

11장. 오실로스코프를 이용한 노이즈 신호 탐지 및 필터링



1. 학습개요

목표

1. 노이즈(Noise)의 정의와 발생 원인을 이해한다.
2. 시간 영역과 주파수 영역에서 노이즈를 구분하여 관찰하는 방법을 익힌다.
3. 오실로스코프의 FFT, Bandwidth Limit, Average, 필터 기능을 활용하여 노이즈를 분석한다.
4. 신호와 노이즈를 분리하고 필터링하는 실무적인 접근 방법을 학습한다.

2. 이론

전자 회로에서 이상적인 신호만 존재하는 경우는 거의 없다. 실제 환경에서는 전원 리플, 스위칭 노이즈, EMI, 크로스토크 등 다양한 원인으로 원치 않는 신호 성분(노이즈)이 함께 측정된다.

오실로스코프는 이러한 노이즈를 시간 영역과 주파수 영역에서 직접 관찰할 수 있는 가장 기본적이면서도 강력한 도구이다.

2.1 노이즈(Noise)의 개념과 종류

A. 노이즈란?

노이즈는 원래 의도한 신호에 포함되지 않은 불필요한 전기적 변동을 의미한다. 신호의 정확한 해석을 방해하며, 심한 경우 오동작이나 성능 저하의 원인이 된다.

B. 대표적인 노이즈 종류

열잡음(Thermal Noise): 저항, 반도체 소자에서 자연적으로 발생

전원 노이즈(Power Noise): DC 전원 리플, 스위칭 레귤레이터 영향

EMI/RFI 노이즈: 외부 전자기 간섭

스위칭 노이즈: 디지털 신호의 급격한 에지로 인한 고주파 성분

크로스토크(Crosstalk): 인접 신호 간 결합으로 발생

2.2 시간 영역에서의 노이즈 관찰



그림 11-1. 노이즈가 포함된 사인파형(CH1, 노란색)과 노이즈가 없는 사인파형(CH2, 파란색)

오실로스코프의 기본 화면은 시간(Time)에 따라 전압(Voltage)이 변하는 모습을 보여주는 시간 영역(Time Domain)의 표시이다. 따라서 노이즈를 가장 먼저 눈으로 체감하게 되는 영역도 시간 영역이며, 실제 현장에서는 FFT를 보기 전에 시간 파형부터 확인하는 경우가 많다.

시간 영역에서 노이즈는 단순히 “잡음이 있다/없다”를 넘어서 신호 품질이 흔들리는 방식(두께, 흔들림, 리플, 불안정 등)으로 표현된다.

A. 시간 영역(Time Domain) 특징

시간 영역에서 노이즈는 크게 3가지의 패턴으로 자주 보인다.

1) 파형의 두께가 두꺼워짐

이상적인 반복 신호(사인파, 구형파)는 트레이스가 얇고 또렷하게 보인다. 그런데 노이즈가 섞이면 같은 구간이 매 획득마다 조금씩 다른 전압으로 찍히면서 한줄이 아니라 “띠”처럼 두꺼워진다. 이는 랜덤 노이즈가 전 구간에 걸쳐 두께를 증가시키거나 특정 주파수 성분이 섞여 특정 구간에서 두꺼워보이게끔 한다. 즉 두께는 시간 영역에서 가장 직관적인 노이즈 지표이며 노이즈의 전압 크기(진폭)가 커질수록 두께가 커진다.

2) 에지에서 지터(Jitter) 증가

구형파나 디지털 신호처럼 에지가 중요한 신호는 노이즈가 더 치명적으로 보인다. 특히 에지 근처에서는 미세한 전압 변동이 트리거 타이밍이나 임계점(Threshold)에 영향을 주면서, 에지가 좌우로 흔들리는 것처럼 나타난다. 시간 영역에서 에지가 좌우로 흔들려 보이면, 그 노이즈는 전압 노이즈를 넘어 타이밍 품질(클럭/데이터 안정성) 문제로 이어질 가능성이 크다.

3) 평탄해야 할 구간에서 리플(Ripple) 발생

DC 전원이나 안정된 레벨은 원래 평평해야 하지만, 전원 리플, 스위칭 레귤레이터 성분, PWM 결합 등이 있으면 평평한 구간 위에 주기적인 물결(리플)이 얹혀 보인다.

