



신처 2. Electronic Noise & LTI Systems

➤ 관련 과목	
➤ 관련 시험/과제	
➤ 강의 일자	
☰ 상태	정리중
📎 강의자료	

1. Electronic Noise

(1) Johnson Noise

- = thermal noise
- def) 저항에서 발생하는 열에 의한 voltage 또는 current noise

$$V_J = \sqrt{4kTRB} \text{ [V]}, \quad I_J = \sqrt{4kTB/R} \text{ [A]}$$

k : 볼츠만상수 (1.38×10^{-23} J/K)

T : 온도 [K]

R : 저항 [ohms]

B : bandwidth (=주파수대역)

- 가장 많이 접함. 굉장히 없애기 힘들.
- 저항, 주파수대역, 온도가 높을수록 높음.
* 원래 아날로그 신호는 주파수 대역이 무한이지만 디지털 신호처리할 때 사용되는 data는 analog filter에 의해서 band limit 되어있음.

(2) Shot Noise

- def) diode(pn junction)에서 발생하는 current fluctuations(파동)에 의한 current noise

$$I_S = \sqrt{2qI_d B} \text{ [A]}$$

q : 전자의 charge (1.662×10^{-19} C)

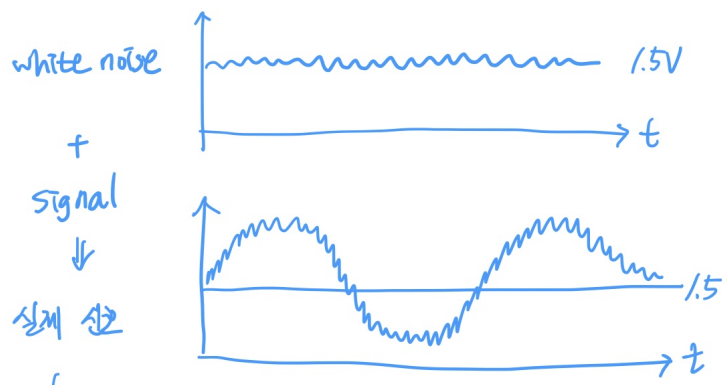
I_d : baseline semiconductor current

→ White Noise & Relative Noise

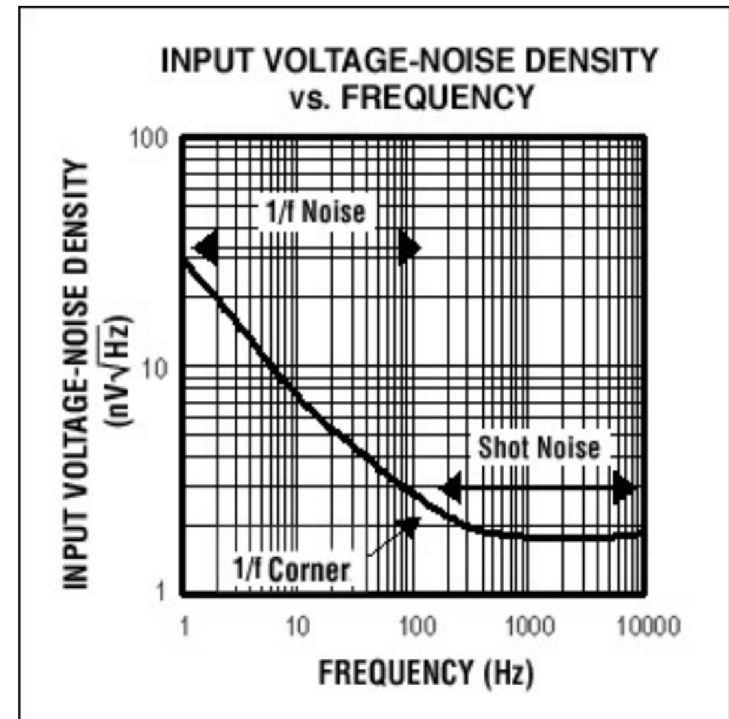
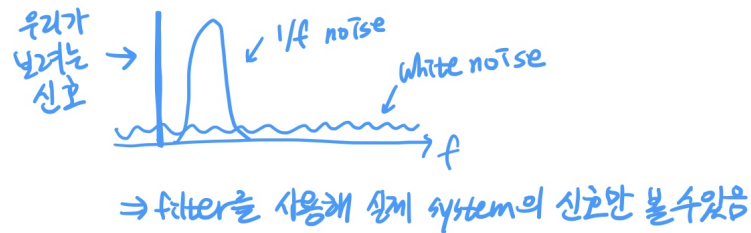
- def) a random signal with a flat power spectral density
* random signal이므로 측정할 때마다 달라짐.
- the signal contains equal power within a fixed bandwidth at any center frequency.
- Johnson noise와 shot noise가 이에 해당
- 전 주파수 대역에서 발생하므로 이 noise가 발생하는 bandwidth를 특정할 수 없음. → “relative noise”라는 개념 사용
- relative noise** : bandwidth(B)가 1.0Hz일 때 발생하는 noise
- Johnson noise의 relative noise specification 단위 : V/\sqrt{Hz} , A/\sqrt{Hz}
- shot noise의 relative noise specification 단위 : A/\sqrt{Hz}

