

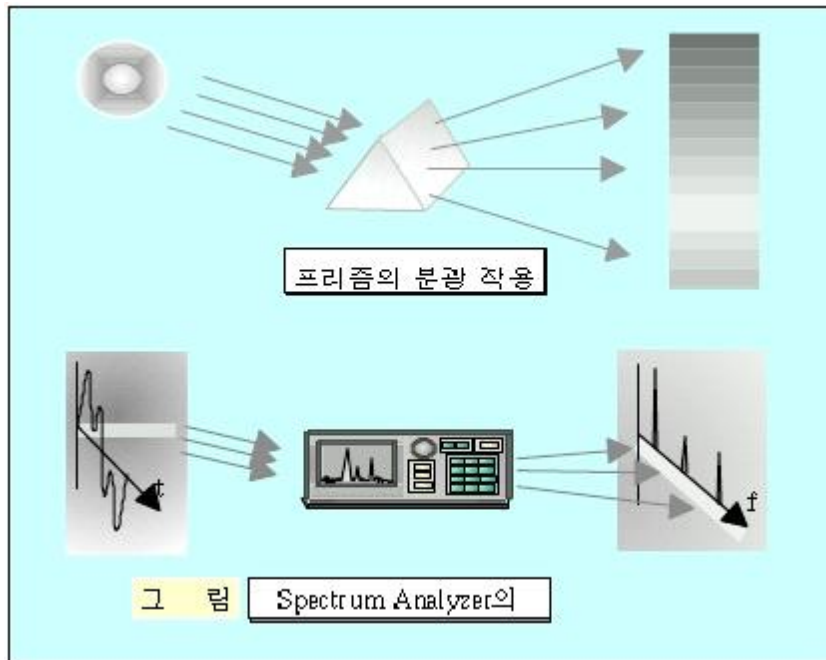
Spectrum Analyzer

한국방송통신전파진흥원

1. 스펙트럼분석기(Spectrum Analyzer)

① 스펙트럼분석기(Spectrum Analyzer)란?

- 스펙트럼분석기(Spectrum Analyzer)는 마치 프리즘이 빛을 파장별로 분해하여 보여주는 듯이 신호의 스펙트럼 또는 주파수를 분해하여 그 크기를 화면에 표시하여 주는 계기이다. <그림>은 Spectrum Analyzer의 작용을 보여준다.



스펙트럼이란 어느 주파수 성분의 신호들이 어느 정도의 세기를 가지고 있는가를 표시해주는 것이며 이러한 측정에 실용되고 있는 측정기로서, Spectrum Analyzer와 FFT Analyzer(Fast Fourier Transform Analyzer)가 있는데, FFT Analyzer로는 주로 100kHz 이하의 주파수 분석에 사용된다. Spectrum Analyzer는 실시간 처리 방식과 Heterodyne 방식 등 여러 방식의 제품이 있다.

② 스펙트럼분석기(Spectrum Analyzer)의 용도

- Spectrum Analyzer는 입력을 통하여 들어온 신호의 각 주파수 성분들을 분석하여 각 주파수별 신호의 크기를 표시하여 준다. 따라서 Spectrum Analyzer는 다음 항목의 측정에 응용되어 질 수 있다.

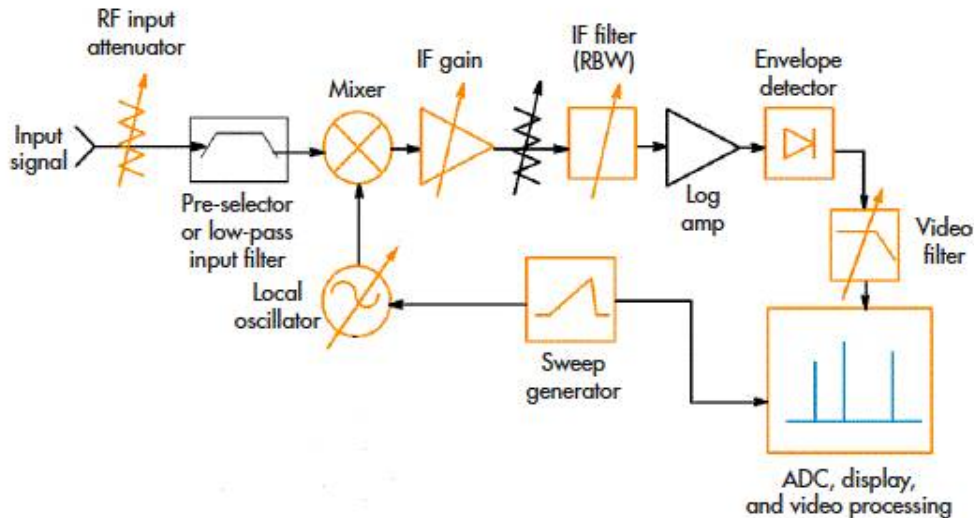
- 각 신호의 주파수 & 레벨 측정 • 주파수 대역폭 측정
- 잡음 전력 & 신호 대 잡음비(C/N, S/N Ratio) 측정
- 찌그러짐 측정(Distortion Measurement)
- 상호 변조(Inter Modulation) • 고조파(Harmonic)
- 변조도 & FM의 주파수 편이 측정 • 불요 방사신호(Spurious) 측정
- 송, 수신기 교정