- 저주파 리플: 천천히 출렁이는 DC 변동
- 스위칭 리플: 비교적 빠른 주기의 잔물결
- 간헐적 리플: Burst/Skip 모드처럼 특정 순간에만 튀어나오는 경우

리플은 랜덤 노이즈와 달리 주기성이 있는 경우가 많아서 원인 추적에 유리한 단서가 된다.

B. 관찰포인트

시간 영역에서 노이즈를 볼 때는 예쁘게 보이는가?가 아니라 측정값과 동작 안정성에 영향을 주는가? 관점에서 체크하는 게 중요하다.

1) Vpp 증가 여부

노이즈가 섞이면 신호의 peak to peak가 커진다. 특히 DC 신호를 볼 때, 평균 값은 비슷한데 Vpp가 증가한 경우는 전원 노이즈 리플 증가의 가능성이 있다.

2) 에지의 흔들림

디지털 신호에서는 전압값이 맞냐 보다 타이밍이 맞냐가 더 중요한 경우들이 있다. 시간 영역에서 에지가 흔들리면 데이터 샘플링의 마진이 감소하고, 아이 다이어그램의 열림이 악화되고 마진이 감소한다. 따라서 에지 흔들림은 단순 노이즈가 아니라 시스템 타이밍 여유를 깎아먹는 위험 신호로 해석해야 한다.

3) DC레벨 위아래의 랜덤 변동

DC나 Low/High가 잔잔하게 떨어지는 형태로 보면 대개 광대역 랜덤 노이즈가 섞인 상황을 고려해 볼 수 있다. 측정 시 RMS 값이 올라가거나 평균화(Average) 적용 시 눈에 띄게 줄어드는 특성이 있다. 이 경우 필터링/평균화/대역폭 제한을 통해 해결방안을 찾아볼 수 있다.

C. 한계점

시간 영역은 노이즈를 가장 직관적으로 보여주지만, 결정적인 한계가 있다. 시간 영역에서는 노이즈가 섞여 보일 뿐, 그 신호가 어떤 종류의 신호인지 한 눈에 특정하기가 어렵다. 그래서 실무에서는 보통 시간 영역에서 이상 징후를 먼저 확인하고 원인을 알고 싶다면 주파수 영역에서 분석하고 노이즈를 줄이고 싶다면 BW Limit/Average 필터 등의 적용 전후를 비교하여 해결한다. 즉, 시간영역은 노이즈의 존재와 영향을 확인하는 1차 관찰 도구이고, FFT는 노이즈의 전체와 원인을 추적하는 2차 분석도구라고 보면 된다.

2.3 주파수 영역에서의 노이즈 분석 (FFT 활용)



그림 11-2. 노이즈가 포함된 파형을 분석하기 위한 FFT 활용 예시

시간 영역에서 노이즈는 파형의 두께 증가, 흔들림, 리플 등으로 관찰되지만, 이 노이즈가 어디에서 왔는지, 어떤 특성을 가지는 지까지는 판단하기는 어렵다. 이 때 FFT를 사용하면, 시간 영역에서 하나로 섞여 보이던 신호와 노이즈를 주파수 성분별로 분해하여 분석할 수 있다. 즉, FFT는 노이즈를 정체별로 분류해주는 도구라고 이해해도 좋다.

A. FFT를 사용하는 이유

FFT의 가장 큰 목적은 노이즈의 주파수 특성을 파악하는 것이다. 노이즈는 발생 원인에 따라 주파수 분포 형태가 명확하게 달라진다.

특정 주파수에 집중된 노이즈는 FFT 스펙트럼에서 뾰족한 피크 형태로 나타난다. 이에 예시는 스위칭 전원 동작 주파수, 클럭 주파수 누설, 외부 EMI 간섭 등으로 들 수 있다. 이 경우 원인이 비교적 명확하여 추적과 제거가 가능하다.

