

ADC ENOB 및 잡음 없는 해상도에 전압 레퍼런스 잡음이 미치는 영향

Jackson Wightman
Applications Engineer
Voltage References

Shridhar More
Systems Manager
Voltage References

머리말

온도 조절기에서 비행 제어에 이르기까지 다양한 시스템은 ADC(아날로그-디지털 컨버터)를 사용하여 디지털 도메인에서 처리될 실제 아날로그 신호를 캡처하고 디지털 결과를 기반으로 필요한 조치를 취합니다. 각 ADC는 생성할 수 있는 다양한 디지털 레벨을 나타내는 비트 수를 지정합니다. 주어진 일정한 ADC 입력의 경우, 일반적인 신호 체인의 다양한 오류로 인해 ADC의 출력은 일정한 디지털 값이 아닙니다. 따라서 더 나은 비교를 위해 ENOB(유효 비트 수) 또는 신호 체인의 잡음이 없는 해상도를 고려하고, 캡처된 데이터에서 최대 정보를 추출하는 것이 중요합니다. 정밀도가 높을수록 더 높은 ENOB와 잡음 없는 해상도가 요구됩니다.

일반적으로 시스템의 신호 대 잡음 비율(SNR), 총 고조파 왜곡(THD), 잡음은 ENOB 계산에서 중요한 역할을 합니다. 필드 트랜스미터 또는 테스트 및 측정 애플리케이션 같은 여러 시스템의 경우 DC 입력 신호 정확도 및 정밀도가 매우 중요합니다. 따라서 잡음 사양이 가장 중요합니다. ADC와 함께 사용되는 전압 레퍼런스는 정밀성과 정확도에 영향을 미칠 수 있는 신호 체인의 중요한 구성 요소입니다.

전압 레퍼런스가 ADC 잡음에 미치는 영향

필터링을 통해 일부 잡음을 제거할 수 있지만 낮은 주파수에서는 잡음을 현실적으로 필터링할 수 없습니다. 전압 레퍼런스에서는 필요한 저항 커패시터 필터 구성 요소의 크기 때문에 신호 체인 성능에 큰 영향을 미치지 않고 플리커 잡음(0.1Hz~10Hz의 잡음)을 필터링할 수 없습니다. 따라서 거의 항상 시스템에는 잡음이 존재합니다.

전압 레퍼런스 잡음 외에도 ADC 자체와 ADC 드라이버의 잡음이 발생합니다. 이러한 각 부품은 디지털 신호를 생성하는 회로에 잡음을 유발합니다. 그림 1은 이 회로의 간소화된 블록 다이어그램입니다.

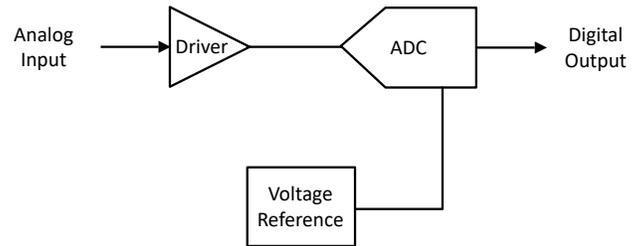


그림 1. 외부 전압 레퍼런스를 사용하는 일반 ADC 회로 구성.

방정식 1은(는) 이 회로의 총 잡음을 다음과 같이 나타냅니다.

$$\text{Total Noise} = \sqrt{\text{Noise}_{\text{Driver}}^2 + \text{Noise}_{\text{ADC}}^2 + \text{Noise}_{\text{VREF}}^2} \quad (1)$$

시스템의 ENOB를 결정할 때 회로에 존재하는 잡음의 양을 알고 있어야 합니다. 일반적으로 저잡음 설계를 위해서는 저잡음 장치를 선택하는 것이 필수적입니다.

이 문서에서는 전압 레퍼런스 선택뿐만 아니라 ADC 성능을 극대화하는 데 도움이 되는 기타 데이터 처리 옵션에 대해 중점적으로 다룹니다.

