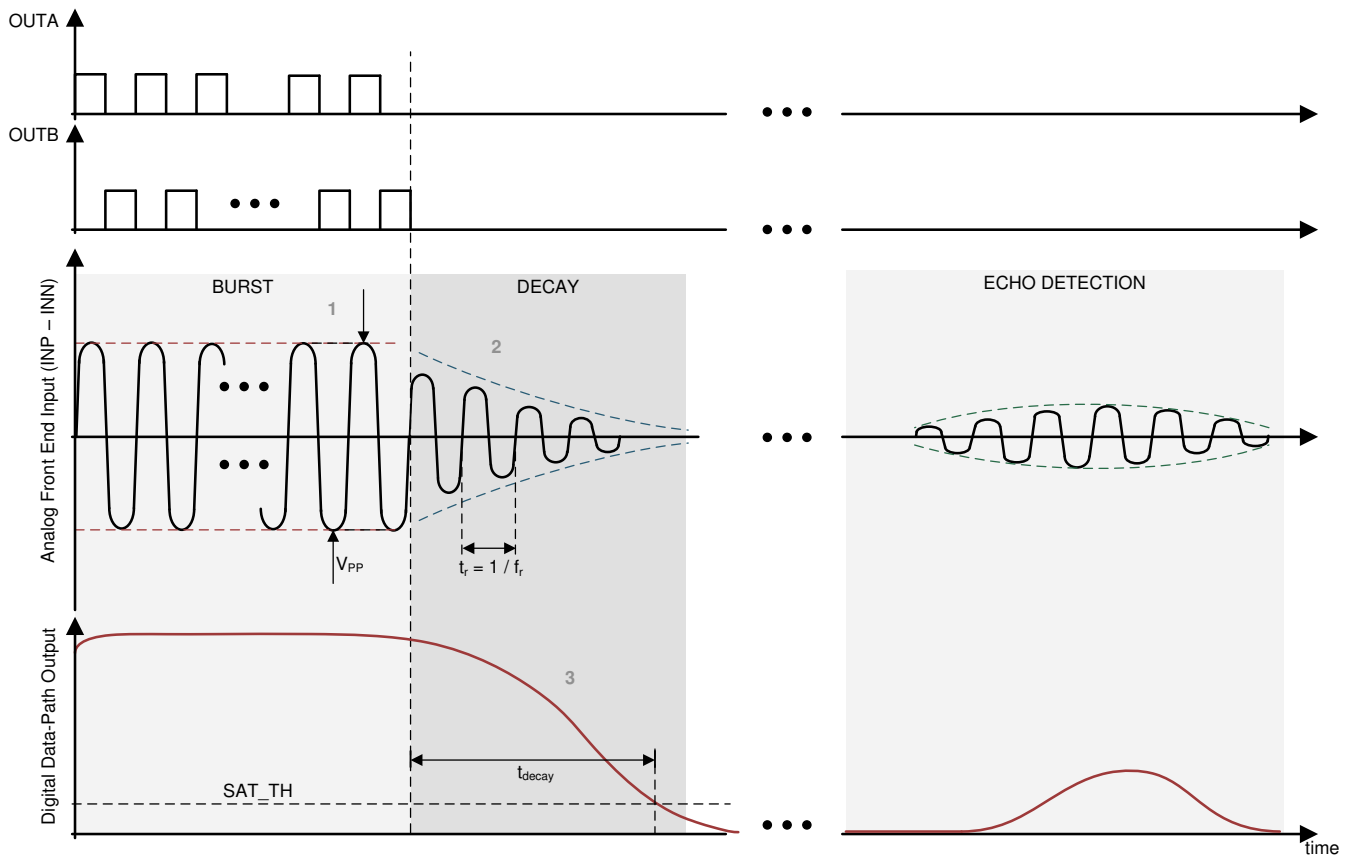


图 6-1. 频率诊断时序图

##### 6.1.1.2 外部麦克风

若要同时监测发射频率和传感器 SPL 幅度，必须使用外部麦克风（例如 G.R.A.S.46BF 自由场麦克风）以及示波器。若要将峰-峰值 SPL 从电压转换为 dB，请使用 [方程式 3](#) 和 [方程式 4](#)。

$$\text{SPL Pa} = V_{\text{Measured}} \text{ mV}_{\text{RMS}} / 3.4\text{mV} \quad (3)$$

$$\text{SPL dB} = 20 \times \log_{10} (\text{SPL Pa} / P_0) \quad (4)$$

其中

- $P_O$  为  $20\mu\text{Pa}$  的参考声压

在图 6-2 的示例中，绿色波形表示传感器两端的驱动电压，紫色波形表示外部麦克风在 30cm 处捕获的超声回波。使用这种方法能够监测频率和 dB 等效值。

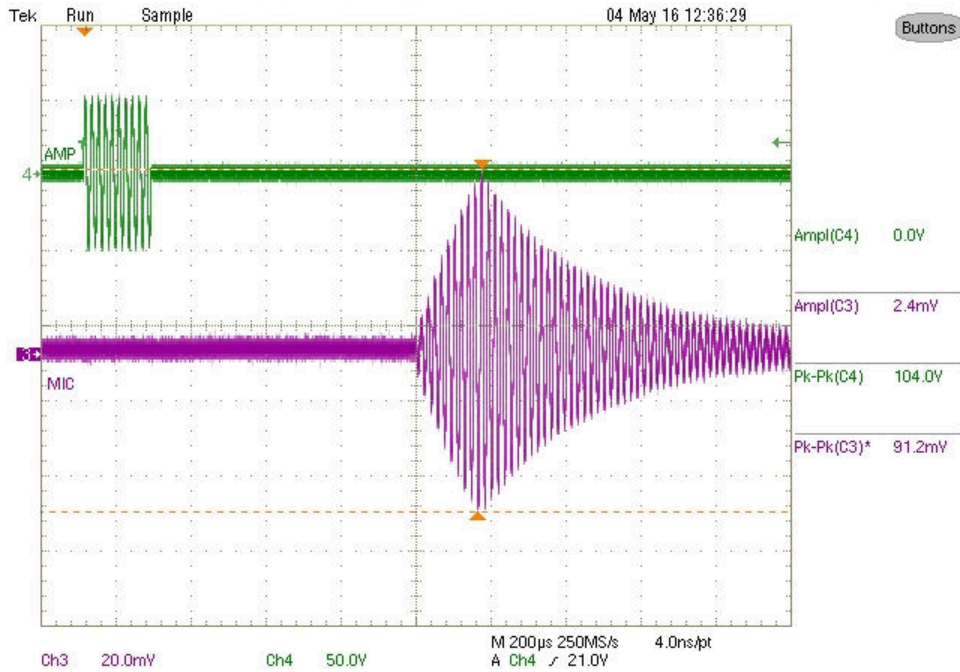


图 6-2. 声压级作为电压等效值

## 7 修订历史记录

注：以前版本的页码可能与当前版本的页码不同

### Changes from Revision \* (February 2017) to Revision A (April 2021)

Page

- 更新了“声纳配置”图.....7

## 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 © 2022，德州仪器 (TI) 公司