



## 추상

이 애플리케이션 보고서에서는 TI의 BAW 기술, 독립형 오실레이터를 만들기 위한 BAW 공진기와 오실레이터의 통합, 쿼츠 오실레이터를 통해 BAW 오실레이터를 사용할 때의 이점에 대해 자세히 설명합니다. 쿼츠 오실레이터와 비교했을 때 BAW 오실레이터의 주요 이점으로는 향상된 유연성, 향상된 온도 안정성, 향상된 지터 성능, 전원 공급 장치의 잡음 내성 향상, 매우 향상된 진동 안정성, 그리고 훨씬 더 뛰어난 충격 성능 등이 있습니다.

## 목차

1 머리말.....	2
2 BAW 기술 개요.....	2
3 BAW 오실레이터 통합.....	2
4 크리스탈 오실레이터.....	3
5 LMK6C/D/P/H BAW 오실레이터와 쿼츠 오실레이터의 비교 요약.....	5
5.1 유연성.....	5
5.2 온도 안정성.....	6
5.3 위상 잡음 성능.....	6
5.4 전원 공급 장치 잡음 내성.....	7
5.5 기계적 견고성.....	8
6 결론.....	10

## 그림

그림 3-1. BAW 및 베이스 다이 통합.....	2
그림 3-2. LMK6C/D/P/H BAW 오실레이터 블록 다이어그램.....	3
그림 4-1. SPXO 크리스탈 오실레이터 블록 다이어그램.....	3
그림 4-2. PLL 블록 다이어그램이 있는 크리스탈 오실레이터.....	3
그림 5-1. BAW 오실레이터 주파수 안정성 과열.....	6
그림 5-2. LMK6P/D/H BAW 오실레이터 차동 위상 잡음 성능(정규화).....	6
그림 5-3. LMK6C BAW 오실레이터 단일 종단 위상 잡음 성능(정규화).....	7
그림 5-4. 1500g에서 LMKD/P/H 충격 효과.....	8
그림 5-5. 1500g에서 LMK6C 충격 효과.....	9
그림 5-6. LMK6C/D/P/H BAW 오실레이터와 쿼츠 오실레이터의 진동 감도.....	9
그림 5-7. LMK6P/D/H 차동 노화.....	10
그림 5-8. LMK6C 단일 종단 노화.....	10

## 상표

모든 상표는 해당 소유권자의 자산입니다.

## 1 머리말

쿼츠 크리스털 오실레이터(XO)는 1920년대에 발명된 이후 한 세기 넘게 타이밍 레퍼런스 시장을 지배해 왔습니다. 이러한 크리스털 오실레이터는 저가형(실시간 클럭)부터 고급형(복잡한 라디오, GPS, 군사/항공) 애플리케이션까지 광범위한 제품에서 유용성을 발견했습니다. 지난 수십 년 동안 모바일 통신과 새롭게 떠오르는 IoT(사물 인터넷) 시장은 쿼츠 크리스탈과 유사하거나 더 나은 성능을 유지하면서 손쉬운 통합을 위해 더 작은 폼 팩터로 더 낮은 전력을 소비하는 새로운 공진기 기술에 대한 검색을 주도했습니다. 다양한 유형의 마이크로 공진기 기술을 활용하는 몇 가지 독립형 오실레이터 제품이 지난 10년 동안 소비자 시장에 출시되었습니다. 텍사스 인스트루먼트는 2012년부터 고급 타이밍 애플리케이션을 목표로 하는 자체 벌크 탄생 파(BAW) 공진기 기술 개발을 시작했고, 업계 최고의 성능 지터 클리너(LMK05318 제품군)와 2018년부터 세계 최초로 상용화된 크리스탈리스 BLE 라디오(CC2652RB 제품군)를 비롯한 몇 가지 시스템 제품을 출시했습니다. TI는 이러한 장치의 대량 생산 환경을 활용하여 이제 BAW 기반 독립형 오실레이터 제품을 출시하고 있습니다.

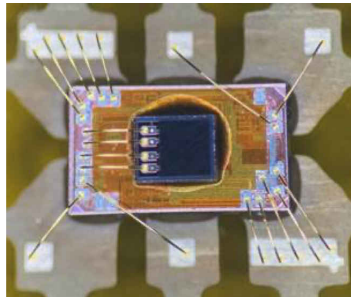
## 2 BAW 기술 개요

TI의 BAW 공진기 기술은 압전 변환을 활용하여 2.5GHz에서 높은 Q 공진을 생성합니다. 공진기는 상부 전극과 하부 전극에 의해 오버레이된 사변형 영역에 의해 정의됩니다. 고음향 임피던스 레이어와 저음향 임피던스 레이어가 번갈아 가며 공진체 아래에 음향 미러를 형성하여 기관으로 음향 에너지가 누출되는 것을 방지합니다. 또한 이러한 음향 미러는 공진기 스택 상단에 배치되어 오염으로부터 장치를 보호하고 패키지 재료로의 에너지 누출을 최소화합니다. 이 독특한 DBAR(듀얼 브래그 음향 공진기)은 공진기 주변의 값비싼 진공 캐비티 없이도 효율적인 여자를 가능하게 합니다. 결과적으로 TI의 BAW 공진기는 표면 오염 물질의 흡착으로 인한 주파수 드리프트에 영향을 받지 않으며 표준 오실레이터 풋프린트(3.2mm × 2.5mm 및 2.5mm × 2.0mm)의 오실레이터 회로와 함께 밀폐 플라스틱 패키지에 직접 배치할 수 있습니다.