(3) Flicker Noise (= 1/f Noise)

- 낮은 주파수 영역에서 거의 모든 전자소자에 발생하는 noise
- flicker noise의 amplitude는 주파수에 반비례함. (1/f noise라고도 불리는 이유)
- 200Hz 이하의 주파수에서 이 noise가 dominant함. 거의 linear하게 감소하다가 200Hz 이상부터 사라짐.

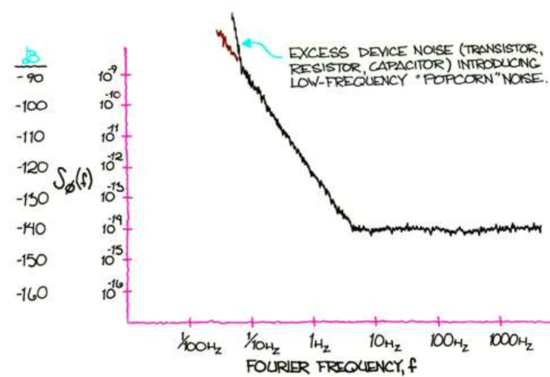


Fourier transform을 하면 아마도 이런 형태일 것이다



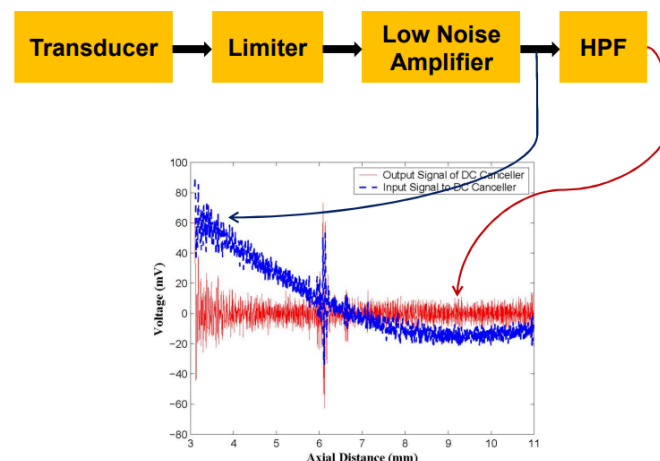
(4) Burst Noise

- = popcorn noise, impulse noise, bi-stable noise
- def) semiconductor에서 발생하며, 갑자기 수 milliseconds 동안 offset voltage에 step-like shift가 나타나는 noise (= 갑자기 신호가 딱 튀는 것)
- amplitude range : 1 mV ~ 수백 mV
- amplifier가 한 observation period 동안 초당 여러 번의 pop을 보이다가 이후 popless 상태가 될 것임. 이 때 관찰 가능함.



→ Effect of Flicker and Burst Noises

- 아래 예시는 실제 교수님이 학위논문 쓰실 때 측정하신 신호
- flicker noise는 낮은 주파수에서만 dominant하게 나타나므로 HPF(High Pass Filter)를 사용해 걸러낼 수 있음. (white noise는 못 거름)
- 파란색(raw signal) → HPF → 빨간색



Signal-to-Noise Ratio (SNR)

- def) the ratio of signal to noise, both measured in RMS (root-mean-squared) amplitude

- 대부분의 waveform에는 signal과 noise가 섞여있음. SNR은 waveform에서 signal의 RMS amplitude가 noise의 amplitude에 비해 상대적으로 얼마나 큰 지를 나타내는 값임.
- system의 성능을 나타내거나 filter를 설계할 때 사용함. SNR이 클수록 신호가 잘 보이는 것이므로 좋음.
- 주로 데시벨(dB) 단위로 표현되며, 정의는 아래와 같음.

