

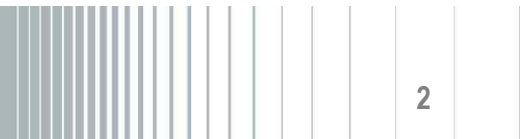
디지털 오실로스코프 이론



ROHDE & SCHWARZ

2014 | 디지털 오실로스코프 이론

오실로스코프란?



오실로스코프란?



오실로스 코프는

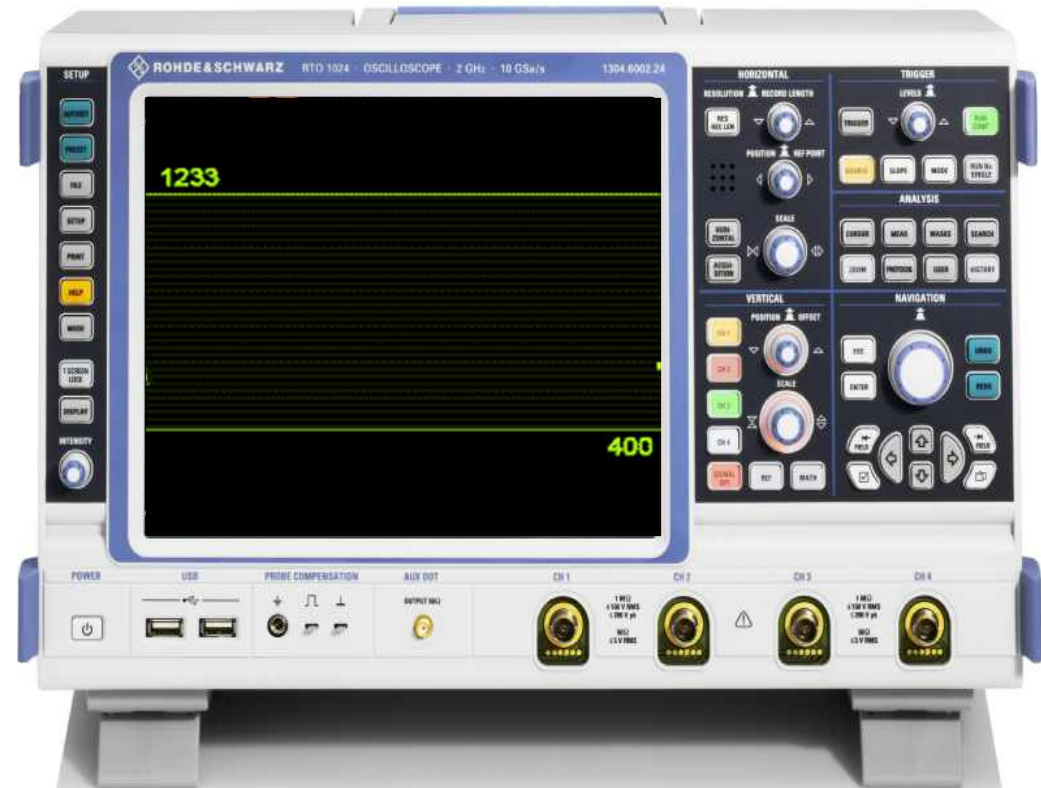
눈으로 볼 수 없는 전자세계를 바라보게 해주는

창문의 역할을 하는 장비이다

오실로스코프

OSCILLOSCOPE = OSCILLATOR + SCOPE

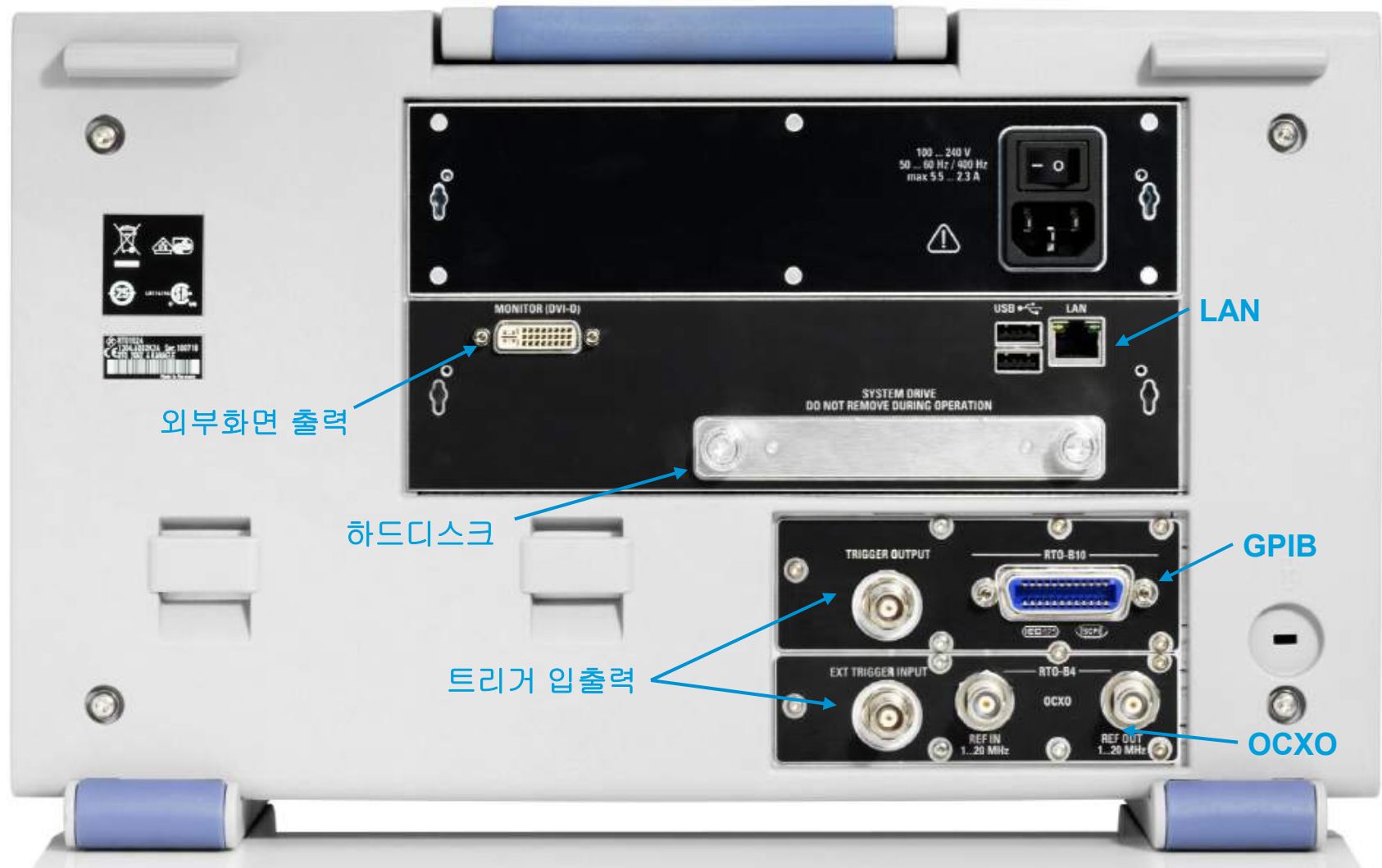
즉, 진동파형을 보는 기계



오실로스코프 전면부



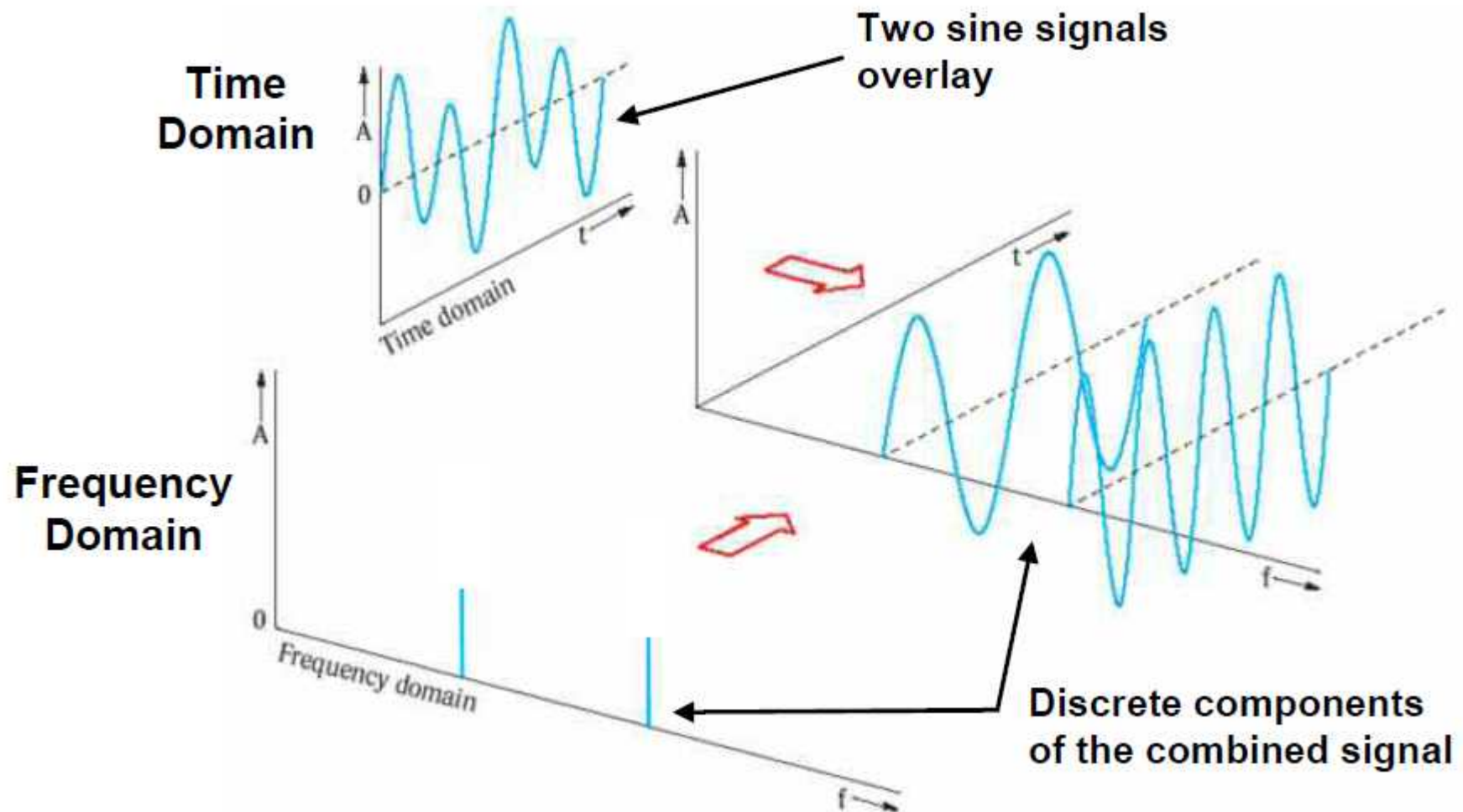
오실로스코프 후면부



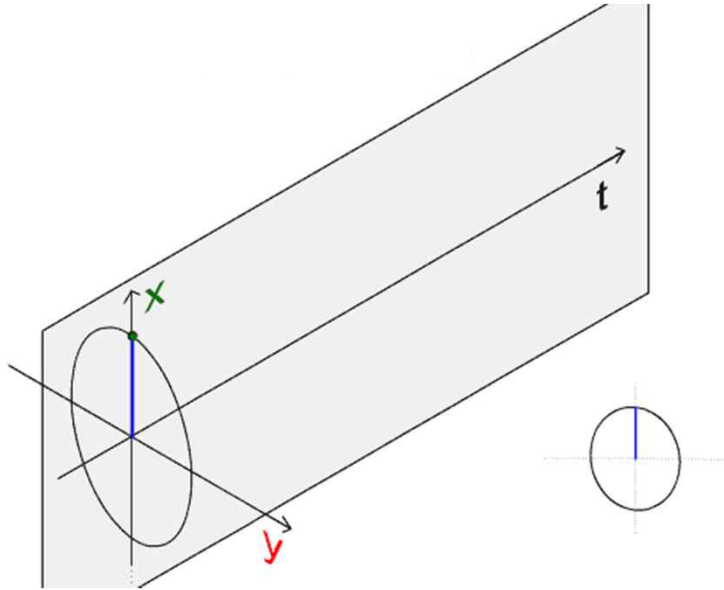
신 호



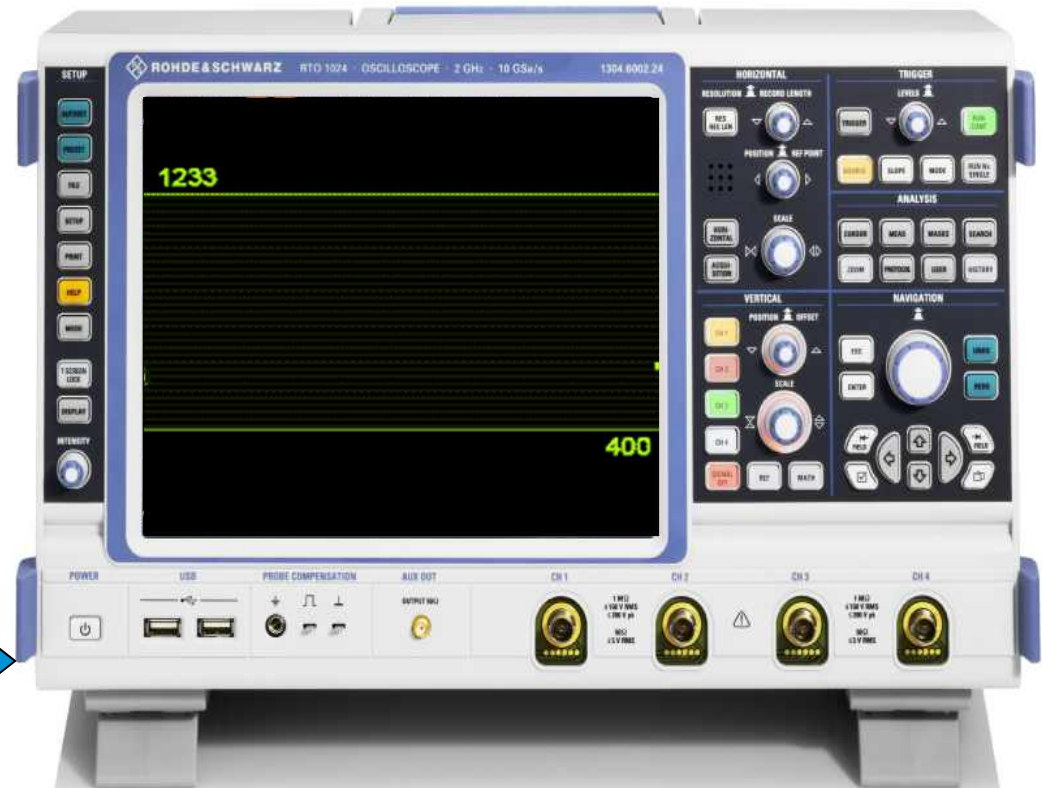
주파수와 시간 영역



신호

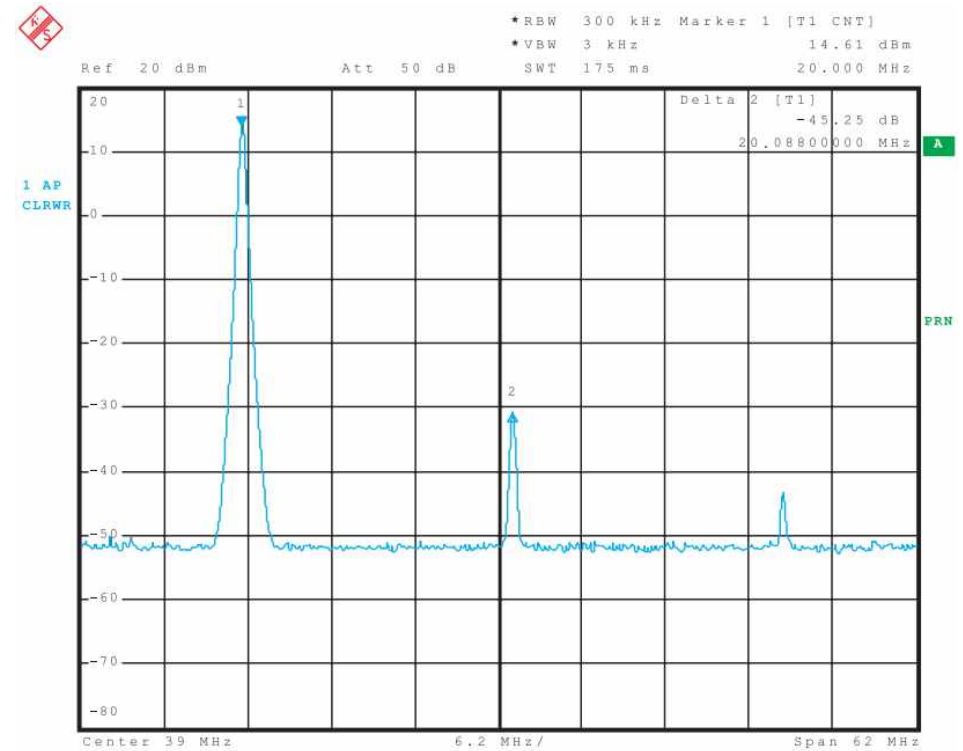
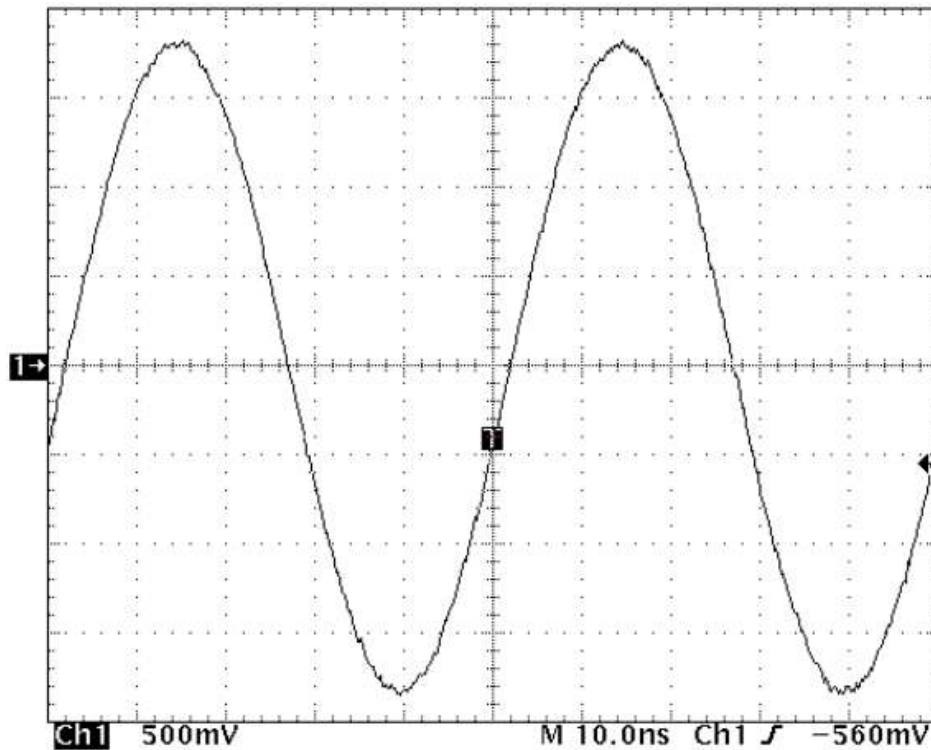