## 3 BAW 오실레이터 통합

LMK6C/D/P/H에는 BAW 공진기, FOD(분수 출력 분할기) 및 출력 드라이버가 포함되어 있어 이 셋이 함께 사전 프로그래밍된 출력 주파수를 생성합니다. 진동 주파수의 온도 변화는 내부 정밀 온도 센서에 의해 지속적으로 모니터링되며 주파수 제어 로직 블록에 대한 입력으로 제공됩니다. 이 주파수 제어 로직 블록을 사용하면 내부적으로 주파수 보정이 수행되어 온도 범위 및 노화에 걸쳐 출력 주파수를  $\pm 25\text{ppm}$  이내로 유지합니다. 출력 드라이버는 단일 종단 LVCMOS 및 차동 LVPECL, LVDS 및 HCSL 출력 형식을 모두 제공할 수 있습니다. 또한 이 장치에는 전원 공급 장치의 잡음을 줄이는 내부 LDO가 포함되어 있어 저잡음 클럭 출력을 낮춥니다.

**그림 3-1**에는 BAW 오실레이터의 프리 몰드 통합이 나와 있습니다. BAW 오실레이터는 FOD, LDO 및 온도 센서와 같은 추가 IC 회로와 BAW 공진기 다이를 포함하는 기본 다이가 포함되어 있습니다. WLP(웨이퍼 레벨 패키지)는 진동 및 충격 내성 및 추가 응력 격리 측면에서 장치 안정성을 높이는 데 사용됩니다.



**그림 3-1. BAW 및 베이스 다이 통합**

그 결과 대체 제품과의 핀 대 핀 호환이 가능한 간단한 4핀(단일 종단 LVCMOS) 또는 6핀(차동, LVPECL, LVDS, HCSL) 산업 표준 3.2mm × 2.5mm 또는 2.5mm × 2.0mm 패키지로 드롭 인 교체가 가능합니다.

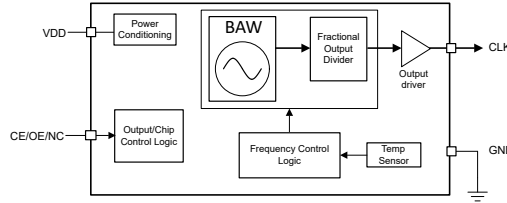


그림 3-2. LMK6C/D/P/H BAW 오실레이터 블록 다이어그램

#### 4 크리스탈 오실레이터

쿼츠 공명기는 독립형 오실레이터 장치를 만들기 위해 두 가지 방법으로 통합되며, 이러한 방법에는 각각의 장점과 단점이 있습니다. 첫 번째 방법은 크리스탈 공진기와 진동 회로를 결합하고 출력 드라이버를 추가하여 다양한 출력 유형을 지원하는 것입니다. 이 방법을 보통 '간단한 패키지 오실레이터'의 줄임말로 SPXO라고 합니다.

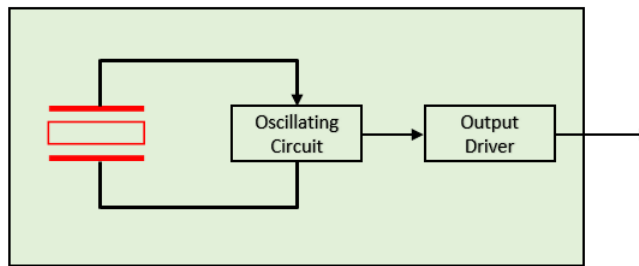


그림 4-1. SPXO 크리스탈 오실레이터 블록 다이어그램

이는 우아한 솔루션이 될 수 있고 단순성, 작은 패키지, 빠른 시작 시간(보정이 필요 없으므로)을 제공하지만 지원할 수 있는 주파수는 매우 제한적입니다. 주파수 지원은 사용되는 쿼츠 크리스탈에 따라 달라집니다. 해당 포스트 어셈블리를 변경할 수 있는 기능이 없기 때문에 다른 출력 주파수를 지원하려면 다른 크리스탈을 패키지에 조립해야 합니다. 또한 크리스탈 공진기 주파수는 크리스탈의 두께에 반비례하므로 ~50MHz 이상의 기본 주파수에서 작동하는 크리스탈 공진기는 취급 및 제조가 매우 어렵기 때문에 희귀합니다. 보다 가능성이 높은 해결책은 기본 주파수의 홀수 오버톤(예: 3차 오버톤)에서 작동하는 것입니다. 이렇게 하면 기본 주파수의 3배로 작동합니다. 크리스탈이 세 번째 오버톤에서 작동할 때 저항은 기본 수치의 약 3배인 반면, 커패시턴스는 거의 9배 더 적으며, 두 변화 모두 Q 및 크리스탈 튜닝 기능에 큰 영향을 미칩니다.

