어플리케이션 노트

NI의 데이터 컨버터 참조 아키텍처를 사용한 ADC 측정 설정

목차

03 컨버터

03 하드웨어 설정

04 평가 보드

전원

디지털

아날로그 소스 연결

DMM 연결

전체 스케일 오류

측정 설정

선형성

측정 설정

히스토그램

DNL

INL

AC 측정

측정 설정

게인 및 오프셋

측정 설정

15 데이터 컨버터 테스트에 대한 NI의 장점

이 어플리케이션 노트에서는 Data Converter Validation Module 소프트웨어와 함께 PXIe-4468 신호 생성기를 갖춘 NI의 데이터 컨버터 참조 아키텍처를 사용하여 ADC 측정을 설정하는 방법을 설명합니다.

컨버터

DUT(Device Under Test)는 모든 채널에 대해 800kS/s의 처리 속도로 샘플링을 지원하는 Analog Devices의 8채널, 16비트 A/D 컨버터인 AD7606B입니다. 디바이스 입력 범위는 하드웨어가 ±5V로 선택 및 설정됩니다. 또한 디바이스는 내부 2.5V 참조 및 16비트 병렬 출력을 위해 구성된 하드웨어를 사용하도록 설정됩니다. 병렬 데이터 출력은 RD와 CS에 의해 제어되며 변환은 CONVST로 시작됩니다.

하드웨어 설정

데이터 컨버터 검증 참조 아키텍처는 다음과 같은 NI 하드웨어로 구성됩니다.

- PXIe-4468 아날로그 소스
- PXIe-40x1 디지털 멀티미터
- PXIe-657x 디지털 캡처/DUT 컨트롤/클럭
- PXIe-109x 섀시
- PXIe-888x 컨트롤러

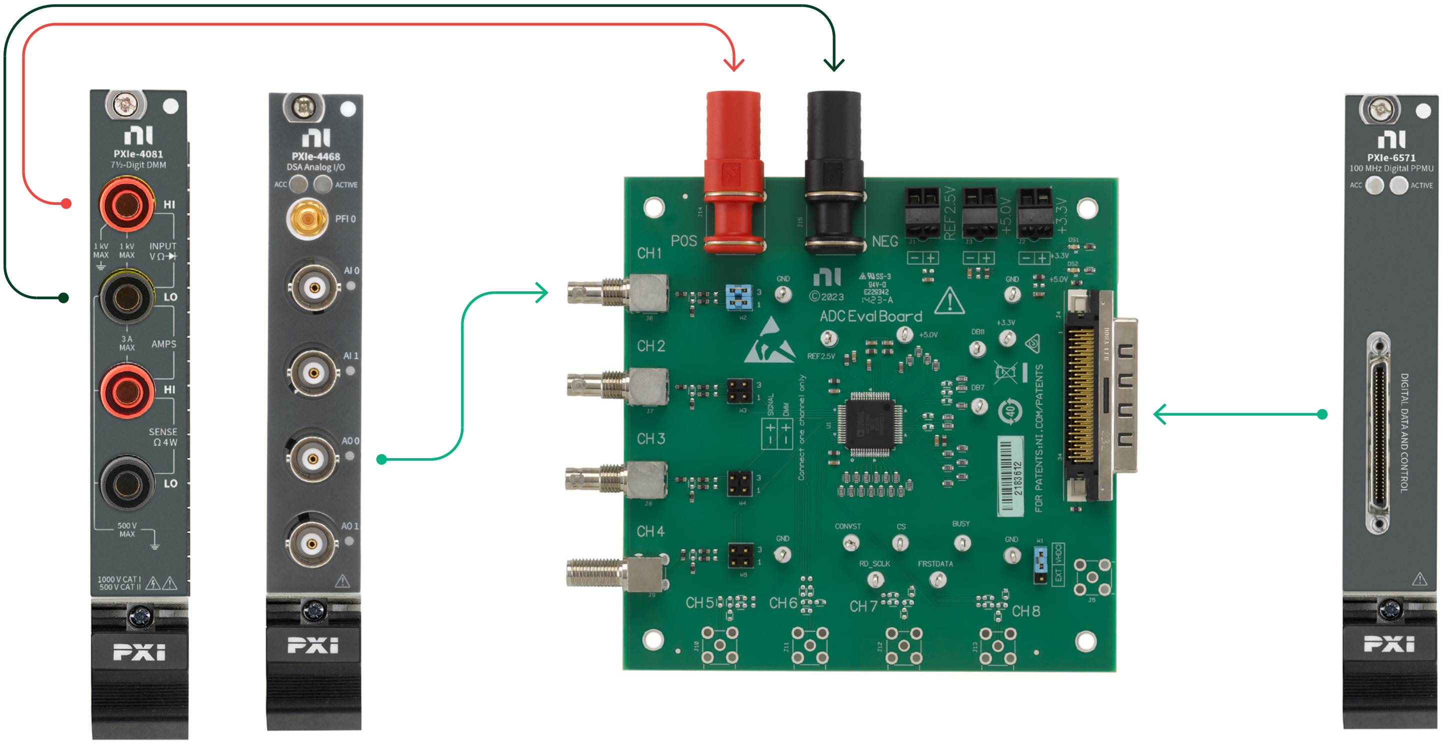


그림 01

테스트 시스템에는 PXIe-4081 디지털 멀티미터, PXIe-6570 디지털 패턴 계측기, PXIe-1095 섀시 및 PXIe-8840 컨트롤러가 사용됩니다.

평가 보드

AD7606B 평가 보드는 NI가 Data Converter Validation Module과 함께 사용하도록 설계한 것으로, 이를 통해 NI 계측 장비에 보다 쉽게 연결할 수 있습니다.