전압 레퍼런스가 THD에 미치는 영향

전압 레퍼런스 핀을 반복적으로 샘플링하면 몇 나노초 간격으로 전류 과도 현상이 나타날 수 있습니다. 그러나 ADC의 경우 큰 계인 오류를 피하기 위해 외부 레퍼런스가 샘플링 단계의 종료 시 안정화되거나 재충전되어야 합니다. 샘플링 속도를 늦추면 이 문제가 해결될 수 있지만 항상 가능한

것은 아닙니다. 일반적으로 ADC가 더 정밀할수록 레퍼런스 입력에 더 많은 전류 유입량이 필요합니다. 전압 레퍼런스의 대역폭이 충분하지 않거나 출력 임피던스가 너무 높으면 ADC의 레퍼런스 입력을 재충전할 수 없습니다. 이로 인해 전압 강하가 발생하여 계인 오류가 발생하고 ENOB가 낮아집니다.

이러한 이유로 ADC의 THD를 높이고 왜곡 및 ENOB에 대한 데이터 시트 사양을 충족하는 데 전압 레퍼런스 외부의 고대역폭, 낮은 출력 임피던스 버퍼가 필요한 경우가 있습니다. 일부 ADC에는 내부 전압 레퍼런스 버퍼가 있지만, 일부는 아닙니다. **그림 2**에서는 회로의 THD를 늘리기 위해 외부 버퍼를 추가하는 위치를 보여줍니다.

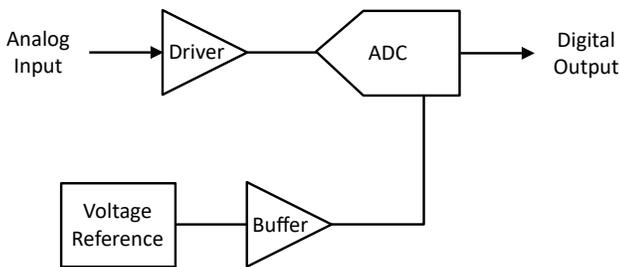


그림 2. 외부 전압 레퍼런스 및 레퍼런스 버퍼를 사용하는 일반 ADC 회로 구성.

전압 레퍼런스 잡음과 THD가 ENOB에 미치는 영향

ENOB는 회로의 AC 특성이 ADC 해상도에 미치는 영향을 측정합니다. 회로의 잡음과 THD는 신호 대 잡음 비율과 왜곡(SINAD)이라고 하는 용어를 사용합니다. SINAD는 **방정식 2**(으로 표현된 두 가지 AC 특성을 한 숫자로 나타냅니다).

$$\text{SINAD (dB)} = -20\log\sqrt{10^{-\text{SNR}/10} + 10^{\text{THD}/10}} \quad (2)$$

방정식 2에서 SNR이 증가하면 SINAD도 증가합니다. 따라서 잡음과 왜곡이 적을수록 SINAD가 향상됩니다. SINAD를 사용하면 특히 다음과 같은 경우 **방정식 3**(을(를) 사용하여 ADC의 ENOB를 쉽게 찾을 수 있습니다.

$$\text{ENOB} = \frac{\text{SINAD} - 1.76\text{dB}}{6.02} \quad (3)$$

방정식 1(을(를) 다시 살펴보면 전압 레퍼런스에 존재하는 총 잡음을 줄이면 회로에 존재하는 총 잡음이 감소하여 SNR이 증가하게 됩니다. SNR이 증가하면 ENOB도 증가

합니다. 또한 전압 레퍼런스 출력에 고대역폭 버퍼를 추가하면 ADC의 THD가 감소하여 ENOB가 증가합니다.