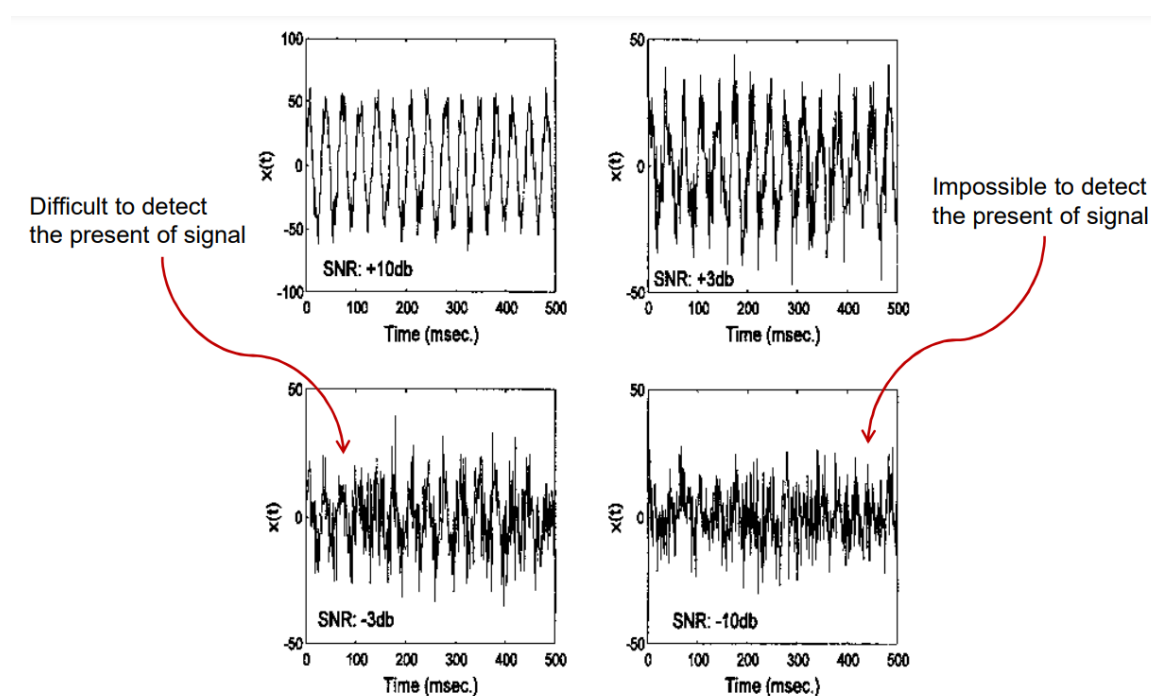
$$SNR = 20 \times \log_{10} \left(\frac{Signal_{RMS}}{Noise_{RMS}} \right)$$

$$f_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T_2 - T_1} \int_{T_1}^{T_2} |f(t)|^2 dt}$$

[유도] $SNR = \frac{S_{RMS}^2}{N_{RMS}^2} = 10 \log_{10} \left(\frac{P_{signal}}{P_{noise}} \right)^2 = 20 \log_{10} \frac{P_S}{P_N}$ |
(S, N : amplitude, P : power)

power와 amplitude를 헷갈리지 말 것!

• [Example] Effect of different SNR values



▼ Characteristics of Noise

▼ Central Limit Theorem

▼ Ensemble Averaging

▼ —SUMMARY—

- transducer나 전자 소자들에서 발생하며, 신호와 항상 함께 측정됨.
- 대표적으로 아래의 4가지 종류가 있음.
 - Johnson Noise : 저항의 열에 의해 전 주파수에서 발생. white noise. 가장 많이 보이며 없애기 힘들.
 - Shot Noise : diode의 current fluctuations에 의해 전 주파수에서 발생. white noise.
 - Flicker Noise : 낮은 주파수에서 전자소자에 발생. HPF로 걸러냄.
 - Burst Noise : semiconductor에서 발생. 갑자기 신호가 짝 튕는 것.
- 신호 처리에서 가장 중요한 것은 이러한 noise를 최대한 제거하는 것이다.
- SNR부터 요약

2. Linear Time Invariant (LTI) Systems ★

▼ LTI Systems

▼ Impulse Response

▼ Convolution ★

▼ Causal vs. Non-causal Systems

▼ Stability & Causality in LTI Systems

▼ —SUMMARY—