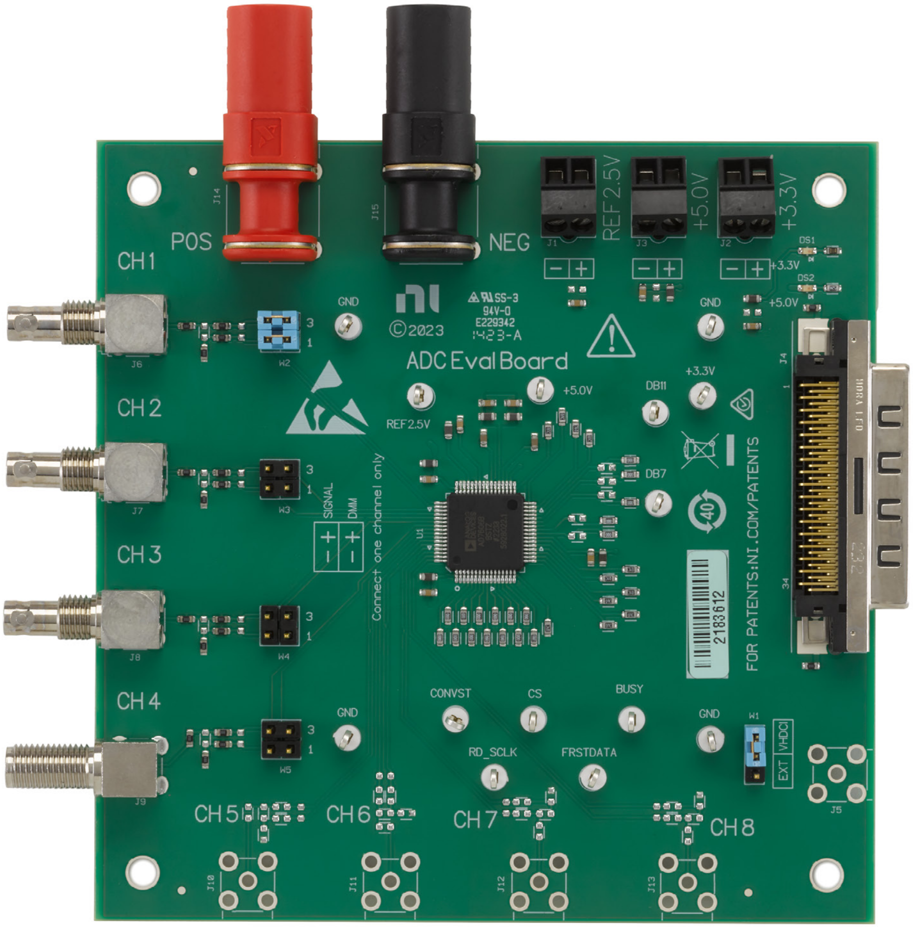


그림 02

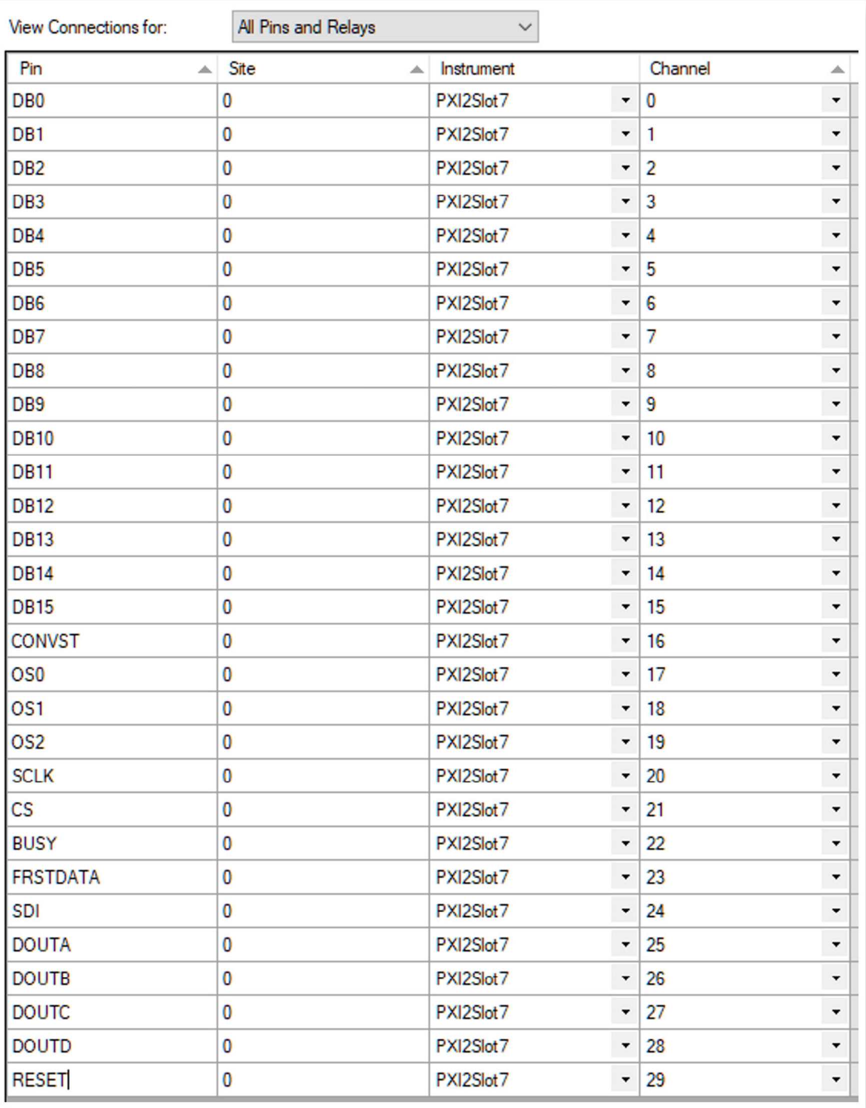
AD7606B 평가 보드

전원

평가 보드는 DUT에 +3.3V 및 +5V 전원 공급 장치를 제공합니다. 2.5V 참조는 옵션입니다.