③ 스펙트럼분석기(Spectrum Analyzer)의 원리

- Spectrum Analyzer의 입력신호는 가변 감쇠기를 통하여 초단 Mixer에 인가된다. 여기서 국부 발진기로부터의 신호와 혼합(mixing)되어 중간 주파수(IF)로 변환된다. IF로 변환된 신호는 IF Amp단에서 적당한 크기로 증폭되어 대역폭을 선택할 수 있는 필터 회로를 통과한다. IF 최종단의 필터가 Spectrum Analyzer의 분해능을 결정한다.

따라서 세밀한 스펙트럼 해석을 위해서는 예리(sharp)하고 대역폭이 좁은 필터가 필요하다. 측정에 필요한 분해능에 의해 대역 제한된 신호는 Log(또는 Linear)특성을 가진 증폭기를 거쳐 검파 회로에 인도된다. Spectrum Analyzer에 사용되고 있는 검파기는 보통 포락선형의 피크값 검파(첨두값 검파)이지만, EMC (electro magnetic compatibility, 전자파 적합성) 측정에도 많이 쓰이고 있다는 점에서 준첨두값 검파기를 내장하는 모델도 있다.

검파된 신호는 필요에 따라서 비디오 필터로 직류 영역의 잡음을 제거한 후 Vertical Scale Factor(A/D변환기)에 인가되어 디지털 값으로 변환된다. 또한 화면에 Display를 위한 처리 후 비로서 CRT에 표시된다.



- o RF input attenuator : 과입력 신호로부터 장비내부를 보호하는 역할 및 mixer 보호
- o Mixer : 주파수를 변환해주는 역할
- o Local oscillattor : mixer에 쓰이는 주파수 생성
- o IF gain : 중간주파수를 증폭시키는 역할
- o IF filter : 측정신호를 검출하기 위해서 사용하는 대역필터(BPF)
- o Log Amp : 측정에 필요한 분해능에 의해 대역 제한된 신호를 증폭
- o Detector : 신호의 검파모드를 결정해주는 역할
- o Video filter : 화면에 표시된 스펙트럼의 잡음을 평균화하여 감소 시킴
- o CRT display : 검파된 신호를 표시

④ 스펙트럼분석기(Spectrum Analyzer)의 입력단

- Spectrum Analyzer의 입력은 가변 감쇠기와 때때로 증폭기로 구성되어 있다. 입력 부분의 기능은 계측기에 인가되는 신호 레벨을 제어하기 위한 것이다. 신호 레벨이 너무 높으면 분석기의 회로가 왜곡 성분을 발생시킴으로 원하는 측정 결과가 나오지 않는다. 반대로 신호 레벨이 너무 낮으면 측정코자 하는 신호는 측정기 자체에서 발생하는 잡음에 가려 버릴 수 있다. 이같은 문제가 측정 다이내믹 레인지(Dynamic Range)를 제한하는 요소가 된다. 어떤 종류의 Spectrum Analyzer는 적절한 입력신호의 크기를 위해 자동으로 입력 감쇠량을 선택 조절한다. 그러나 그러하지 못한 Spectrum Analyzer들은 사용자가 알아서 감쇠정도를 선택하여야 한다. 전형적인 Spectrum Analyzer의 입력부는 아주 민감해서 잘못 사용하면 바로 손상을 입게 된다. 특히 초고주파용 Spectrum Analyzer의 경우는 조작에 세심한 주의를 기울여야 한다. 또 어떤 종류의 분석기들은 입력에 DC가 인가돼도 견딜 수 있는 것이고 어떤 것은 DC가 전혀 허용이 안 되거나 소량만 허용되는 경우가 있다.