크리스탈 통합의 또 다른 방법은 크리스탈을 훨씬 더 높은 주파수(일반적으로 GHz)에서 작동하는 VCO가 있는 PLL 루프에 대한 레퍼런스로서 사용하는 것입니다. 이 GHz 주파수에서 간단한 분할기 및 출력 드라이버는 특정 출력 유형에 필요한 특정 출력 주파수를 제공할 수 있습니다. PLL 또는 출력 분할기에 분수 엔진을 추가하여 단일 IC에서 지원하는 주파수 수를 늘릴 수 있습니다. 이러한 크리스탈 오실레이터에는 간단한 레지스터 프로그래밍을 위한 통신 프로토콜(I2C 또는 SPI)이 있습니다.

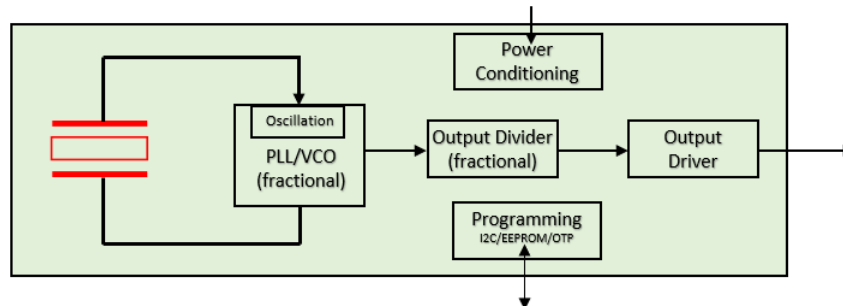


그림 4-2. PLL 블록 다이어그램이 있는 크리스탈 오실레이터

이 솔루션은 하나의 실리콘으로 모든 주파수를 지원하는 더 강력하고 유연한 솔루션이지만 몇 가지 단점이 있습니다. 일반적으로 더 많은 코어 블록이 필요합니다(PLL, 디바이더 등). 따라서 패키지 크기가 더 크고(5mm × 3.2mm, 7mm × 5mm) 전

류 소비량이 더 많습니다(100+ mA). 마지막으로, PLL 보정 및 잠금으로 인해 일반적으로 10ms 이상에서 시작 시간이 느려 집니다.

공급 제약(다양한 프로그래밍을 통해 잠재적 주파수를 모두 지원하는 하나의 실리콘)의 위험을 제거하는 비용은 크기, 전력, 시작 시간 면에서 명확합니다.

## 5 LMK6C/D/P/H BAW 오실레이터와 쿼츠 오실레이터의 비교 요약

표 5-1. 쿼츠 오실레이터와 비교한 LMK6C/D/P/H BAW 오실레이터 주요 사양

매개 변수	LMK6C/D/P/H BAW 오실레이터 사양 및 세부 정보	쿼츠 오실레이터 사양 및 세부 정보	쿼츠에는 없는 BAW의 장점	장점
유연성	BAW 다이 1개 + 베이스 다이 1개 (모든 주파수, 전압 공급, 핀 대 핀 호환성을 지원하는 단일 IC 솔루션)	주파수 제한	공급 제약 완화, 단일 IC가 모든 주파수를 지원	BAW 오실레이터
온도 안정성	±10ppm (온도 범위와 무관하게 온도 안정성 유지)	온도가 증가하면 ppm 안정성도 증가함	폭넓은 온도에서 보다 엄격한 안정성	BAW 오실레이터
지터 BW 12kHz~20MHz	최대 125fs(LVDS, LVPECL, HCSSL) 최대 500fs(LVCMOS)	BAW와 유사한 고급 성능	BAW는 쿼츠 시장의 최상위와 잘 어울림	유사
전원 공급 장치 잡음 내성	-70dBc(50kHz~1MHz의 3.3V 전원 공급 장치에서 50mV 주입으로 인한 피크 스퍼) (통합 LDO)	일반적으로 통합 LDO가 없음	성능 최적화를 위해 외부 LDO 또는 DC/DC 컨버터가 필요하지 않음	BAW 오실레이터
진동	MIL_STD_883F 메서드 2002 조건 A (MIL 표준 외에 BAW 오실레이터는 일반적인 진동 안정성이 ~1ppb/g입니다. 그 결과 진동으로 인한 위상 잡음 영향이 최소화됩니다.)	일반적으로 MIL-STD를 통과하지 않습니다. 10+ppb/g까지 높일 수 있습니다.	환경 영향으로 인한 영향을 거의 받지 않음	BAW 오실레이터
충격	MIL_STD_883F 메서드 2007 조건 B(MIL 표준 외에도 훨씬 더 높은 수준의 충격을 견딜 수 있음)	일반적으로 MIL-STD를 통과하지 않습니다. 2,000g에서 실패할 수 있습니다.	환경 영향으로 인한 영향을 거의 받지 않음	BAW 오실레이터