디지털

ADC의 디지털 라인은 보드 오른쪽에 있는 VHDCI 커넥터로 라우팅됩니다. 이는 VHDCI-VHDCI 케이블을 사용하여 PXI-657x 디바이스에 직접 연결하기 위한 것입니다. PXI-657x에 대한 신호 맵핑은 다음과 같습니다.



View Connections for: All Pins and Relays

Pin	Site	Instrument	Channel
DB0	0	PXI2Slot7	0
DB1	0	PXI2Slot7	1
DB2	0	PXI2Slot7	2
DB3	0	PXI2Slot7	3
DB4	0	PXI2Slot7	4
DB5	0	PXI2Slot7	5
DB6	0	PXI2Slot7	6
DB7	0	PXI2Slot7	7
DB8	0	PXI2Slot7	8
DB9	0	PXI2Slot7	9
DB10	0	PXI2Slot7	10
DB11	0	PXI2Slot7	11
DB12	0	PXI2Slot7	12
DB13	0	PXI2Slot7	13
DB14	0	PXI2Slot7	14
DB15	0	PXI2Slot7	15
CONVST	0	PXI2Slot7	16
OS0	0	PXI2Slot7	17
OS1	0	PXI2Slot7	18
OS2	0	PXI2Slot7	19
SCLK	0	PXI2Slot7	20
CS	0	PXI2Slot7	21
BUSY	0	PXI2Slot7	22
FRSTDATA	0	PXI2Slot7	23
SDI	0	PXI2Slot7	24
DOUTA	0	PXI2Slot7	25
DOUTB	0	PXI2Slot7	26
DOUTC	0	PXI2Slot7	27
DOUTD	0	PXI2Slot7	28
RESET	0	PXI2Slot7	29

그림 03

신호를 PXI-657x에 맵핑하기

아날로그 소스 연결

평가 보드에는 첫 4개 채널용 커넥터가 포함되어 있습니다. 채널 1–3은 HD-BNC 커넥터이며 동적 신호 생성기 PXIe-4468에 인터페이스할 수 있습니다. 채널 4는 SMA 커넥터이며 PXIe-54x3과 같은 임의의 웨이브폼 생성기에 연결할 수 있습니다.

DMM 연결

게인, 오프셋, 코드 전이(전체 스케일 오류)와 같은 정밀 DC 측정을 이용하는 테스트의 경우, 계산에 필요한 DC 정확도를 제공하기 위해 DMM이 필요합니다. 보드 상단의 바나나 플러그는 점퍼를 사용하여 DMM을 아날로그 채널(1~4) 입력 경로 중 하나에 연결하는 데 사용할 수 있습니다.

전체 스케일 오류

전체 스케일 오류 측정은 세 가지 코드 전이와 이상적인 위치로부터의 편차를 계산합니다. 코드 전이는 다음과 같습니다.

양극성 제로 코드: 코드가 1에서 0으로 모두 변경되는 중간 스케일 전이

양의 전체 스케일 코드: 마지막 코드 전이

음의 전체 스케일 코드: 첫 번째 코드 전이

오류는 측정된 코드 전이와 일반적으로 LSB로 표시되는 이상적인 코드 전이 간의 차이입니다.

실제 코드 전이를 찾기 위해 동적 신호 생성기(PXIe-446x)는 사용자가 정의한 범위와 간격 크기의 DC 전압을 생성합니다. 각 전압 단계에서 DMM(PXIe-40x1)이 ADC의 입력 전압을 측정하고 ADC는 여러 샘플을 수집합니다. ADC의 입력 참조 노이즈가 코드 전이 측정에 미치는 영향을 줄이려면 여러 개의 샘플이 필요합니다. 각 DC 전압 단계를 통해 테스트가 진행되면 알고리즘이 실제 코드 전이가 이루어지는 위치를 보간합니다.