※ Dynamic Range 란?

- Dynamic Range는 신뢰성을 가지고 동시에 측정할 수 있는 최대 레벨의 신호와 최소 레벨 신호 사이의 범위이다. 즉 진폭이 큰 신호가 존재하는 상황에서 얼마만큼 작은 신호를 측정할 능력이 있는가를 판가름하는 기준이다. Spectrum Analyzer의 Dynamic Range는 “규정된 정확도를 가지고 측정할 수 있는 입력단에 나타나는 두 신호의 최대 비” 라고 정의된다.

Spectrum Analyzer는 신호의 개별 주파수 성분을 측정하는 측정기이므로 Dynamic Range는 분석기의 아주 중요한 사양이고, 또 이 범위를 벗어나면 측정이 불가능하거나 심각한 오차가 발생한다.

④-1 최적 입력 레벨

- Spectrum Analyzer의 최적 입력 레벨이란 입력 신호의 크기를 제작사에서 규정한 1st Mixer의 최적 입력 레벨에 RF Step Attenuator의 감쇠량을 더한 값이다. 여기서 1st Mixer의 최적 입력 레벨은 대부분 -30dBm이다. Analyzer의 최적 특성을 위해서 Mixer에 걸리는 입력 신호레벨은 매우 중요하다. 그렇기 때문에 RF Step Attenuator의 감쇠량을 적절히 조절하여 Mixer의 최적 입력 레벨을 유지할 필요가 있다.

예를 들어 입력이 -10dBm이라고 할 때 입력 감쇠기를 20dB 감쇠 시켜주면 믹서에는 -30dBm의 최적레벨이 걸리게 된다. 아래 표에서 입력레벨에 따른 적절한 Attenuator의 값을 알 수 있다.

Ref Level	RF Step ATT	Mixer In	Mixer Out
-50dBm	0dB	-50dBm	-58dBm
-30dBm	0dB	-30dBm	-38dBm
-10dBm	20dB	-30dBm	-38dBm
0dBm	30dB	-30dBm	-38dBm
+10dBm	40dB	-30dBm	-38dBm
+20dBm	50dB	-30dBm	-38dBm

만약 규정치 이상의 큰 입력 신호가 들어오게 되면 Mixer가 포화되어 출력신호의 찌그러짐(Distortion)이나 원치 않는 신호 성분(Spurious)이 발생된다. 이로 인하여 측정 결과에 심각한 오차가 발생하게 되며 최악의 경우 믹서가 파괴되어 Analyzer의 사용이 불가능해진다.

⑤ 스펙트럼분석기(Spectrum Analyzer)의 기본적인 조작

- 스펙트럼분석기(Spectrum Analyzer)의 조작의 기본은 크게 3가지로 나누어 질 수 있다.
 - 기준 레벨(Reference Level)
 - 주파수(Frequency)
 - 수평 주파수 간격(Span)

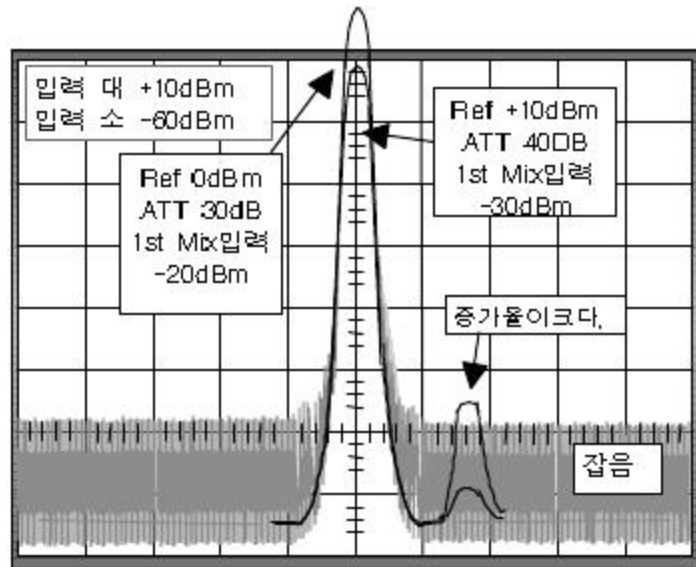
대부분의 Spectrum Analyzer들은 이 3부분의 조작으로 원하는 결과를 얻을 수 있지만, 기타의 조정 단자들도 물론 함께 사용하여야 하는데, 이와 같은 기타 조정 단자들은 Spectrum Analyzer를 더욱 편리하게 이용할 수 있도록 도와주고 사용자의 측정 목적에 적합하도록 해준다.