Sine 신호와 같은 전기적인 신호 분석은
시간축 장비를 통해 측정될 수 있다



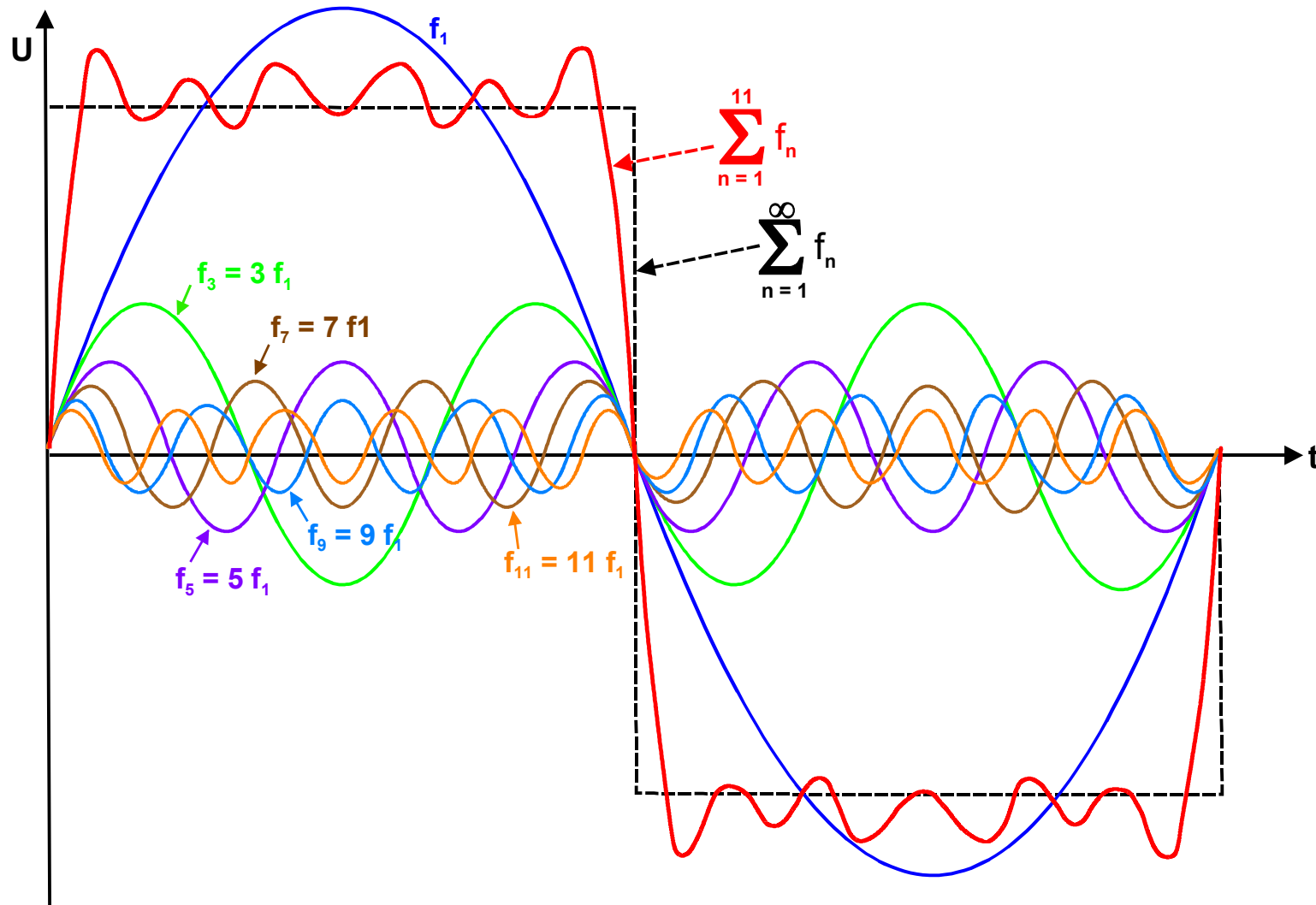
신호

예제 (1): 하모닉 신호 성분



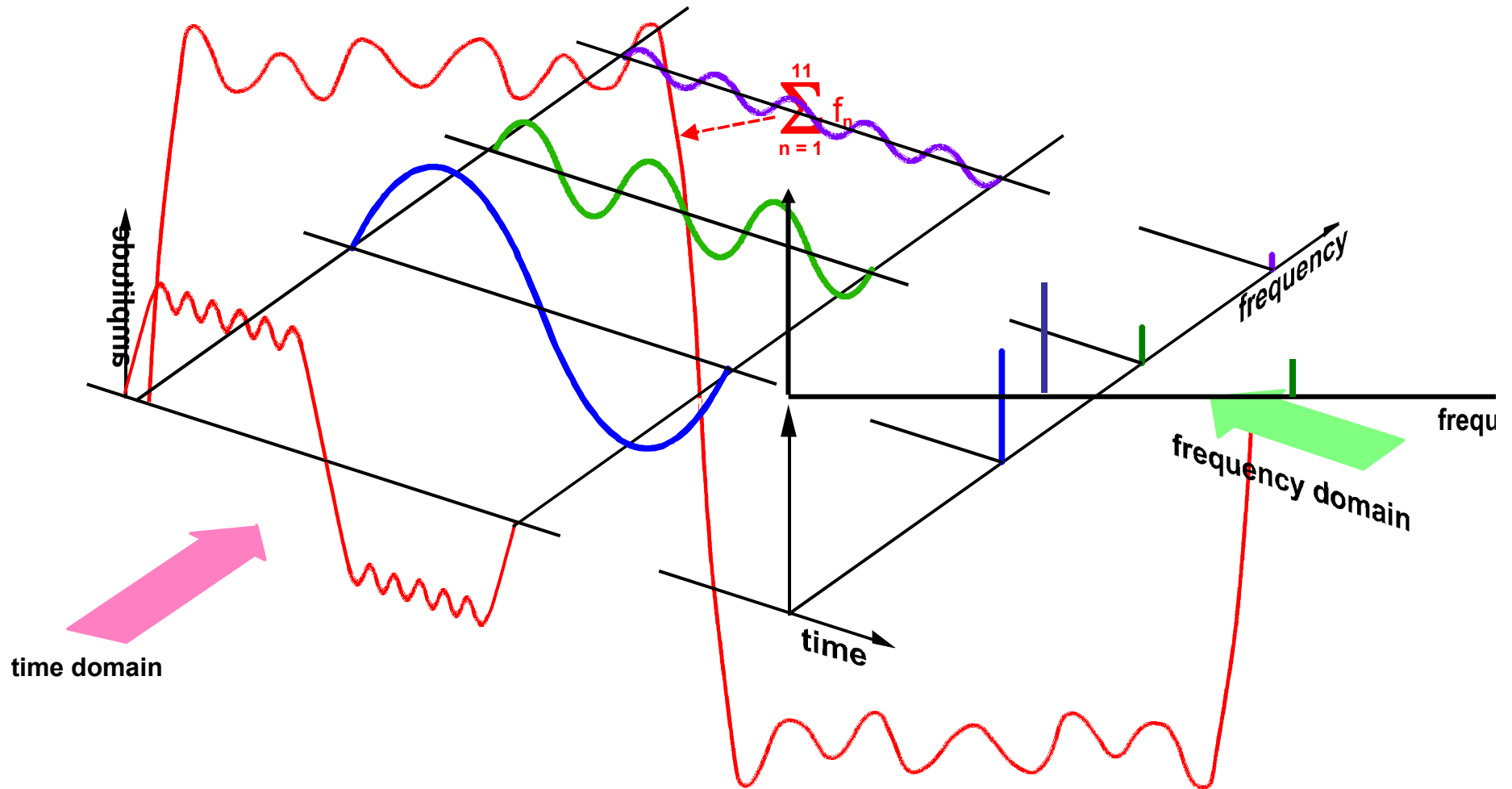
신호

예제 (2): 구형파 : 시간축



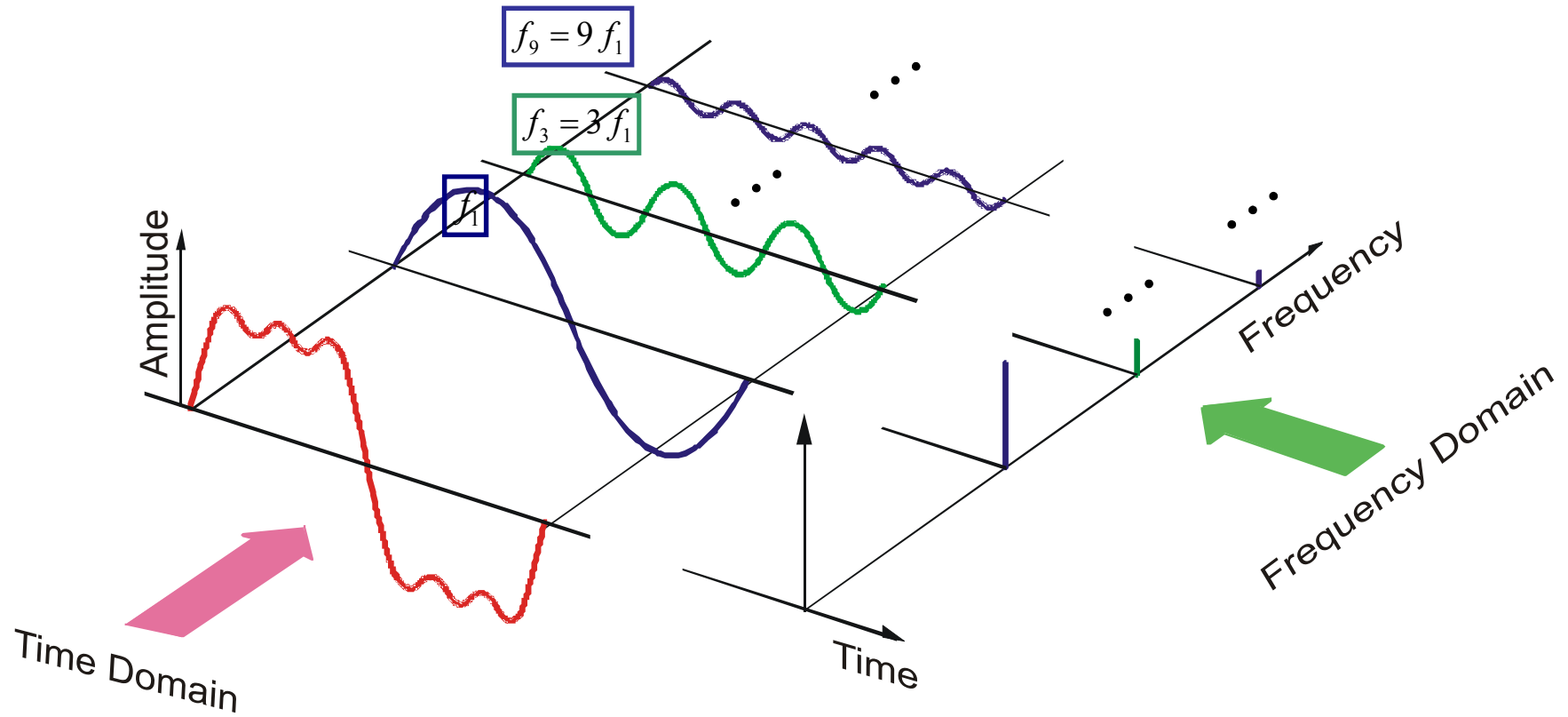
신호

예제 (2): 구형파 : 시간축



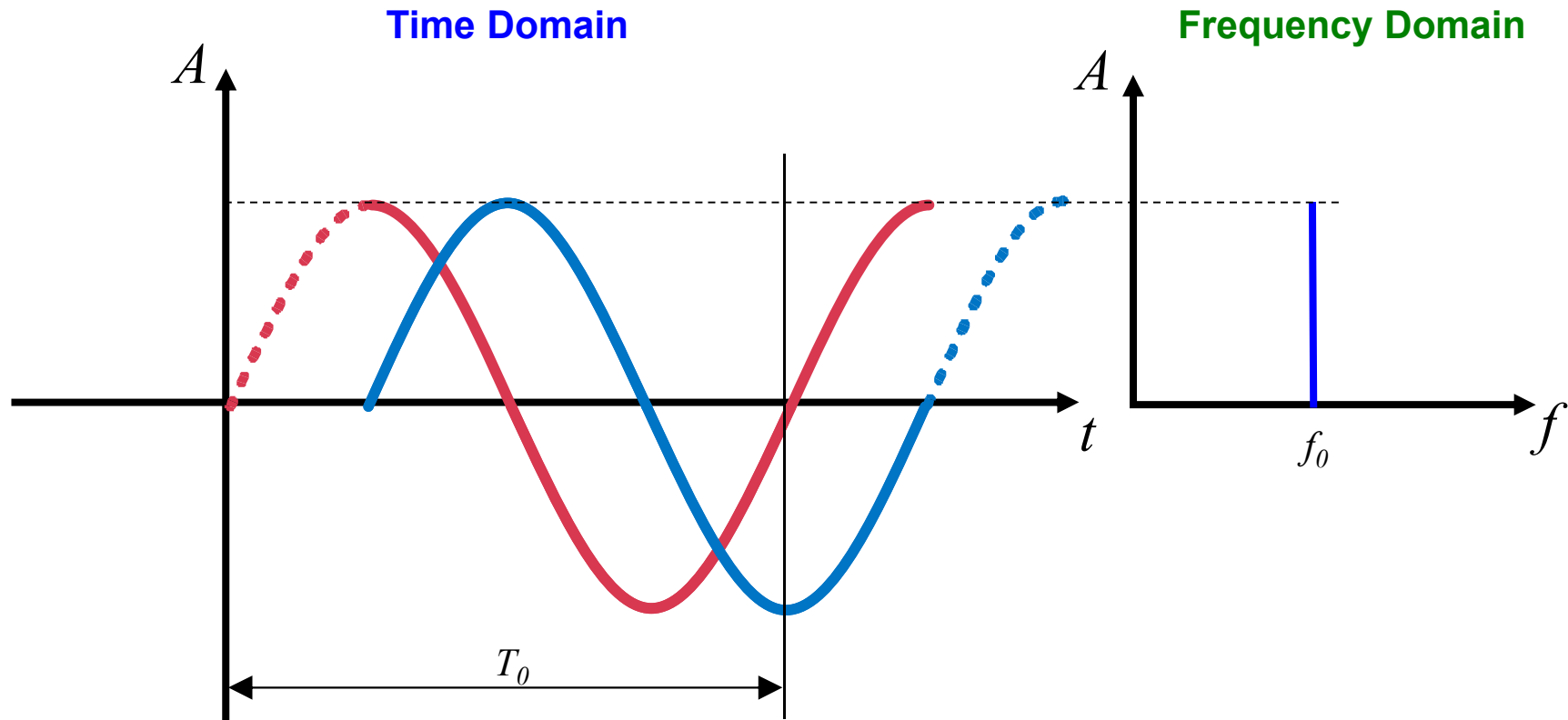
신호

예제 (2): 구형파 : 시간축과 주파수축 관계



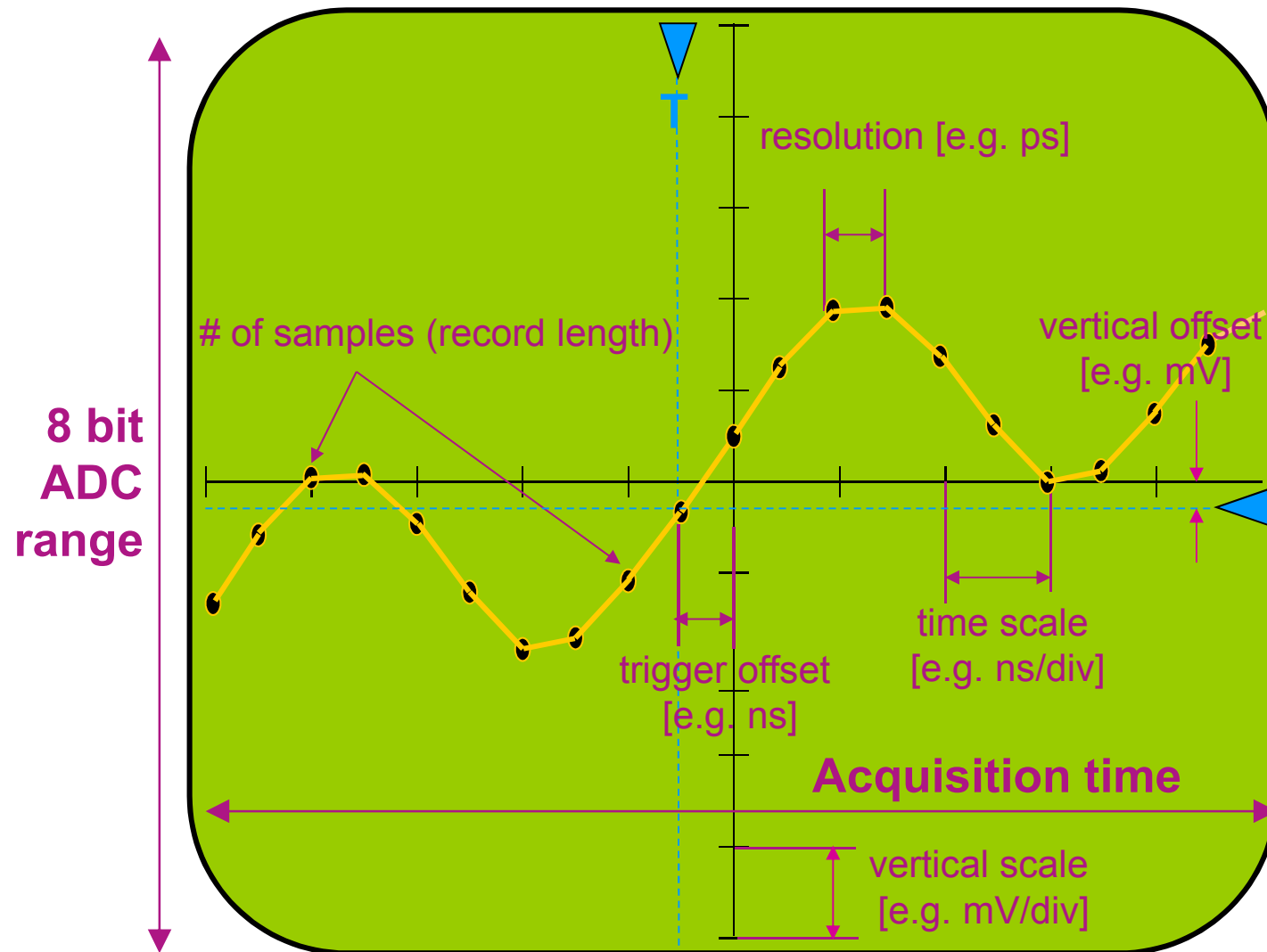
신호

예제 (3): 주기 신호 : 푸리에 변환



- 이상적인 Sine신호의 푸리에 변환 주파수 도메인에서 하나의 주파수로 표현됨
- 주파수 도메인 신호는 위상 정보를 가지고 있지 않음

오실로스코프 파라미터



일반적인 스코프 측정 (I)

1. 빠른 신호의 확인

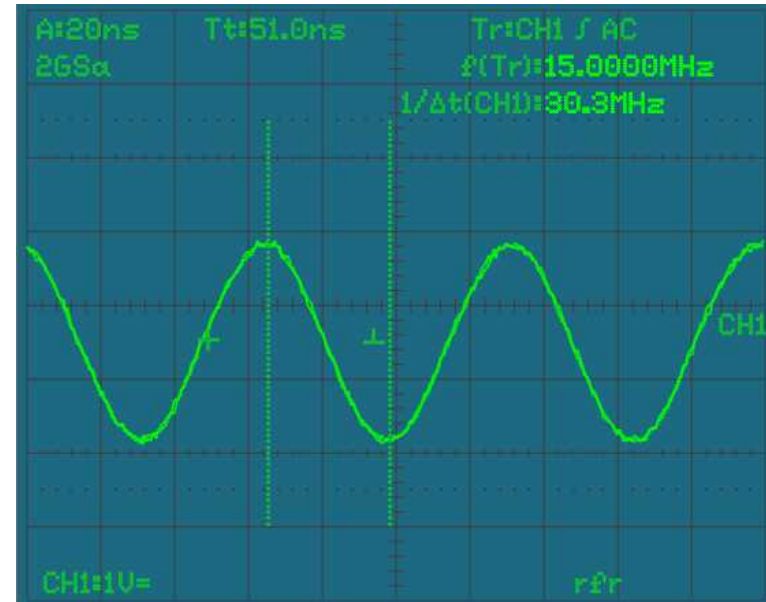
- 신호가 있는지?
- 주파수가 정확한지?
- 전압 값이 정확한지?

목적:

- 정확한 신호를 분석하는 것

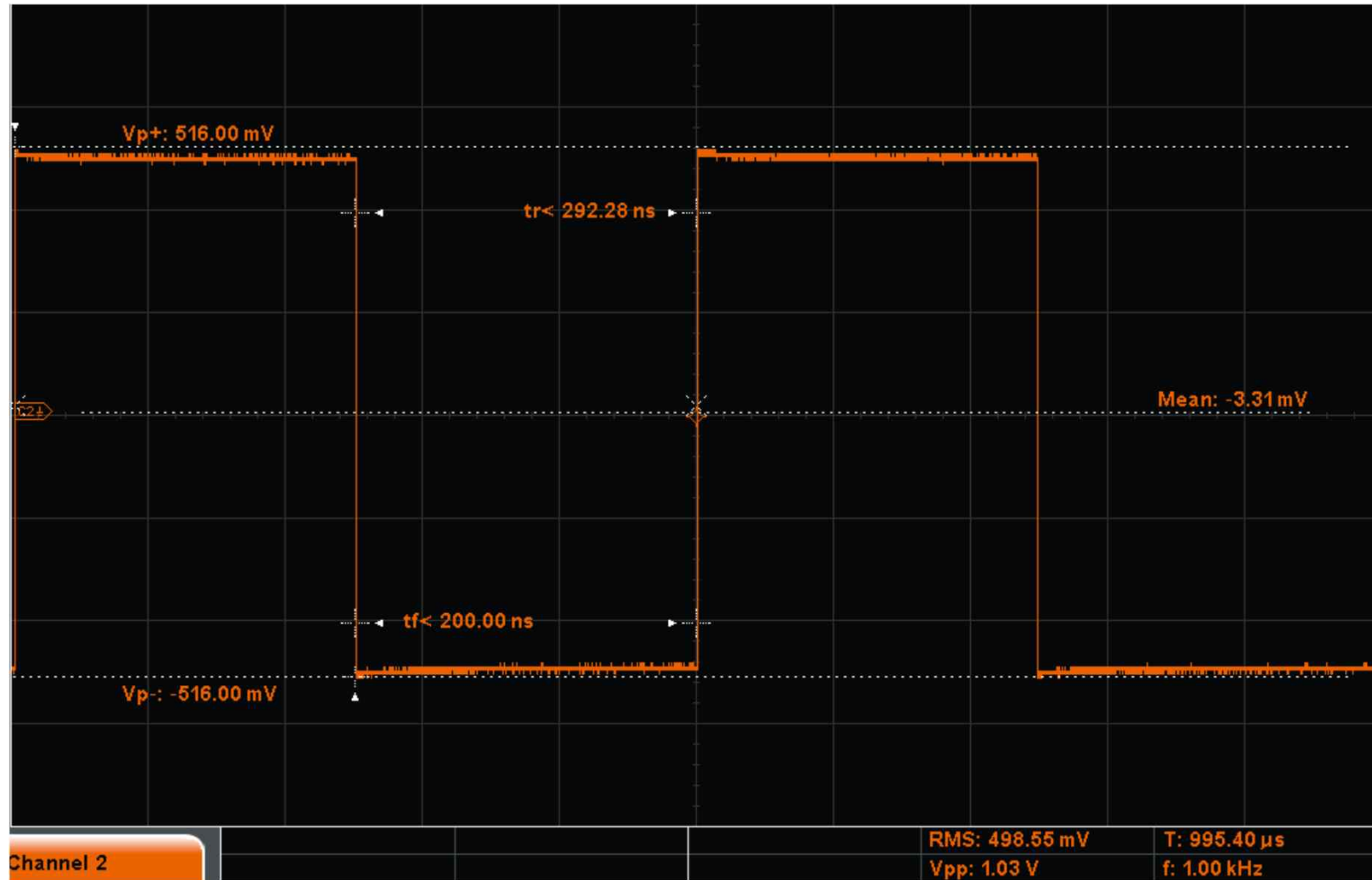
일반적인 사용 방법 :

➔ 오토셋 + 오토 측정 / 커서 측정



일반적인 스코프 측정 (I)

시간축에서 일반적인 측정



일반적인 스코프 측정 (II)

2. 신호 특성을 위한 설정

- 신호 모양이 정확한지?
- 스펙에 의거한 파라미터가 맞는지?

목적:

- 정확한 신호 측정 - 측정 신뢰성 증대

일반적인 사용 방법:

- Overshoots, ringing과 같은 신호 모양 분석
- Rise time 측정
- jitter, histogram, eye diagram 측정
- clock-to-data timing 측정
- 데이터를 통한 추가 분석 (e.g. MATLAB)

일반적인 스코프 측정 (III)

3. 신호의 데이터 분석

- 데이터가 정확한지?

목적:

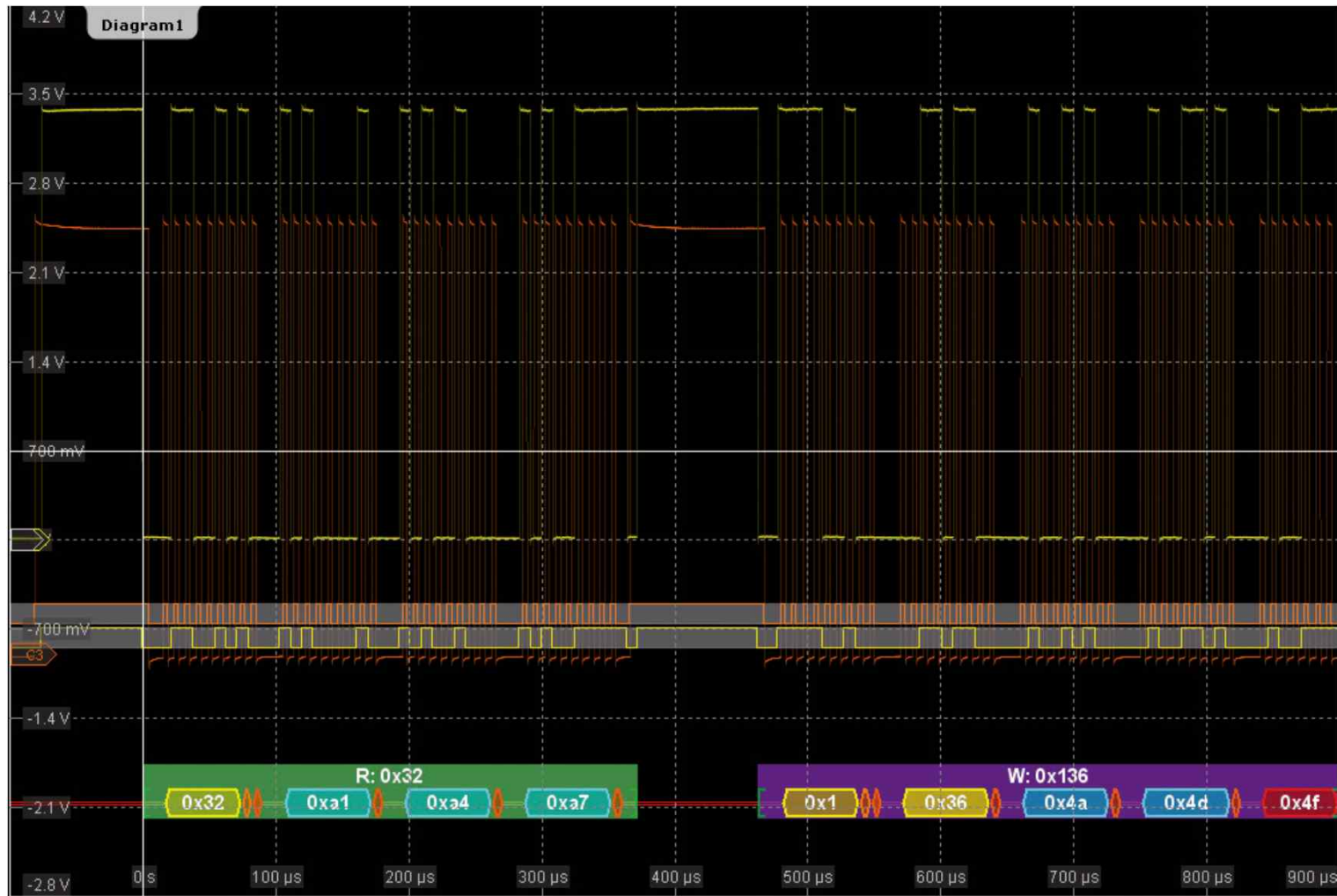
- 데이터가 맞는지 디버깅

일반적인 사용방법:

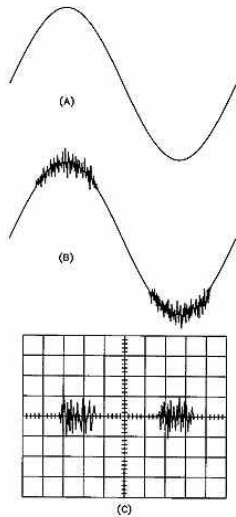
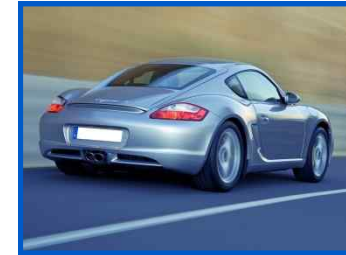
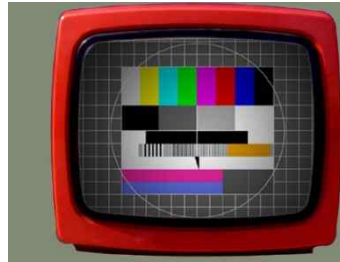
- 측정하고자 하는 신호 이벤트에 정확한 트리거링
- 디지털 인터페이스 1과 0 분석
- 아날로그 신호 분석

일반적인 스코프 측정 (III)

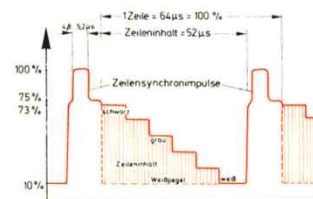
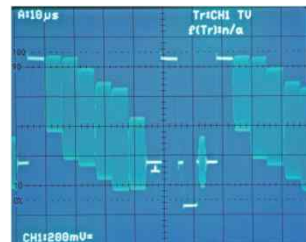
데이터 분석



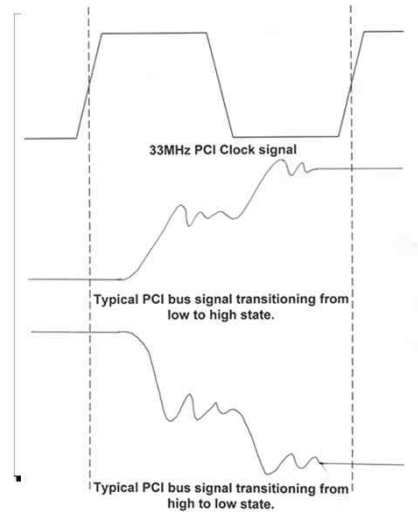
다양한 어플리케이션



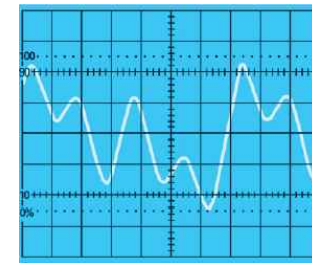
Power line
(analog / sine)



PAL TV signal
(complex analog)

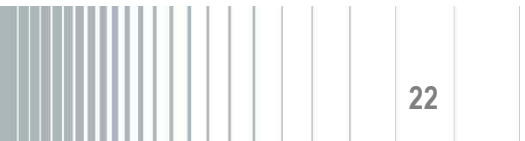


Data Bus
(digital signals)



Automotive
(analog arbitrary)

오실로스코프의 변화



Time Domain 측정 장비들



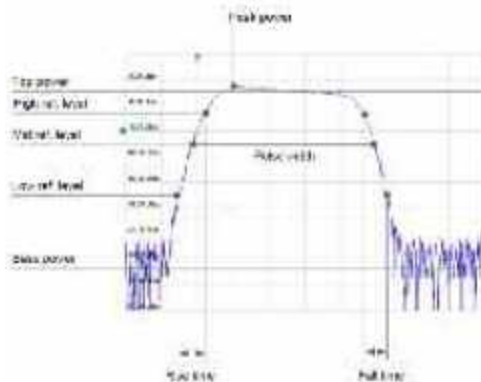
Power Meter NRP



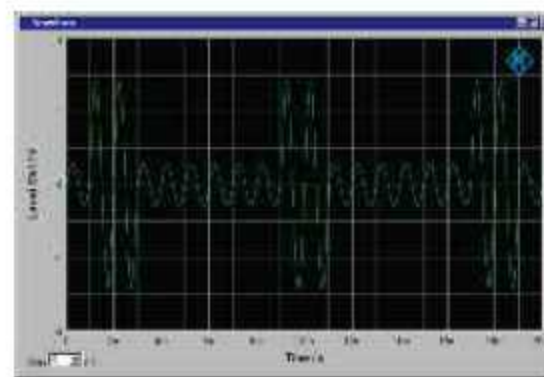
Audio Analyzer UPV



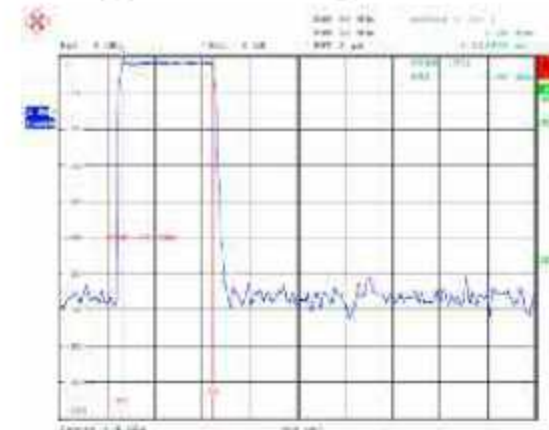
Signal Analyzer FSx



◆ 펄스프로파일 분석



◆ 웨이브폼 분석 up to 250KHz



◆ Zero Span 분석

Only Time Domain 측정 장비

Amplitude vs Time



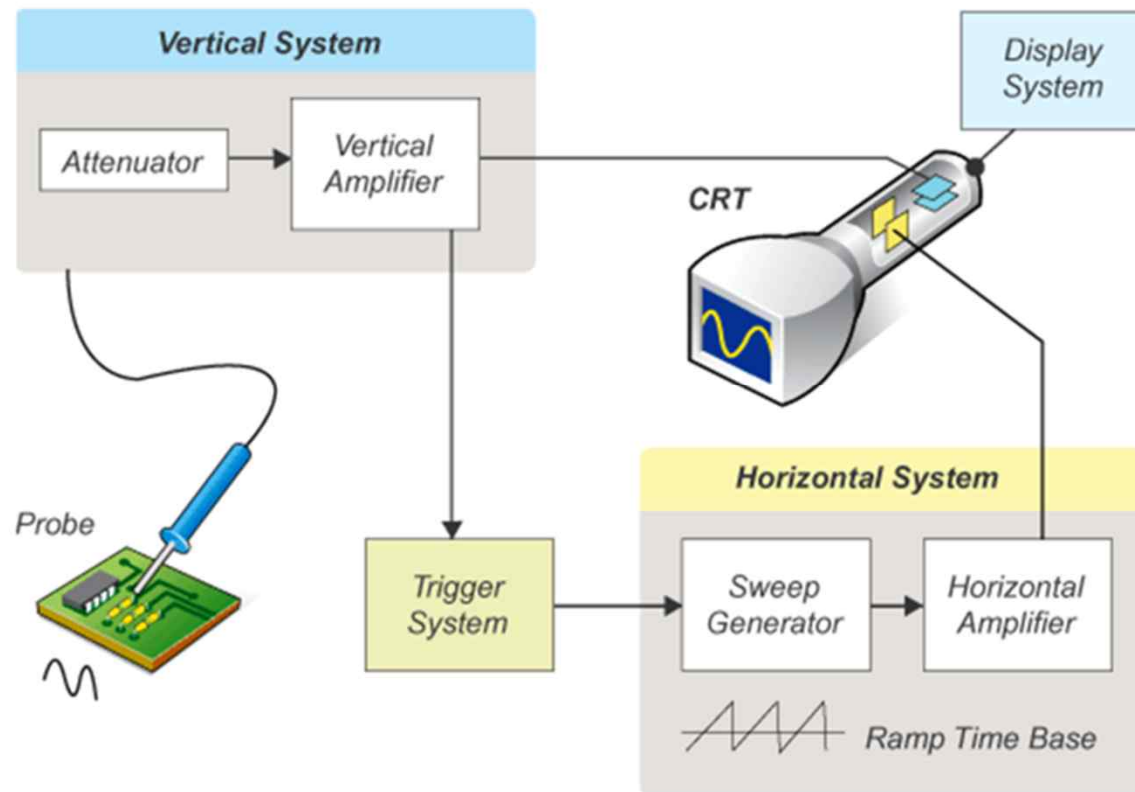
아날로그 to 디지털 - 스코프의 혁명



Webster, 1906:

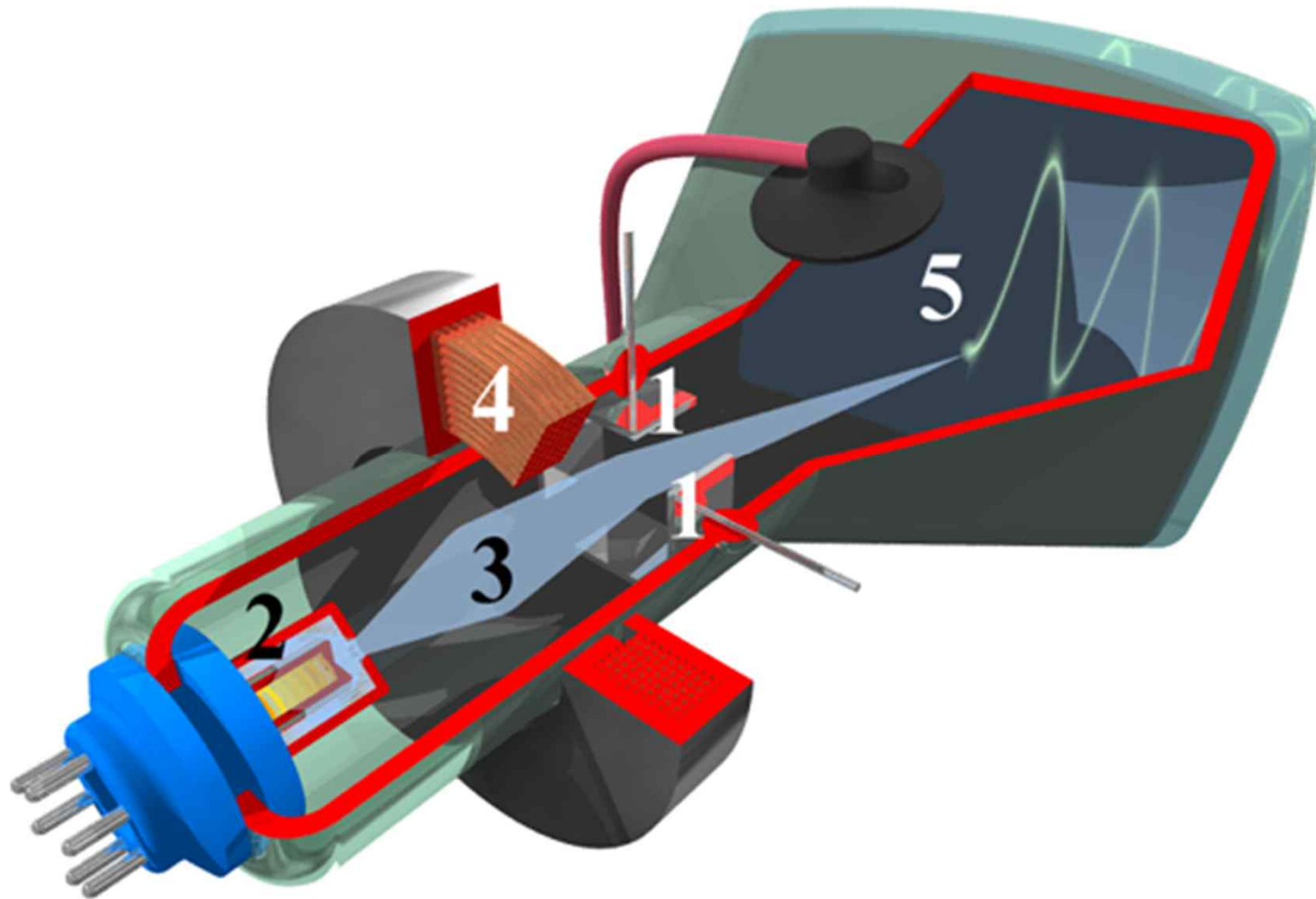
"An instrument in which variations in a fluctuating electrical quantity appears temporarily as a visible waveform on the fluorescent screen of a cathode-ray tube."