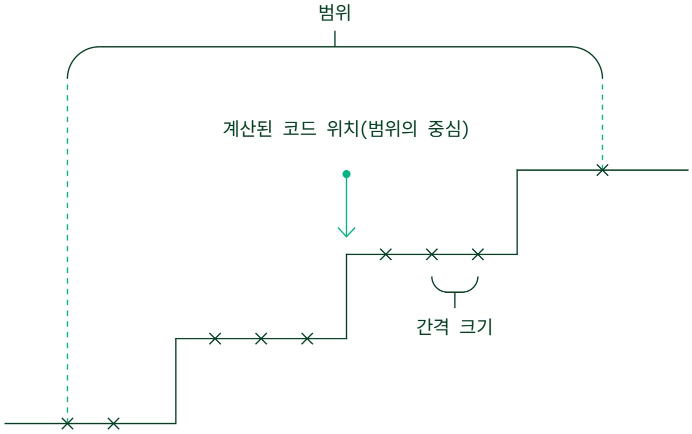


그림 04
코드 전이 찾기

측정 설정

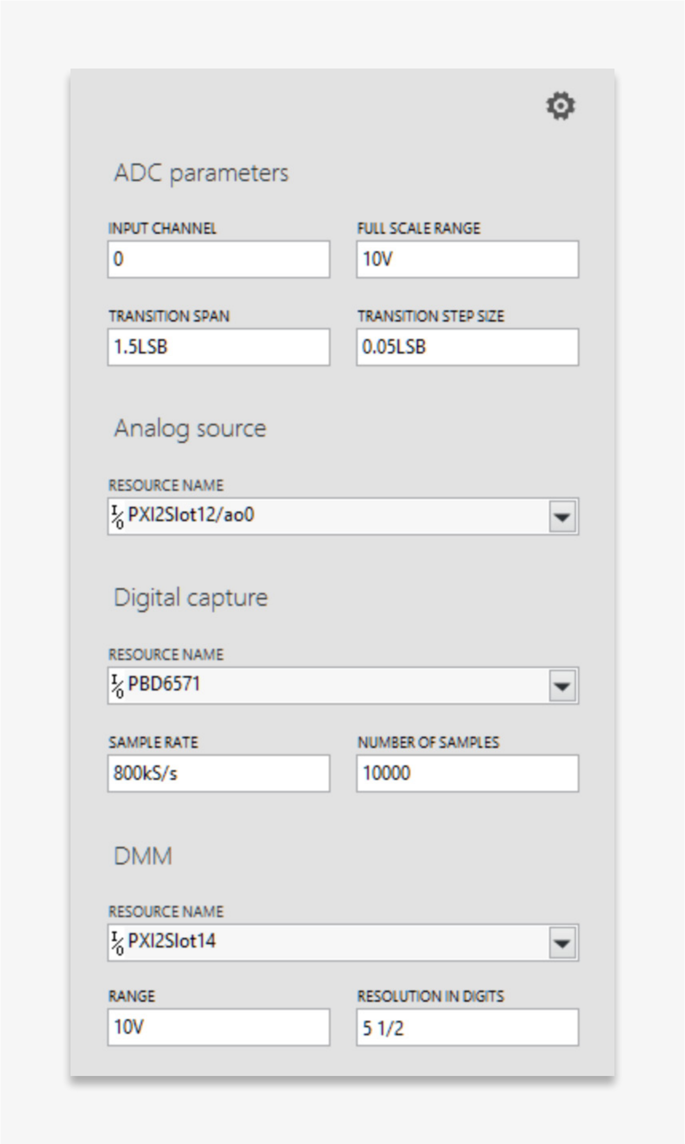


그림 05
측정 설정

측정 설정을 통해 전체 스케일 오류 측정을 사용자 정의할 수 있습니다. ADC 파라미터는 테스트 중인 DUT의 채널과 디바이스의 전체 스케일 범위 설정을 지정하도록 설정되어야 합니다. 전이 범위와 간격 크기는 테스트 시간과 측정 정확도에 영향을 미치도록 조정될 수 있습니다. 측정 계측 장비로 전이가 포착되지 않는 시나리오에서(그림 6 참조), 범위를 늘리면 전이가 관찰될 가능성이 높아집니다.

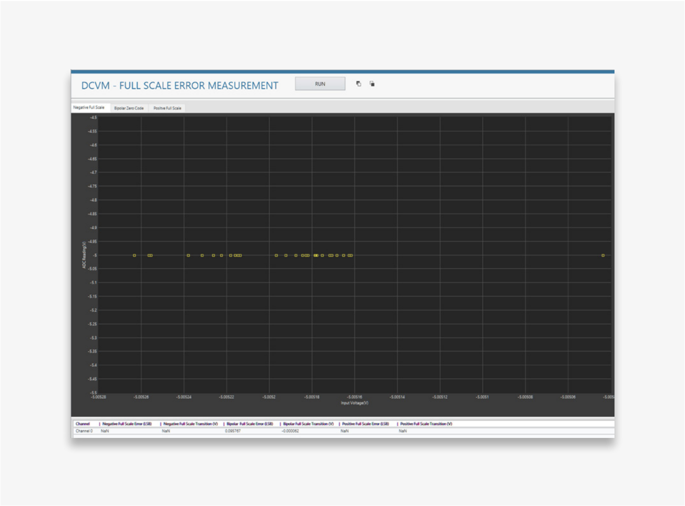


그림 06

측정 계측 장비로 전이가 포착되지 않는 DCVM 전체 스케일 오류 측정 시나리오

특정 테스트에서 DUT의 채널 0은 테스트 채널입니다. DUT의 샘플 속도는 800kS/s이며 하드웨어는 10V 전체 스케일 범위를 갖도록 설정되었습니다. PXIe-4081 디지털 멀티미터는 7.5자리 DMM이지만 테스트 시간을 개선하기 위해 5.5자리로 설정되었습니다.

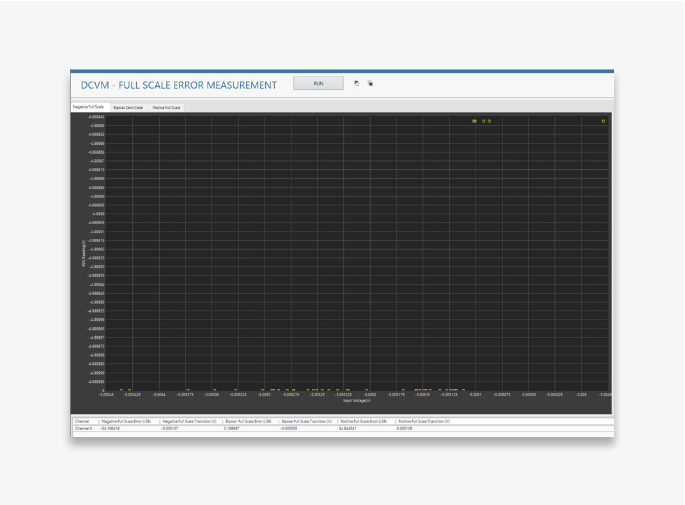


그림 07

음의 전체 스케일 오류 측정에 대한 원시 데이터의 서브셋을 보여주는 DCVM 전체 스케일 오류 측정 시나리오

그림 7은 음의 전체 스케일 오류 측정에 대한 원시 데이터의 대표적인 서브셋을 그래프 형태로 보여줍니다. 10,000개의 샘플을 수집하도록 측정이 설정되어 있지만 각 샘플은 표시되지 않습니다. 첫 번째 코드의 전이를 시각적으로 근사화할 수 있으며 보간 알고리즘에서 계산된 데이터를 그래프 아래에 있는 테이블에서 읽을 수 있습니다. 전이 전압과 LSB의 전체 스케일 오류가 계산되어 표시됩니다.