⑤-1 기준 레벨(Reference Level) 조정

- 기준 레벨 조정부는 신호의 진폭에 따라서 신호가 화면상에서 충분한 편향이 되도록 조절할 수 있다. 기준 레벨은 화면 눈금 중 최 상단을 나타내고 사용자가 설정한 측정 조건의 최고 입력레벨이다. 만약 기준 레벨을 -10dBm 으로 설정했다고 가정한 경우에, -10dBm 의 입력 신호는 화면의 최상단 눈금까지 표시된다. 신호의 세기를 결정하는 방법은 설정한 기준 레벨에서(화면의 최상단 눈금), 현재 화면에 표시되고 있는 신호의 최고점이 위치하는 점과의 눈금 차이를 구한 후 수직축의 눈금비(감도)를 곱하여 빼주면 된다. 예를 들면 기준 레벨이 -10dBm , 수직축의 눈금비가 10dB/Div 이라고 가정했을 시에, 입력 신호가 기준 레벨(최상단 눈금)에서 2칸이 낮다고 하면 이 신호의 세기는 -30dBm 이다.

기준 레벨은 입력단의 RF감쇠기와 IF증폭기의 이득에 의하여 결정되며 감쇠기와 이득의 결정은 각각 독립적으로 작동된다. 최근의 Spectrum Analyzer들은 2개의 조정 단자가 적절한 감쇠와 이득이 되도록 자동으로 연동되어 동작하므로, 사용자는 오직 하나의 조정 단자만 조작하여 기준 레벨을 설정할 수 있다. 입력의 감쇠기는 Spectrum Analyzer의 입력 단자를 통하여 들어온 신호의 감쇠량을 결정시켜준다.

최적의 Analyzer 특성을 얻기 위해서는 입력신호를 제작사에서 규정 한 1st Mixer의 최적 입력 레벨(-30dBm)만큼 감쇠 시켜 주어야 한다. 예를 들면 입력단에 $+10\text{dBm}$ 과 -60dBm 의 신호가 연결되어 있다고 가정하면, 사용자는 1st Mixer의 최적 입력 레벨에(-30dBm)맞추기 위하여 입력 감쇠기를 40dB 로 설정하여 $+10\text{dBm}$ 의 신호를 줄여 주어야 한다. 만약 기준 레벨을 $+10\text{dBm}$ 으로 설정하였다면 큰 신호는 기준레벨에 일치하여 측정이 가능하지만 작은 신호를(수직 scale : 10dB/Div 이라면) 기준선에서 7칸 밑에 나타나므로 측정이 어렵게 된다. 그래서 이 작은 신호를 측정하고자 입력 감쇠기를 낮추면 큰 신호의 레벨이 상승하여 Analyzer 입력단은 포화되게 된다.



항상 Spectrum Analyzer의 입력에 신호를 연결하기 전에 화면에 보이지 않는 신호와 최고 입력 레벨을 초과하는 신호로부터 Analyzer를 보호하기 위하여 입력 감쇠기를 최대로, 최대 기준레벨로 하고 가장 큰 수평축 (Span/Div, 또는 Max Span)을 이용한다. 화면의 가장 큰 신호가 기준 레벨에 일치하도록 기준 레벨을 줄여 나간다.

⑤-2 주파수(Frequency) 조정

- 현재 사용중인 Spectrum Analyzer들은 여러 개의 국부 발진기(Local Oscillator)와 혼합 회로(Mixing Circuit)를 이용하여 입력 신호의 스펙트럼을 측정한다.