전압 레퍼런스 잡음이 잡음 없는 해상도에 미치는 영향

ENOB는 ADC 출력의 해상도를 중요하게 나타내지만, DC 성능은 고려하지 않습니다. DC 입력에서 ADC로 잡음의 해상도 영향을 이해하려면 회로의 잡음 없는 해상도를 찾는 것을 고려해 보십시오. **방정식 4**(을(를) 사용하여 DC 신호를 측정하는 동안 ADC 디지털 출력의 LSB(최소 유효 비트) 수로 코드 스프레드를 관찰하여 잡음 없는 해상도를 계산할 수 있습니다.

$$\text{Noise Free Resolution} = N - \log_2(\text{Code Spread}) \quad (4)$$

레퍼런스 잡음이 시스템 정밀 성능에 미치는 영향을 강조하기 위해 동료들과 저는 REF70(0.23ppm_{p-p} 플리커 잡음 포함)과 REF50(3ppm_{p-p} 플리커 잡음 포함)을 사용하여 특정 신호 체인에 대해 DC 코드 확산 테스트를 수행했습니다. REF50과 REF70 모두 고정밀 ADC와 함께 사용되는 고정밀 전압 레퍼런스이며, DC 특성이 다릅니다. 하지만 이 실습에서는 신호 체인 회로에서 이러한 장치의 잡음 성능을 비교한 것만 목표로 했습니다.

이 설계는 **ADS8900B** 20비트 SAR ADC의 전체 범위 범위에 가까운 전압 레벨을 가진 안정적인 DC 소스를 위해 배터리를 사용하며, 이는 20kSPS에서 데이터를 캡처합니다. **OPA2320**은 계인 = 1과 함께 **ADS8900B** 입력을 구동하는데 사용됩니다. 이 ADC는 레퍼런스 버퍼 드라이버를 통합하므로 선택적 레퍼런스 버퍼는 필요하지 않습니다. 전압 레퍼런스 출력에 간단한 저항-커패시터 저역 필터를 배치하면 전압 레퍼런스의 잡음이 더 낮아집니다. **그림 3**에는 이러한 테스트에 사용되는 설정이 나와 있습니다.

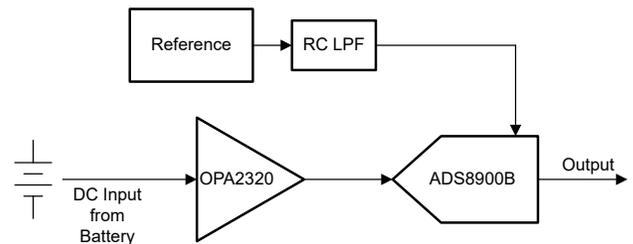


그림 3. 다음과 같은 무잡음 해상도 테스트에 사용되는 회로입니다.

전압 레퍼런스 옆에 있는 신호 체인 구성 요소에는 플리커 잡음이 있고, 이는 최종 코드 확산의 일부인 것입니다. 신호 체인은 다른 참조에서만 동일하게 유지되기 때문에 성능 수에 미치는 영향은 전압 레퍼런스 잡음에서만 발생하는 것이어야 합니다.

고정밀 시스템은 데이터 처리 기술을 사용하여 정밀도를 높이고 전체 해상도를 높입니다. 이 실험에서는 출력에 16을 곱하여 **ADS8900B**의 20비트 원시 데이터를 24비트 길이로 변환했습니다. 서로 다른 유한 임펄스 응답(FIR) 필터가 변환된 24비트 데이터를 처리했습니다. FIR 필터는 입력 값에 변경이 있을 경우 손쉽게 구현하고 더 빠르게 해결할 수 있습니다. 출력 데이터 속도는 20kSPS이지만 필터 특성에 정의된 대기 시간을 갖습니다.

24비트 레벨에서는 REF50 및 REF70의 잡음(따라서 정밀도)이 거의 비슷하며, 전체 잡음이 신호 체인과 광대역 잡음이 지배적입니다. 평균 코드 값의 차이는 보정으로 제거할 수 있는 정확도 사양인 레퍼런스 전압 차이 때문입니다. 이러한 결과는 그림 4 및 그림 5에서 볼 수 있습니다.