선형성

데이터 컨버터에는 전달 함수의 선형성을 측정하는 두 가지 방법, 즉 적분 비선형성, 상대 정확도(INL)와 미분 비선형성(DNL)이 있습니다. DUT와 같은 ADC에서 INL은 이상적인 입력 임계값과 특정 출력 코드의 측정된 임계값 레벨 간 편차입니다. DNL은 인접한 입력 디지털 값에 해당하는 두 아날로그 값 간의 편차입니다. 이것은 실제 스텝 폭과 1 LSB의 이상적인 값 간의 차이입니다.

Data Converter Validation Module 은 히스토그램 테스트 또는 코드 밀도 테스트를 사용하여 INL이나 DNL과 같은 비선형성 파라미터를 결정합니다. 이 접근 방식은 데이터 컨버터의 진폭 도메인에서 수행됩니다. 사인파 신호와 같이 욕조 분포의 반복적이고 동적인 신호가 ADC에 적용되면 컨버터의 출력에서 이에 상응하는 디지털 코드 분포가 생성됩니다. 해당 출력 코드 분포에서 편차가 발생하면 INL과 DNL을 포함하여 히스토그램 메소드로 추정할 수 있는 다양한 오류가 발생합니다.

측정 설정

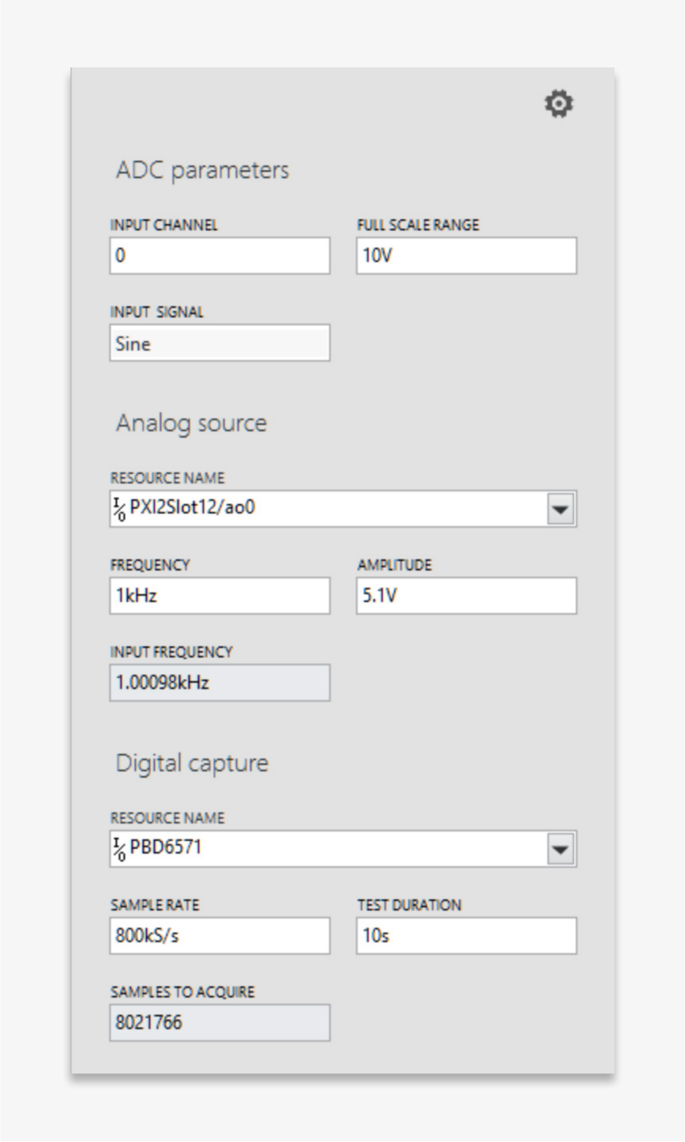


그림 8
측정 설정

측정 설정을 사용하면 선형성 측정을 사용자 정의할 수 있습니다. ADC 파라미터는 테스트 중인 DUT의 채널과 디바이스의 전체 스케일 범위 설정을 지정하도록 설정되어야 합니다. 입력 신호는 사인파, 삼각파 또는 비반복 램프로 설정될 수 있습니다. 또한 아날로그 소스의 주파수와 진폭이 설정될 수 있습니다. 모든 ADC 코드에 적용하려면 사인파 진폭을 ADC의 입력 범위보다 10퍼센트 더 크게 설정하는 것이 좋습니다. 또한 사용자는 ADC 샘플링 속도와 테스트 지속기간을 설정할 수 있습니다. 사인파 주파수는 샘플링 속도에 상대적으로 소수인 값으로 강제 변환되며 IEEE 1241의 다음 방정식으로 정의됩니다.

$$f_i = \left(\frac{J}{M}\right) f_s$$

여기서

f는 M에 대해 상대적으로 소수인 정수

f_s는 샘플링 주파수

M은 레코드 길이

테스트 지속기간은 사인파 사이클의 정수를 수집할 수 있는 가장 가까운 값으로 강제 변환됩니다. 신호 생성기는 사인파를 출력하고 ADC는 시간 도메인 데이터를 수집합니다. 신호 생성기와 ADC 사이에는 하드웨어 동기화가 없습니다. 시간 도메인 데이터의 히스토그램이 계산되고 측정된 히스토그램과 이상적인 히스토그램의 차이를 사용하여 미분 및 적분 비선형성을 계산합니다.