아날로그 to 디지털 - 아날로그 스코프

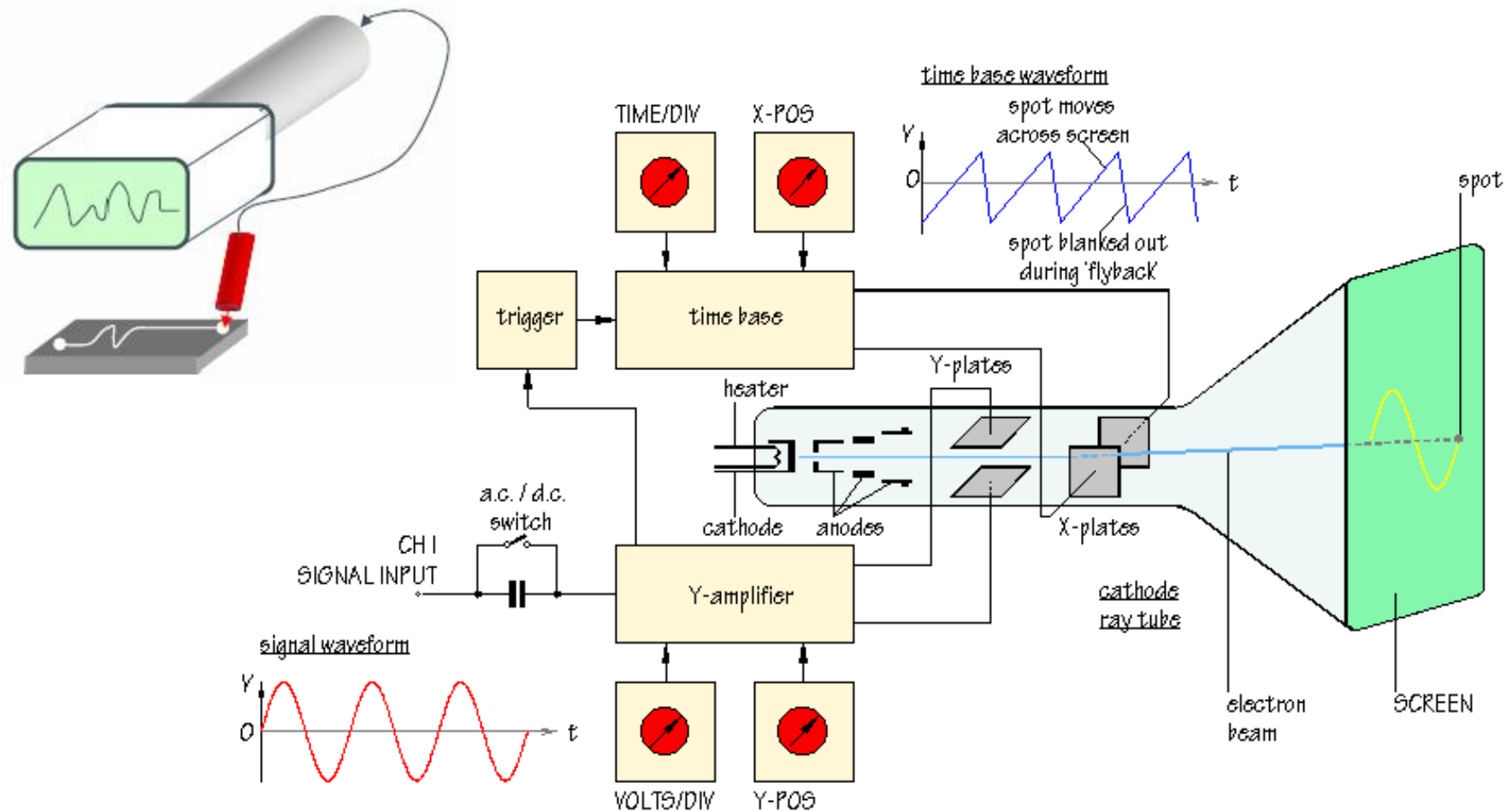


Analog Real Time Oscilloscope(ART) Block Diagram

아날로그 to 디지털 - 아날로그 스코프



아날로그 to 디지털 - 아날로그 스코프



아날로그 to 디지털 - 아날로그 스코프

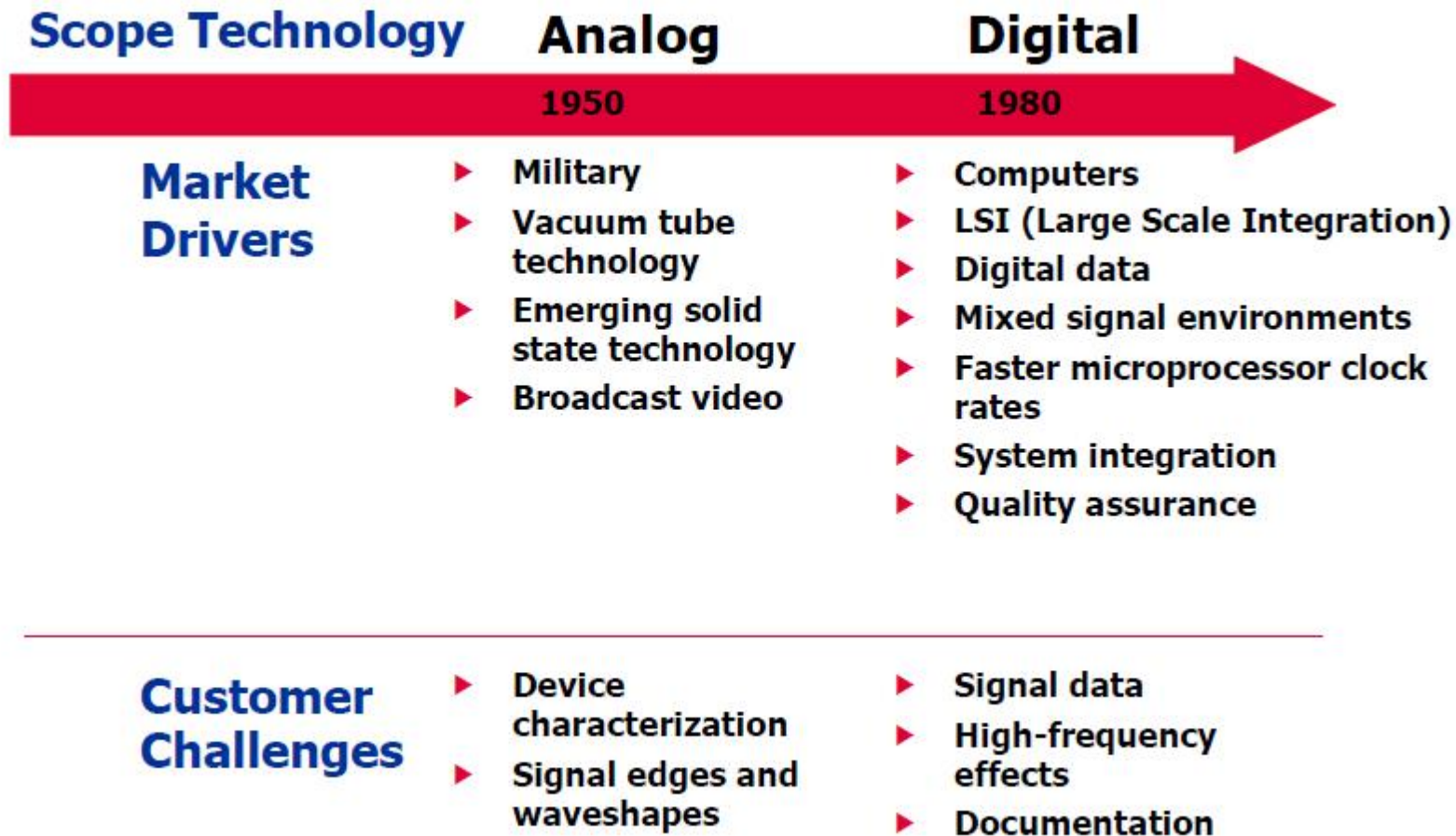
- ◆ Real Time Signal Display => Tube 기술
- ◆ 편향판에 의한 Vertical과 Horizontal 굴절 시스템.
- ◆ 전압이 편향판에 인가되면 전자들이 움직여 CRT 형광물질과 만나게 되고 트레이스를 형성함



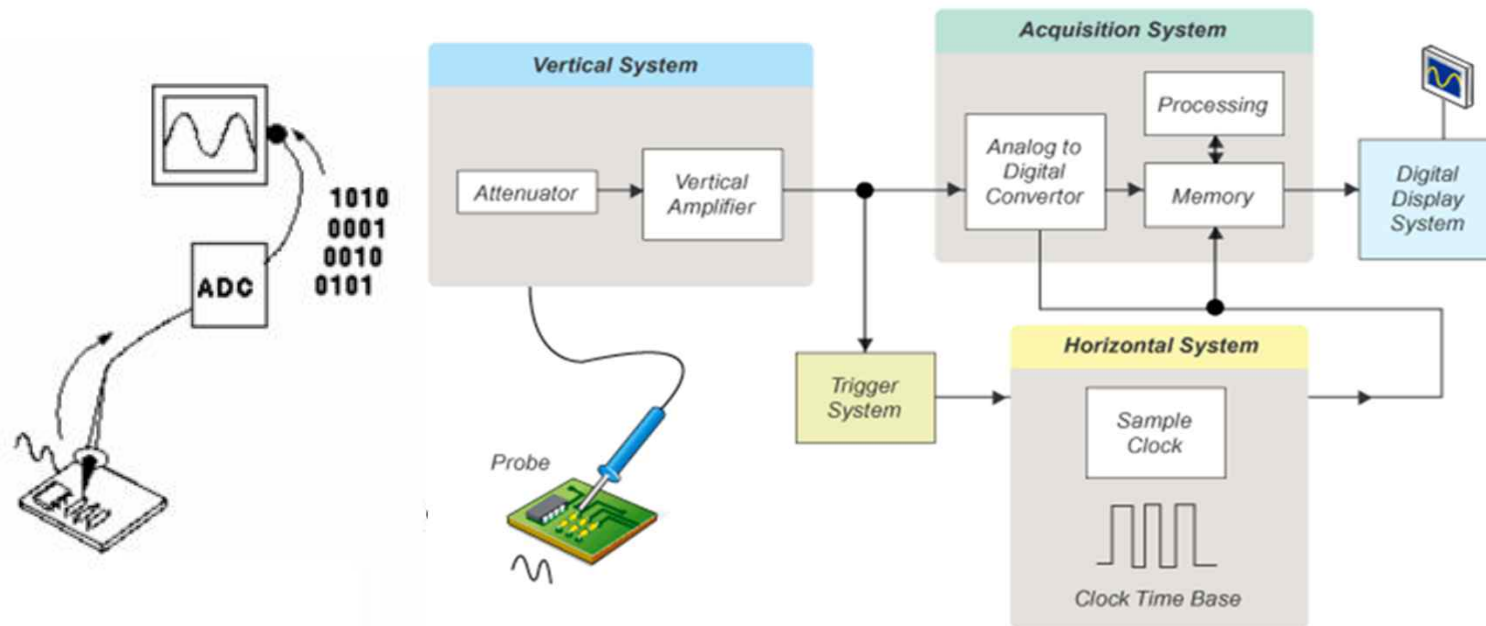
아날로그 스코프의 단점

- ◆ CRT 디스플레이가 필요함 -> 컬러로 트레이스 구분이 어려움
- ◆ 몇백MHz로 대역폭이 제한됨
- ◆ 진보된 트리거 기술이 없음
- ◆ 데이터 저장공간이나 처리속도가 제한됨
- ◆ 단발 신호 측정 불가능

아날로그 to 디지털 - 스코프의 진보



아날로그 to 디지털 - 스코프의 진보



- ◆ Vertical System : ADC를 위해 감쇄기와 증폭기가 동작함
 - ◆ Acquisition System : 일정한 개수로 신호를 샘플화 시킴(Sample Point)
 - ◆ Horizontal System : Sample Clock이 얼마나 빨리 ADC에서 값을 가져올지 결정함
- $\text{Sample rate} = \text{samples} / 1\text{s} \text{ (Sa/s)}$
- ◆ ADC에 의한 Sample Point는 메모리에 저장되고 이를 Waveform Point라고 함

아날로그 to 디지털 - 디지털 스코프

디지털 스코프의 장점

- ◆ 멀티 트레이스를 구분할 수 있는 밝고 큰 컬러 스크린
- ◆ High Resolution (uV)
- ◆ Peak 검출
- ◆ Pre-trigger
- ◆ 간편한 줌기능
- ◆ 장시간 트레이스 저장
- ◆ 2차원적인 배열 저장 가능
- ◆ 자동화 가능

디지털 스코프 종류



◆ Handheld

RTM



◆ General Purpose

RTO

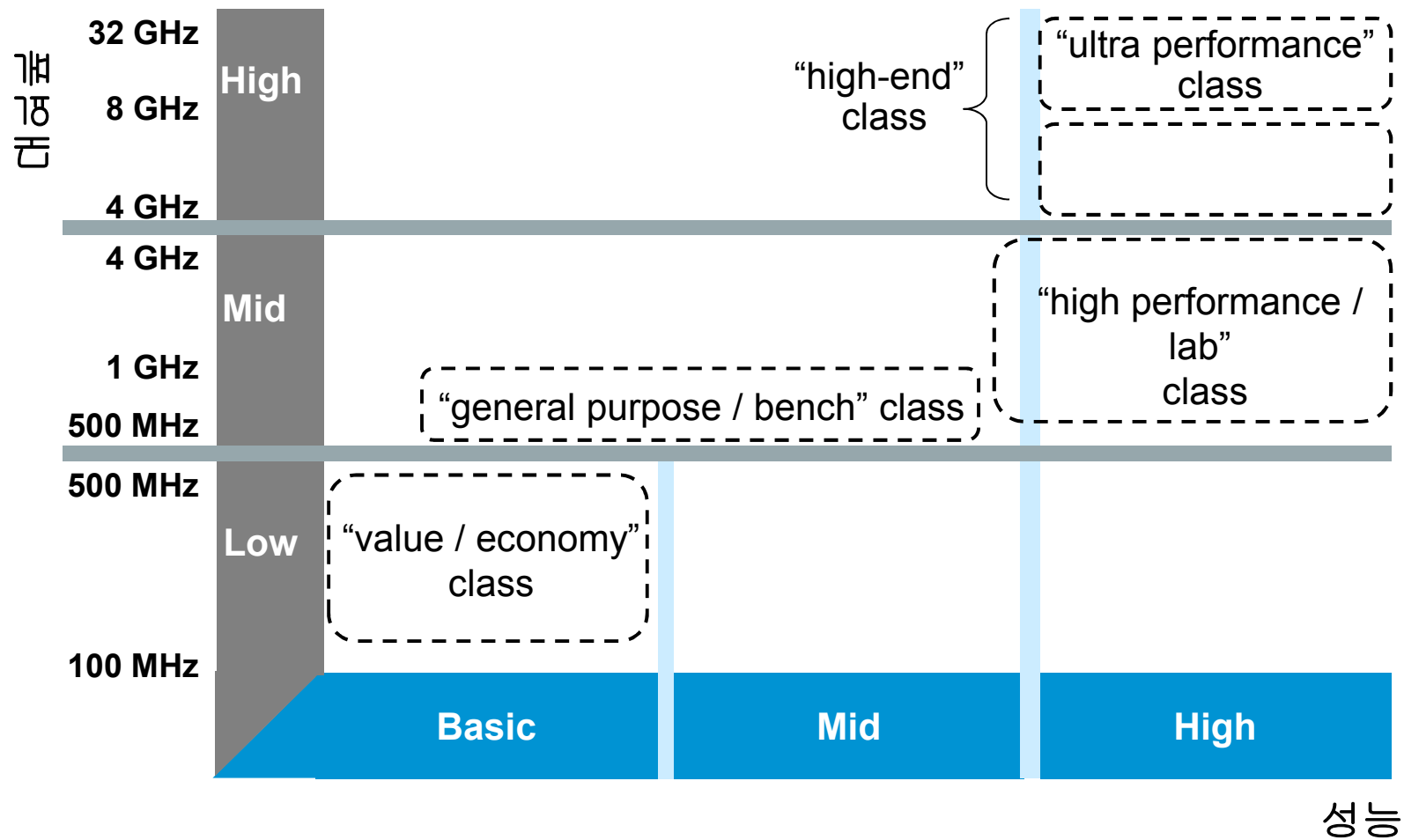


◆ High Performance

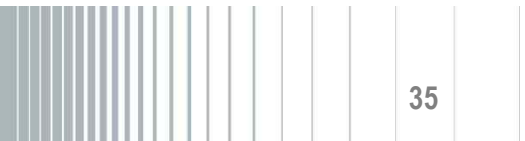


◆ High End

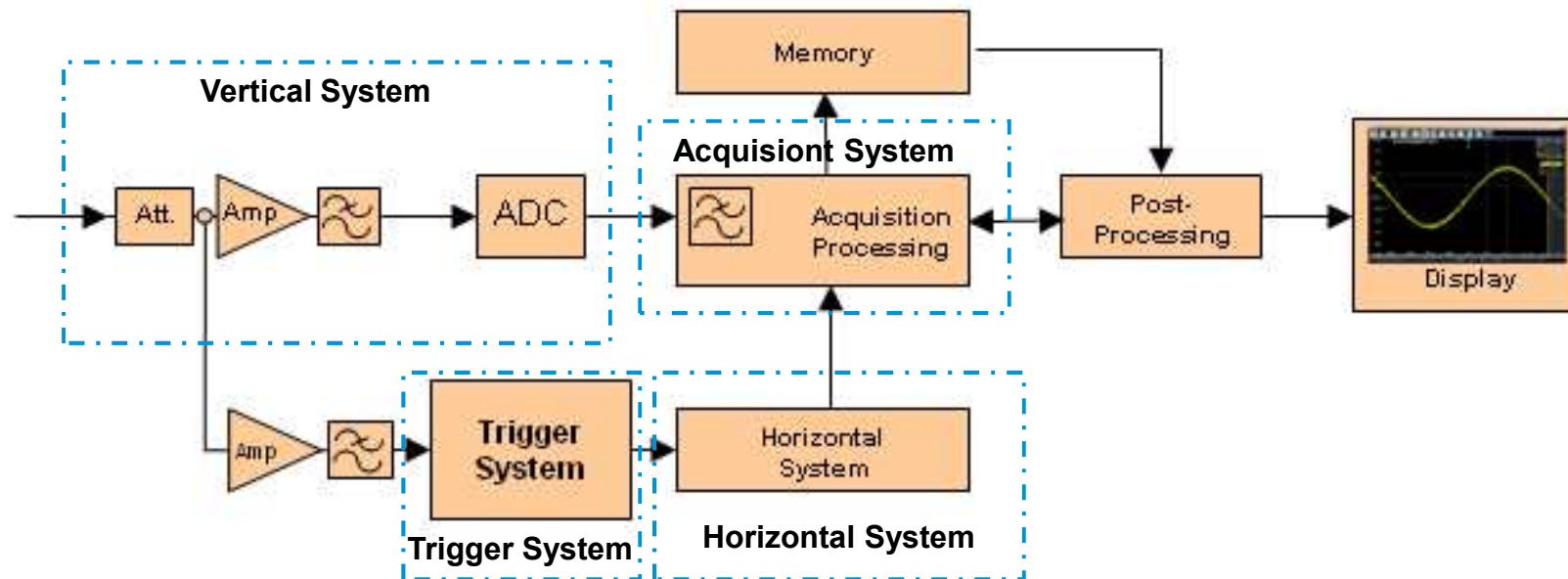
디지털 스코프 분류



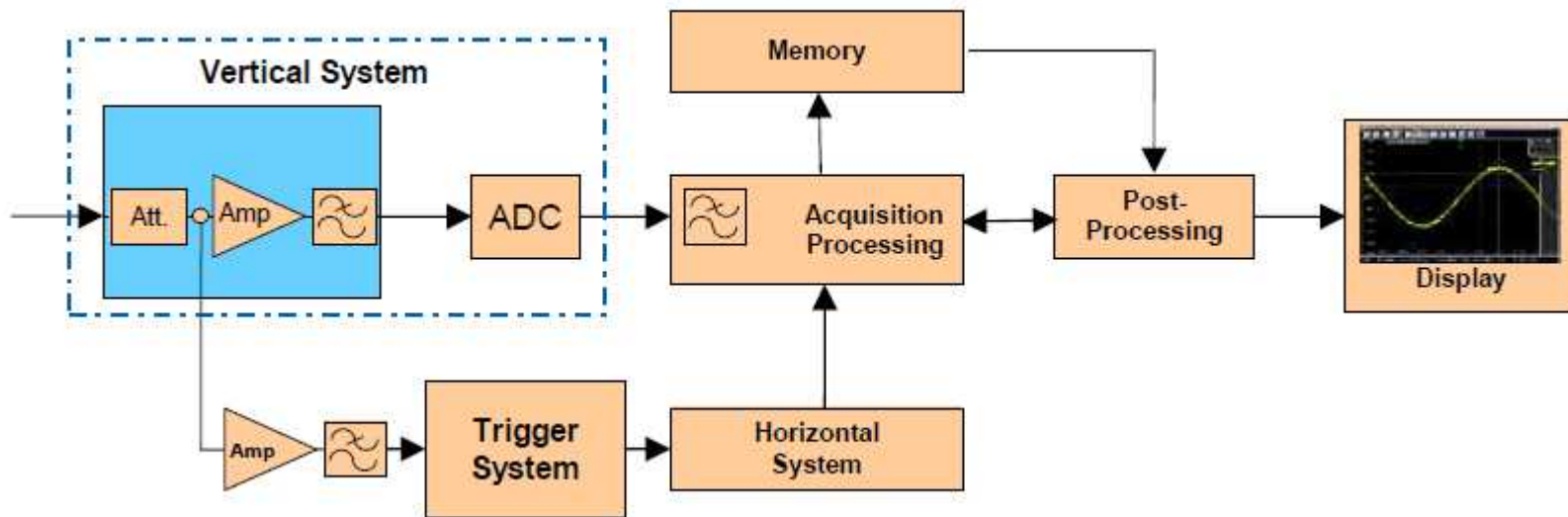
오실로스코프의 구조



디지털 스코프 구조

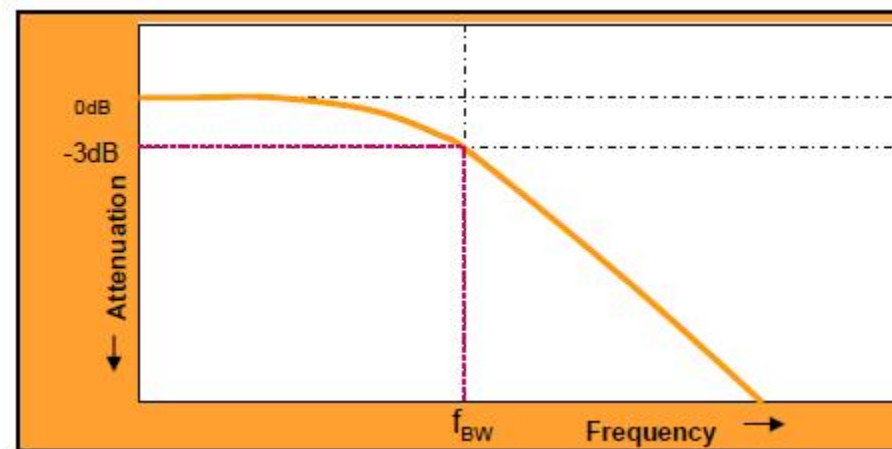
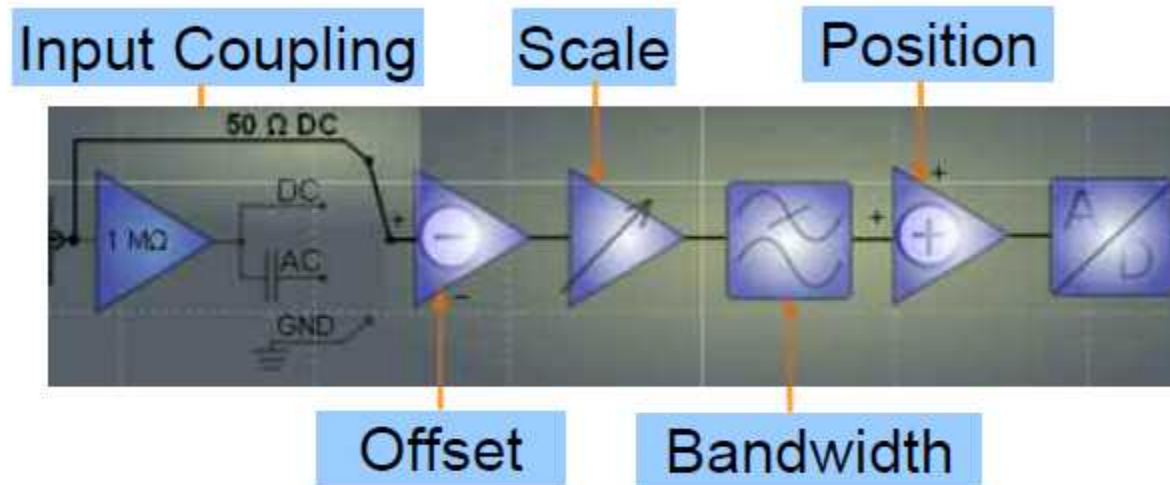