### 5.1 유연성

LMK6C/D/P/H BAW 오실레이터는 1MHz~400MHz의 출력 주파수를 생성할 수 있는 단일 IC(단일 BAW 다이 + 단일 기반 다이) 솔루션으로, PLL/VCO 기반 쿼츠 오실레이터와 매우 유사하지만 사양에서는 SPXO와 훨씬 더 가깝습니다. BAW 오실레이터는 빠른 시작 시간(5ms 미만)을 갖췄으며 업계 표준 최소형 패키지(3.2mm × 2.5mm, 2.5mm × 2.0mm)로 제공되고 통상 전류 소비량은 50mA입니다. 1.8V, 2.5V 또는 3.3V 전원으로 작동할 수 있으며 모든 오실레이터 경쟁 제품과 핀 대 핀 호환이 가능합니다. BAW 발진기는 또한 차동을 위한 LVPECL, LVDS 및 HCSSL 및 단일 종단을 위한 LVCMOS를 비롯한 모든 표준 출력 유형을 지원합니다.

### 5.2 온도 안정성

크리스탈은 온도에 대한 의존성이 높은 경향이 있으며 온도가 증가함에 따라 주파수가 크게 변합니다. 확장된 산업용 등급 (115°C LVCMOS/105°C 차동)에서 25ppm 부품을 지원하는 것은 온도 보상 회로를 추가하지 않고는 불가능합니다. LMK6C/D/P/H BAW 오실레이터는 전체 온도 범위에서 ±10ppm의 예산을 충족합니다.

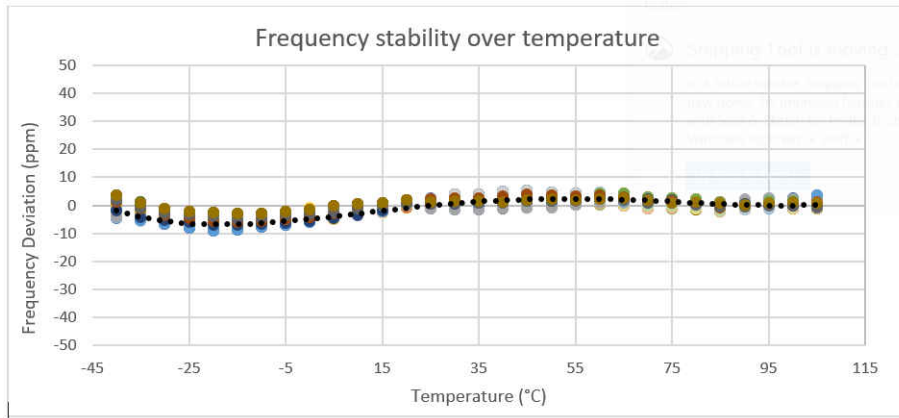


그림 5-1. BAW 오실레이터 주파수 안정성 과열

### 5.3 위상 잡음 성능

지터는 모든 클록 제품을 평가하는 기준이 되는 핵심 성능 사양입니다. LMK6P/D/H BAW 오실레이터는 차동 출력에 대해 통상 100fs를 충족하는 뛰어난 지터 성능을 제공합니다.

