

Experiment 3: Spectrum Analyzer

포항공과대학교 전자전기공학과
Communication and Intelligent Systems Lab. (CISL)

NGCN302

CISL (POSTECH)

Sep. 23, 2024 1/18

Outline

1. Review : power in dBm
2. Today's experiment : spectrum
3. About report

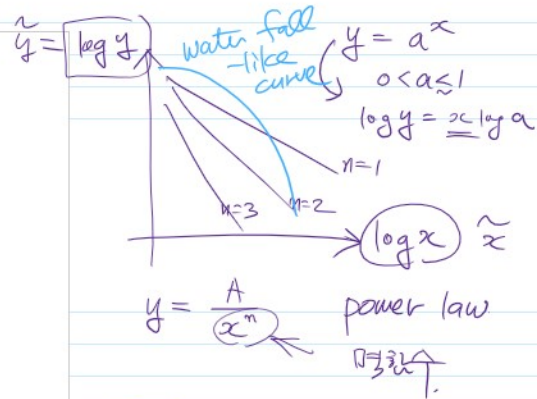
ESD of an energy signal
PSD of a power signal

NGCN302

CISL (POSTECH)

Sep. 23, 2024 2/18

Outline



$$\log y = \log A - n \log x$$

$$\tilde{y} = \tilde{A} - n \tilde{x}$$

"a power law" $\approx$ $\frac{1}{\text{파워 법칙}}$

Block diagram: $x(t) \rightarrow [h(t)] \rightarrow y(t)$

Equations:

- $x: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{C}$
- $y(t) = h(t) * x(t)$
- $Y(f) = H(f) X(f)$
- TD: $\int_{-\infty}^{\infty} |x(t)|^2 dt \triangleq E_{xx}$
- FD: $\int_{-\infty}^{\infty} |X(f)|^2 df \triangleq E_{xx}$
- ESD: $E_{xx}(f) = |X(f)|^2$
- TD: $\lim_{\Delta \rightarrow \infty} \frac{1}{2\Delta} \int_{-\Delta}^{\Delta} |x(t)|^2 dt = P_{xx}$
- FD: $\lim_{\Delta \rightarrow \infty} \frac{1}{2\Delta f} |X_{\Delta}(f)|^2 \triangleq S_{xx}(f)$ (Def)
- (i) Lemma: $\int_{-\infty}^{\infty} S_{xx}(f) df = P_{xx}$

(ii) Theorem: $S_{xx}(f) = \mathcal{F}\{R_{xx}(\tau)\} = \int_{-\infty}^{\infty} R_{xx}(\tau) e^{-j2\pi f\tau} d\tau$

where $R_{xx}(\tau) = \lim_{\Delta \rightarrow \infty} \frac{1}{2\Delta} \int_{-\Delta}^{\Delta} x(t+\tau)x^*(t) dt$

Outline

1. Review
2. Today's experiment
3. About report

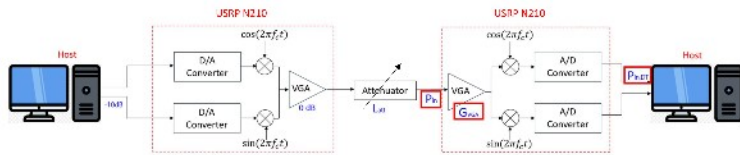
NGCN302

CISL (POSTECH)

Sep. 23, 2024 3/18

Review

- Experiment 2 : USRP 수신 power 측정
 - Attenuator loss, USRP RX VGA Gain 바꾸면서 수신 DT signal power 측정
 - RX DT signal power, Attenuator loss, USRP RX VGA Gain 관계식 도출



$$P_{in} \text{ (dBm)} = f(G_{VGA}, P_{in,DT})$$

NGCN302

CISL (POSTECH)