첫번째 국부 발진기(1st LO)는 측정할 수 있는 주파수 범위나 Span만큼 1st LO가 Sweep 하게 되며, 입력 신호에 대응되는 분해능필터(RBW)를 통과하게 된다. 주파수 조정은 통상 Sweep 되는 주파수 범위의 중앙 및 화면의 중앙을 결정지어 준다.

그래서 일반적으로 중심 주파수(Center Frequency)라고 부르고 있다. 그러나 주파수 조정의 다른 방법은 스위프되는 주파수의 처음, 즉 화면의 좌측을 기준으로 나타내는 경우도 있다. 이 기준점을 시작주파수(Start Frequency)라고 부른다.

주파수(Frequency) 조정은 중앙주파수(Center Frequency), 시작주파수(Start Frequency)를 입력하므로써 조정하게 된다.

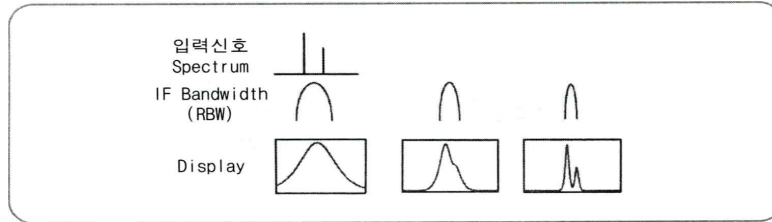
⑤-3 수평 주파수 간격(Span) 조정

- 수평축의 주파수 간격을 조절하는 Span 단자는 국부 발진 주파수의 Sweep 폭을 제어 하여 주파수 스펙트럼의 간격이 적절하게 표시되도록 한다. 사용자는 Span 단자를 조정하여 수평축의 한 눈금 당 주파수 간격(KHz 또는 MHz)을 설정할 수 있다. 또한 주파수축(수평축)은 통상 10칸으로 나누어져 있으므로 Span 조정 단자는 CRT상으로 볼 수 있는 전체 주파수 범위(Total Frequency)를 결정해 준다. 예를 들어 사용자가 20MHz Span을 선택하였다면 전체 Sweep 범위는 20MHz/10칸으로 되어 CRT상에 Div 당 범위는 2MHz가 된다.

이 외에도 Span을 필요없는 Full Span(최대범위)과 Zero Span(최소범위)가 있다.

⑥ 분해능 대역폭(RBW : Resolution Bandwidth) 조정

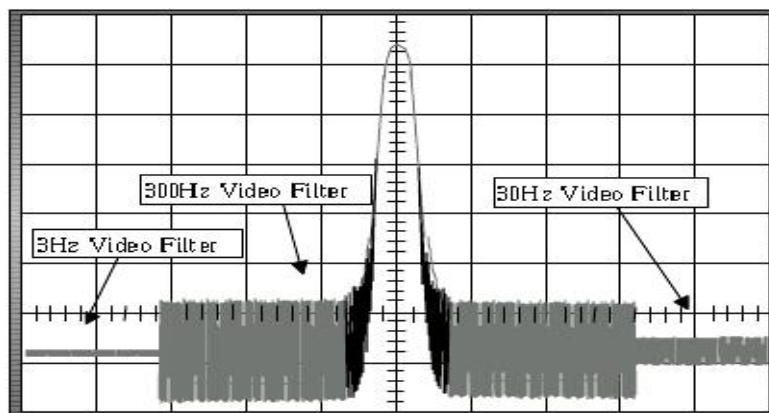
- 분해능이란 서로 인접한 신호들을 측정할 때, 이 신호들을 분리해서 각각의 신호를 측정할 수 있도록 하는 중요한 기능이다. 중간주파수 필터(IF Filter)는 측정신호를 검출하기 위해서 사용하는 대역필터(Band Pass Filter,BPF)로서, 이 필터의 대역폭을 분해능 대역폭이라고 한다. 분해능 대역폭을 어떻게 설정 하느냐에 따라 측정결과가 상이하게 나타날 수 있다.