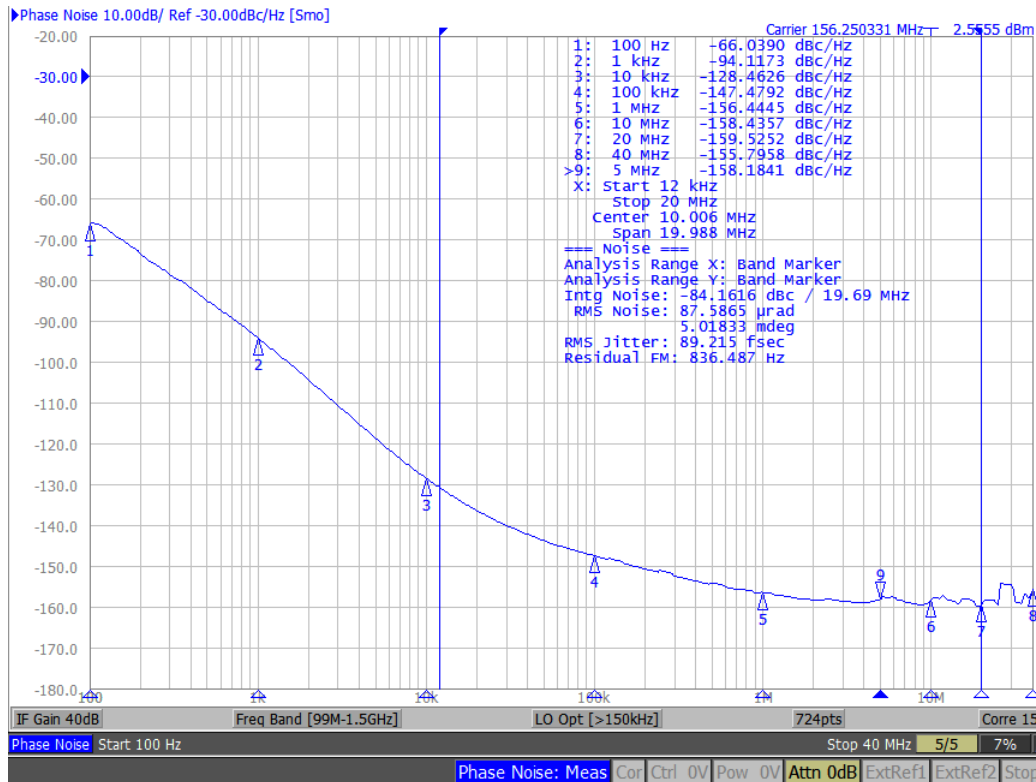


그림 5-2. LMK6P/D/H BAW 오실레이터 차동 위상 잡음 성능(정규화)

단일 종단 버전은 통상 300fs 미만의 동급 최고의 지터 성능을 제공합니다.

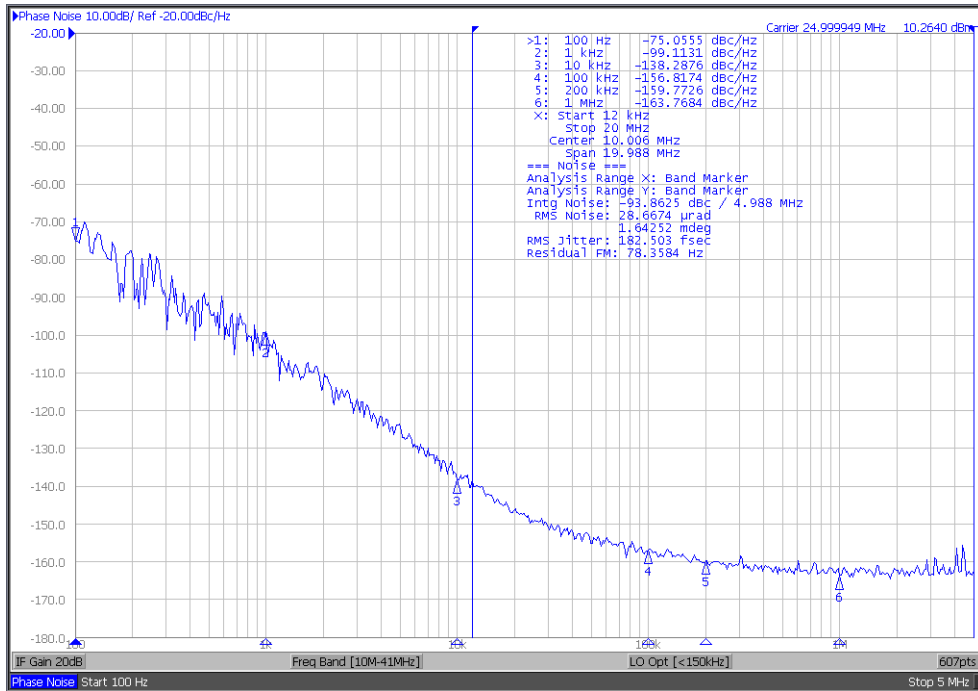


그림 5-3. LMK6C BAW 오실레이터 단일 종단 위상 잡음 성능(정규화)

### 5.4 전원 공급 장치 잡음 내성

LMK6C/D/P/H BAW 오실레이터는 전원 공급 장치의 리플에 대한 보호와 출력 클록을 제공하는 내부 LDO를 통합합니다. 따라서 공급 장치에 외부 LDO 또는 DC/DC 컨버터가 필요하지 않으므로 오실레이터에서 최고의 성능을 얻을 수 있습니다. 공급 핀에 간단한 바이패스 커패시터를 사용하면 대부분의 리플이 제거되고 출력 시 잡음을 유발하지 않습니다.

### 5.5 기계적 견고성

오실레이터의 경우, 진동 및 충격은 위상 잡음 및 지터 증가, 주파수 변화 및 스파이크, 또는 공진기와 그 패키지의 물리적 손상의 일반적인 원인입니다. 쿼츠 크리스탈과 비교했을 때 LMK6C/D/P/H는 질량이 더 작고 주파수가 높기 때문에 진동 및 충격에 대한 회복력이 더 뛰어납니다. 더 작은 질량으로 인해 가속에서 장치에 적용되는 힘이 훨씬 더 작습니다. LMK6C/D/P/H BAW 오실레이터는 충격, (지터, 안정성, 일반 장치 성능) 진동 및 충격 후 이벤트에 대해 성능 저하 없이 MIL\_STD\_883F 메서드 2002, 조건 A(진동) 및 MIL\_STD\_883F 메서드 2007 조건 B를 모두 충족합니다.

