

9장. 펄스 신호 및 상승 하강 신호 분석



1. 학습개요

목표

- ① 펄스(Pulse) 신호의 정의와 특징을 이해한다.
- ② 상승 시간(Rise Time), 하강 시간(Fall Time), 펄스 폭(Pulse Width), 듀티 사이클(Duty Cycle) 등 주요 파라미터를 설명할 수 있다.
- ③ 오실로스코프를 활용하여 펄스 신호를 직접 측정하고, 자동 측정 기능을 이용해 결과를 비교할 수 있다.
- ④ 신호 왜곡, 링잉(Ringing), 오버슈트(Overshoot) 등 실제 회로에서 발생하는 펄스 특성 변화를 해석한다.

2. 이론

2.1 펄스 신호 정의

펄스 신호: 일정 시간 동안만 전압이 High 또는 Low 상태로 유지되는 신호로, 디지털 회로에서 1과 0을 표현하거나, 클럭 신호, 제어 신호 등으로 자주 사용된다. 펄스 신호의 모양은 회로 특성(대역폭, 부하, 전송선 효과 등)에 따라 이상적 사각파에서 왜곡된 형태로 변형될 수 있다.

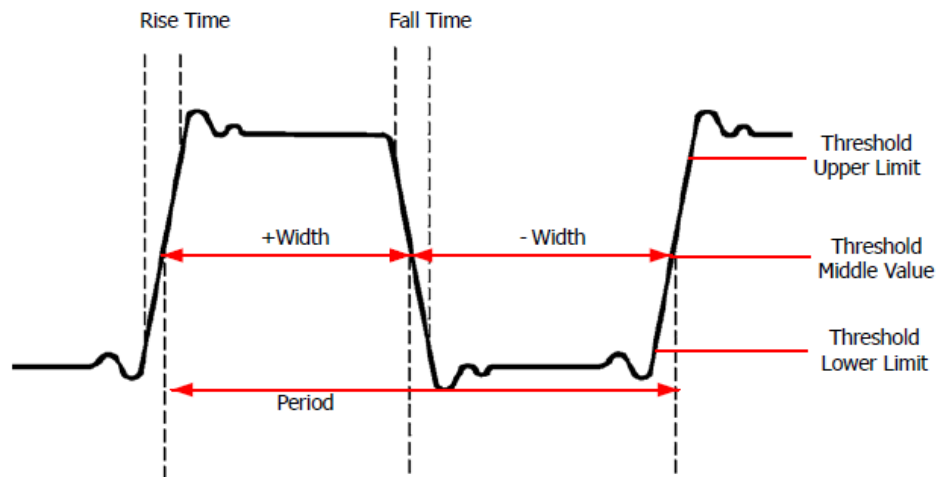


그림 9-1. 펄스 신호의 기본 파라미터

- Rise Time (Rising Edge): 전압이 10% → 90%에 도달하는 시간
- Fall Time (Falling Edge): 전압이 90% → 10%로 하강하는 시간
- Pulse Width: High/Low 레벨이 유지되는 시간
- Period: 한 사이클의 길이
- Duty Cycle = (Pulse Width / Period) × 100%

2.2 상승 시간(Rise Time)/하강 시간(Fall Time)



그림 9-2. Measure 항목에서 Rise Time 선택

A. 상승 시간 (Rise Time, Tr)

전압이 Low(10%)에서 High(90%)로 변화하는 데 걸리는 시간을 의미합니다.

상승 시간은 회로의 응답 속도를 나타내며, 신호 전환 속도가 빠를수록 회로의 대역폭이 넓음을 의미합니다. 측정 시에는 커서(Cursor)를 이용해 10% 지점과 90% 지점을 지정하고 ΔT 값을 읽습니다. 자동 측정 기능에서는 Rise Time을 선택하면 실시간으로 표시됩니다.

B. 하강 시간 (Fall Time, Tf)

전압이 High(90%)에서 Low(10%)로 떨어지는 데 걸리는 시간을 의미합니다.

하강 시간 역시 회로의 응답 특성을 반영하며, 느릴 경우 타이밍 지연이나 파형 왜곡이 발생할 수 있습니다. 커서로 90%와 10% 구간을 지정하여 ΔT 를 측정하거나, 자동 측정 메뉴에서 Fall Time을 선택합니다.

C. 측정 시 유의사항

Tr과 Tf는 프로브의 대역폭과 오실로스코프의 응답 특성에 따라 왜곡될 수 있습니다. 정확한 측정을 위해 “측정 대상 신호의 상승 시간보다 약 5배 이상 빠른 스코프”를 사용하는 것이 권장됩니다. 프로브 보정(Calibration)을 완료하지 않으면 Rise/Fall Time 값이 실제보다 길게 측정될 수 있습니다. 대역폭이 제한된 장비에서는 Rise Time $0.35 / \text{대역폭}$ 식으로 근사 추정할 수 있습니다.