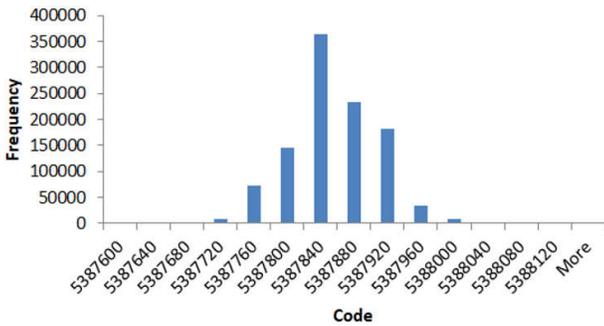


그림 4. REF50 잡음 결과 = 3ppm_{p-p}.

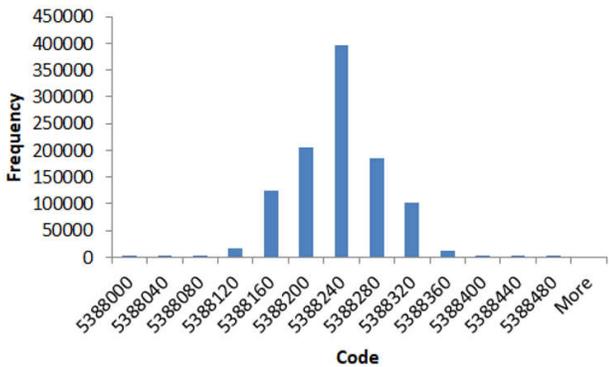


그림 5. REF70 잡음 결과 = 0.23ppm_{p-p}.

Octave 툴을 사용하여 다음과 같은 세 가지 디지털 필터를 사용하여 원시 데이터의 사후 처리를 수행합니다.

- 1,024탭 이동 평균 필터
- 801탭 17Hz 저역 필터
- 455탭 36Hz 저역 필터

그림 6에서는 이러한 필터에 대한 필터 응답을 보여 줍니다.

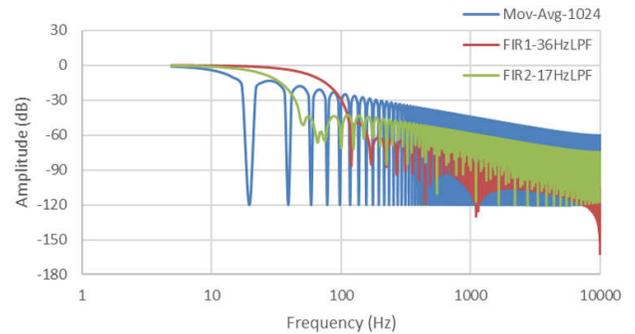


그림 6. 디지털 필터 응답.

그림 7, 그림 8 및 그림 9은(는) 디지털 필터가 코드 스프레드에 미치는 영향을 보여줍니다.

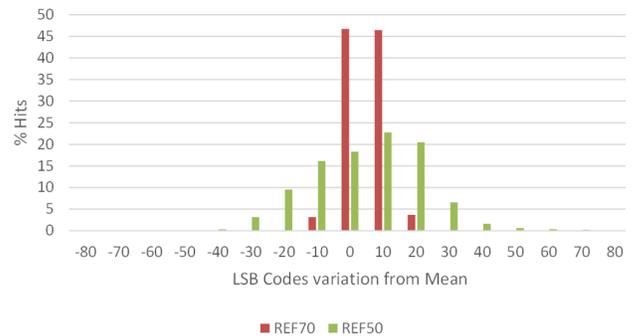


그림 7. 1,024탭 필터 히스토그램.

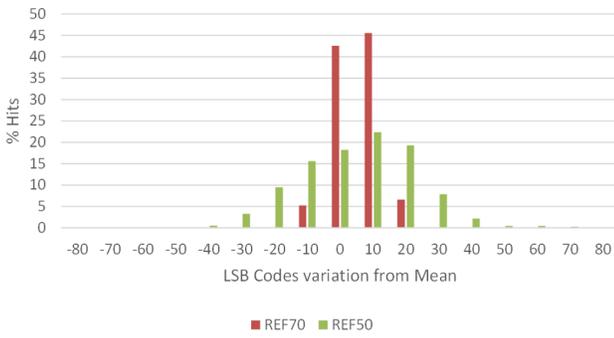


그림 8. 455탭 필터 히스토그램.