디지털 스코프 구조 – Vertical System



디지털 스코프 구조 – Vertical System

Bandwidth



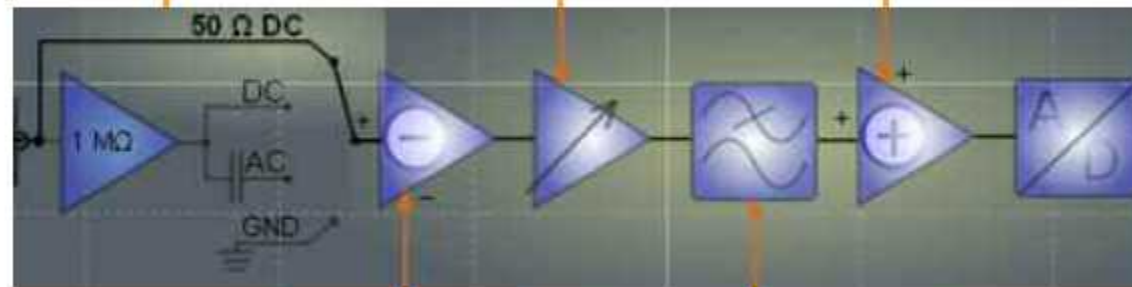
디지털 스코프 구조 – Vertical System

Bandwidth

Input Coupling

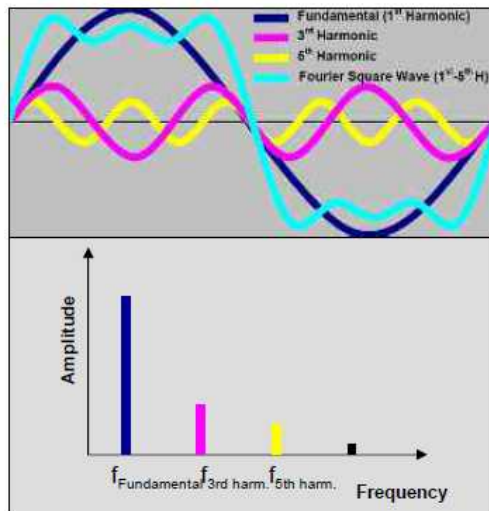
Scale

Position



Offset

Bandwidth



Rule of thumb:

$$BW_{\text{Scope}} = 3 \dots 5 \times f_{\text{max}} \text{ of Test Signal}$$

디지털 스코프 구조 – Vertical System

Bandwidth



Attenuation [dB]:

$$20 \bullet \log \frac{U_{measure}}{U_{DUT}}$$

$$20 \bullet \log 0.707 = -3dB$$

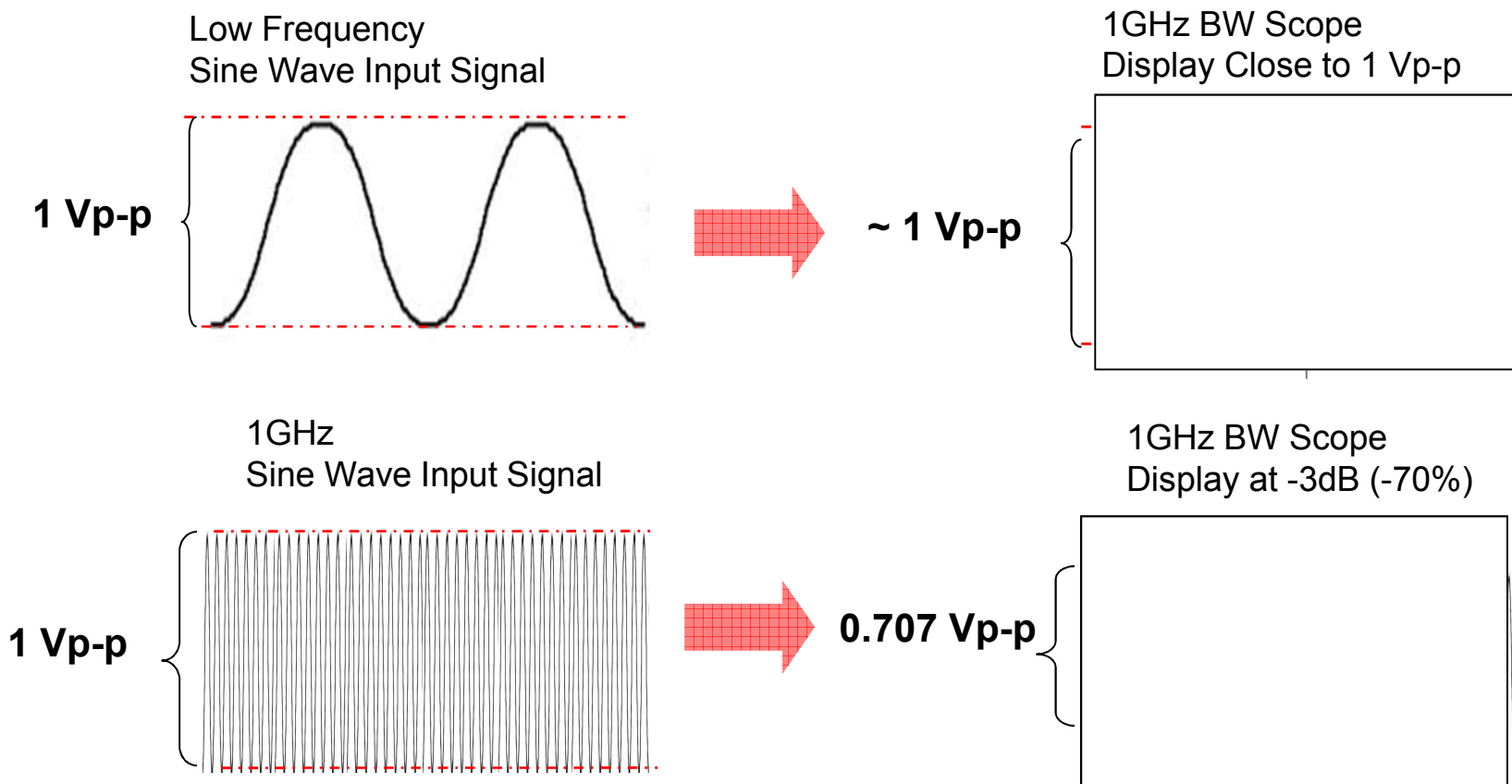
Amplitude Error	Amplitude Accuracy	Attenuation dB
1 %	99 %	-0.09 dB
3 %	97 %	-0.26dB
5%	95%	-0.45dB
10%	90 %	-0.9 dB

디지털 스코프 구조 – Vertical System

오실로스코프의 최대 대역폭은 정현파의 입력신호가
-3dB 감쇠되는 지점의 주파수로 정의한다.

Bandwidth

Example:



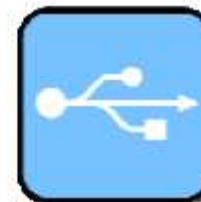
디지털 스코프 구조 – Vertical System

Bandwidth

Interface	Data Rate	Clock Frequency	Oscilloscope Bandwidth Requirement		Oscilloscope Classes
			3rd harmonic	5th harmonic	
I2C	3.4 Mbps	1.7 MHz	5.1 MHz	8.5 MHz	Value
LAN 1G	125 Mbps	62.5 MHz	187.5 MHz	312.5 MHz	Lower mid-range
USB 2.0	480 Mbps	240 MHz	720 MHz	1200 MHz	Mid-range
DDR II	800 Mbps	400 MHz	1.2 GHz	2.0 GHz	
SATA I	1.5 Gbps	750 MHz	2.25 GHz	3.75 GHz	Upper Mid-range
PCIe 1.0	2.5 Gbps	1.25 GHz	3.75 GHz	6.25 GHz	High-end entry
PCIe 2.0	5.0 Gbps	2.5 Gbps	7.5 GHz	12.5 GHz	High-end

PCI
EXPRESS

SERIAL
ATA

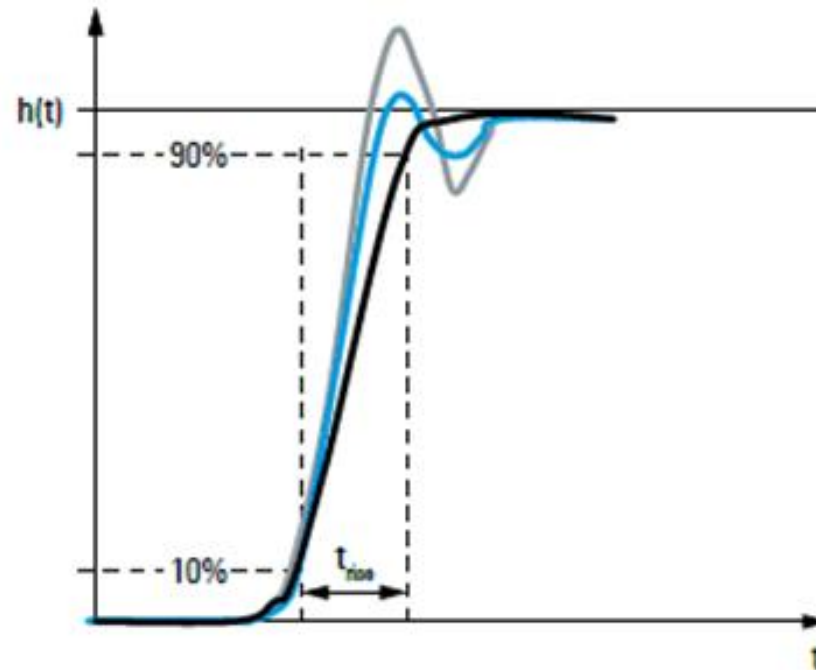


디지털 스코프 구조 – Vertical System

Rise time

◆ 상승시간의 정의

- 펄스가 최소값에서 최대값까지 증대해 가는 기간 중 최대값의 10%에서 90%가 되는 사이의 시간임.
- 펄스의 성질을 살피는 경우에 사용하는 특성의 하나임.



디지털 스코프 구조 – Vertical System

Rise time

◆ 대역폭과 상승 시간과의 관계

- 스코프의 대역폭과 상승 시간은 상호 연관성을 가지고 있다.
- 스코프는 신호를 정확하게 측정하기 위하여 충분한 상승 시간을 가지고 있어야 한다.

Risetime Calculation

Bandwidth/risetime Calculation

$$BW = f = \frac{0.35}{t_{\text{rise_10-90}}}$$

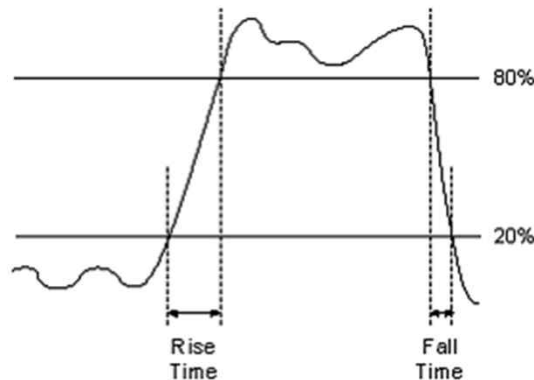
$$BW = f = \frac{0.22}{t_{\text{rise_20-80}}}$$

디지털 스코프 구조 – Vertical System

Rise time

◆ 대역폭과 상승 시간과의 관계

Logic Family	Typical Signal Rise Time	Calculated Signal Bandwidth	Oscilloscope Band-width Requirement
TTL	2 ns	175 MHz	525 - 875 MHz
CMOS	1.5 ns	230 MHz	690 - 1150 MHz
LVDS	400 ps	875 MHz	2625 - 4375 MHz
ECL	100 ps	3.5 GHz	10.5 - 17.5 GHz



디지털 스코프 구조 – Vertical System

Rise time

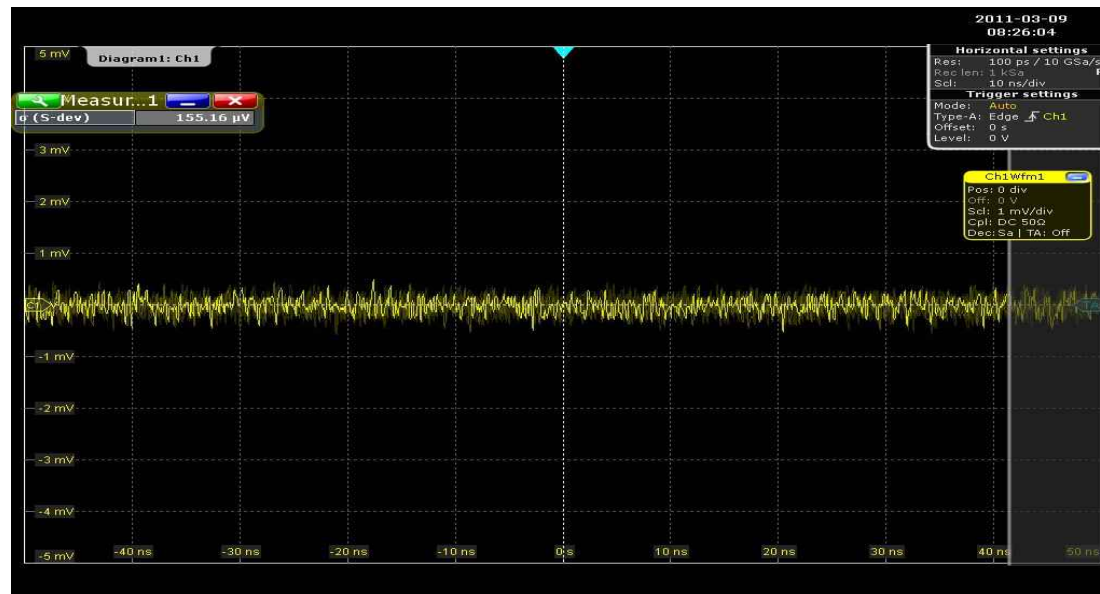
◆ 상승 시간 **tr**의 측정 오차

스코프 tr 과 신호 tr 의 관계	오차율
스코프 tr 이 신호 tr 이 동일한 경우	41 %
스코프 tr 이 신호 tr 의 2배인 경우	10 %
스코프 tr 이 신호 tr 의 3배인 경우	5 %
스코프 tr 이 신호 tr 의 5배인 경우	2 %
스코프 tr 이 신호 tr 의 7배인 경우	1 %

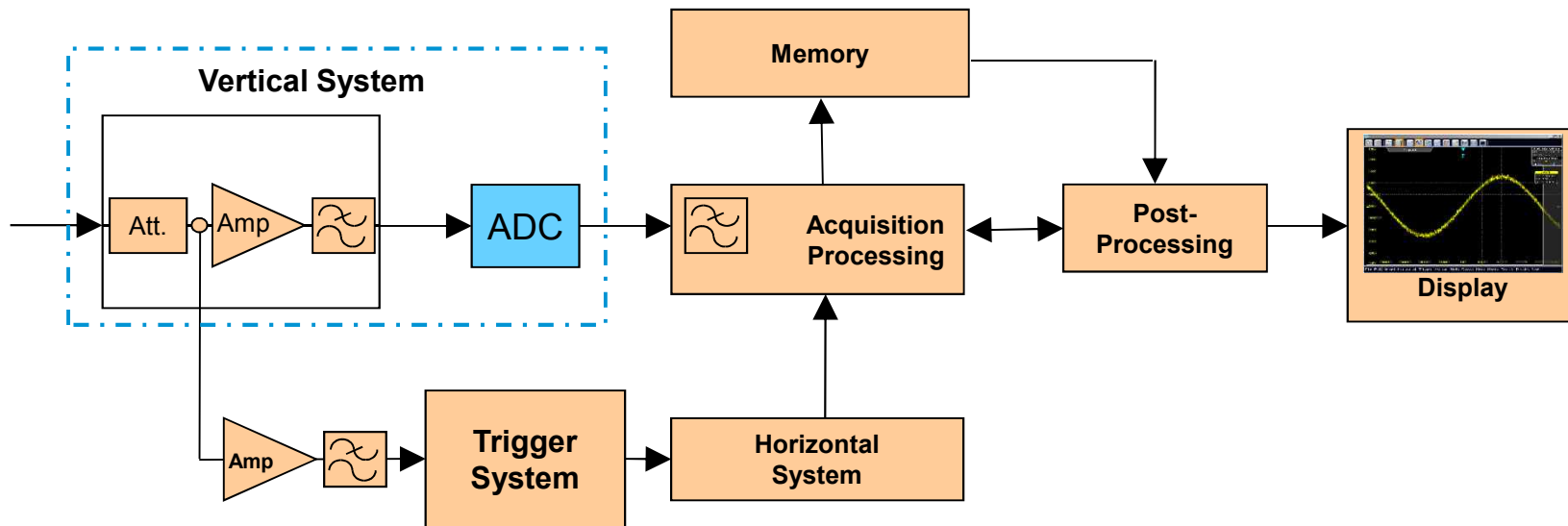
Rise time/fall time	10 % to 90 % at 50 Ω (calculated)	
	R&S®RTO1002 and R&S®RTO1004	583 ps
	R&S®RTO1012 and R&S®RTO1014	350 ps
	R&S®RTO1022 and R&S®RTO1024	175 ps

디지털 스코프 구조 – Vertical System

- ◆ 노이즈 플로어는 오실로스코프의 **Sensitivity**에 직접적으로 영향을 미친다.
- ◆ 노이즈 플로어는 아래와 같은, **Front-end Module**의 신호 경로를 구성하는 컴포넌트들의 노이즈 특성에 의하여 결정된다.
 - Variable Gain Amplifier (VGA)
 - Front-end Layout and shielding
 - ADC



디지털 스코프 구조 – Vertical System



디지털 스코프 구조 – Vertical System

ADC



- ◆ 오실로스코프 성능에 영향을 미치는 가장 중요한 요소 중 하나
- ◆ 대부분의 오실로스코프는 **8bits ADC**를 사용
- ◆ R&S는 자체기술로 만든 **ADC**를 사용
- ◆ Sample Rate : Clock rate of ADC (일반적으로 스코프 대역폭보다 5배 높음)

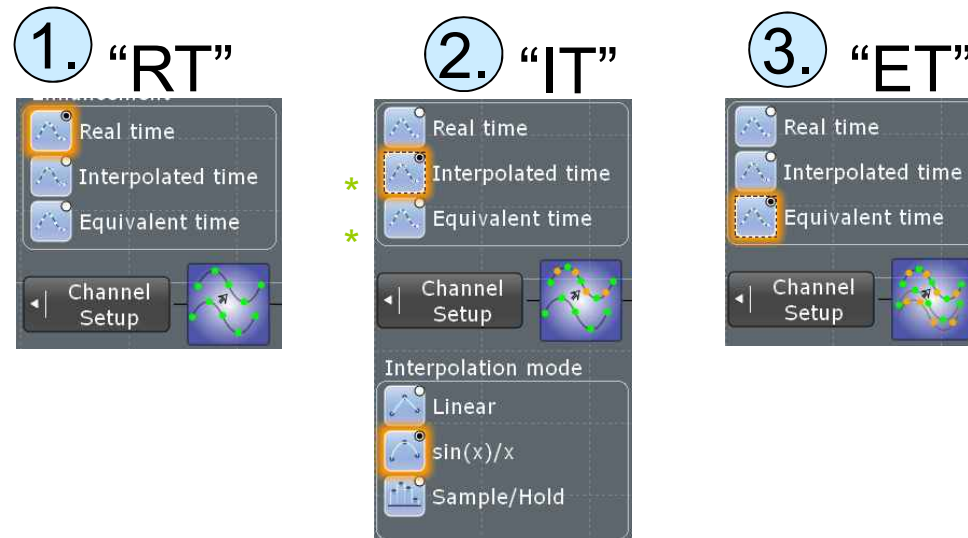
디지털 스코프 구조 – Vertical System

ADC

◆ Analog-to-Digital Converter

- ADC는 디지털 오실로스코프의 중요한 컴포넌트 중의 하나임
- 수직 분해능은 ADC의 Bit수에 따라 결정됨
- 시간 분해능은 샘플링 속도와 메모리의 크기에 따라 결정됨

샘플링 모드



*** "IT" is not a common term to all Scope suppliers.
They refer as Real Time with Interpolation*

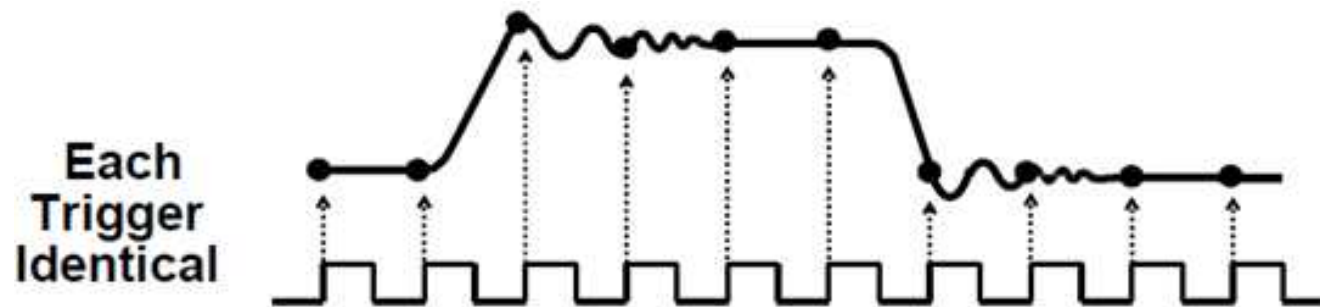
디지털 스코프 구조 – Vertical System

◆ Analog-to-Digital Converter

ADC

– Real Time (RT) Sampling

- 1회성 이상의 신호를 캡처할 수 있는 유일한 샘플링
- 샘플링 레이트가 높아야 신호를 정확하게 캡처할 수 있다.
(샘플링 속도 VS 신호의 속도)



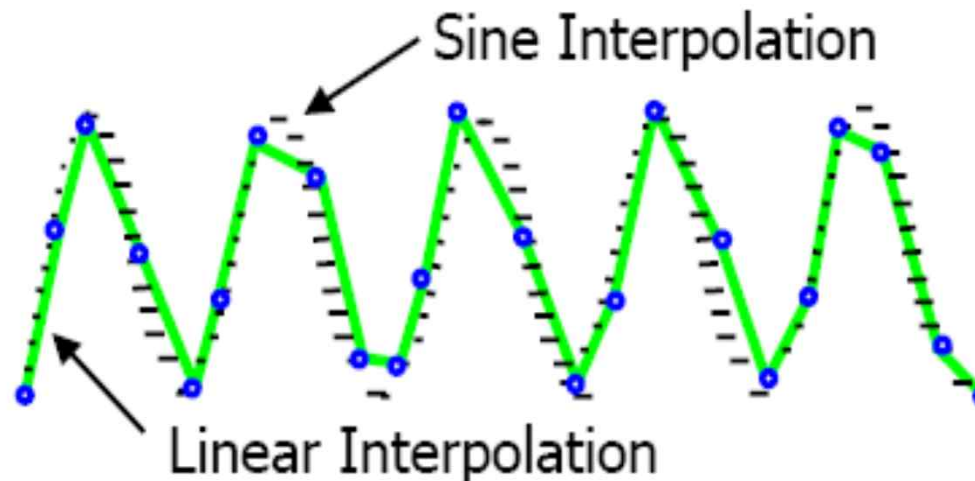
디지털 스코프 구조 – Vertical System

◆ Analog-to-Digital Converter

ADC

– Interpolated Time (IT) Sampling

- 각 사이클 내에서 몇 번만 샘플링 된 신호도 정확하게 표시될 수 있도록 점들을 연결하는 샘플링 방법
- 선형 보간법은 샘플 포인트를 직선으로 연결하는 방법으로, 샘플들 간의 공백을 메움
- $\text{Sin}(x)/x$ 보간법은 샘플포인트를 곡선으로 연결하는 방법임



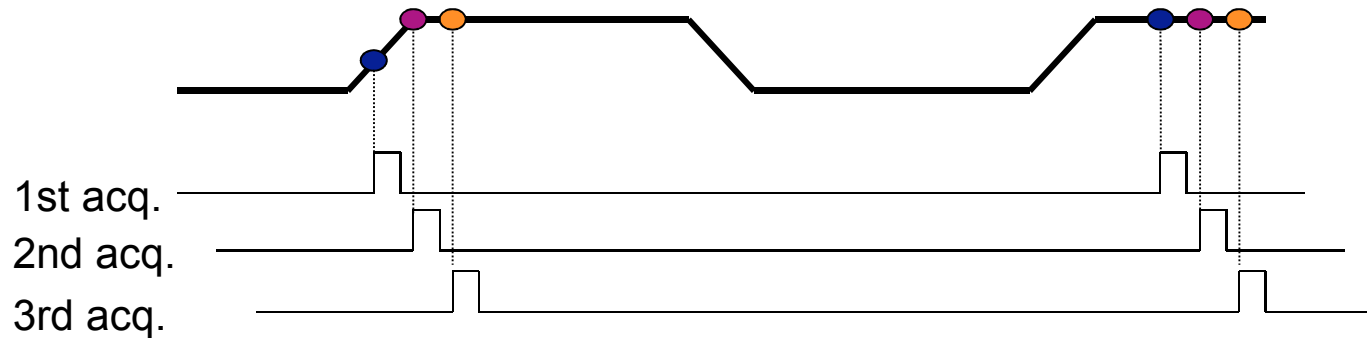
디지털 스코프 구조 – Vertical System

◆ Analog-to-Digital Converter

ADC

– Equivalent (ET) Sampling

- I 고주파 신호의 측정 시, 한 번의 획득 프로세스로 충분히 샘플을 획득하지 못할 수 있음
- I 신호의 각 반복에서 일부 정보를 캡처하여 반복적인 신호의 그림을 구성함



디지털 스코프 구조 – Vertical System

◆ Analog-to-Digital Converter

ADC

■ Real-time (RT) – no interpolation:

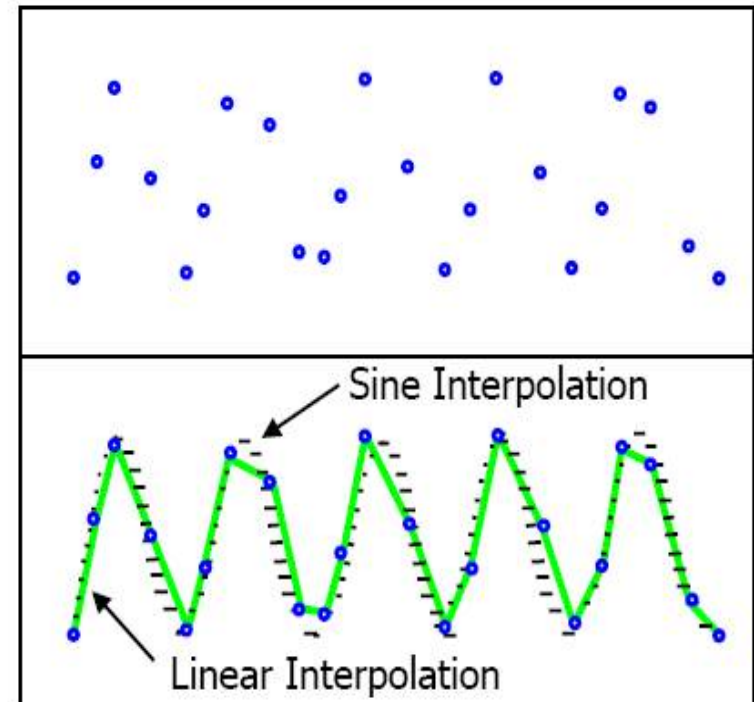
- 비 주기 신호, 일시적인 이벤트에 적합
- 파형의 재구성을 위해서 많은 수의 샘플이 필요함

■ Interpolation Time (IT)

- 비 주기 신호, 일시적인 이벤트에 적합
- RT보다 필요로 하는 샘플수가 적음

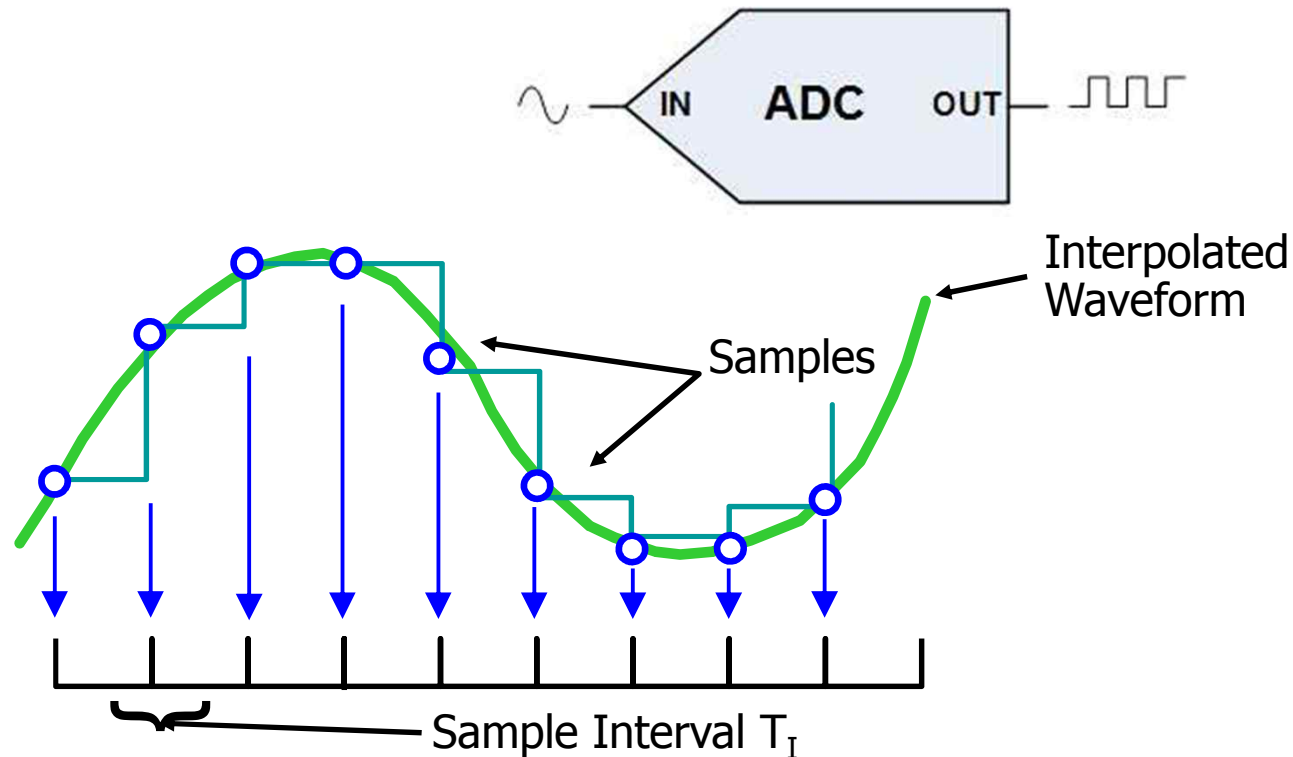
■ Equivalent-time (ET)