D. 실무 팁

- 상승 시간이 너무 빠른 신호는 오버슈트(Overshoot)나 링잉(Ringing)을 유발할 수 있습니다.
- 하강 시간이 느릴 경우 클럭 신호에서 지터(Jitter)나 타이밍 오류가 발생할 수 있습니다.
- 신호의 전환 구간(Edge)이 불안정할 경우, 평균 수집(Average) 또는 BW Limit 기능을 사용하면 안정된 결과를 얻을 수 있습니다.

2.3 펄스 폭 및 듀티 사이클

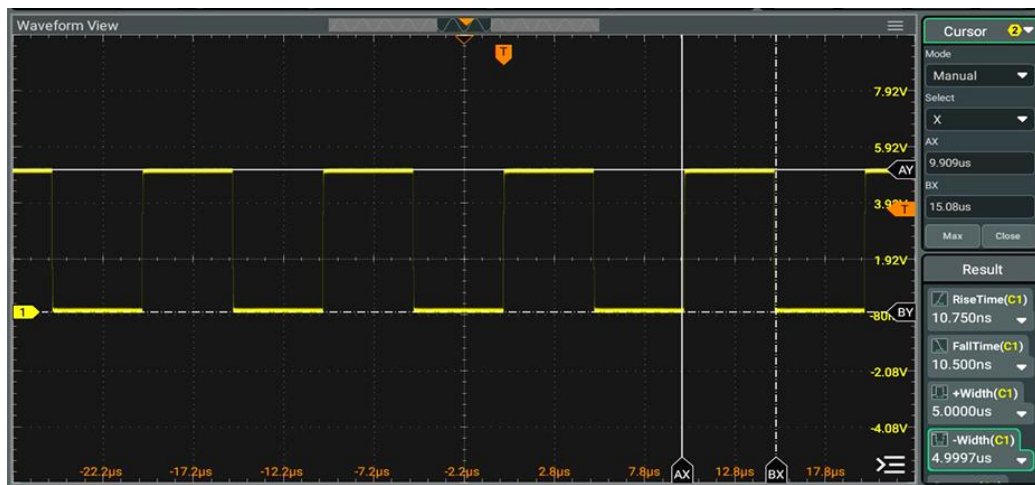


그림 9-3. Cursor 기능을 활용하여 +Width 확인하는 방법

A. 펄스 폭 (Pulse Width, Tw)

펄스가 High 레벨로 유지되는 시간 구간을 의미합니다.

클럭이나 제어 신호에서 '1' 상태를 유지하는 기간을 나타내며, 디지털 회로의 타이밍 분석에 필수입니다.

B. 듀티 사이클 (Duty Cycle)

펄스가 한 주기(Period) 중 High 상태로 유지되는 비율을 의미합니다.

계산식: $\text{Duty Cycle} = (\text{Pulse Width} / \text{Period}) \times 100\%$

C. 측정 방법

커서(Cursor)로 High 구간의 ΔT 를 측정하거나 자동 측정 메뉴에서 Width, Duty Cycle을 선택합니다.

펄스 폭은 신호의 타이밍 제어, 데이터 전송 간격, PWM(Pulse Width Modulation) 제어에 직접적인 영향을 줍니다.

D. 실무 팁

- 펄스 폭이 불균일하면 타이밍 지터(Jitter)나 신호 간섭이 발생할 수 있습니다.
- High/Low 레벨이 불안정한 경우 트리거 레벨을 중간값으로 조정합니다.
- 펄스 신호의 정확한 측정을 위해서는 TIME/DIV를 조절하여 3~5주기 이상을 화면에 표시하는 것이 좋습니다.
- 자동 측정 시, 잡음이 많은 신호는 통계적 평균 기능을 켜면 측정 안정성이 향상됩니다.

2.4 펄스 신호 왜곡 및 이상 파형펄스 폭 및 듀티 사이클

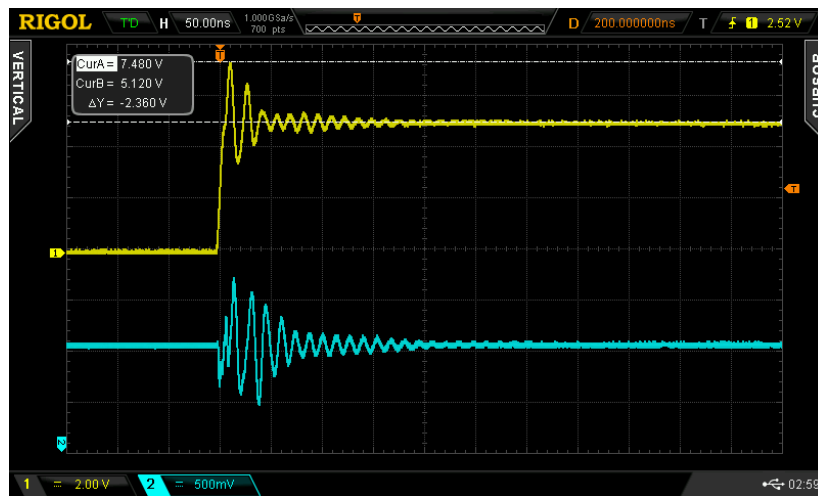


그림 9-4. 왜곡된 펄스 신호의 예시(오버슈트, 링잉)