히스토그램

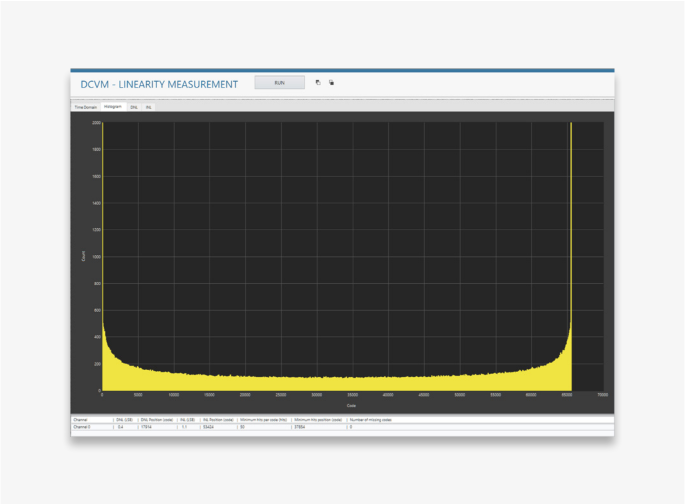


그림 09

히스토그램

DNL

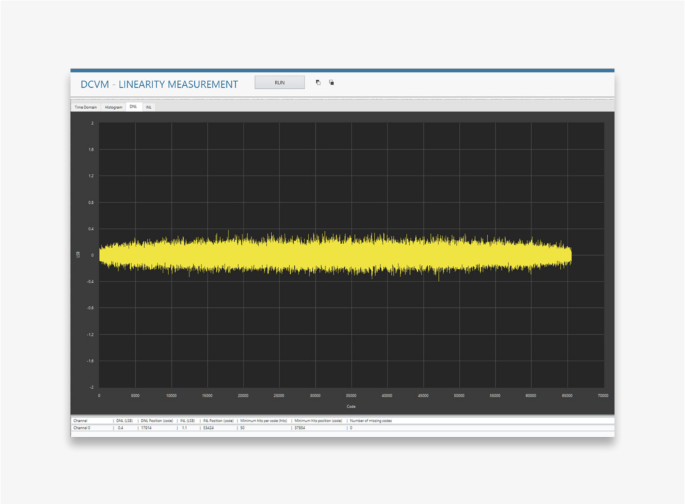


그림 10
미분 비선형성

INL

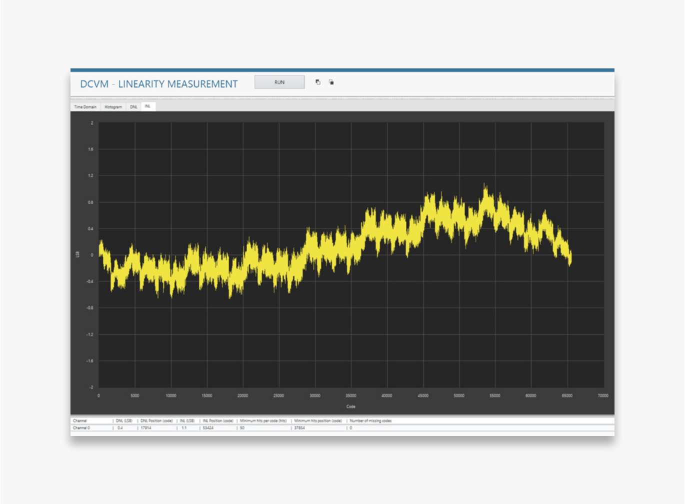


그림 11
적분 비선형성

AC 측정

AC 측정에는 SNR, SINAD, THD, SFDR 및 ENOB가 포함됩니다. 신호 대 노이즈 비율(SNR)은 입력 신호의 RMS 레벨과 RMS 노이즈의 비율을 나타내는 계산된 값입니다. SINAD(Signal-to-Noise and Distortion Ratio)는 이와 유사하게 DC 성분을 제외한 FFT 분석에서 입력 신호의 RMS 레벨과 모든 노이즈 및 왜곡 성분의 RSS(Root-Sum-Square)의 RMS 값 사이의 비율입니다. ADC에서 SFDR(Spurious Free Dynamic Range)은 캐리어 주파수(최대 신호 성분)의 RMS 진폭과 다음으로 큰 노이즈 또는 하모닉 왜곡 성분의 RMS 값에 대한 비율입니다. 유효 비트 수(ENOB)는 이상적인 N비트 ADC의 이론적인 SNR에 대한 관계를 사용하여 SINAD에서 계산됩니다. 공식은 다음과 같습니다.

$$ENOB = \frac{SINAD - 1.76}{6.02}$$

이 공식에서 SINAD는 dB 단위의 전원 비율, 6.02는 데시벨을 비트로 변환하는 제수, 1.76은 이상적인 ADC의 양자화 오류에서 비롯되는 용어입니다. 또한, THD+N(총 하모닉 왜곡 더하기 노이즈)은 측정값에 포함되지 않지만, 특정 대역폭에서 테스트 톤의 모든 스펙트럼 성분(테스트 톤 자체 제외)의 합이라는 점에서 SINAD의 역수와 동일합니다.