- 고주파의 주기 신호에 적합
- 무작위 및 등가 시간 샘플링 방법이 있음



디지털 스코프 구조 – Vertical System

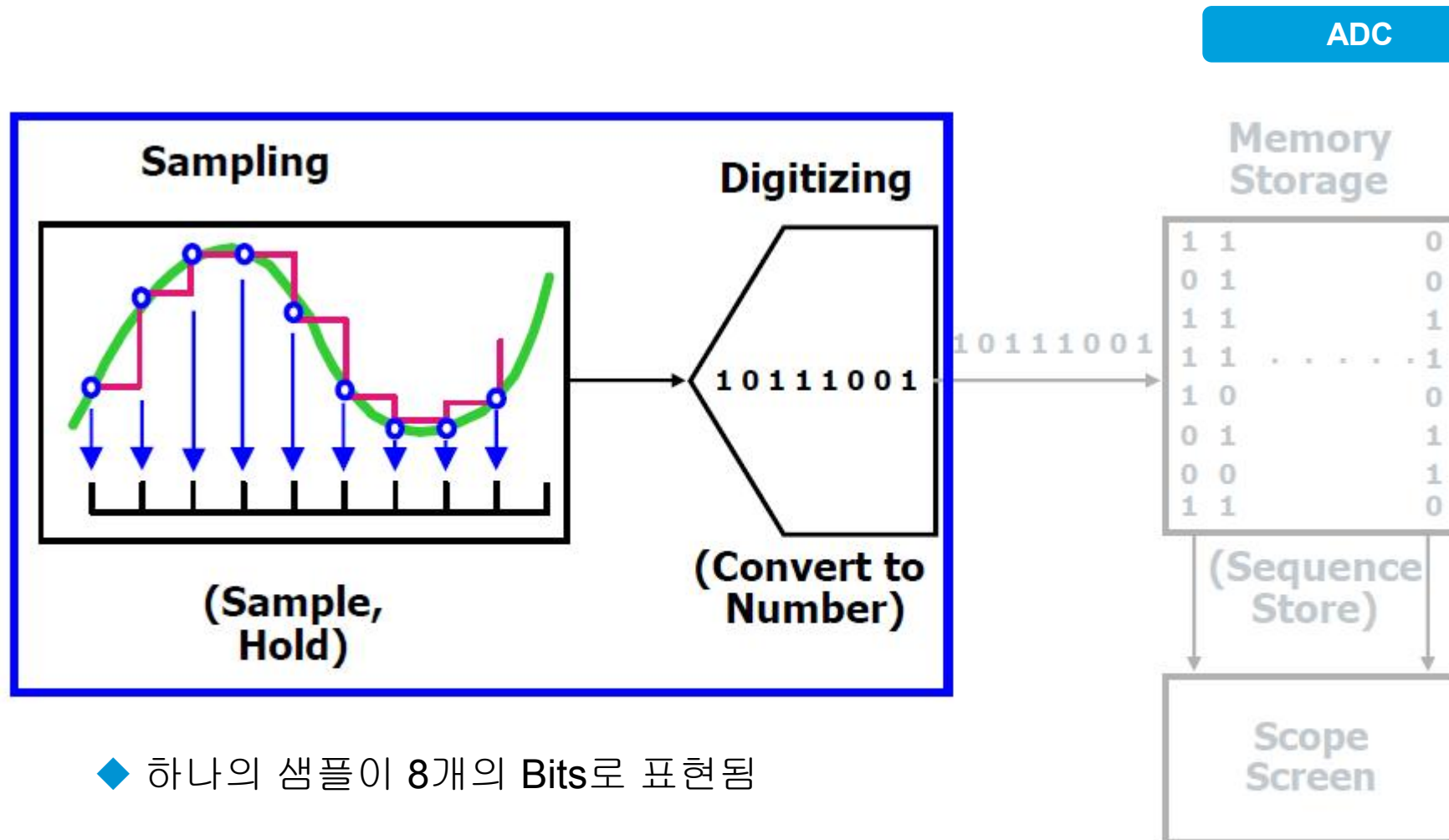
ADC - 샘플링



$$f_{\text{Sampling}} = \frac{1}{T_I}$$

- ◆ 시간축에서 일정한 간격으로 샘플링
- ◆ Sample Rate는 Samples / Second로 표현(Ksa/s, Msa/s, Gsa/s)

디지털 스코프 구조 – Vertical System



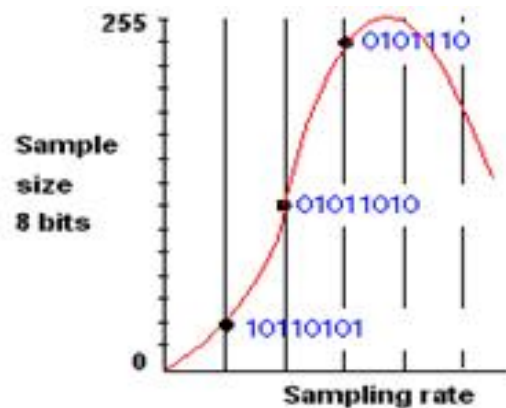
◆ 하나의 샘플이 8개의 Bits로 표현됨

디지털 스코프 구조 – Vertical System

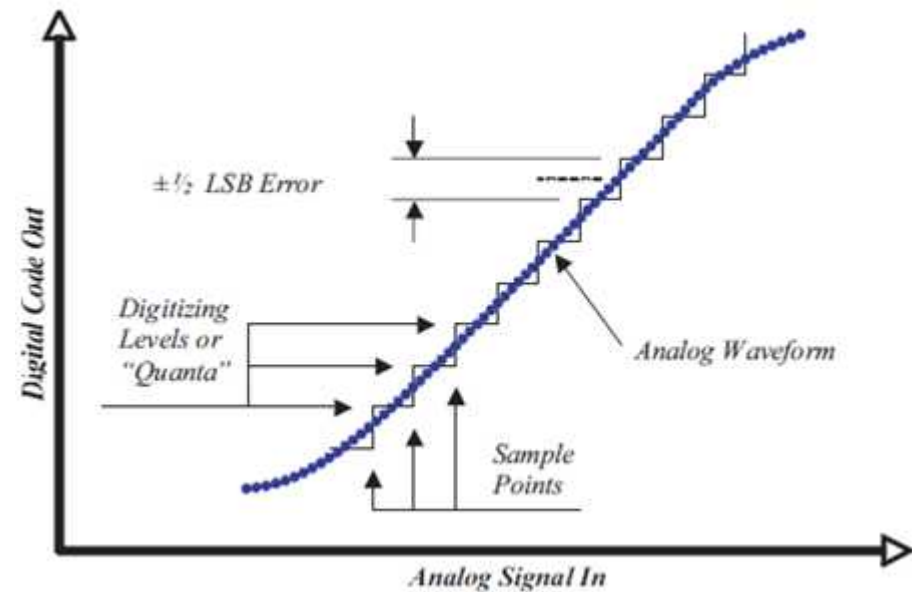
I ADCs Vertical Bits Resolution

ADC

I 8 Bit ADC : 256 레벨 분해능



Resolution n	Digital Levels in Full Scale range: 2^n	At 1V Full Scale 1 LSB =
8-bit	256	3.9 mV
10-bit	1,024	976 μ V
12-bit	4,096	244 μ V
14-bit	16,384	61 μ V
16-bit	65,536	1.5 μ V



Resolution

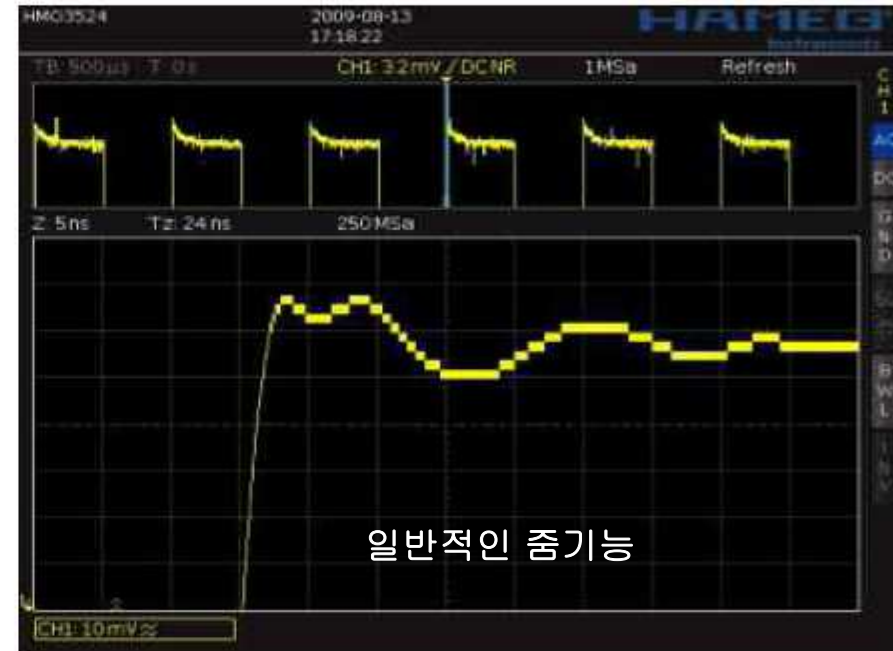
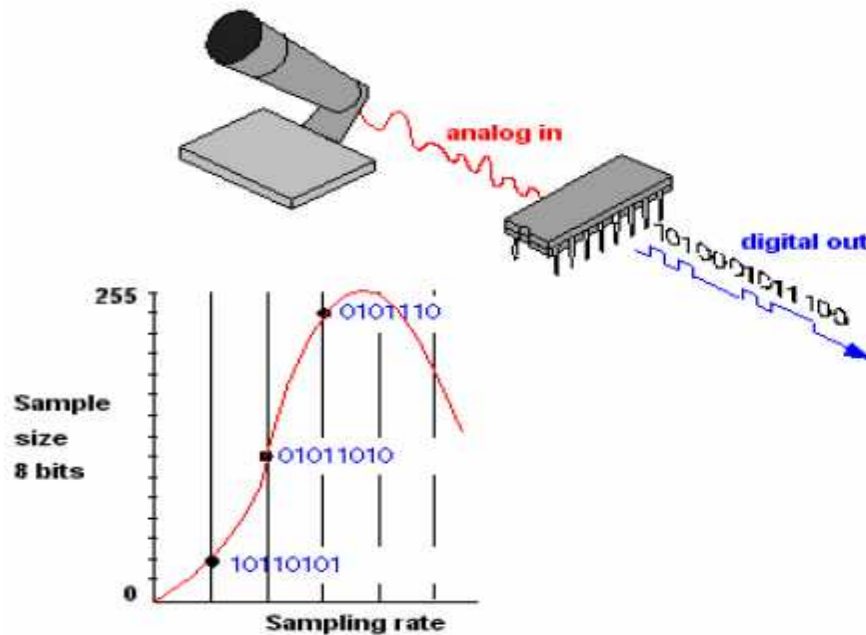
$\neq$

Accuracy

디지털 스코프 구조 – Vertical System

ADC - 줌기능

◆ 예제) 입력전압 5V일 때, 8 bit ADC => 19.5mV / bit

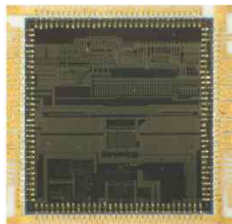


- ◆ 일반적인 줌은 수학적 확대 기능임
- ◆ 샘플들은 Interpolated 됨
- ◆ ADC 레벨의 분해능은 바뀌지 않음

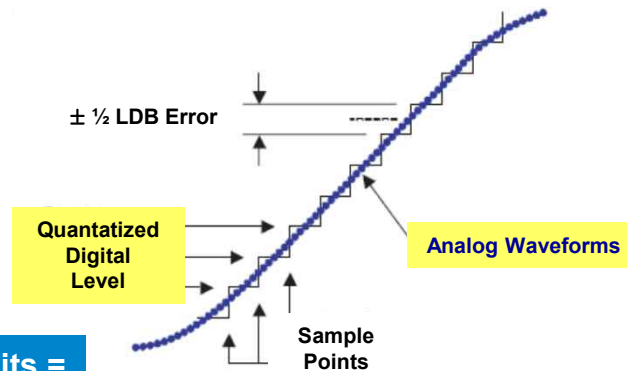
디지털 스코프 구조 – Vertical System

ENOB

◆ Effective Number of Bits (ENOB): 측정 신뢰도를 표현한 수치

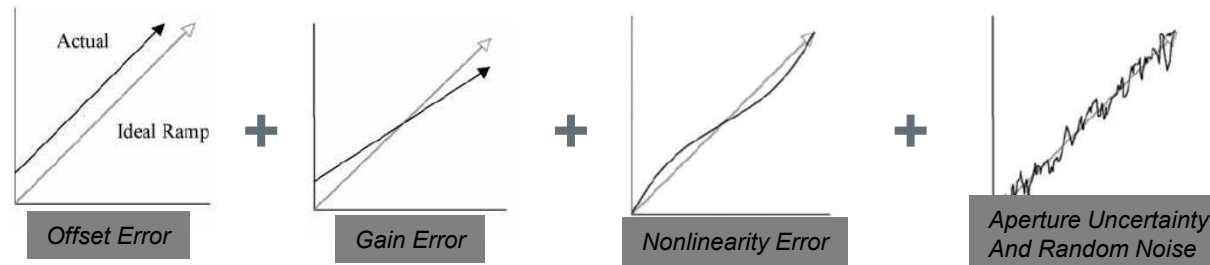


Ideal ADC vertical 8bits =
256 Quantizing levels



Others
RTO
Ideal

Effective Bits (N)	Quantization Levels	Least Significant Bit ΔV
4	16	62.5 mV
5	32	31.3 mV
6	64	15.6 mV
7	128	7.8 mV
8	256	3.9 mV



8 bits Effective
Number of Bits !

◆ 높은 ENOB => 낮은 양자화 에러와 높은 SNR 유지
=> 측정 신뢰도의 향상

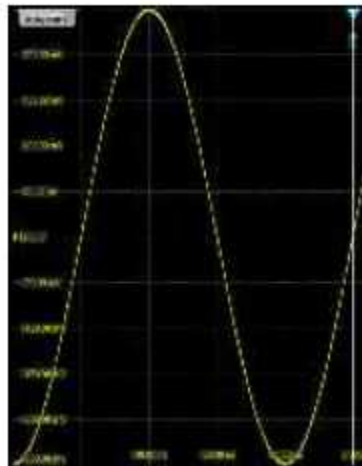
디지털 스코프 구조 – Vertical System

Input Range

Best measurement result!

Equivalent to 7 bits resolution

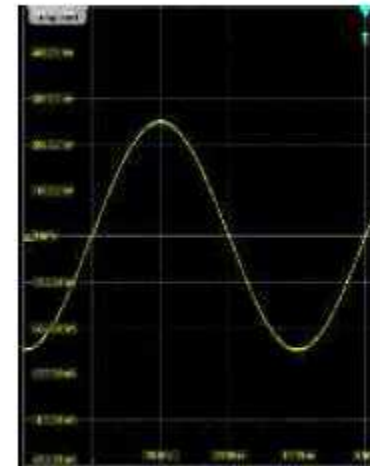
Scale/div = 50 mV/div



Signal amplitude:
0.5 V

Best ADC resolution
8 bit => 0.2 mV / bit

Scale/div = 100 mV/div

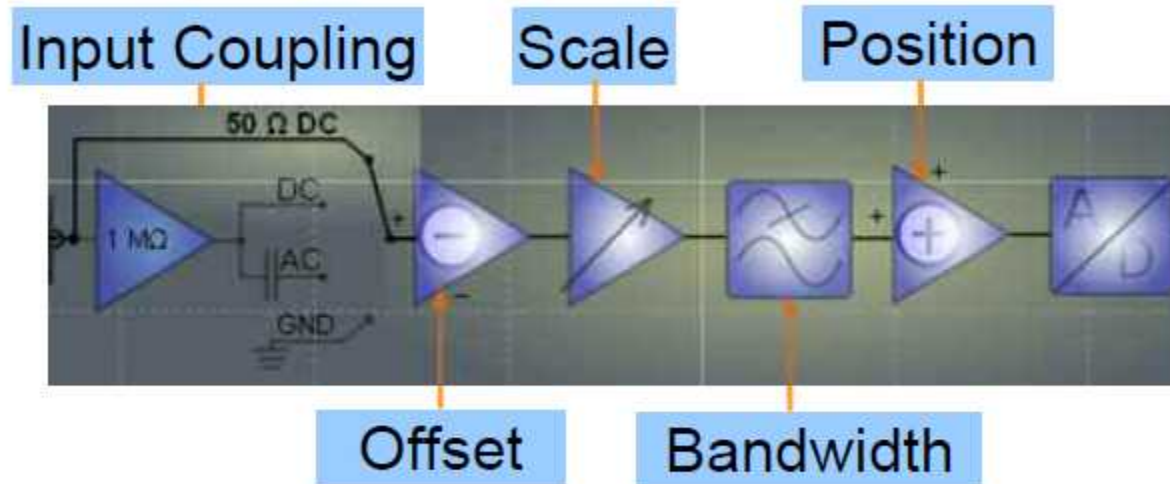


reduced ADC resolution
8 bit => 0.4 mV / bit

- ◆ 10개의 칸이 Full ADC의 입력 레벨임
- ◆ 스케일 조정에 따라 Resolution에 영향을 미침

디지털 스코프 구조 – Vertical System

Input Coupling

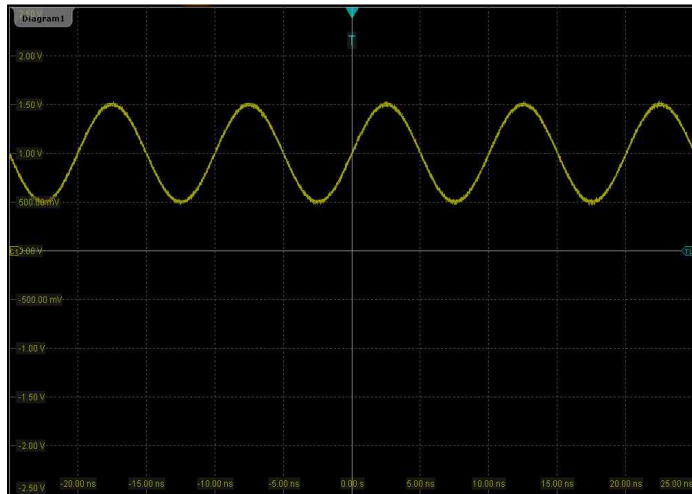


- DC : 모든 신호 인가 (AC + DC)
- AC : DC를 제외한 성분들(신호의 센터가 0V 근처에 존재)
- Ground : 신호를 차단함. 0V가 나오는지 확인

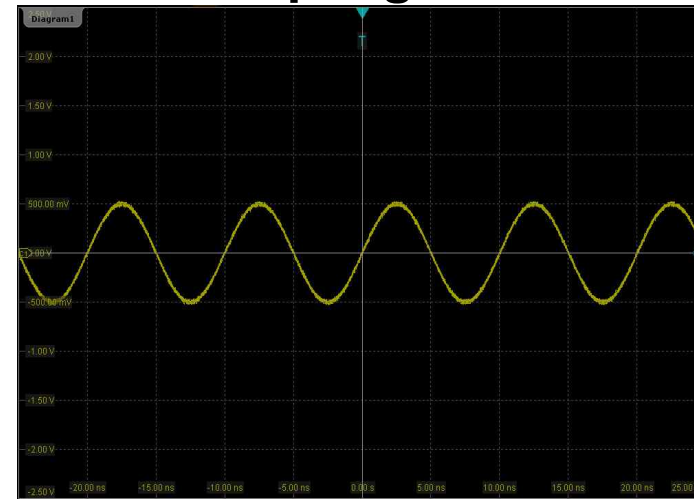
디지털 스코프 구조 – Vertical System

Input Coupling

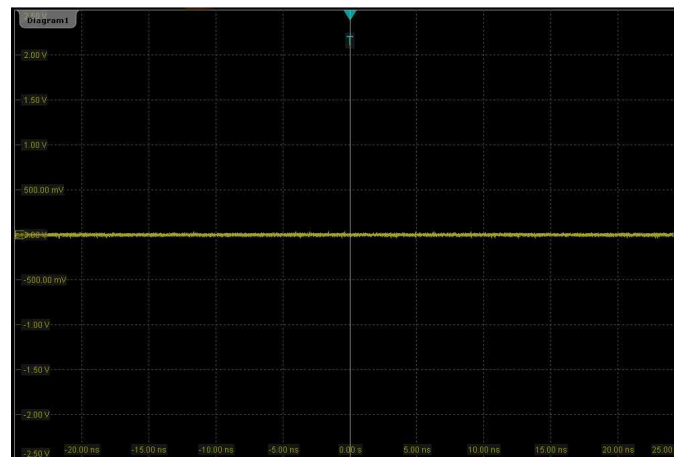
DC Coupling



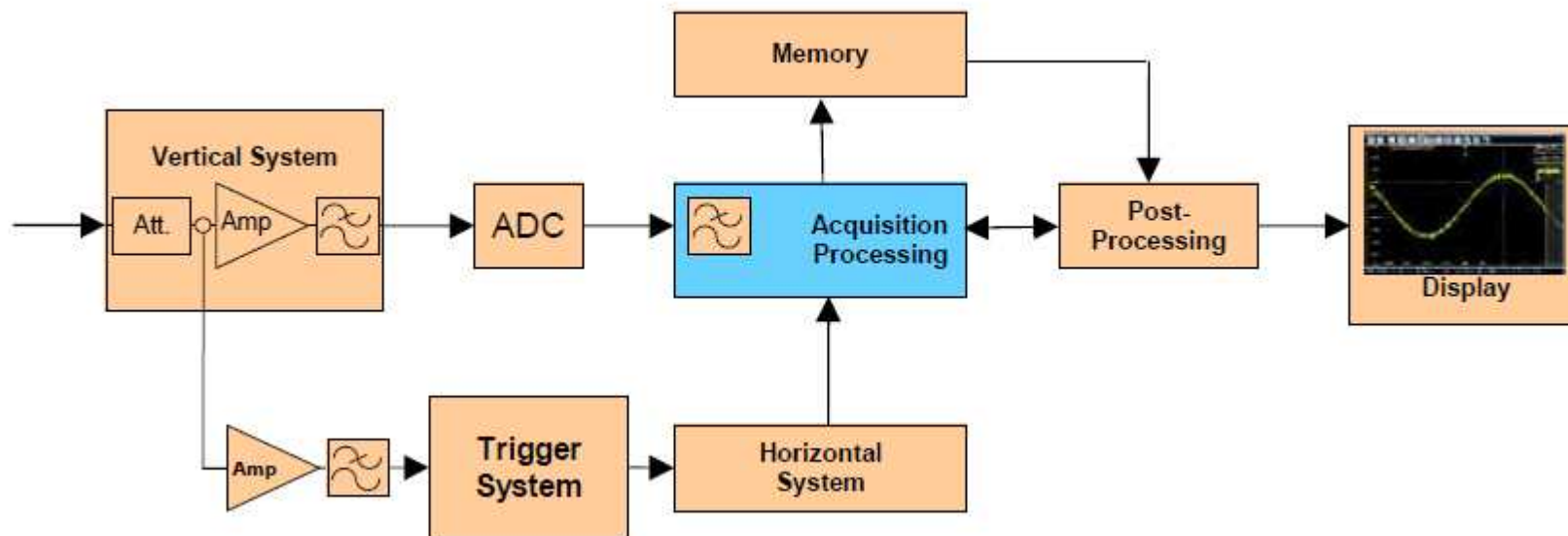
AC Coupling



GND



디지털 스코프 구조 – Acquisition Processing

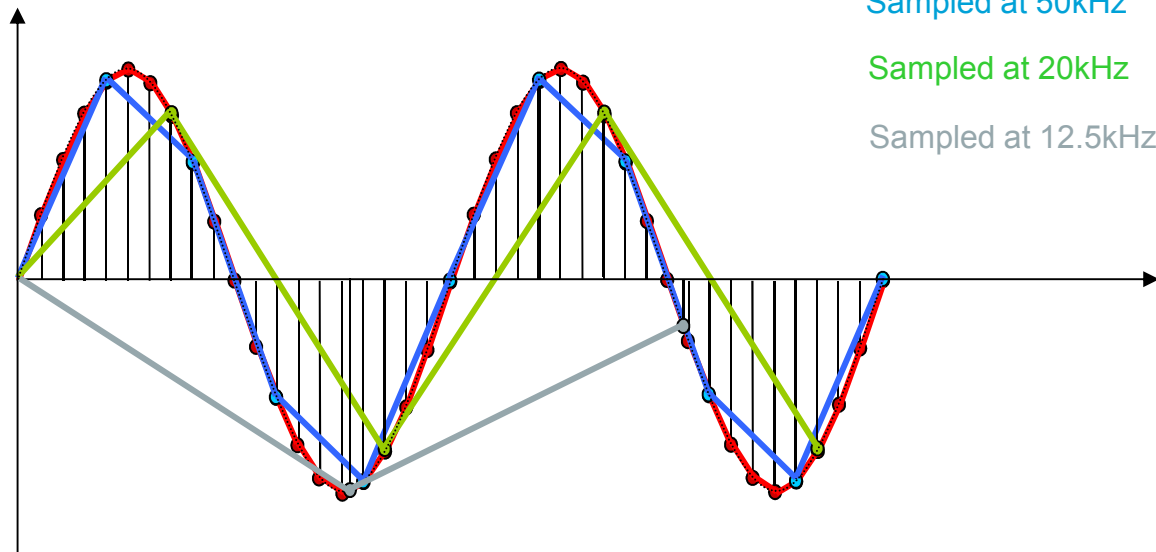


디지털 스코프 구조 – Acquisition Processing

Aliasing

◆ Nyquist 에 따른 샘플링 레이트

Sinusoids at 10kHz

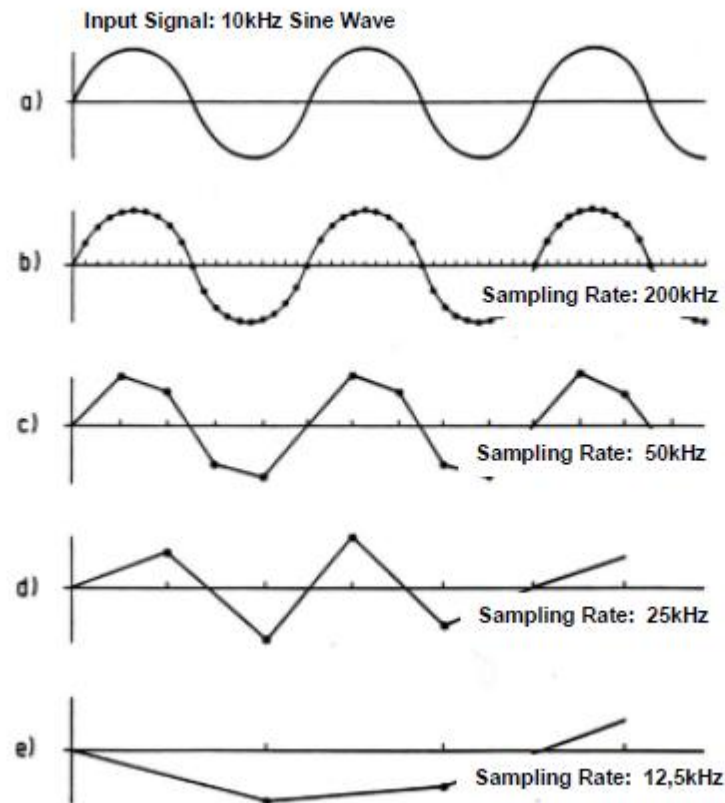


샘플링 레이트는 입력 신호의 주파수 보다 2배이상 높아야 한다.