A. 주요 왜곡 요소

- Overshoot / Undershoot: 신호가 목표 전압을 초과하거나 미달한 뒤 안정되는 현상
- Ringing: 임피던스 불일치나 전송선 반사로 인해 파형이 진동하는 현상
- Glitch: 비정상적인 짧은 펄스가 발생하는 현상
- Jitter: 펄스의 타이밍이 일정하지 않아 발생하는 시간축 불안정

B. 원인

- 프로브의 접지선이 길거나 보정이 불완전할 때
- 오실로스코프의 대역폭이 신호보다 좁을 때
- PCB 전송선(트레이스)에서 반사가 발생할 때
- 외부 전원 노이즈 또는 접지 루프(Ground Loop)에 의한 간섭

C. 분석 방법

- Waveform Zoom 또는 Persistence 기능으로 노이즈와 글리치를 세밀하게 관찰합니다.
- FFT 또는 스펙트럼 모드로 전송선 반사나 공진 주파수를 확인할 수 있습니다.
- Average 또는 Low-Pass Filter를 적용하여 원래 파형 형태를 비교 분석합니다.

D. 실무 팁

- 글리치나 링잉이 반복되는 경우, 프로브 접지를 짧게 유지하고 AC 커플링을 꺼둡니다.
- 신호 경로에서 Ground Bounce를 줄이기 위해 Differential Probe를 사용하는 것이 효과적입니다.
- 트리거 조건을 Edge에서 Pulse/Pattern으로 변경하면 비정상 펄스를 쉽게 검출할 수 있습니다.

3. 기본 실습

준비물: 오실로스코프, 파형발생기, BNC to BNC 케이블

3.1 기본 펄스 측정

- ① 파형발생기에서 펄스 신호(10MHz, 50% Duty, 2 Vpp)를 출력합니다.
- ② CH1 프로브 연결, Vertical = 500mV/div, Horizontal = 200ns/div로 설정합니다.
- ③ Trigger를 Rising Edge로 설정합니다.
- ④ Measure에서 펄스 신호에 대한 Rise Time, Fall Time, Pulse Width를 측정합니다.
- ⑤ Cursor를 이용해서 펄스신호에 대한 Pulse Width를 측정합니다.
- ⑥ Measure로 측정된 값과 Cursor를 이용해 측정한 값을 비교해 봅니다.

3.2 상승/하강 시간 관찰

- ① 파형발생기에서 펄스 신호에 대한 leading 옵션을 3ns에서 10ns로 변경합니다.
- ② CH1 프로브 연결, Vertical = 500mV/div, Horizontal = 200ns/div로 설정합니다.
- ③ 펄스 신호의 leading 값이 3ns일 때와 10ns일 때의 overshoot와 링잉의 차이가 있는 지 확인합니다.
- ④ 펄스 신호의 trailing 값이 3ns일 때와 10ns일 때의 overshoot와 링잉의 차이가 있는 지 확인합니다.

4. 결과 확인

기본 측정에서 Pulse를 Measure로 측정한 값과 Cursor를 이용해 측정한 값을 비교해 보고, 각각의 화면을 저장하여 제출합니다.

펄스 신호의 leading, trailing (rise, fall)을 변경했을 때 파형의 변화에 대해 설명하고, 이 때의 결과가 차이나는 이유에 대해 설명합니다.

5. 확인 문제

1. 상승 시간(Rise Time)의 정의와 측정 기준은 무엇인가요?

2. 펄스 신호에서 듀티 사이클이 20%라는 것은 무엇을 의미하나요?

3. 펄스 신호의 왜곡 요인 중 링잉(Ringing)은 왜 발생하나요?

6. 핵심요약

- 펄스 신호는 디지털 신호 분석의 기본 단위이다.
- Rise Time, Fall Time, Pulse Width, Duty Cycle은 신호 품질을 좌우한다.
- 오실로스코프의 자동 측정 기능과 커서 측정을 병행해야 정확한 결과를 얻을 수 있다.
- 링잉, Overshoot, Glitch 등은 실제 회로에서 흔히 발생하며, 원인 해석이 중요하다.

7. 참고 및 부록

용어집:

- Pulse Width: 펄스가 High 상태를 유지하는 시간
- Rise Time (Tr): 전압이 10%→90%로 상승하는 데 걸린 시간
- Fall Time (Tf): 전압이 90%→10%로 하강하는 데 걸린 시간
- Duty Cycle: 펄스 폭 / 주기 × 100%
- Overshoot/Undershoot: 신호가 목표 전압을 초과하거나 미달한 뒤 안정되는 현상
- Ringing: 임피던스 불일치나 전송선 반사로 인해 파형이 진동하는 현상
- Glitch: 의도치 않은 짧은 펄스가 발생하는 현상