광대역으로 퍼진 노이즈는 FFT 전 대역에 걸쳐 고르게 분포한다. 예를 들면 열잡음, 증폭기 내부 잡음, 랜덤 전기적 변동 등을 들 수 있다. 이는 특정 원인을 하나로 지목하기 어려우며, 평균화, 필터링, 회로 설계 개선 등으로 노이즈를 해결해 볼 수 있다.

즉, FFT는 이 노이즈가 규칙적인 방해 신호인지 아니면 본질적으로 랜덤한 노이즈인지를 판단하게 해주는 도구이다.

B. Noise Floor

FFT 스펙트럼을 보면, 눈에 띄는 피크들 아래에 바닥처럼 깔린 레벨이 존재하고, 이 부분을 Noise Floor(노이즈 플로어)라고 부른다. Noise Floor는 시스템이 가지는 기본적인 노이즈 레벨로 오실로스코프 자체의 노이즈 + DUT 노이즈 + 측정 환경이 모두 포함된 결과다.

Noise Floor가 높아진다는 의미는 작은 신호가 Noise Floor 아래에 묻혀 구분되지 않고 미세한 고조파, 약한 스퍼 검출이 어려워지기 때문에 결과적으로 SNR(Signal to Noise Ratio)가 나빠진다는 의미이다.

실무에서는 어떤 신호를 보고자 할 때 신호가 나타나면 그 신호가 Noise Floor보다 작아서 안 보이는 것일수도 있다. 이 경우 고해상도 ADC, Average 모드, 대역폭 제한 등을 사용해서 Noise Floor를 낮추어 사용한다.

C. 스퍼(Spurios) vs. 노이즈

FFT 스펙트럼을 해석할 때 가장 자주 혼동하는 개념이 스퍼(Spurios)와 노이즈(Noise)의 차이이다. 스퍼는 특정 주파수에 뾰족하게 솟은 피크로 반복적으로 동일한 위치에 나타난다. 따라서 주파수의 값이 명확하고, 원인이 비교적 추적 가능하다는 특징을 가진다. 대표적인 원인으로는 클럭 누설, 스위칭 전원 고조파, 외부 간섭 주파수 등을 들 수 있다.

노이즈는 넓은 주파수 대역에 걸쳐 완만하게 분포된다. 위치가 고정되지 않거나 연속적이며, 평균화 사용 시 감소된다는 특징이 있다. 대표적인 원인으로는 열잡음 회로 내부 증폭 노이즈, 측정 시스템의 한계 등을 들 수 있다.

FFT는 노이즈가 어디에, 어떤 형태로, 왜 존재하는 지를 시간 영역이 아닌 주파수 관점에서 명확하게 보여주는 분석 도구이다.

2.4 오실로스코프를 이용한 노이즈 필터링 기법

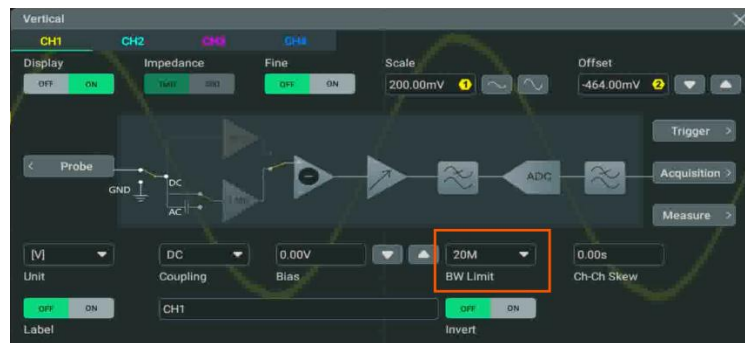


그림 11-3. 수직축 설정 창에서 BW Limit 설정하는 방법

A. 대역폭 제한 (BW Limit)

대역폭 제한은 고주파 노이즈 제거에 효과적이다. 예를 들어, BW Limit을 20MHz로 설정하면 불필요한 고주파 성분을 제거할 수 있다. 하지만, 이 경우 실제 신호 대역폭보다 낮게 설정하면 신호 왜곡이 발생하기 때문에 주의해서 사용해야 한다.



그림 11-4. 수평축에서 Average mode 설정 방법

B. 평균 수집 (Average)

랜덤 노이즈 감소에 매우 효과적이며 반복 신호에서 사용할 때 권장되는 방법이다.