디지털 스코프 구조 – Acquisition Processing

Sample Rate

A 10 kHz
Sine Wave Signal



Nyquist/ Shannon

The sampling rate
must be:

$$f_s \geq 2 * f_i$$

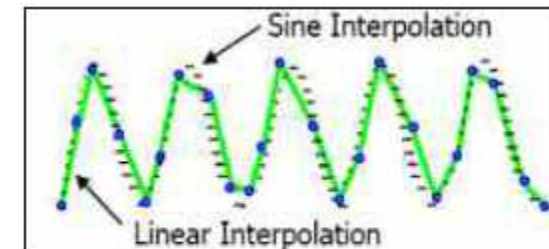
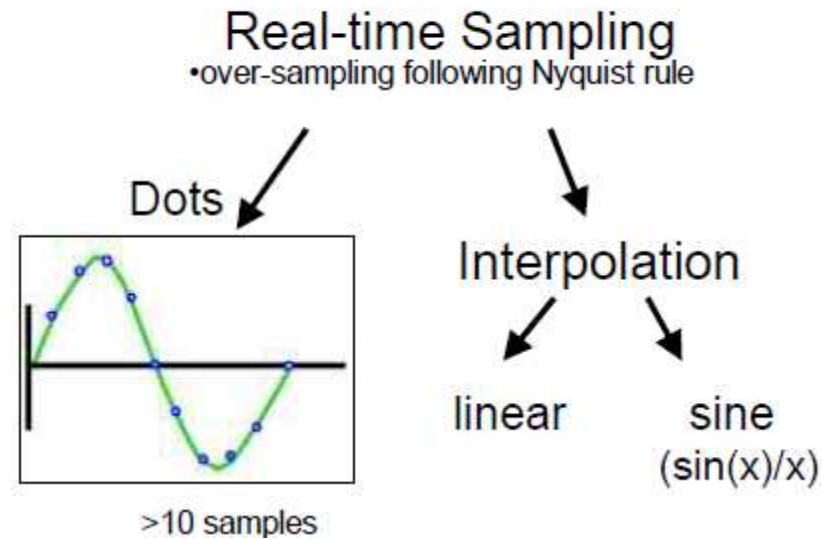
f_s : sampling frequency

f_i : frequency of the
input signal

디지털 스톱 구조 – Acquisition Processing

Interpolation

- ◆ 2개의 샘플을 연결하는 것을 Interpolation이라고 함
- ◆ Linear : 직선으로 연결
- ◆ $\text{Sin}(X)/x$: 곡선으로 연결

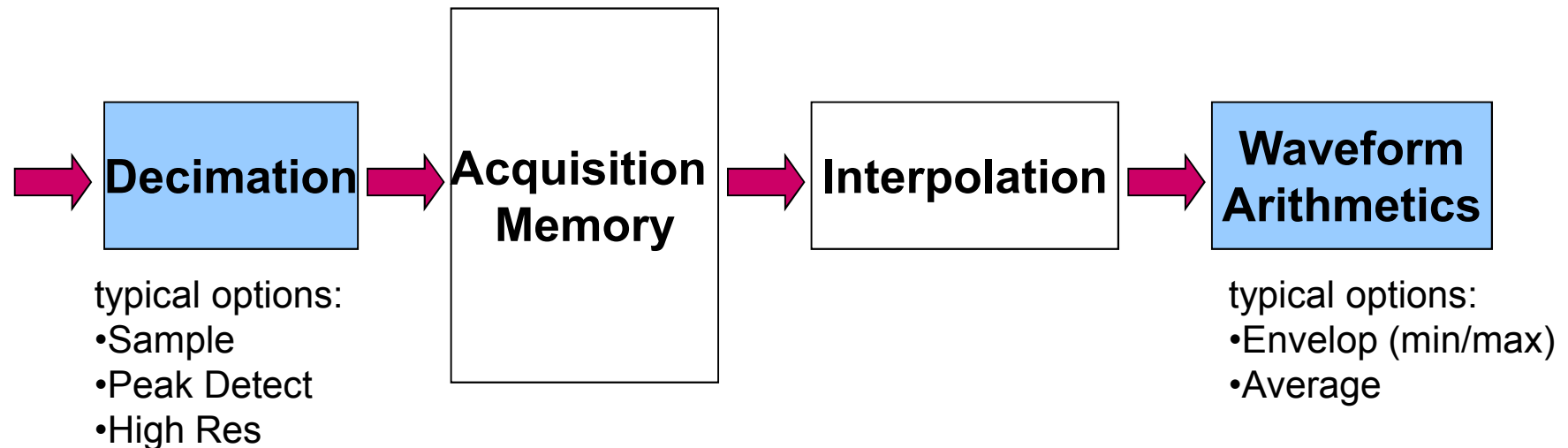


>2 samples; improves interpretation of the samples

디지털 스코프 구조 – Acquisition Mode

Decimation

- ◆ 디지털 스코프에서는 Decimation(포착)을 통하여, 사용자의 목적에 따라 다른 방식으로 파형점들의 생성을 제어할 수 있다.
- ◆ Interpolation 과정을 거친 파형은, Waveform Arithmetics의 연산 과정을 통하여 Envelop, Average 형태의 곡선으로 나타낼 수 있다.

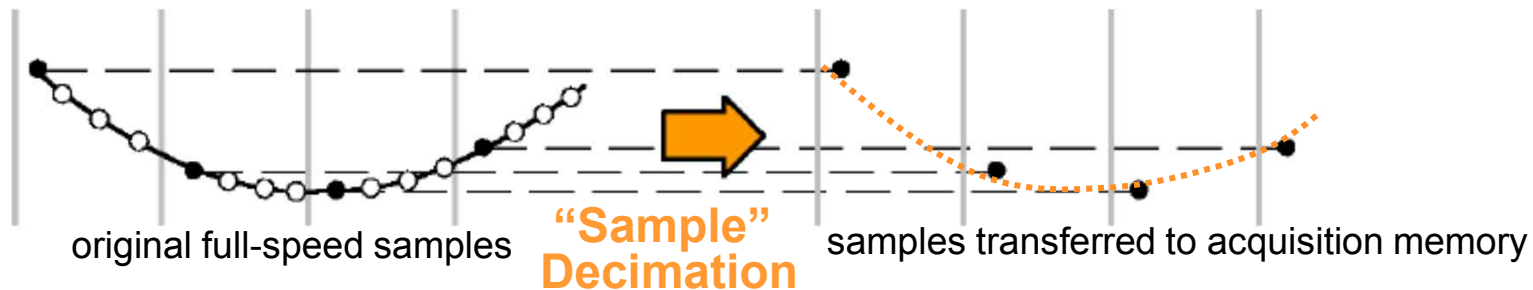


디지털 스코프 구조 – Acquisition Mode

Decimation

◆ Decimation(포착)의 배경

- ADC는 항상 Maximum sampling rate으로 샘플 포인트들을 취한다.
- 순차적으로 포착된 여러 개의 샘플 포인트로부터, 한 개의 파형 포인트를 만드는 여러 가지 포착 모드가 존재한다.



◆ Decimation의 종류

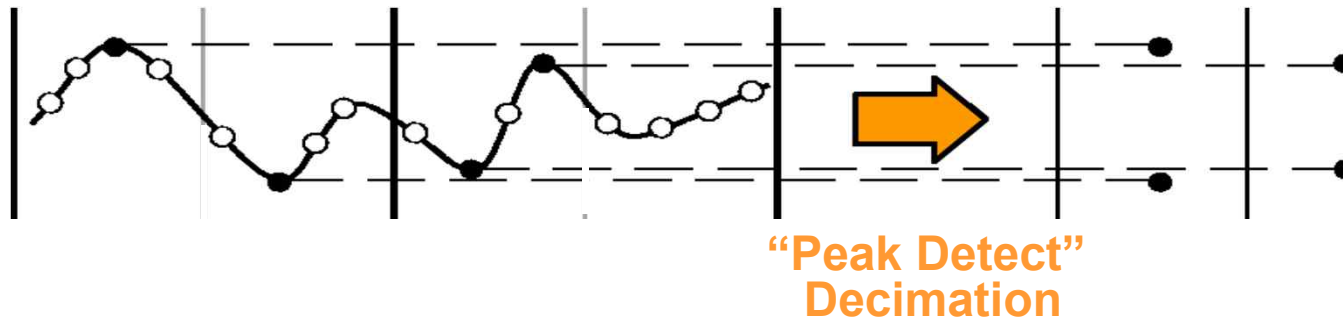
- “**Sample**”: most common; default mode
- “**Peak detect**”
- “**High res**”
- RTO has additionally “**RMS**”

디지털 스코프 구조 – Acquisition Mode

Decimation

◆ Peak detect (Min / Max)

- 두 개의 파형 구간 안에 있는 샘플 포인트 중 Max' 또는, Min' 값을 샘플 포인트로 저장한 후, 두 개의 파형 포인트로 이용한다.



어플리케이션 :

- 유일한 리얼타임 샘플 획득 방식
- 높은 주파수의 Glitch 성분을 잡아내기 위함

디지털 스코프 구조 – Acquisition Mode

Decimation

◆ High res (High resolution)

- 각각의 파형 구간에 있는 모든 샘플 포인트들의 **Average**를 취하여 하나의 파형 포인트를 만들어 낸다.
- 고 분해능 및 낮은 대역의 파형 분석이 가능하다.



어플리케이션 :

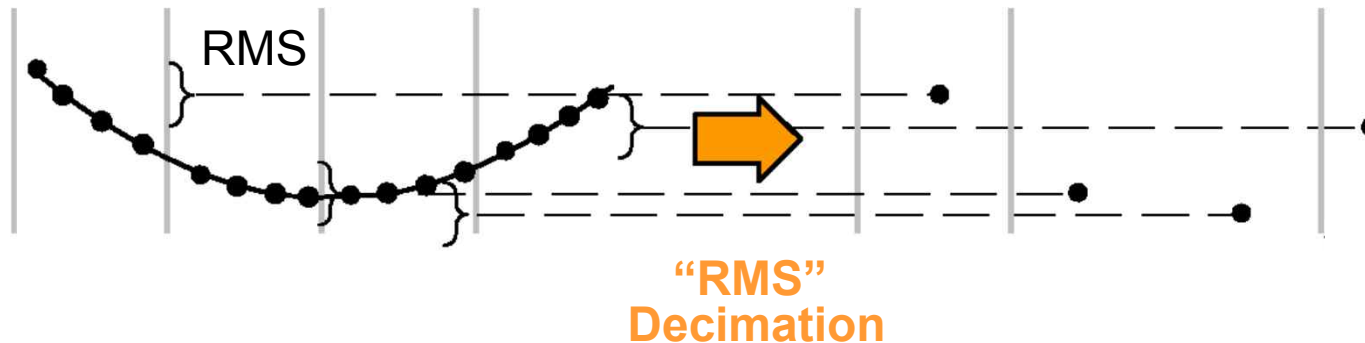
- 수직 분해능 향상 및 노이즈의 감소
- 신호의 노이즈 부분 제거 (노이즈 측정이 필요 없는 경우)

디지털 스코프 구조 – Acquisition Mode

Decimation

◆ RMS (Root Mean Square)

- 각각의 파형 구간 안에 있는 모든 샘플 포인트들에 RMS를 취함.
- 유일하게 R&S RTO에서만 RMS로 파형 포인트를 획득할 수 있음.



어플리케이션 :

- 저항 값을 알고 있다면, $P=U^2/R$ 의 통하여 실효전력의 측정이 가능함

디지털 스코프 구조 – Acquisition Mode

Wave Arithmetics

◆ Envelope

- Peak Detect 방식과 유사함.
- 여러 번의 획득으로 잡은 최대, 최소값의 파형 포인트들을 조합해서 파형을 형성하므로 시간에 따라 변화하는 최소, 최대치를 보여줌.



어플리케이션 :

- Worst case의 분석
- 통계적 분포가 Persistence mode로 시각화 될 수 있음
- 주의 : Timing 정보의 손실

디지털 스코프 구조 – Acquisition Mode

Wave Arithmetics

◆ Average

- **Sample** 방식처럼 각 파형 간격마다 한 개의 샘플 포인트를 저장함.
- 계속되는 파형 포착 동안 파형 포인트들은 서로 평균이 되어 최종적으로 얻어진 파형을 화면에 디스플레이 함.



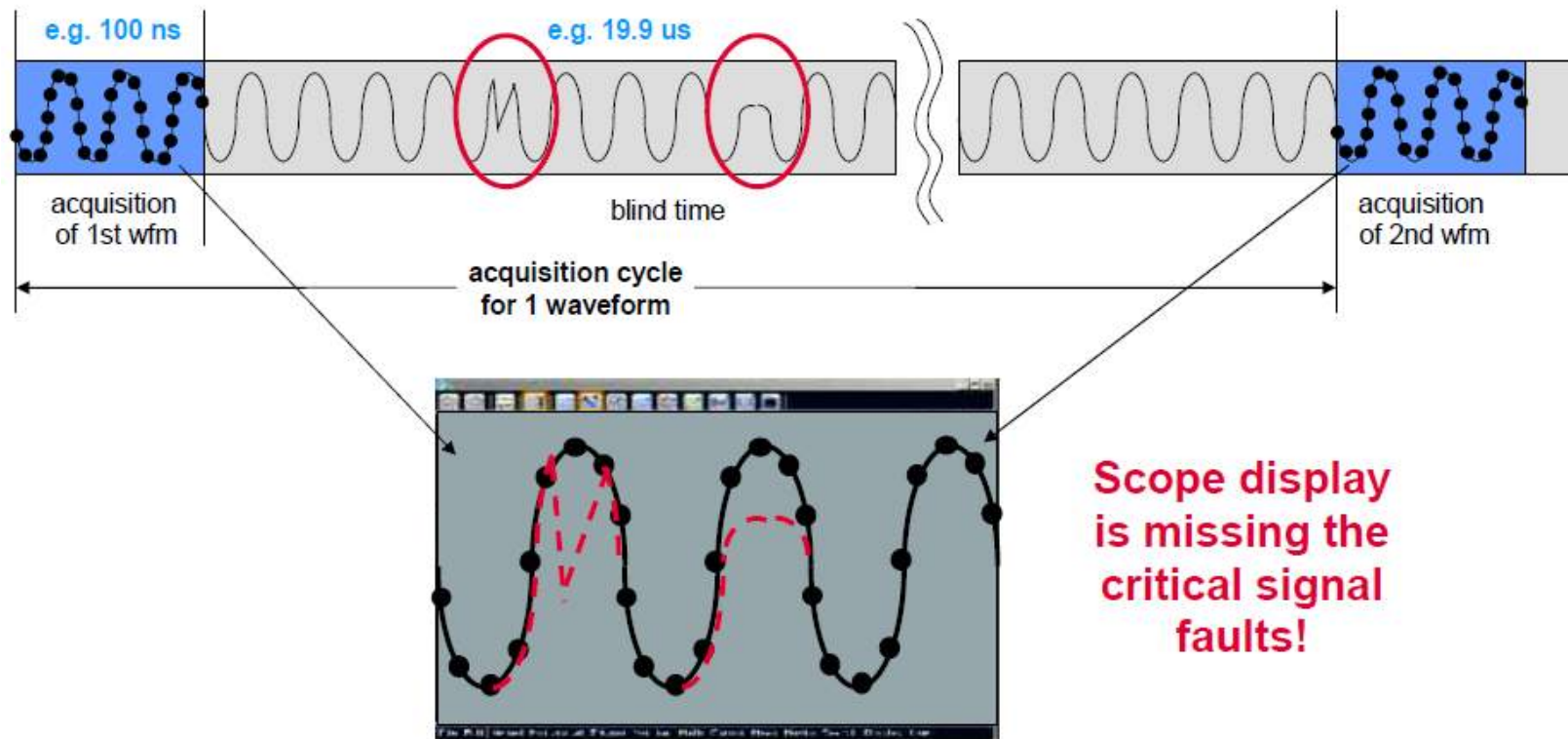
어플리케이션 :

- Uncorrelated 노이즈 제거 및 SNR의 향상
- “Weighted averaging”의 가능
- 주의 : 트리거 지터가 획득된 데이터의 타이밍 정보를 왜곡시킬 수 있다.

디지털 스코프 구조 – Acquisition Rate

Wfm Update Rate

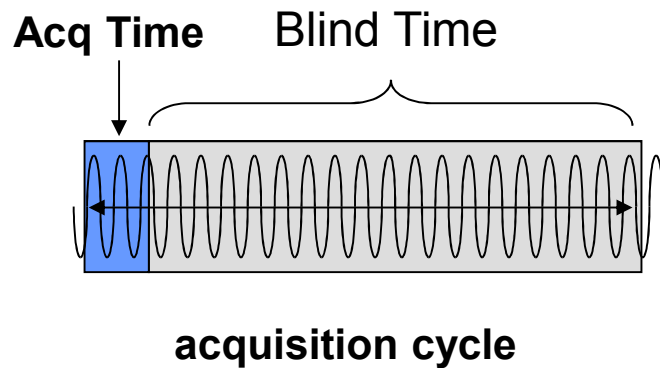
- ◆ 모든 디지털 오실로스코프는 **Blind-time**을 가지고 있음
- ◆ 일반적인 스코프는 최대 **0.5% Active -> 99.5% Blind (=50,000 wfm/s)**



디지털 스코프 구조 – Acquisition Rate

Wfm Update Rate

◆ Acquisition rate와 프로세스와의 상관 관계



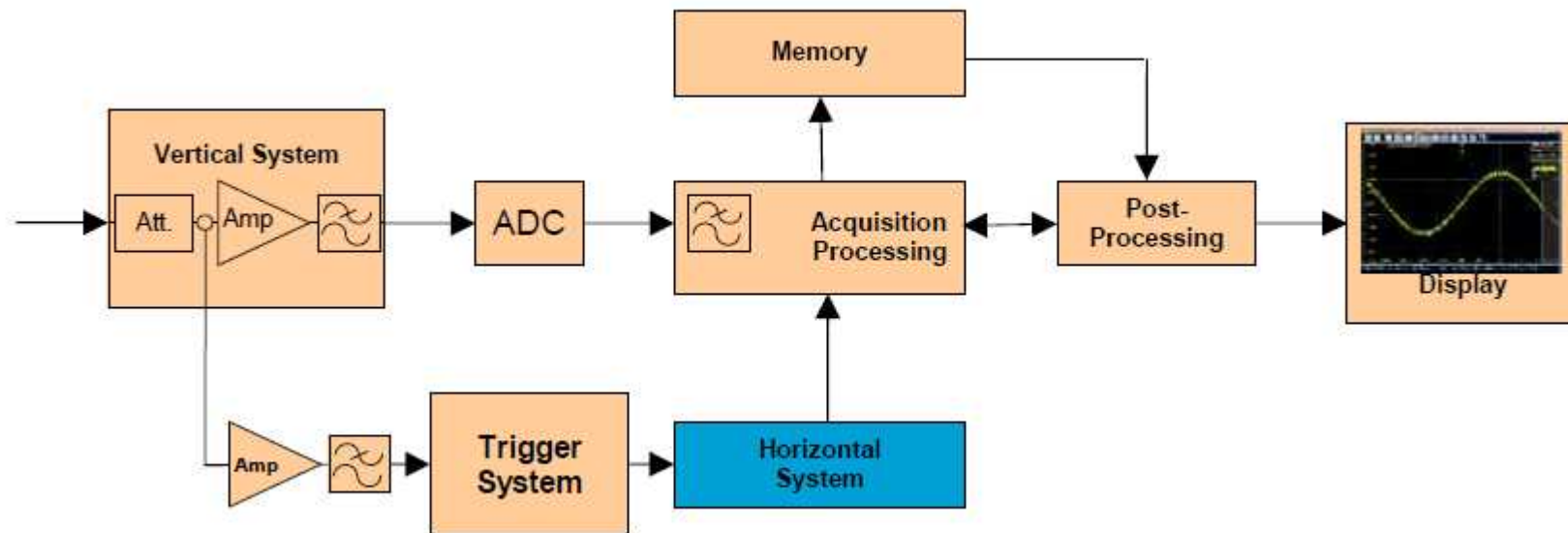
Acquisition time depends on:

- 샘플 수와 선택된 타임 스케일

Blind time depends on:

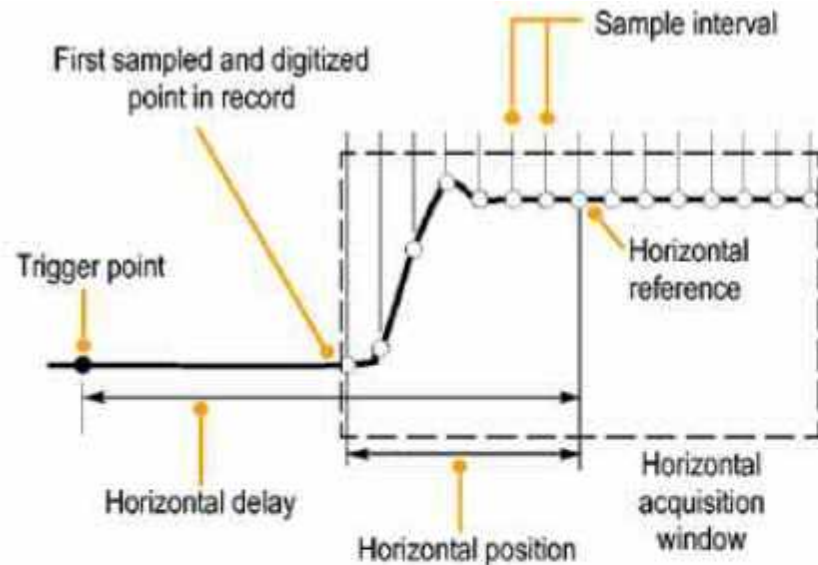
- 프로세스 및 저장되어질 샘플의 수
- 프로세스와 현재 사용중인 기능 등

디지털 스코프 구조 – Horizontal System



디지털 스코프 구조 – Horizontal System

Memory



Resolution

• Δ time between 2 samples

Record Length

• # of samples

Time Scale

• time / div's

Sampling Rate

Acquisition time

• $10 \times \text{time / div's}$

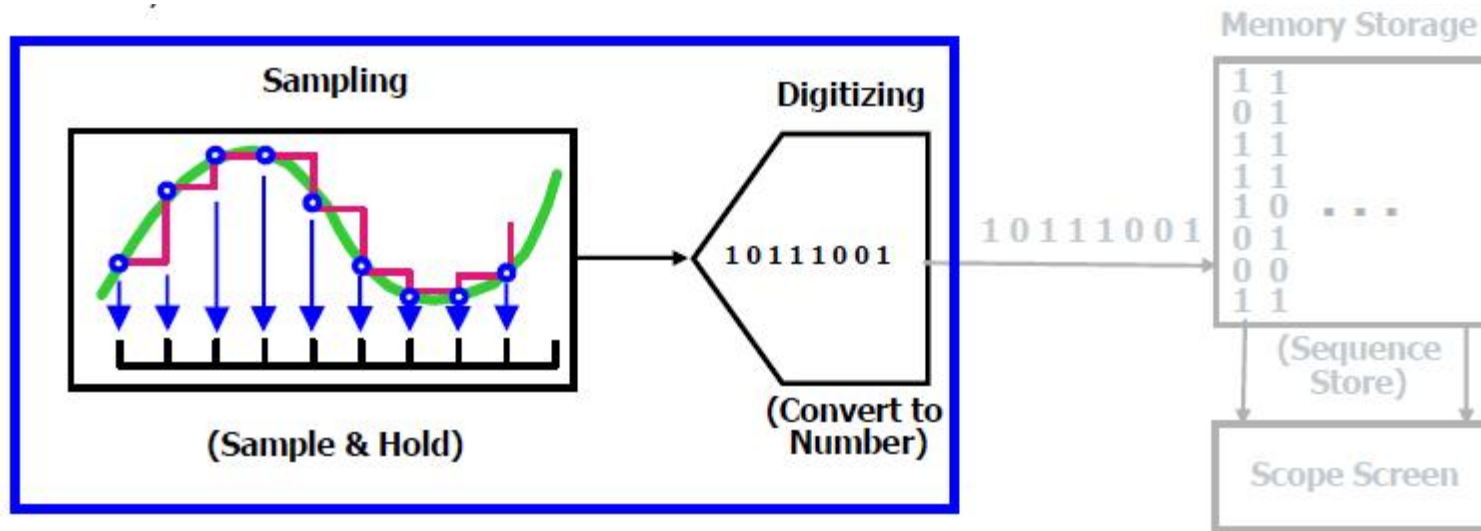
$$\begin{array}{c} \text{Sample Rate} \\ 1 / \text{Resolution} \end{array} \times \begin{array}{c} \text{Acquisition time} \\ \text{Time Scale} \end{array} \times \begin{array}{c} \text{\# of Div's} \end{array} = \begin{array}{c} \text{Record Length} \end{array}$$

- ◆ 예제) $10 \text{ GS/s} \times 10 \text{ ns/div} \times 10 \text{ Div's} = 1000 \text{ samples}$
- $10 \text{ GS/s} \times 100 \mu\text{s/div} \times 10 \text{ Div's} = 10\text{M samples}$