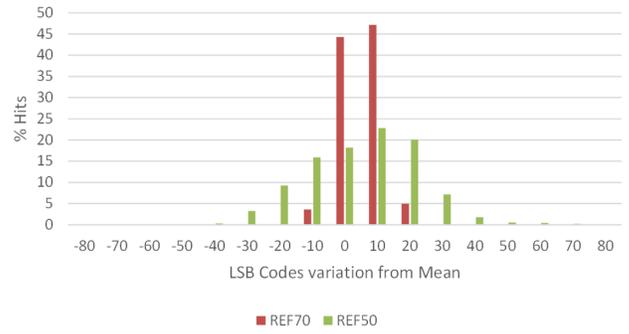


그림 9. 801탭 필터 히스토그램.

방정식 4을(를) 사용하면 ADC 분해능의 REF50 및 REF70의 영향을 각 필터 프로파일과 쉽게 비교할 수 있습니다. 이러한 테스트의 결과는 표 1에 요약되어 있습니다.

디지털 필터 유형	코너 주파수(Hz)	탭 수	DC 코드 확산(LSB)	잡음이 없는 해상도 (비트)	DC 코드 확산 최소 유효 비트	잡음이 없는 해상도 (비트)
			24비트에서 REF70		24비트에서 REF50	
필터 없음	해당 없음	0	448	15.1	496	15.0
1,024회 탭 이동 평균	8	1,024	35	18.8	118	17.1
FIR 1번	17	801	38	18.7	121	17.0
FIR 2번	36	455	49	18.3	135	16.9

표 1. 다른 필터 프로파일과 레퍼런스 장치를 사용한 DC 코드 확산 비교.

이 비교는 최고 정밀도 애플리케이션에서 잡음 없는 해상도를 계산할 때 REF70이 REF50보다 성능이 더 우수함을 보여주며, 이는 대부분 장치의 폴리커 잡음 수준 차이 때문입니다. REF70을 사용할 때 감소된 코드 확산은 초저잡음으로 고정밀 애플리케이션에서 거의 2비트 해상도의 이점을 제공할 수 있음을 보여줍니다. 또한 저잡음 레퍼런스를 사용하면 고속 455 탭 필터를 사용하면서도 잡음이 없는 해상도를 유지할 수 있습니다. 저전압 레퍼런스 폴리커 잡음은 코드 확산을 감소시키므로 잡음이 없는 해상도를 높일 수 있습니다. ENOB와 마찬가지로, 잡음은 저잡음 없는 해상도를 위한 신호 체인을 설계할 때 중요한 고려 사항입니다.

결론

ADC는 수천 개의 애플리케이션 및 기술에 사용되므로 더 높은 정확도와 정밀도를 확보해야 합니다. 첨단 엑스레이

시스템을 설계하거나, 매우 정밀한 배터리 테스트 회로 또는 세계 최고의 혁신 등 어떤 것이든, ADC 신호 체인의 정밀도와 정확도를 높이기 위해 신중한 전압 레퍼런스 선택 및 구현은 필수적입니다. ADC의 ENOB 및 잡음이 없는 해상도를 증가시켜 더 발전되고 다양한 신호 체인 구현을 가능하게 합니다.

중요 알림: 이 문서에 기술된 텍사스 인스트루먼트의 제품과 서비스는 TI의 판매 표준 약관에 의거하여 판매됩니다. TI 제품과 서비스에 대한 최신 정보를 완전히 숙지하신 후 제품을 주문해 주시기 바랍니다. TI는 애플리케이션 지원, 고객의 애플리케이션 또는 제품 설계, 소프트웨어 성능 또는 특허권 침해에 대해 책임을 지지 않습니다. 다른 모든 회사의 제품 또는 서비스에 관한 정보 공개는 TI가 승인, 보증 또는 동의한 것으로 간주되지 않습니다.

모든 상표는 해당 소유권자의 자산입니다.

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 © 2024, Texas Instruments Incorporated