측정 설정

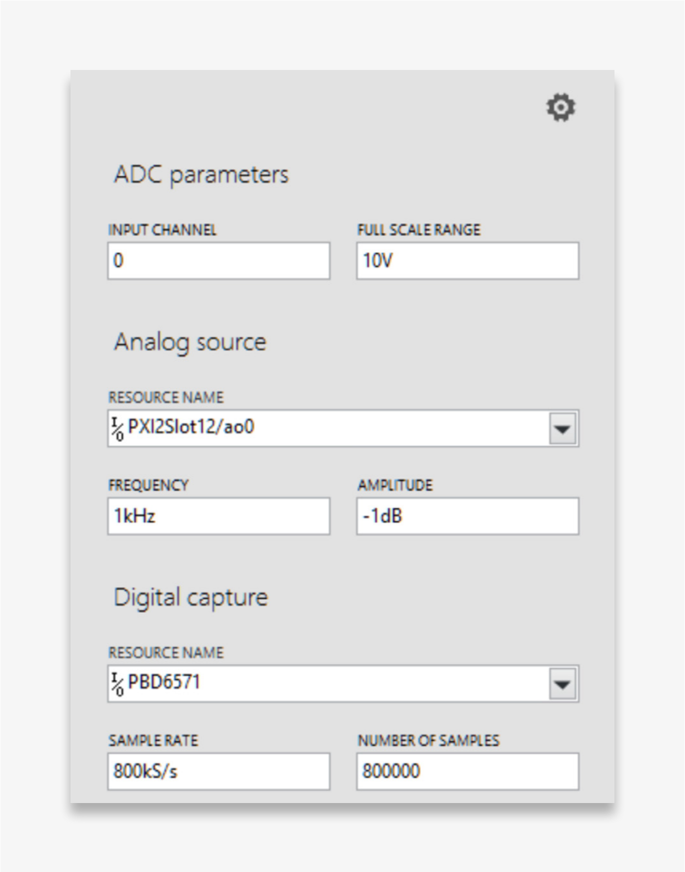


그림 12
측정 설정

측정 설정을 사용하면 AC 측정을 사용자 정의할 수 있습니다. ADC 파라미터는 테스트 중인 DUT의 채널과 디바이스의 전체 스케일 범위 설정을 지정하도록 설정되어야 합니다. 신호 생성기는 사용자가 지정한 주파수와 진폭의 사인파를 출력합니다. 또한 사용자는 ADC 수집의 샘플 개수와 샘플링 속도를 지정합니다. 신호 생성기와 ADC 사이에는 하드웨어 동기화가 없습니다. THD나 SFDR과 같은 동적 측정이 계산되기 전에 ADC로부터 수집된 시간 도메인 데이터에 7항 블랙맨-해리스 윈도우가 적용됩니다. 이 방법론은 IEEE 1241 섹션 8.8.1.2에 설명되어 있습니다.

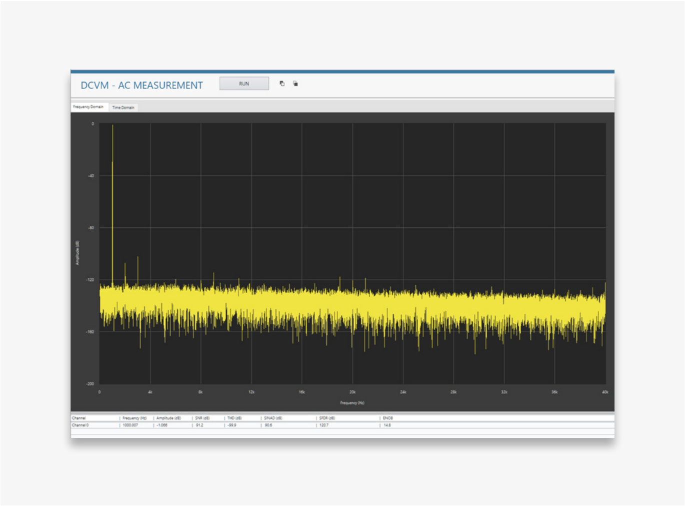


그림 13

AC 측정의 사용자 정의

게인 및 오프셋

오프셋 오류는 첫 번째 실제 코드 전이와 첫 번째 이상적인 코드 전이 간 편차로 정의되며, 이 편차는 0.5 LSB에서 발생해야 합니다. 이 오프셋 오류는 양수 또는 음수일 수 있으며 ADC의 사용 가능한 범위를 제한합니다.

게인 오류는 오프셋 오차를 보정하여 이상적인 ADC의 마지막 단계의 중간점과 실제 ADC의 마지막 단계의 중간점의 편차로 정의됩니다. 이는 실제 ADC 전이 특성과 이상적인 전이 특성의 기울기 편차를 측정한 값입니다.