Sep. 23, 2024 4/18

Review

- 결과 예시

(1) (review. $S_{xx}(f) = \mathcal{F}\{R_{xx}(\tau)\} = \int_{-\infty}^{\infty} R_{xx}(\tau) e^{-j2\pi f\tau} d\tau$

where $R_{xx}(\tau) = \lim_{\Delta \rightarrow \infty} \frac{1}{2\Delta} \int_{-\Delta}^{\Delta} x(t+\tau) x^*(t) dt$

time auto-correlation function

The Wiener-Khinchine theorem.

deterministic

random-

Def. $S_{xx}(f) = \lim_{\Delta \rightarrow \infty} \frac{1}{2\Delta} E\{|X_{\Delta}(f)|^2\}$

$$X_{\Delta}(f) \triangleq \int_{-\Delta}^{\Delta} x(t) e^{-j2\pi ft} dt$$

Lemma.

$$P_{xx} \triangleq \lim_{\Delta \rightarrow \infty} \frac{1}{2\Delta} \int_{-\Delta}^{\Delta} E\{|x(t)|^2\} dt$$

$$= \int_{-\infty}^{\infty} S_{xx}(f) df$$

Theorem.

$$R_{xx}(t+\tau, t) \triangleq E[x(t+\tau) x^*(t)] \leftarrow \text{auto-correlation function}$$

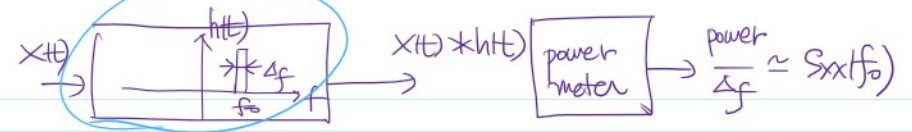
$$R_{xx}(\tau) \triangleq \langle R_{xx}(t+\tau, t) \rangle \triangleq \lim_{\Delta \rightarrow \infty} \frac{1}{2\Delta} \int_{-\Delta}^{\Delta} R_{xx}(t+\tau, t) dt$$

Then,

$$S_{xx}(f) = \mathcal{F}\{R_{xx}(\tau)\} = \mathcal{F}\left\{\lim_{\Delta \rightarrow \infty} \frac{1}{2\Delta} \int_{-\Delta}^{\Delta} R_{xx}(t+\tau, t) dt\right\}$$

Practical. $x(t)$,

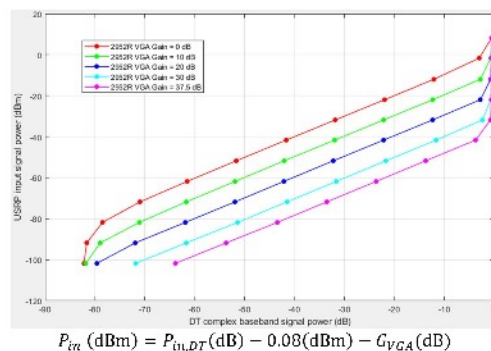
$$(1) S_{xx}(f) \approx \frac{1}{2\Delta} \left| \int_{-\Delta}^{\Delta} x(t) e^{-j2\pi ft} dt \right|^2$$



(2) FFT-based.

$$X(nT) \rightarrow \begin{bmatrix} X(0) \\ \vdots \\ X((N-1)T) \end{bmatrix} \xrightarrow{\text{FFT}} \frac{1}{2\Delta} |X(f)|^2$$

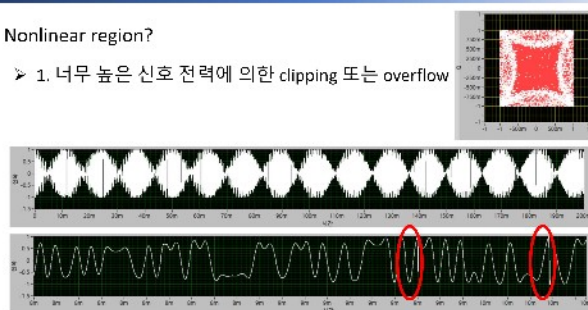
- 결과 예시



Review

- Nonlinear region?