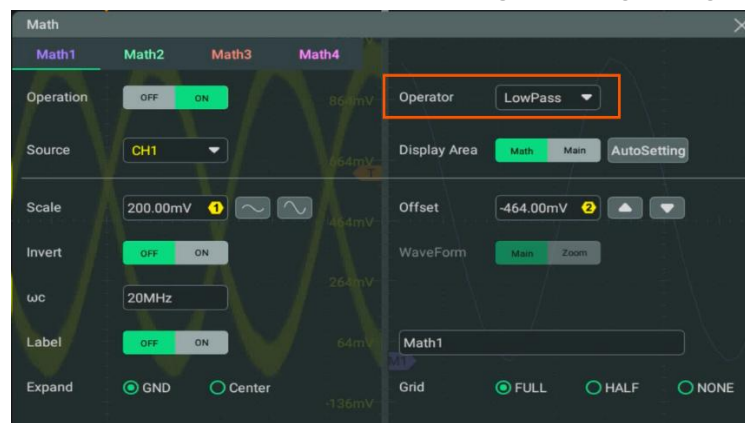


그림 11-5. Math 창에서 LowPass Filter 설정하는 방법

C. 디지털 필터 (Low-pass Filter/High-Pass Filter)

FFT 분석 결과를 바탕으로 목표 주파수 대역만 통과시키는 방법이다. EMI 원인 등의 주파수를 제거할 시 유용하게 사용된다.

3. 기본 실습

준비물: 오실로스코프, DS6000 데모보드, 패시브 프로브

3.1 노이즈가 포함된 사인파 관찰

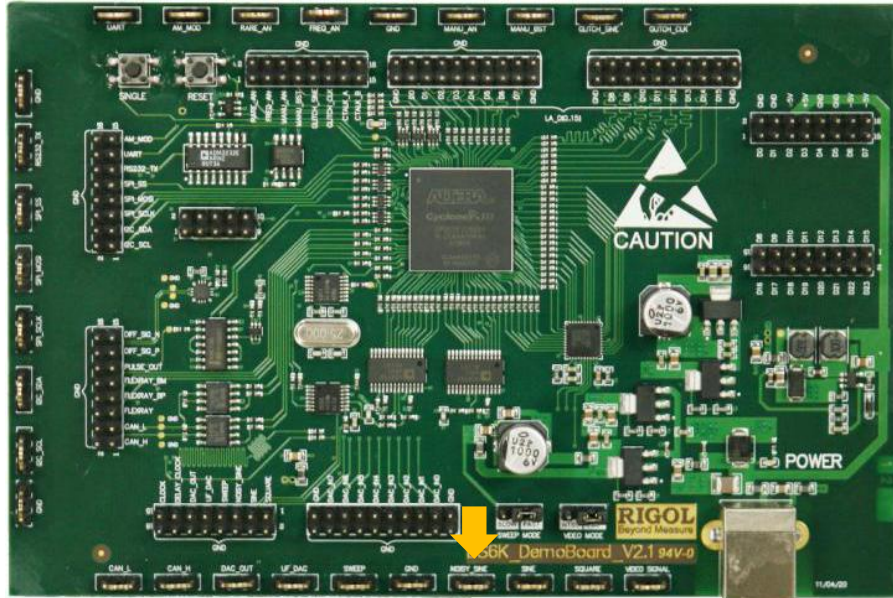


그림 11-6. DS6000 보드의 Noise_Sine 핀

- ① DS6000 데모보드에서 출력되는 NOISE_SINE 핀에 프로브를 연결하여 CH1에 연결합니다.