디지털 스코프 구조 – Horizontal System

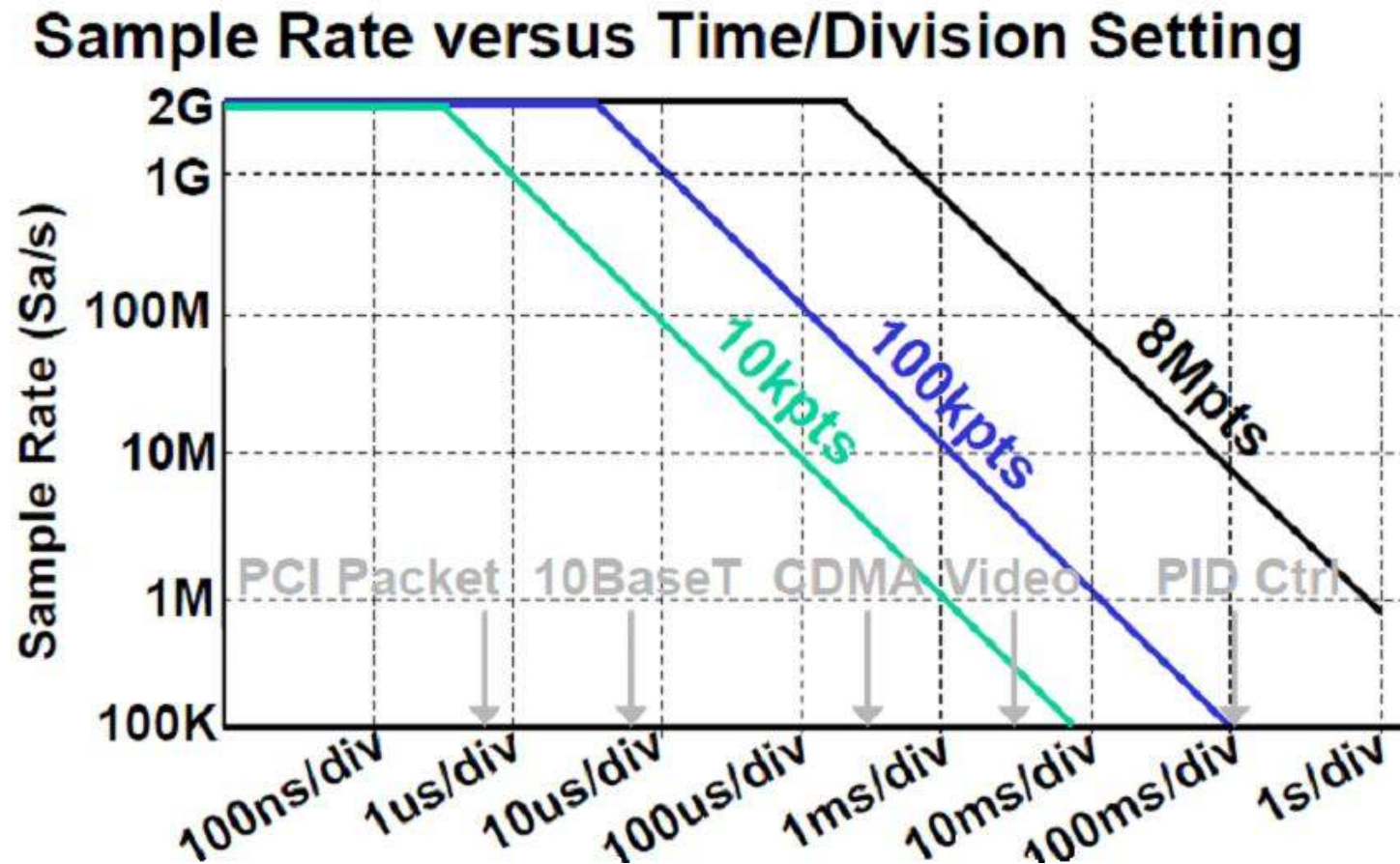
Memory

- ◆ 모든 샘플들은 메모리에 저장됨
- ◆ 큰 메모리 사이즈는 더 많은 데이터를 저장할 수 있음



디지털 스코프 구조 – Horizontal System

Memory



디지털 스코프 구조 – Horizontal System

Memory

◆ 큰 메모리의 장점

- 긴 시간동안 캡처할 경우 높은 샘플링 레이트를 유지할 수 있음

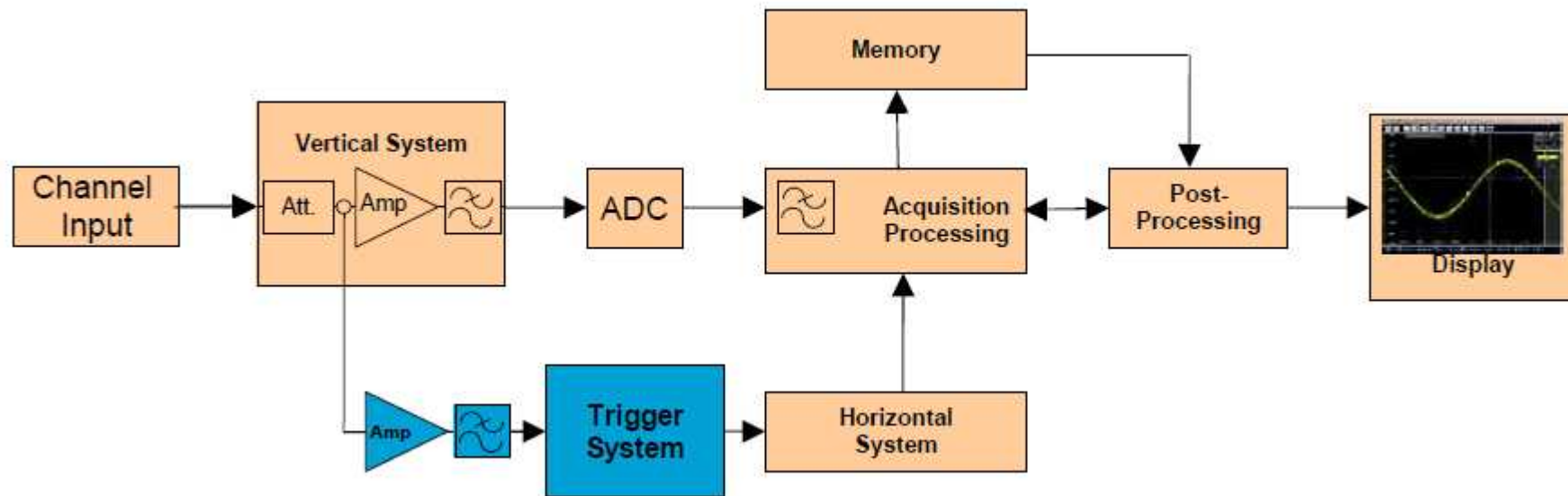
◆ 높은 샘플링 레이트의 장점

- 정확한 신호 재생
- 샘플간 정밀한 분해능
- 쉽게 glitch 및 에러를 발견할 수 있음

◆ 긴 시간 주기의 신호 캡처

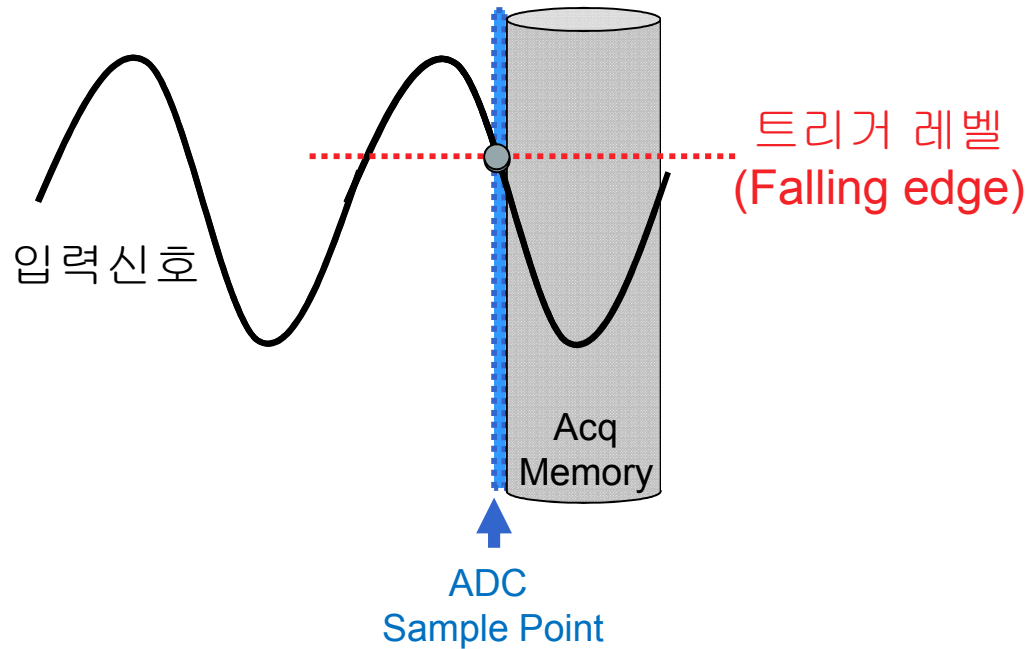
◆ 우수한 줌 기능

디지털 스코프 구조 – Trigger System

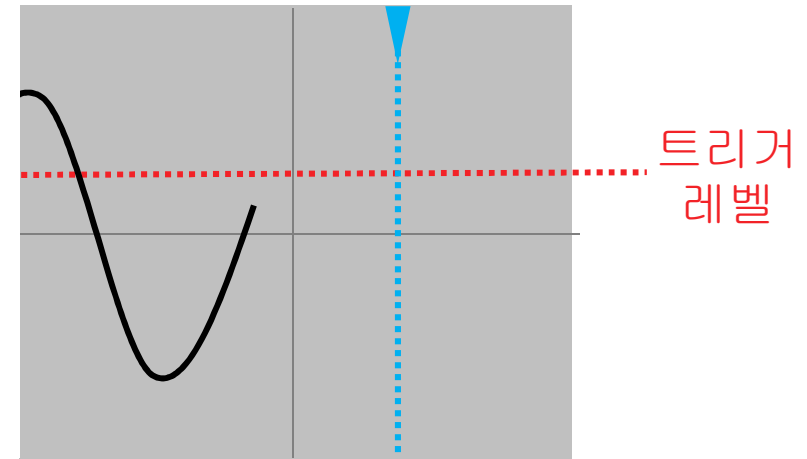


디지털 스코프 구조 – Trigger System

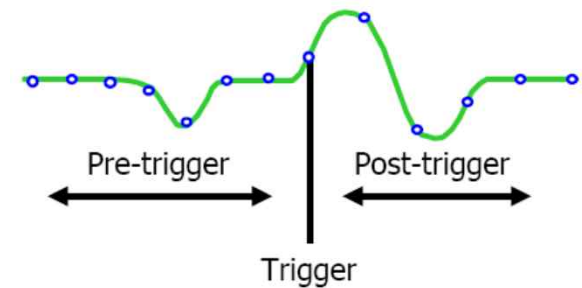
Trigger ?



디스플레이 트리거 위치



Trigger 트리거 시스템은 **ADC**의 샘플 포인트에서 트리거 조건(트리거 레벨, 종류 등)을 충족하는 모든 샘플들의 위치를 결정한다.

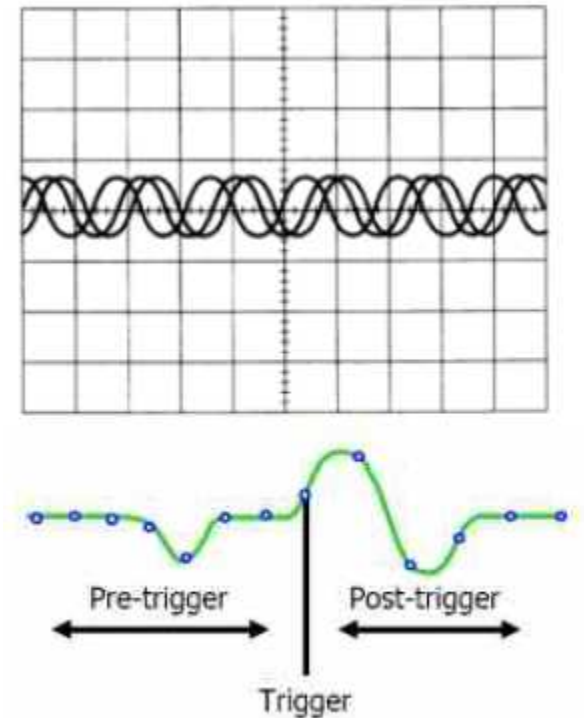


디지털 스코프 구조 – Trigger System

Trigger

Trigger Motivation

- ◆ 반복적인 파형을 안정적으로 보기 위함
- ◆ 이벤트가 발생하기 이전 이후의 상황을 파악하기 위함
- ◆ 측정을 시작하기 위한 특별한 포인트 지정

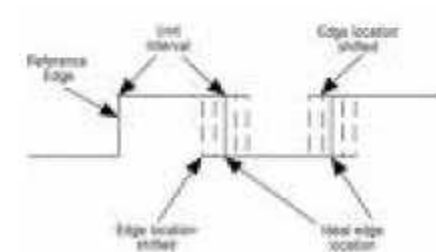
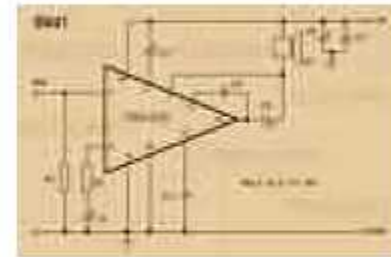
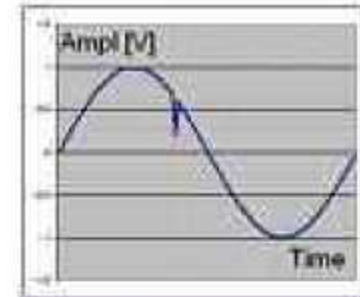


디지털 스코프 구조 – Trigger System

Accuracy

Trigger Accuracy

- ◆ 최소 측정 가능한 glitch : 최소 펄스 width[ps]
- ◆ Sensitivity : 트리거를 위한 최소 레벨 [mv]
- ◆ Jitter : 트리거의 타이밍 불확도[ps rms]



디지털 스코프 구조 – Trigger System

Type

◆ Edge Trigger

- 입력 신호가 기준 Threshold를 넘게 되면 트리거링이 한번 동작함



rising edge

falling edge

rising and falling edge

디지털 스코프 구조 – Trigger System

Type

◆ Advanced 트리거(I)

Transition time

- slow / fast edges, e.g. *circuit instability / radiation of troublesome energy*



Width

- defined pulse width, e.g. *observing Inter-Symbol-Interference (ISI)*



State

- logical combination of various channels, e.g. *troubleshooting parallel busses*



Glitch

- typically narrow pulse, e.g. *caused by cross-talk*



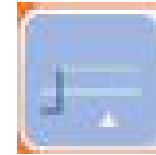
디지털 스코프 구조 – Trigger System

Type

◆ Advanced 트리거(II)

Time out

- dead time, e.g. system errors by wrong dead time relations to other signals



Window

- event that enters / exits a window , e.g. capture bus contentions



Setup & Hold

- timing relation between 2 channels, e.g. synchronous data interface

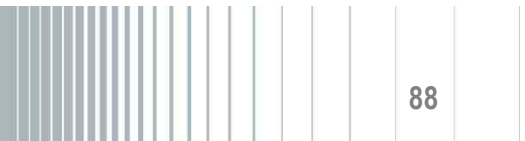


Runt

- limited amplitude, e.g. meta-stable conditions in digital systems



오실로스코프의 기능



디지털 스코프 기능 - Analyzing Waveforms

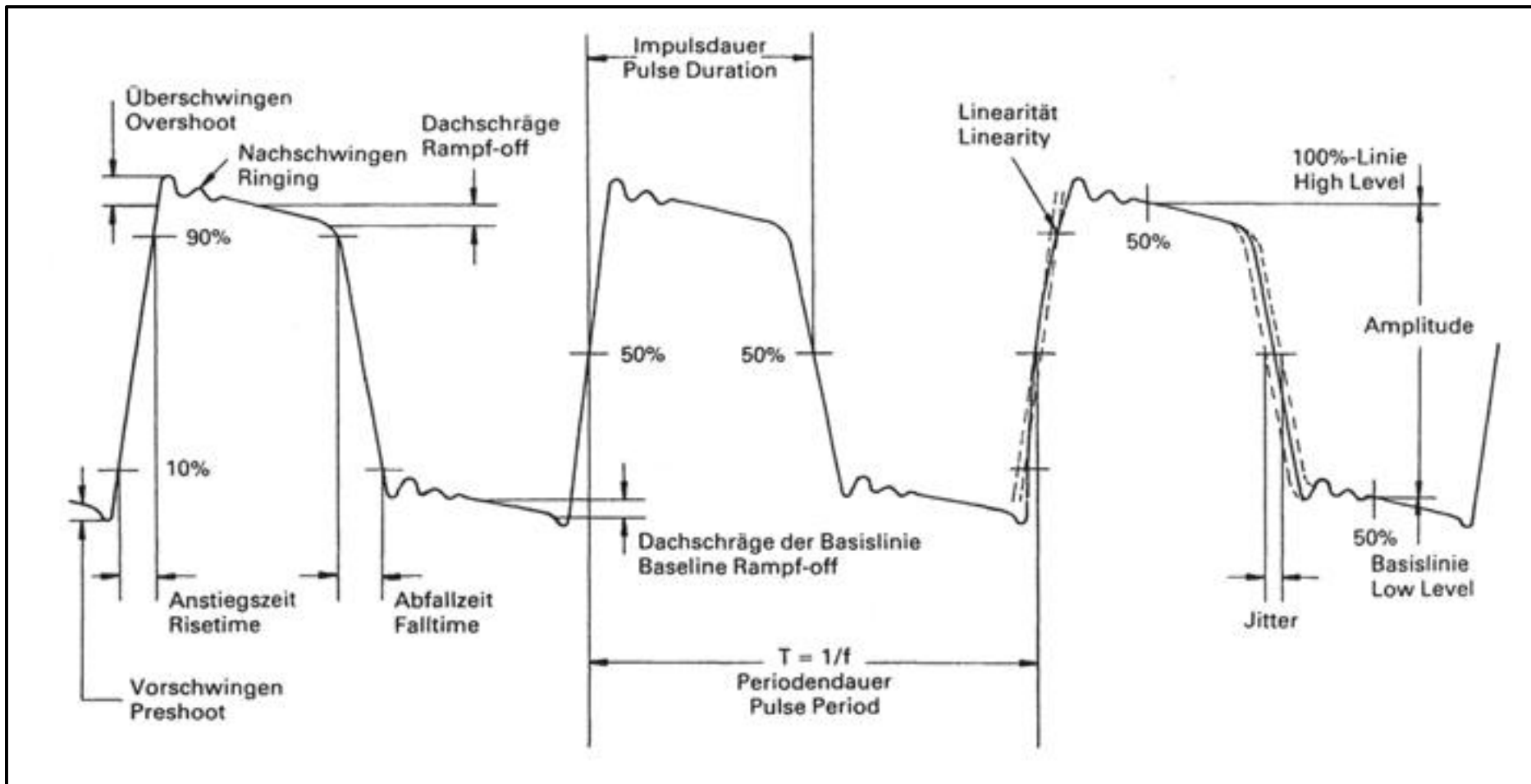
Analyzing Waveforms

- ◆ 파형 분석을 위한 기능
 - Cursor
 - Automatic measurements
 - Statistics
 - Histograms
 - Math
 - Spectral analysis
 - Advanced pass/fail tests



디지털 스코프 기능 - Analyzing Waveforms

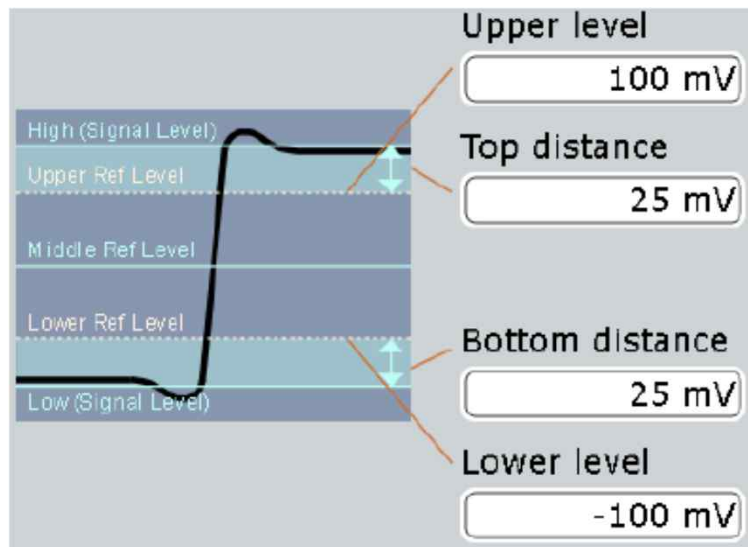
Automated Measurement



디지털 스코프 기능 - Analyzing Waveforms

Automated Measurement

- ◆ 전형적인 **Automated Measurement** 의 범주
 - Amplitude, Time
 - Histogram
 - Eye diagram
 - Spectrum
- ◆ 파형 전체 또는, 첫 번째 이벤트에 대한 측정
- ◆ 기준 레벨에 대한 정의가 필요함



"Auto select absolute probability"	The most suitable signal level for the selected measurement is used.
"Peak probability"	The signal level with the highest probability value is used.
"Mean probability"	The signal level with mean probability is used.
"Absolute peak"	The absolute peak signal level is used.

디지털 스코프 기능 - Analyzing Waveforms

Statistics Measurement

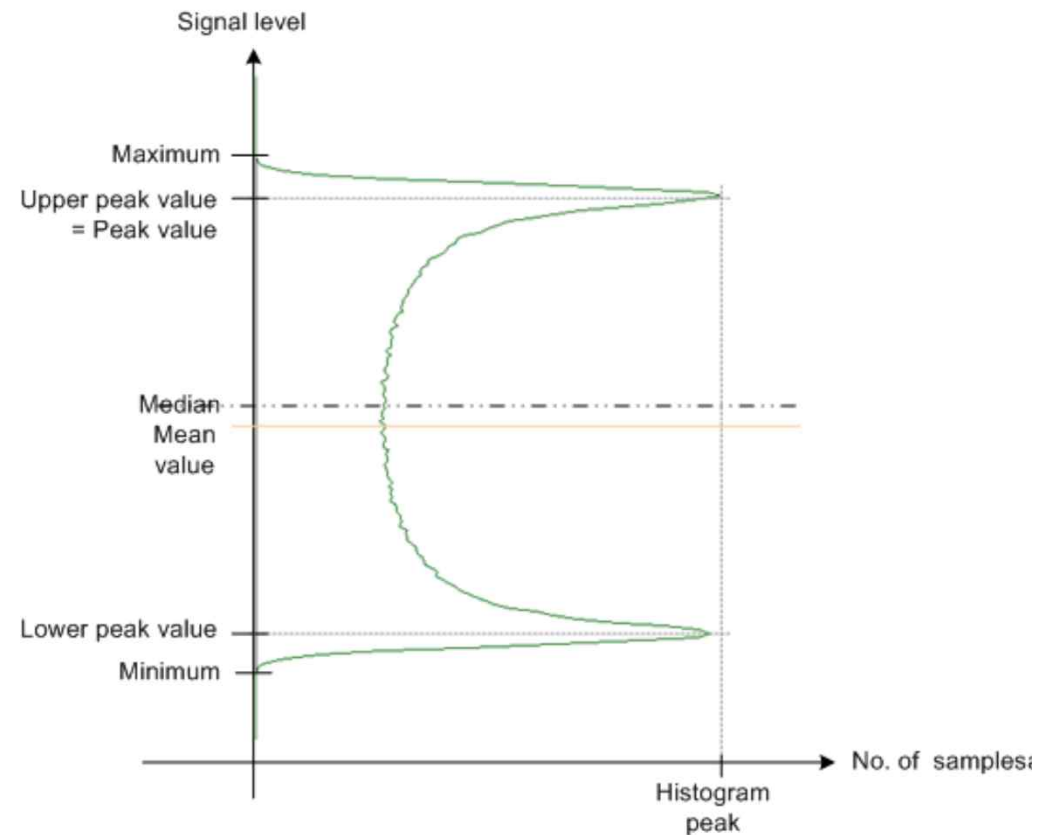
- ◆ 통계치 분석 결과를 나타내기 위하여, 반드시 어느 정도 이상의 파형이 획득되어야만 한다.

Label	Description
Actual	Currently measured value
+Peak	Positive peak value (maximum)
-Peak	Negative peak value (minimum)
μ (Avg)	Average
RMS	Root mean square
σ (S-dev)	Standard deviation
Event count	Number of measured events (e.g. rising edges, pulses etc.)
Wave count	Number of waveforms (acquisitions) the measurement is based on

디지털 스코프 기능 - Analyzing Waveforms

Histogram

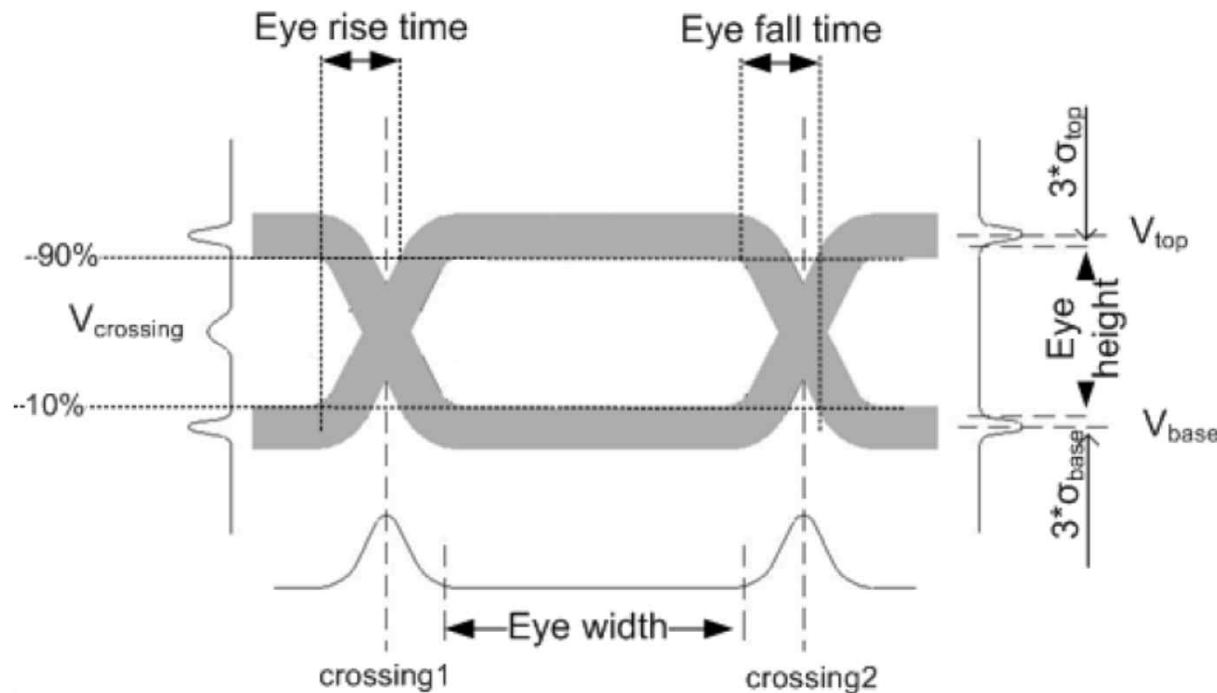
- ◆ Histogram은 데이터의 빈도를 그림으로 나타내는 기능임.
- ◆ Histogram은 노이즈와 지터 분석을 위한 강력한 툴임.
 - RMS, peak-peak, median
 - histogram shape (gaussian, bi-modal, etc.)



디지털 스코프 기능 - Analyzing Waveforms

Eye Diagram

- ◆ Eye Diagram 은 지터를 분석할 수 있는 시각화 된 툴이며, 신호의 무결성을 테스트를 할 수 있는 기능임.
- ◆ Eye Diagram 의 Histogram 을 만들어 냄으로써, Eye Diagram 상에서 신호에 대한 특정 값들을 확인할 수 있음.



디지털 스코프 기능 - Analyzing Waveforms

Eye Diagram

- ◆ 소스 파형의 변환과 다른 채널에서 측정된 파형과의 합성을 통하여, Math 가 된 파형 및 데이터를 얻을 수 있음.



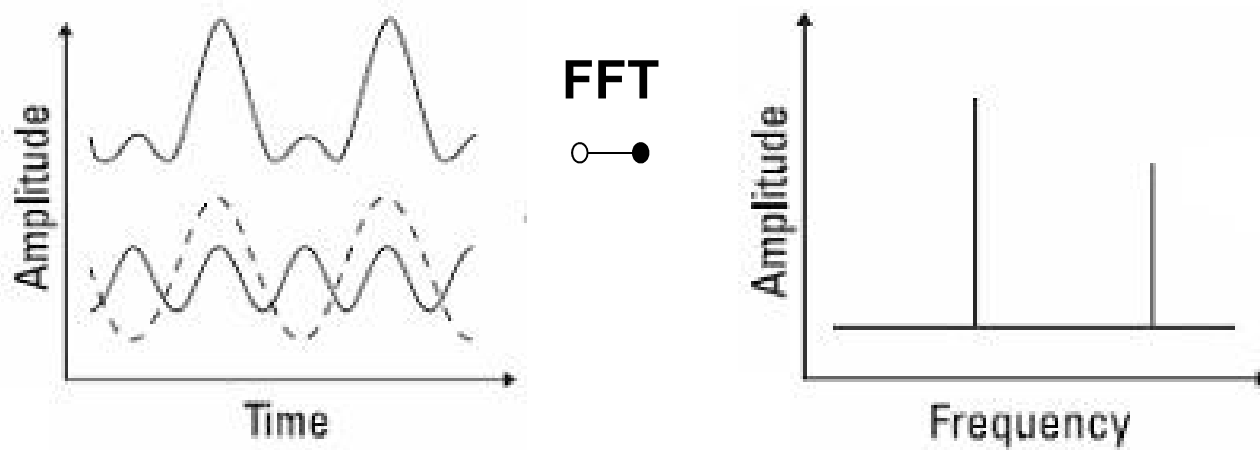
디지털 스코프 기능 - Analyzing Waveforms

Spectrum Analysis

◆ FFT의 정의

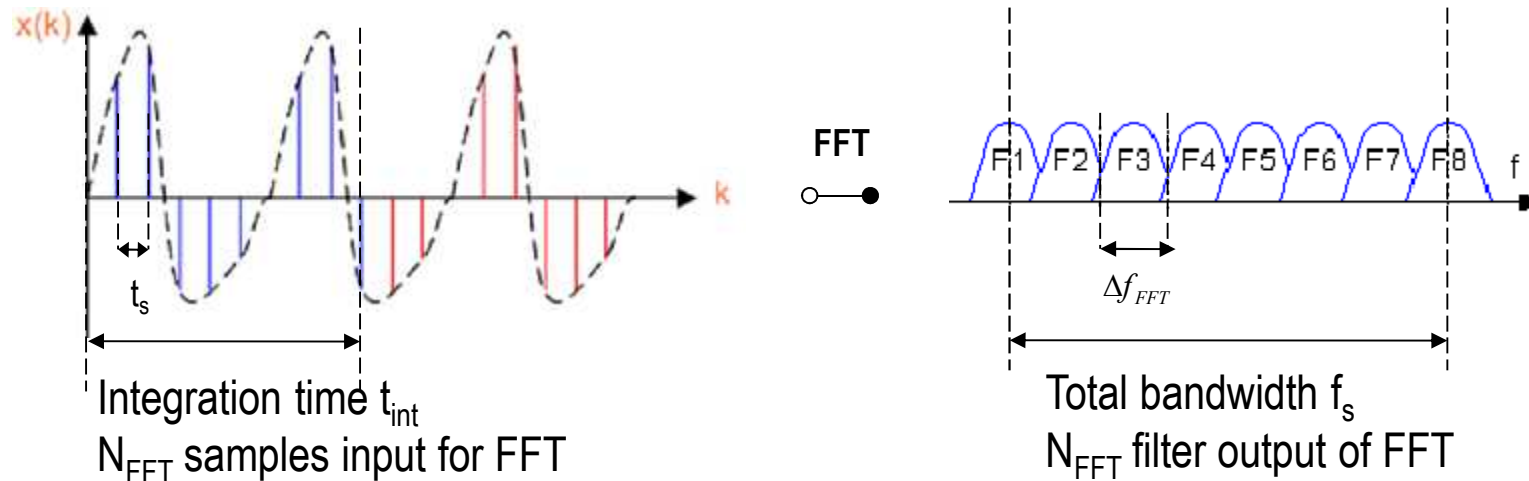
■ Fast Fourier Transform

■ 시간 축에서 주파수 축으로의 데이터 변환을 위한 알고리즘



디지털 스코프 기능 - Analyzing Waveforms

Spectrum Analysis



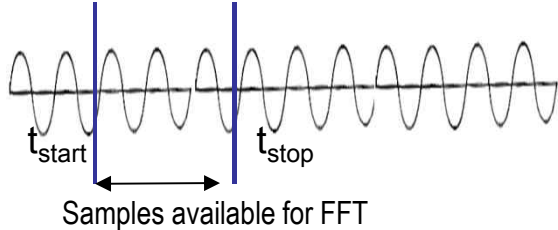
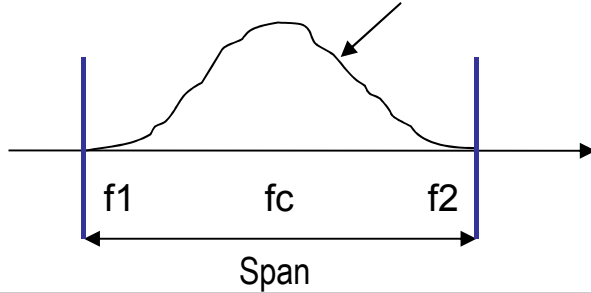
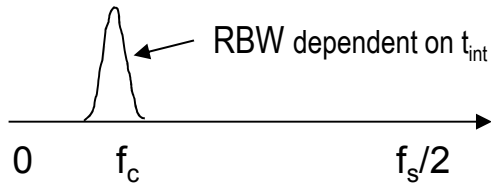
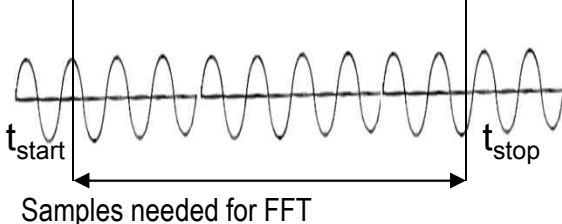
- N_{FFT} Number of consecutive samples (acquired in time domain), power of 2 (e.g. 1024)
- Δf_{FFT} Frequency resolution
- t_{int} Integration time
- f_s Sample rate

$$\Delta f_{FFT} = \frac{1}{t_{int}} = \frac{f_s}{N_{FFT}}$$

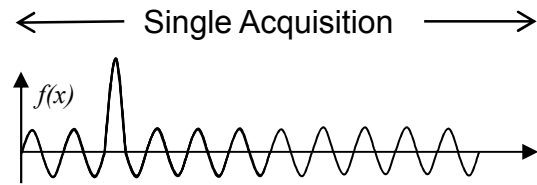
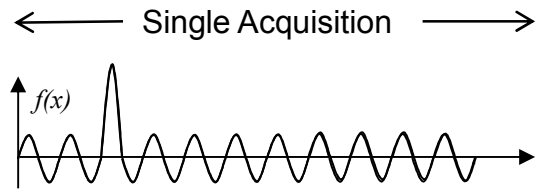
디지털 스코프 기능 - Analyzing Waveforms