측정 설정

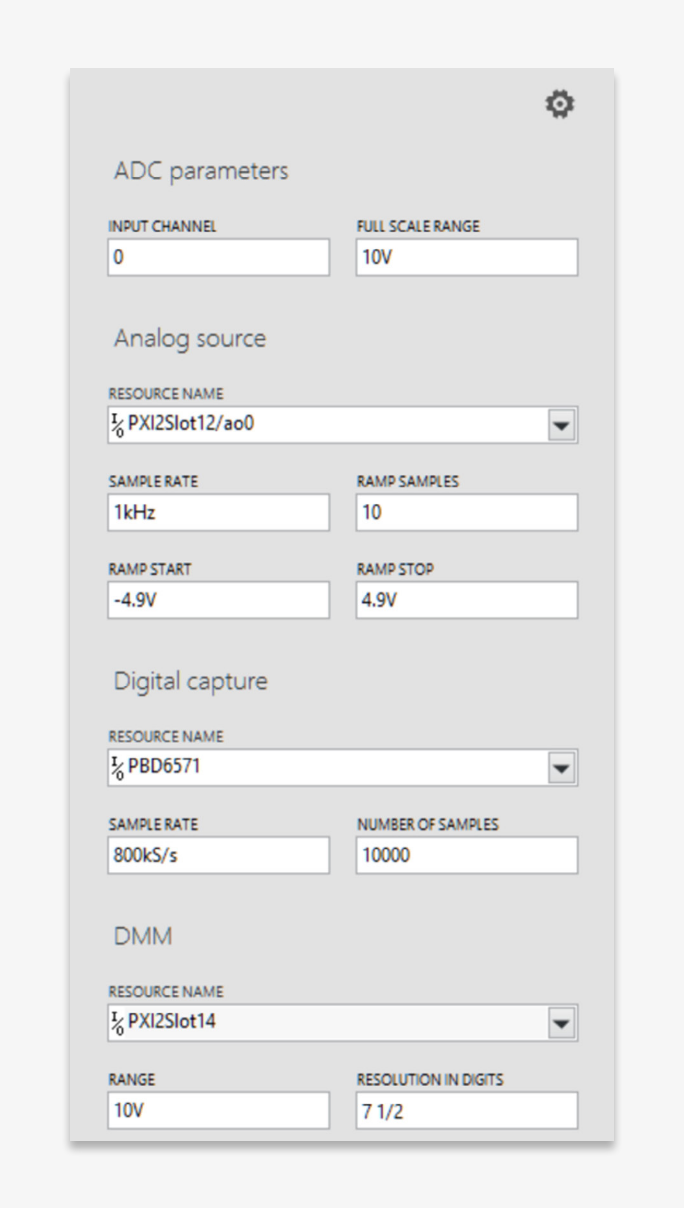


그림 14
측정 설정

사용자는 측정에 필요한 전압 범위와 단계 수를 설정합니다. 각 단계에서 신호 생성기는 DC 전압을 출력합니다. DC 전압은 DMM과 ADC 모두에서 측정됩니다. 각각의 측정값이 저장되고 마지막 전압에 도달할 때까지 프로세스가 반복됩니다. 게인과 오프셋은 DMM 및 ADC 전압 측정을 사용하여 최소 제곱법에 의해 결정됩니다.

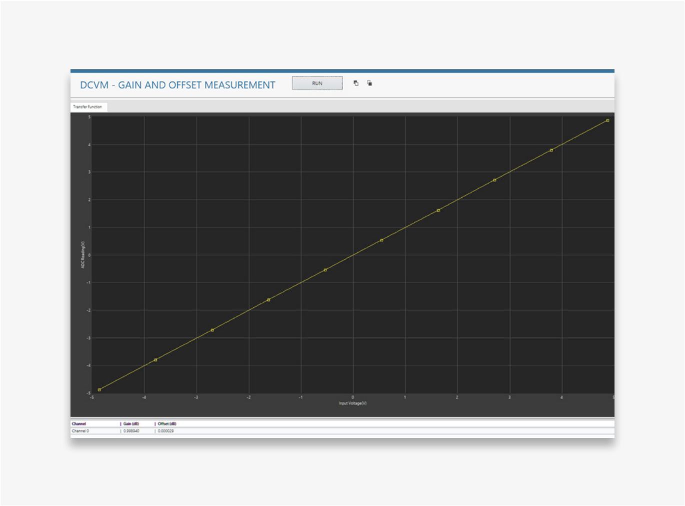


그림 15
Data Converter Validation Module

데이터 컨버터 테스트에 대한 NI의 장점

데이터 컨버터 테스트를 위한 NI의 솔루션에는 단일 PXI 섀시 내에 여러 모듈이 포함되어 있습니다. NI는 PXI 플랫폼을 활용하여 자동화된 테스트에 모듈식 접근 방식을 취할 수 있습니다. 모든 PXI 모듈을 테스터에 추가하고 그에 맞게 프로그래밍할 수 있습니다. 즉, 사용자가 노후화되어 아예 새 테스터를 구매해야 할 수도 있는 특정 디바이스 세트에 종속되지 않는 것입니다. 마찬가지로, 시간이 지남에 따라 테스트가 필요해지고 볼륨이 변경되면 모듈도 그에 맞게 용도가 변경될 수 있습니다. 계측 장비가 단일 PXI 섀시 내에 있기 때문에 이러한 모듈이 원활하게 통신하고 동기화할 수 있습니다.

시장에 있는 1,500개 이상의 PXI 제품 중 600개 이상이 NI에서 설계된 것입니다. 특히, PXIe-4468 아날로그 소스는 PXI 폼 팩터에서 벤치탑 품질의 노이즈 및 왜곡 성능을 제공합니다. NI는 보다 효율적인 3U 공간에서 PXI 모듈형 계측 장비를 통해 성능의 한계에 끊임없이 도전하고 있습니다.

Data Converter Validation Module은 사용이 간편한 소프트웨어 솔루션을 제공하여 InstrumentStudio™ 소프트웨어 및 TestStand™에서 바로 실행할 수 있는 측정을 빠르게 불러올 수 있습니다. 이 소프트웨어를 사용하면 대화식 벤치탑 측정에서 자동화된 검증으로 원활하게 전이할 수 있을 뿐만 아니라 자동화된 테스트 시 대화식 디버그 모니터링을 수행할 수 있습니다.

©2023 NATIONAL INSTRUMENTS. 판권 소유. NATIONAL INSTRUMENTS, NI, NI.COM, INSTRUMENTSTUDIO 및 TESTSTAND 는 NATIONAL INSTRUMENTS CORPORATION의 상표입니다. 여기에 언급된 다른 제품과 회사명은 각 해당 회사의 상표 또는 상품명입니다. 324253