군사 표준 테스트 외에도 LMK6C/D/P/H BAW 오실레이터는 여러 조건의 스트레스 상태에서 테스트됩니다. BAW 오실레이터는 스트레스 상태에서 충격으로 인한 최소 주파수 변화를 관찰할 뿐만 아니라 이벤트 후 이전 수준으로 복구합니다.

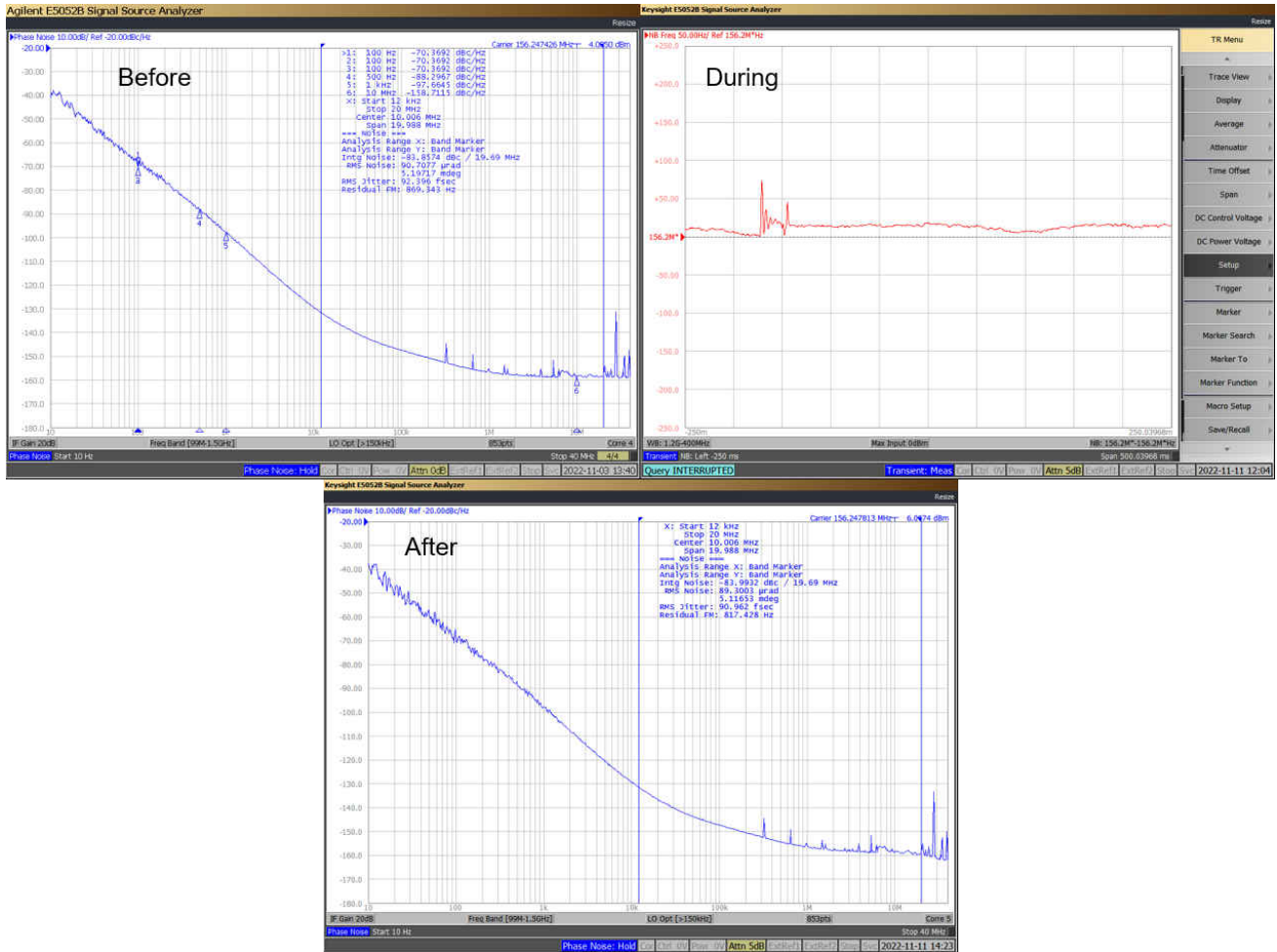


그림 5-4. 1500g에서 LMKD/P/H 충격 효과



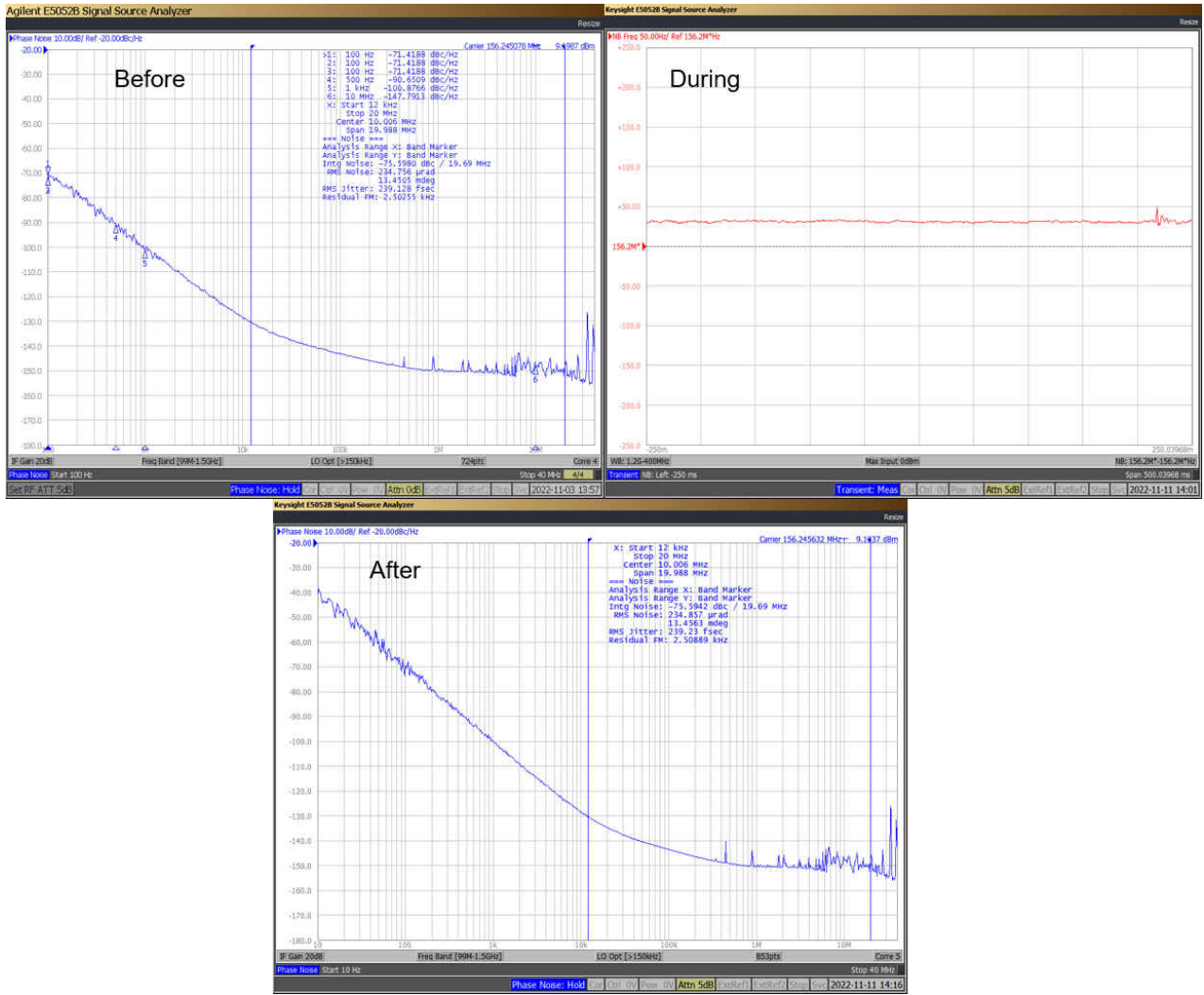


그림 5-5. 1500g에서 LMK6C 충격 효과