위 그림과 같이 분해능 대역폭(RBW)을 점점 좁힘에 따라 선택도가 향상된다. 즉, 분해능 대역폭을 넓게 설정하였을 때는 하나의 신호로 나타나다가 점점 분해능 대역폭을 좁힘에 따라 두 개의 신호로 나타나게 되는 것을 알 수 있다. 예를 들어 주파수간격이 30kHz간격으로 배치되어 있는 경우, RBW가 100kHz라면 100kHz단위로 주파수신호의 크기를 측정하기 때문에 모든 주파수를 찾아낼 수 없다. 이런 경우는 최소한 30kHz이하로 RBW를 설정해야 원하는 주파수들을 다 찾아낼 수 있다. 즉, 서로 인접한 크기가 같은 두 신호들을 분해, 측정하기 위해서는 RBW를 두 신호 간의 주파수 간격과 같거나 작게 선택해야 한다. 반면에, 분해능 대역폭이 작을수록 분해능이 정교해져서 화면에 촘촘하게 보이지만 Sweep time이 길어지고 측정시간이 길어진다.

⑦ 비디오 대역폭(Video Bandwidth) 조정

- 비디오 대역폭은 스펙트럼분석기 화면상의 디스플레이를 위한 기능이다. RBW가 계측기 내부에서 얼마나 촘촘히 측정하느냐를 결정한다면 VBW는 그 측정된 결과들이 화면상에서 얼마나 평활(Smooth)하게 보이게 하느냐를 결정한다. 이것은 내부의 Video Filter 차단주파수를 변화시키는 것이며, 저역통과 필터(Low Pass Filter, LPF)로 구성되어 있어서 고주파 잡음을 걸러내는 역할을 하게 된다.

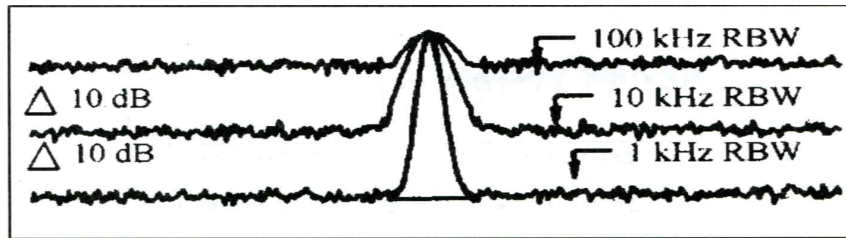


스펙트럼분석기에 측정되는 신호는 신호성분과 잡음성분이 합해져 표시되므로 신호성분의 크기가 잡음성분의 크기에 가까울수록 잡음성분에 의해서 신호성분의 판독이 어려워진다. 이와 같은 현상을 감소시키기 위해서 VBW를 변경(즉 VBW를 작게 설정)하여 잡음성분의 피크 값 변화를 감소시킬 수 있다.

이처럼 VBW를 크게 설정하면 그래프를 평탄하게 만드는 역할이 줄어들어서 파형이 찌글찌글해 보인다. 반면 VBW를 작게 설정하면 잡음성분을 제거하여 화면이 깨끗해지면서 평탄하게 만들어 잡음에 인접한 미약신호를 분석해 낼 수 있지만, 디스플레이 속도가 느려진다.

⑧ 분해능대역폭(RBW)과 Noise Level 관계

- 스펙트럼분석기 내부에서 발생하는 노이즈는 열에 의한 것으로 랜덤(Random)하며 RBW의 범위와 비교하여 넓은 주파수범위에 대해 평탄한 레벨을 유지한다. 검파기에 도달하는 전체 노이즈는 선택된 RBW에 연관되는 것으로 전력단위로 합산되어 표시된 노이즈 레벨과 RBW간의 관계는 상용로그 관계이다. [그림]과 같이 RBW가 10배 만큼 증감하면 검출기에 도달하는 노이즈 에너지도 10배 증감되고 표시되는 평균 노이즈 레벨은 10dB만큼 증감하게 된다.



Noise Level과 RBW간의 관계는 다음과 같다.

$$\text{노이즈 레벨 변화(dB)} = 10\log(RBW_{\text{new}})/(RBW_{\text{old}})$$

RBW를 100kHz(RBWold)에서 10kHz(RBWnew)로 변경하면 Noise Level이 변하게 된다.

$$\text{노이즈 레벨 변화} = 10\log(10\text{kHz}/100\text{kHz}) = -10\text{dB}$$

즉 RBW가 10배만큼 감소하면 노이즈 레벨은 10dB만큼 감소된다.