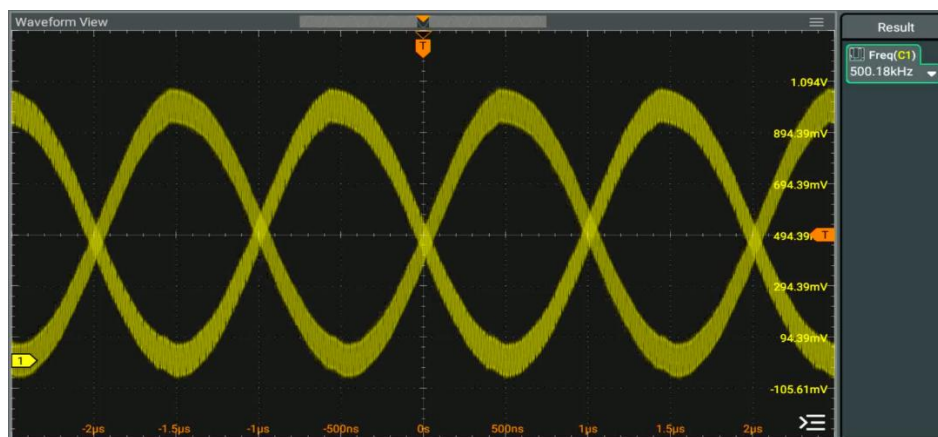


그림 11-7. Noise_Sine 파형과 Measure를 통한 기본 주파수 성분 파악

- ② AUTO를 눌러 오실로스코프에 들어오는 파형을 확인합니다.
- ③ 우선 이 파형이 어떤 주파수 성분들로 구성되어 있는 지 확인하기 위해 Measure 기능을 이용하여 주요 신호의 주파수를 확인합니다. Measure 메뉴에서 Frequency를 선택하여, 화면에서 해당 신호의 기본 주파수 (Fundamental Signal)을 확인합니다.



그림 11-8. Cursor를 활용한 노이즈 성분 파악

- ④ 그림 원하지 않는 노이즈 성분의 주파수를 파악하기 위해, Cursor를 이용해서 측정해 봅니다. Cursor를 이용해 노이즈 성분의 반복 구간을 측정하여 한 주기의 값을 확인하고, 이를 주파수로 환산해 봅니다.
- ⑤ 이제 환산한 주파수를 없애보기 위해 Math로 들어가 LowPass로 Operator를 변경하고, wc 부분에 내가 통과시키고 싶은 주파수를 설정해봅니다. 그렇게 설정하면 깨끗한 파형이 나오는 지 관찰 합니다.
- ⑥ Math 기능을 다시 끄고, CH1을 눌러 수직축 설정에서 BW Limit를 설정해봅니다. BW Limit을 20MHz를 눌러 활성화 하면 20MHz 이상의 고주파 성분이 차단되어 불필요한 노이즈가 어느정도 해결되는 것을 볼 수 있습니다. 250MHz로도 변경해보고, 이 때는 노이즈가 차단되는지 아닌 지 확인해봅니다.

4. 결과 확인

Noise_Sine 파형의 Fundamental 주파수는 어떻게 되나요?

Noise_Sine 파형의 포함되어 있는 Noise의 주파수 성분은 어떻게 되는 지 그 값을 쓰고, 그 때의 Cursor를 이용해 캡처한 화면을 제출하세요.

노이즈 화면을 없애기 위한 2가지 방법 (Math-Low Pass Filter, BW Limit)을 실행해 보고 각각의 화면에서 깨끗해진 사인파형의 화면을 캡처하여 제출하세요.

5. 확인 문제

1. 노이즈를 시간 영역에서 분석하는 것과 주파수 영역에서 분석하는 것의 차이는 무엇인가요?

2. FFT 스펙트럼에서 Noise Floor가 의미하는 것은 무엇인가요?

6. 핵심요약

- 노이즈는 신호 분석의 방해 요소지만, 동시에 회로 상태를 알려주는 중요한 정보이다.
- 시간 영역은 직관적 관찰에 주파수 영역은 원인 분석에 유리하다.
- FFT와 필터 기능을 함께 사용하면 노이즈의 정체를 명확히 파악할 수 있다.
- 필터링은 항상 신호 왜곡 여부를 함께 고려해야 한다.

7. 참고 및 부록

용어집:

- Noise: 원치 않는 전기적 신호 성분
- Noise Floor: FFT 스펙트럼의 바닥 레벨
- Spurious: 특정 주파수에 나타나는 불필요한 피크
- BW Limit: 입력 대역폭을 제한하는 기능
- Average: 반복 측정을 평균내어 노이즈를 줄이는 수집 방식