- 1. 너무 높은 신호 전력에 의한 clipping 또는 overflow



콘스알테이션 플랫폼의 예제를 다음과 같은 이유로 발생시킬 수 있습니다

- 수신기와 송신기 사이의 보강되지 않은 주파수 요동
 - 신호 대 잡음비 (SNR) 불균
 - 다중 접속을 통한 보강을 위한 캐리웨이 또는 DSP 코어 블록(Cyciflow)
 - 동등화 기술 또는 트로피킹 등
- [참고사항] USRP2가 DC 오프셋 문제를 지니고 있는 이유는 내부 DC 오프셋 보정 회로가 없기 때문이다. 그러나 본사의 피드백 DC 보정 블록은 모든 USRP2와 USRP3에 적용할 수 있으므로, 아래 표본을 DC 오프셋 보정에 적용할 경우 제거하는 데 도움이 될 수 있습니다.

NI USRP 디바이스를 사용한다면 이 Constellation 플롯의 좌측과 드립트 - NI

$x(t)$

$x(t) = x(t)$

$x(t) = \int x(t) e^{-j2\pi ft} dt$

$\frac{1}{x(t)^2}$

sampling rate $1/T$

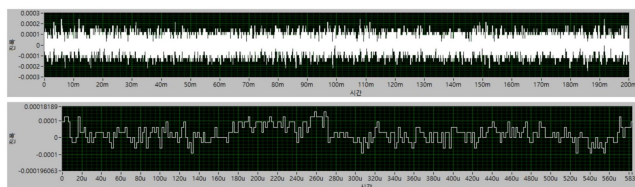
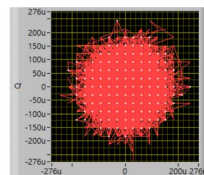
동일한 신호를 동일한 시간동안 기록해도 $N/2$ 가 되면
더 많은 수의 samples가 $N/2$
더 ~~낮은~~ resolution을 가질수 있다.

Review

- Nonlinear region?
 - 2. 너무 낮은 신호 전력에 의한 quantization error

- USRP-2952R ADC의 resolution : 14 bit

Analog-to-digital converter (ADC)	
Resolution	14 bit
sFDR	88 dB



NGCN302

CISL (POSTECH)

Sep. 23, 2024 7/18

Outline

- Review
- Today's experiment
- About report

NGCN302

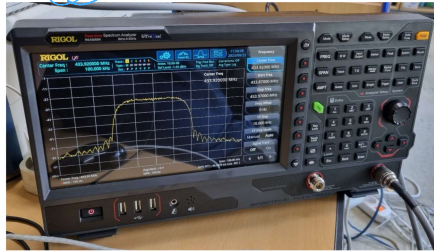
CISL (POSTECH)

Sep. 23, 2024 8/18

Today's experiment

- Spectrum Analyzer란?

- Frequency Domain에서 신호의 세기를 시각화하는 장비.
- 신호의 변조 방식이나 주파수 대역폭 분석에 필수.
- 사용 장비 : RIGOL RSA5065N



Oscilloscope
Spectrum Analyzer
Signal Analyzer

Spectrum Analyzer

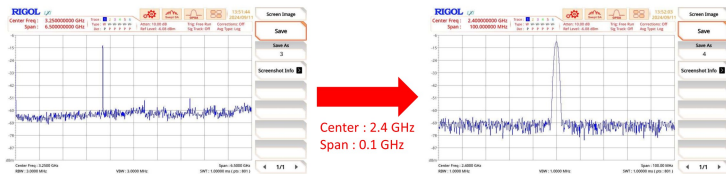
- Frequency range 조절

- 1. Start frequency와 Stop frequency를 지정



Spectrum Analyzer

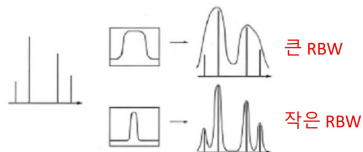
- Frequency range 조절
 - 2. Center frequency와 Span을 지정



- Center frequency가 2.4GHz인 신호가 Spectrum Analyzer로 들어오고 있음.
- 더 확실히 알고 싶다면? → Span을 줄여보자!