진동과 관련하여 BAW 오실레이터는 약 1ppb/g의 튜닝에 대한 진동으로 인한 최소 주파수 편차를 보여줍니다. 이는 크리스탈 오실레이터 솔루션의 방대한 개선에 가깝습니다.

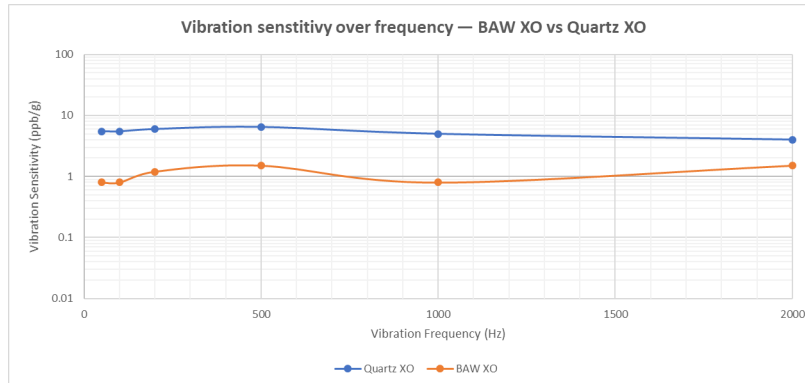


그림 5-6. LMK6C/D/P/H BAW 오실레이터와 쿼츠 오실레이터의 진동 감도

LMK6C/D/P/H BAW 오실레이터는 10년 노화로  $\pm 25$ ppm의 전체 주파수 안정성을 보장합니다. 그림 5-7 및 그림 5-8에서는 LMK6P/D/H 차동 및 LMK6C 단일 종단 BAW 오실레이터의 노화 추세를 보여줍니다.