Spectrum Analysis

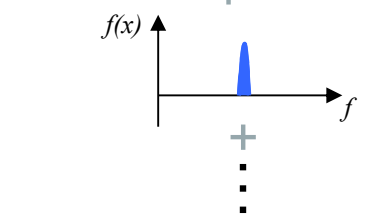
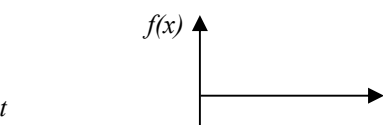
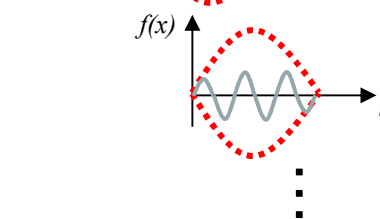
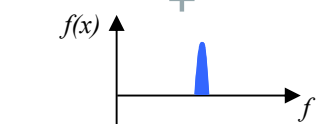
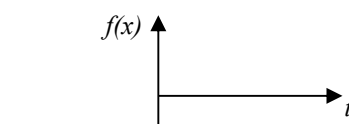
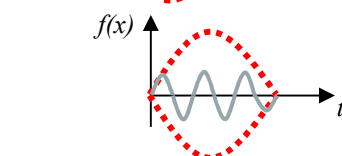
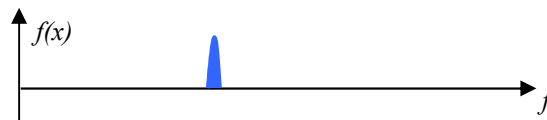
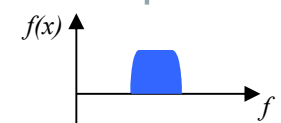
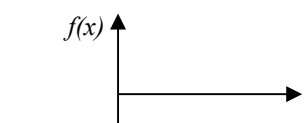
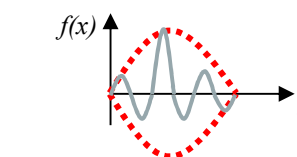
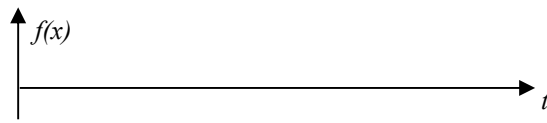
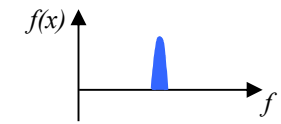
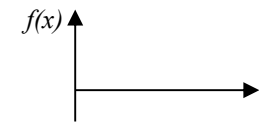
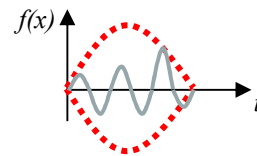
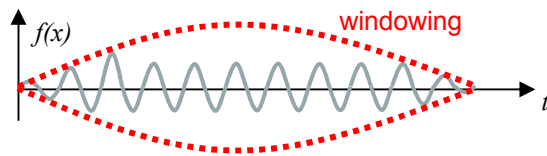
Time controlled vs. frequency controlled FFT settings

	Time controlled (Constant record length)	Frequency controlled (Constant RBW)
Parameters set by user	t_{start} , t_{stop} 	RBW 
Resulting parameters	Minimum achievable RBW 	Required acquisition time 

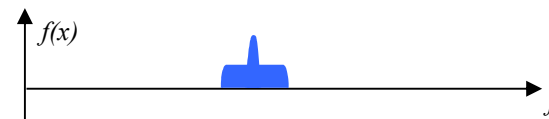
디지털 스코프 기능 - Analyzing Waveforms



Spectrum Analysis



Multiple Overlapping FFT

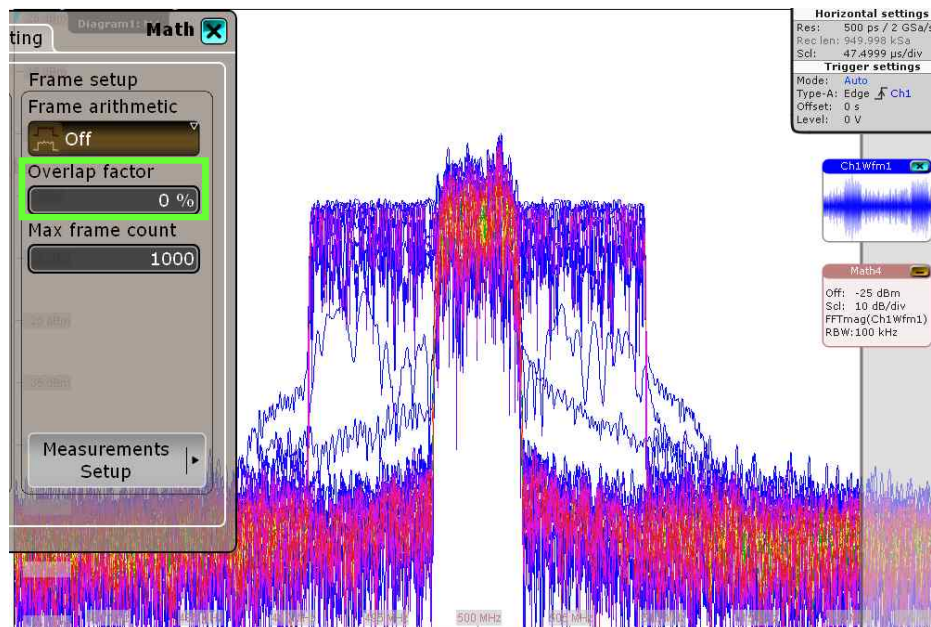


디지털 스코프 기능 - Analyzing Waveforms

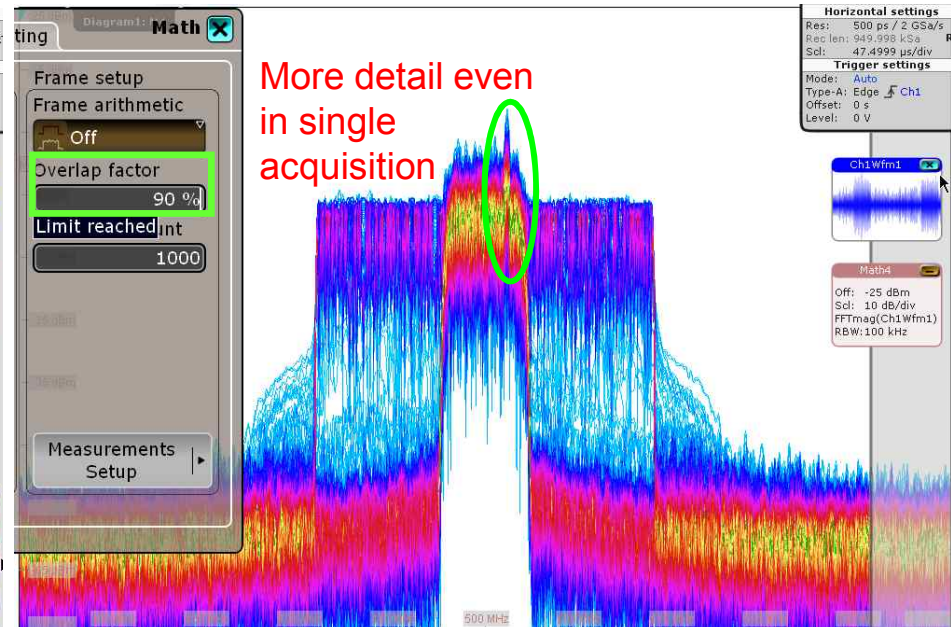
Spectrum Analysis

Single FFT vs Overlapping FFT

Single FFT (single acq)



Overlapping FFT (single acq)



디지털 스코프 기능 - Analyzing Waveforms

Spectrum Analysis

Channel Power

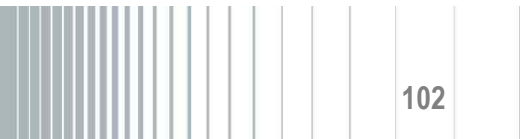
Occupied
Bandwidth

Bandwidth

Total Harmonic
Distortion



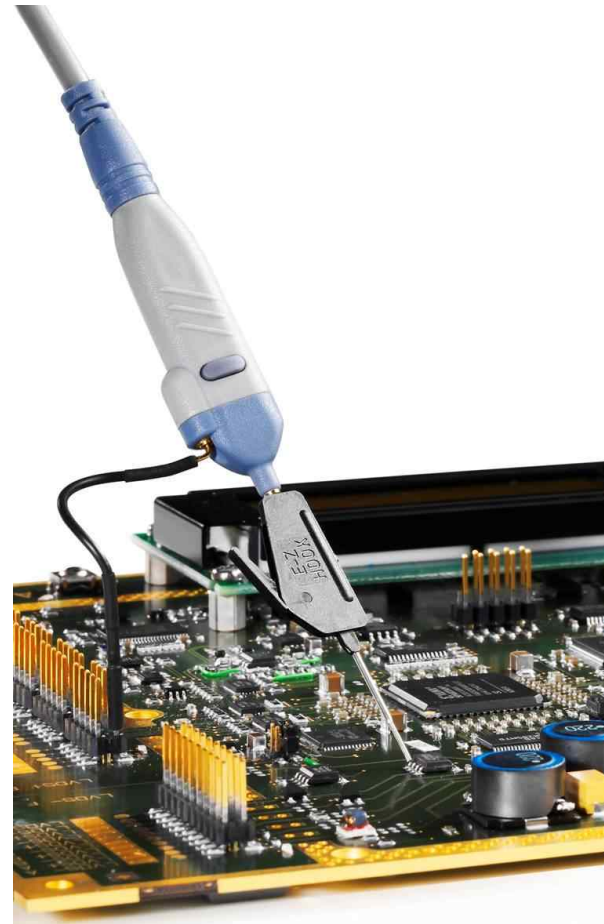
프로브



디지털 스코프 - 프로브

Probe 기초

- ◆ 만약 모든 연결이 케이블을 이용하여 **DUT**에 쉽게 연결이 된다면..
... 어느 누구도 프로브에 대해 언급하지 않을 것입니다.
- ◆ 그러나, 실제로는 그렇지 않으며...
... 프로브는 문제를 해결하기 위해 중요한 부분이 되어 가고 있습니다.



디지털 스코프 - 프로브

Probe 기초

◆ 목적

- 측정할 신호를 스코프에 전달

◆ 문제점

- 스코프는 제한된 범위의 전압만 표현할 수 있음(typ. 5mV...5V)
- 프로브는 측정할 신호를 로드하거나 변형시키면 안됨
- 연결하는 것으로 신호의 성분(hum, noise, filter)이 생성되거나 억제함

◆ 측정에 따른 솔루션

- Signal type
 - 전압(single-ended or differential), 전류, 파워, 압력등
- Signal amplitude
 - 수 mV에서 10 V가 가장 좋음. 그 이하나 이상은 특별한 장비 필요
- Signal frequency
 - 높은 주파수는 정확한 결과를 얻기 위해 하이엔드 장비가 필요
- Source characteristic
 - 소스 임피던스는 적절한 연결을 결정하는 중요한 요소

디지털 스코프 - 프로브

Probe 기초

◆ 이상적인 **Connection** 특성

– 쉬운 연결

- 신뢰성 있고 안전한 연결

– 감쇄나 왜곡이 없는 신호 전달

- 선형적인 위상 Linear phase behavior
- No Attenuation
- 큰 대역폭
- 높은 노이즈 내성

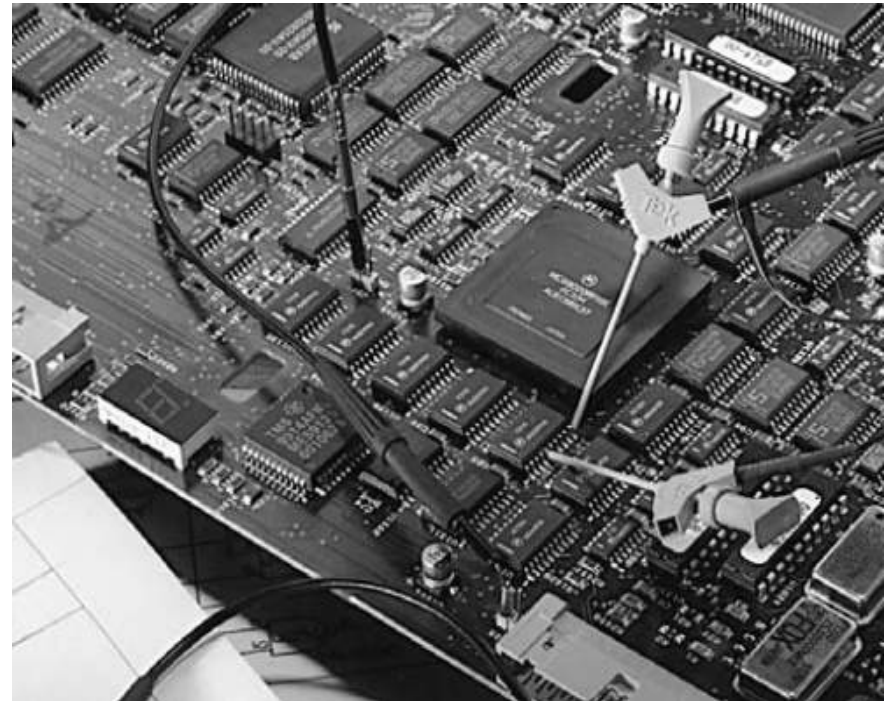
– 부하 없는 신호

디지털 스코프 - 프로브

Probe 기초

◆ 실제 **Connection** 특성

- 신호에 연결하기 쉽지 않음
- 다양하게 변하는 소스 임피던스
- 셋업이 노이즈에 민감하며 주파수에 의존적임
- 신호간의 **delay**차이로 멀티채널 측정 시 **timing offset**발생



디지털 스코프 - 프로브

BNC 타입의 입력 채널부



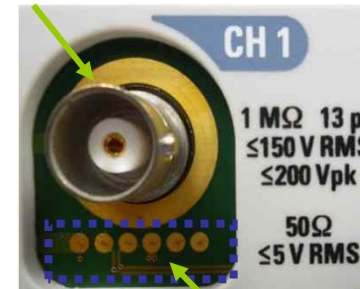
4 개의 채널

- 입력 단은 2개 혹은 4개의 채널로 구성되어있음
- BNC 타입의 커넥터는 4GHz 까지의 대역폭을 지원함

Probe 선택



10x의 패시브 프로브



입력 임피던스

입력 전압 비율

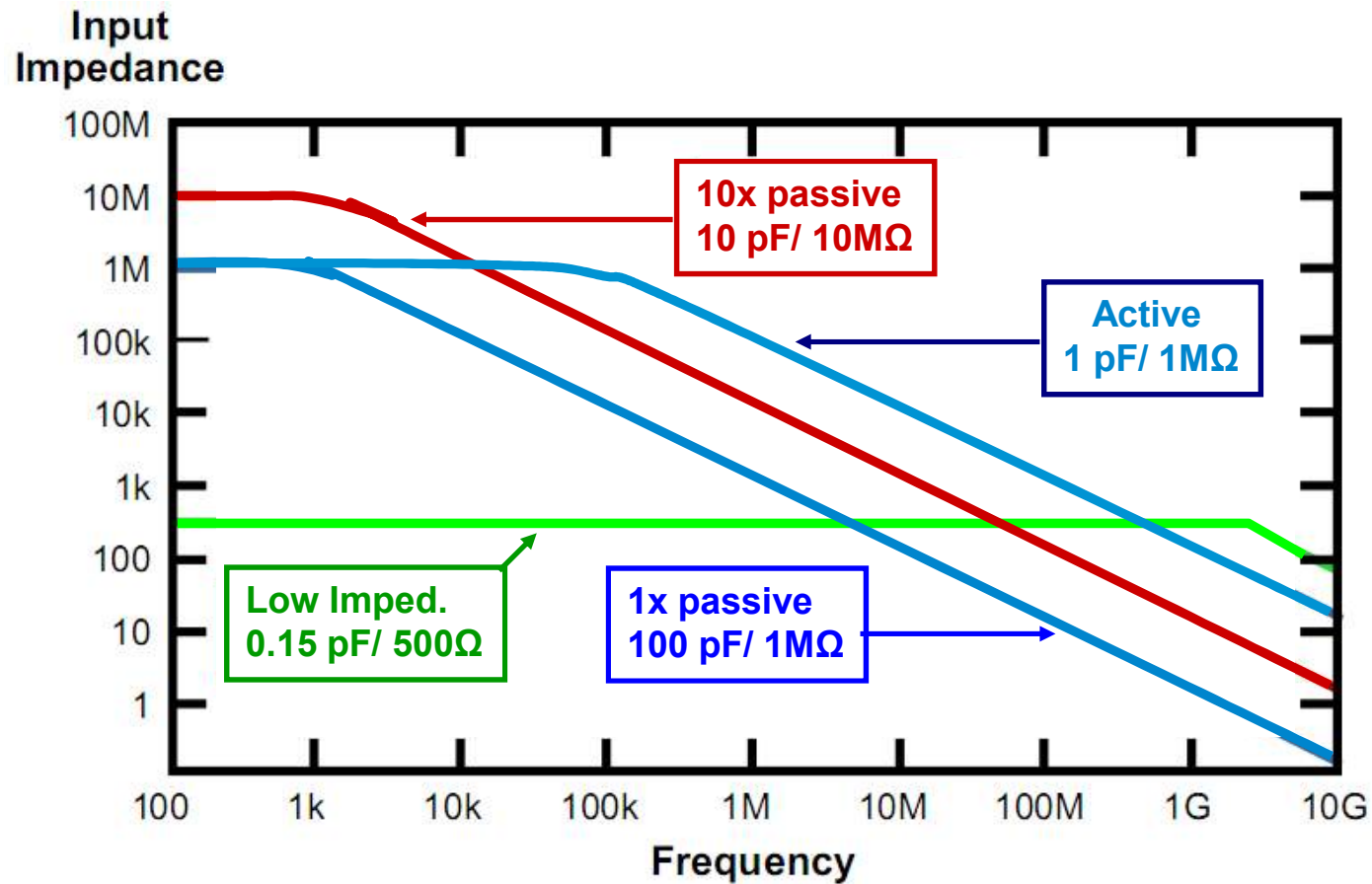


액티브 프로브 파워 서플라이

디지털 스코프 - 프로브

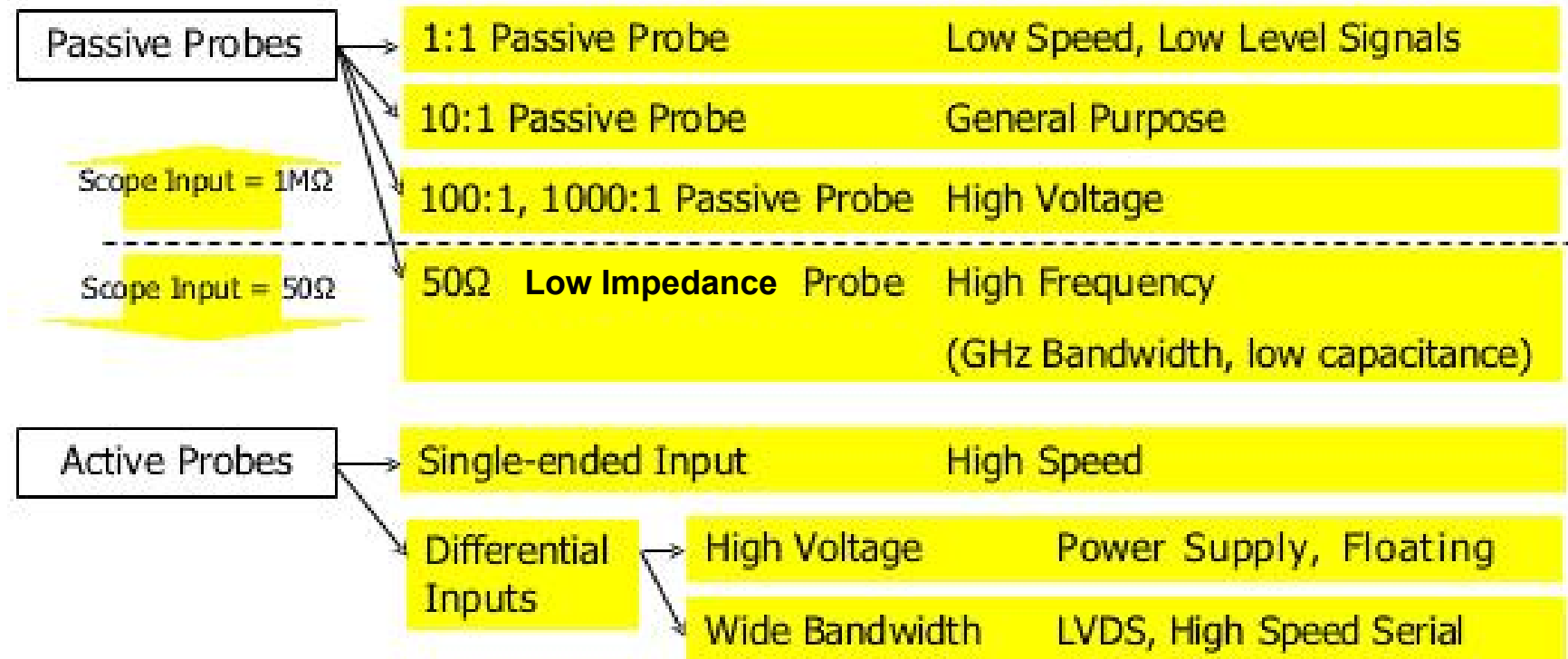
◆ 액티브 프로브 VS 패시브 프로브

Probe 선택



디지털 스코프 구조 - 프로브

Probe 선택



디지털 스코프 - 프로브

Probe 선택

Type	Resistance	Capacitance	Input range	Bandwidth	Typical measurement
1:1 passive probe	Same as scope	Approx. 100 pF	Same as scope	Up to 10 MHz	Low speed, low level, $f < 1\text{MHz}$
10:1 passive probe	10 M Ω	8 ... 15 pF	Up to 600 V	Up to 500 MHz	General purpose, $f < 50\text{MHz}$
100:1 passive probe	>10 M Ω	Approx. 5 pF	Up to 4.000 V	100 MHz +	High Voltage, grounded
1000:1 passive probe	>> 10 M Ω	Approx. 5 pF	Up to 20.000 V	100 MHz +	Ultra High Voltage, grounded
50 Ohms low impedance probe	500 Ω , 1 k Ω	0.2 ... 0.4 pF	5 V _{rms}	5...10 GHz	Ultra high speed
Single-ended active probe	10 k ... 1M Ω	< 1 pF	Up to 42 volts	Up to mid GHz	High speed
Differential probe (high voltage)	100 k ... 1 M Ω	Approx. 5 pF	1000 volts +	100 MHz +	floating
Differential probe (high speed)	10 k ... 100 k Ω	< 1pF	Up to 42 volts	Up to mid GHz or more	High speed serial communications

디지털 스코프 - 프로브

Probe 선택

◆ Differential 모드 VS Common 모드

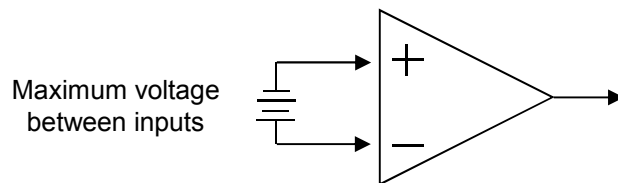
– Differential 모드

Measure the difference between Positive and Negative Tip of the Probe.

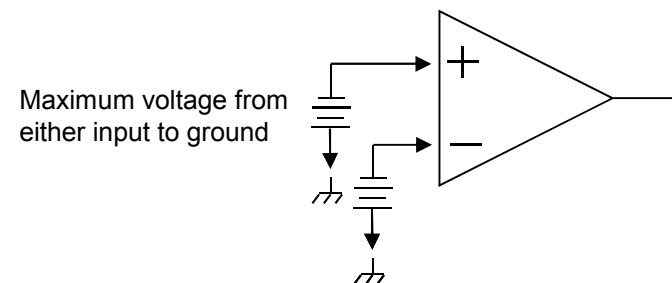
– Common Mode Range

Measure the maximum voltage between either Positive and Negative Tip of Probe to Ground

Differential Mode Range

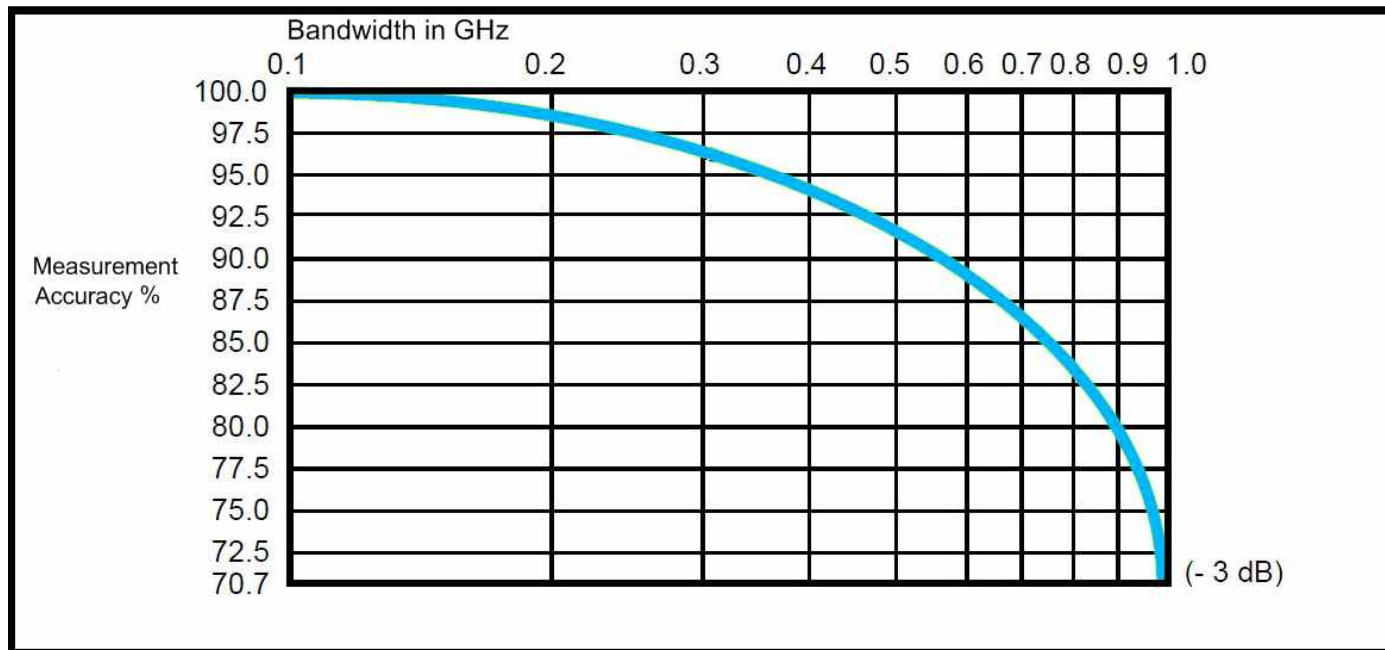


Common Mode Range



디지털 스코프 - 프로브

Probe 대역폭



- 수식 : $(1/BW_{\text{system}}) = \sqrt{(1/BW_{\text{probe}})^2 + (1/BW_{\text{scope}})^2}$
- 스코프의 대역폭보다 적어도 **1.5배** 이상의 대역폭을 갖는 프로브를 사용하는 것을 권장함.

감 사 합 니 다