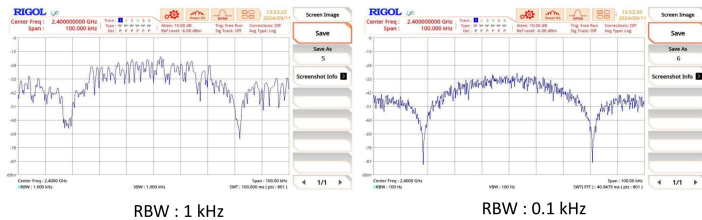
Spectrum Analyzer

- Resolution Bandwidth (RBW) 조절
 - RBW (분해 대역폭) : 스펙트럼 분석기가 주파수 성분을 얼마나 세밀하게 분리할 수 있는지 가늠하는 척도.
 - 대체로 지원하는 최소 RBW가 작을수록 가격이 많이 나가는 편.
 - RBW가 낮으면 가까이 있는 주파수 성분을 효과적으로 분리 가능하나, 화면의 업데이트에 시간이 많이 걸린다 (많이 버벅임)



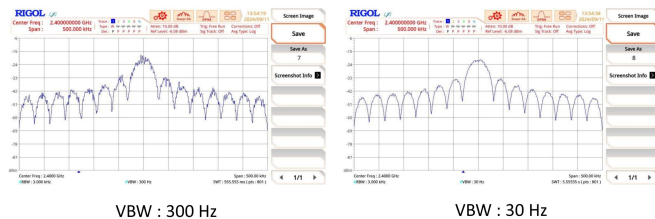
Spectrum Analyzer

- Resolution Bandwidth (RBW)에 따른 파형 비교



Spectrum Analyzer

- Video Bandwidth (VBW) 조절
 - VBW (비디오 대역폭): 측정한 주파수 성분이 display에 얼마나 smooth 하게 보이는지 결정.
 - 낮을수록 고주파 잡음을 잘 걸러내지만, display 속도가 느려짐.



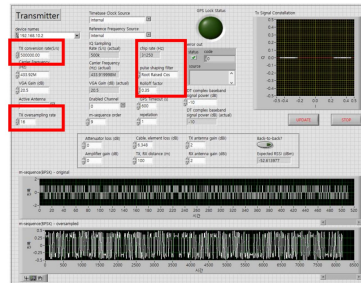
Spectrum Analyzer

- Y scale : log scale vs. linear scale
 - Linear scale시 Y axis에서 100% = Ref level
- 예시 : Square wave 입력 (Fourier Transform하면 sinc function)



Today's experiment

- USRP를 송신 mode로 사용.
- Pulse shaping filter와 chip rate를 바꾸면서 송신 신호를 spectrum analyzer로 보자.



Pulse shaping filter

- ① Root Raised Cosine
- ② None (square wave)

TX conversion rate = 200 KS/s ~
underflow error 발생시까지

(초고 기준 10 MS/s까지 error 없음)

TX oversampling rate : even #

Outline

1. Review
2. Today's experiment
3. About report

NGCN302

CISL (POSTECH)

Sep. 23, 2024 17/18

About report

- Due : 2024. 9. 30. (월) 오후 4:59
- Must be included :
 - Square wave와 SRRC pulse shaping한 신호를 spectrum analyzer로 관찰한 결과
 - Frequency range, resolution BW [RBW] , video BW [VBW]
 - Pulse shaping filter 종류, roll-off factor, Chip rate
 - 이론적인 frequency response와의 비교
- jhchoi0226@postech.ac.kr로 제출

NGCN302

CISL (POSTECH)

Sep. 23, 2024 18/18