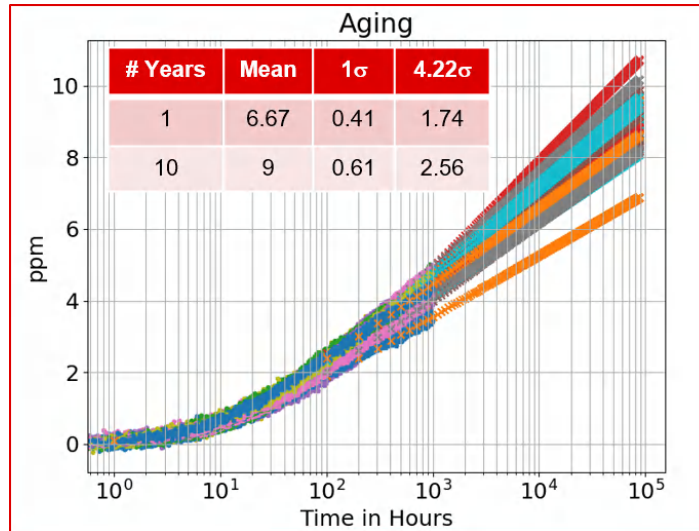


그림 5-7. LMK6P/D/H 차동 노화

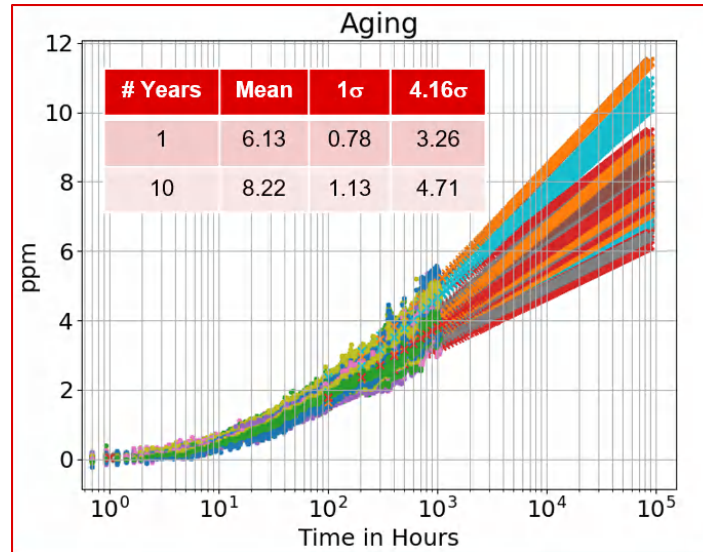


그림 5-8. LMK6C 단일 종단 노화

## 6 결론

LMK6C/D/P/H BAW 오실레이터는 이 문서에서 강조한 바와 같이 많은 성능 이점과 함께 크리스탈 오실레이터에 대한 탁월한 대체 옵션을 제공합니다. 또한 BAW 오실레이터는 단 한 번의 웨이퍼 실행으로 대량의 재료를 생산하는 TI가 완전히 제어하고 설계한 제작 프로세스이기 때문에 쿼츠 크리스탈 오실레이터 시장에 존재하는 것과 동일한 공급 제약이 없습니다.

## IMPORTANT NOTICE AND DISCLAIMER

TI PROVIDES TECHNICAL AND RELIABILITY DATA (INCLUDING DATA SHEETS), DESIGN RESOURCES (INCLUDING REFERENCE DESIGNS), APPLICATION OR OTHER DESIGN ADVICE, WEB TOOLS, SAFETY INFORMATION, AND OTHER RESOURCES "AS IS" AND WITH ALL FAULTS, AND DISCLAIMS ALL WARRANTIES, EXPRESS AND IMPLIED, INCLUDING WITHOUT LIMITATION ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE OR NON-INFRINGEMENT OF THIRD PARTY INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS.

These resources are intended for skilled developers designing with TI products. You are solely responsible for (1) selecting the appropriate TI products for your application, (2) designing, validating and testing your application, and (3) ensuring your application meets applicable standards, and any other safety, security, regulatory or other requirements.

These resources are subject to change without notice. TI grants you permission to use these resources only for development of an application that uses the TI products described in the resource. Other reproduction and display of these resources is prohibited. No license is granted to any other TI intellectual property right or to any third party intellectual property right. TI disclaims responsibility for, and you will fully indemnify TI and its representatives against, any claims, damages, costs, losses, and liabilities arising out of your use of these resources.

TI's products are provided subject to [TI's Terms of Sale](#) or other applicable terms available either on [ti.com](https://www.ti.com) or provided in conjunction with such TI products. TI's provision of these resources does not expand or otherwise alter TI's applicable warranties or warranty disclaimers for TI products.

TI objects to and rejects any additional or different terms you may have proposed.

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265  
Copyright © 2023, Texas Instruments Incorporated