

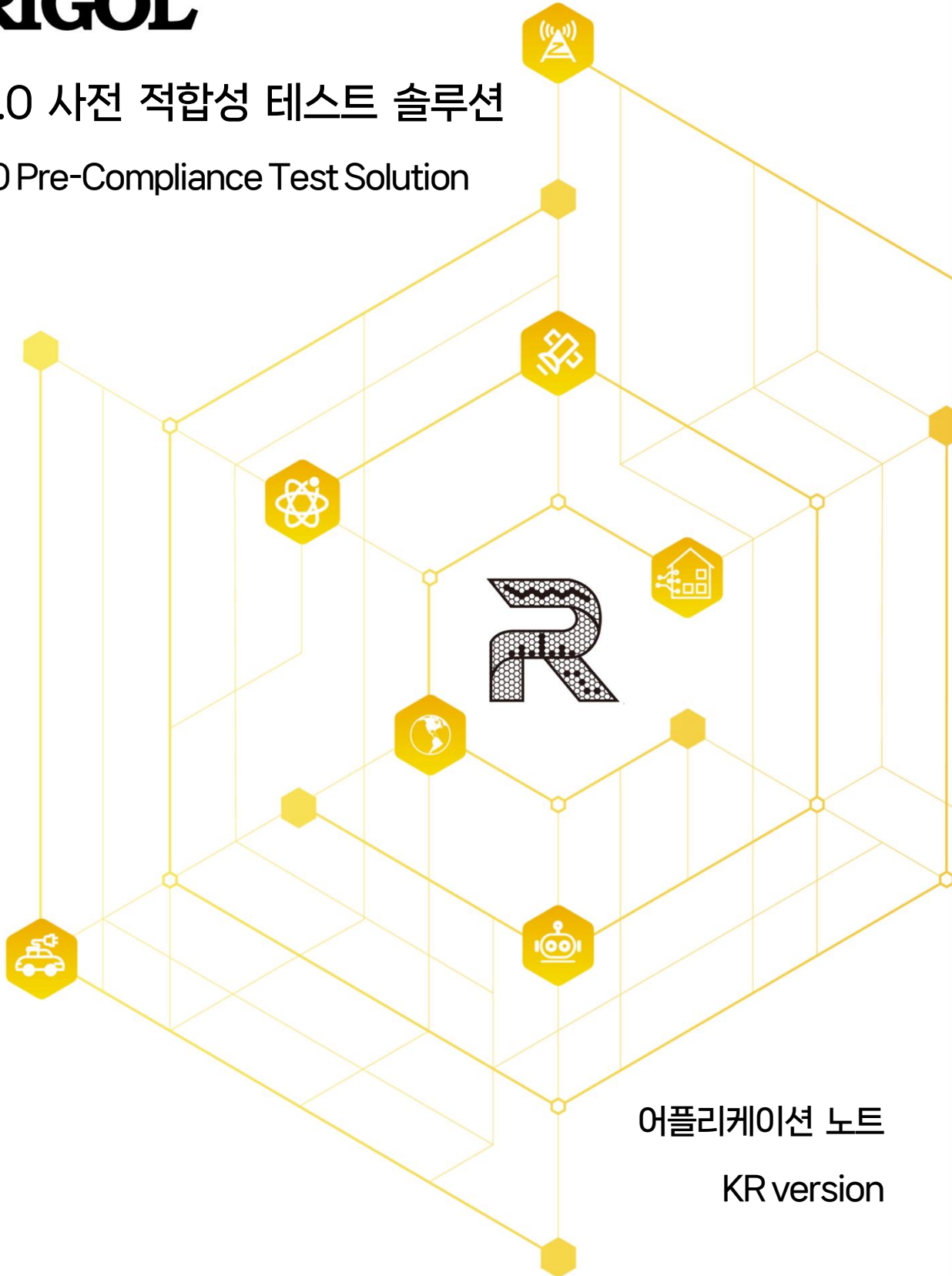


RIGOL

RIGOL

USB 2.0 사전 적합성 테스트 솔루션

USB 2.0 Pre-Compliance Test Solution



어플리케이션 노트

KR version

USB 2.0 사전 적합성 테스트 솔루션

USB 2.0 Pre-Compliance Test Solution



그림 1. DS70000 제품의 USB 2.0 Compliance Test

1. 소개

USB(Universal Serial Bus)는 컴퓨터와 주변기기 간의 연결과 통신을 위한 규격을 정하는 인터페이스 기술입니다. USB는 1995년 출시 이후 속도, 사용 편의성, 확장성 때문에 다양한 주변기기에 널리 사용되고 있습니다. 많은 소비자들이 선호하고 있으며, 점차 기존의 직렬 및 병렬 포트를 대체하고 있습니다.

그러나 이는 USB 장치 제조업체에게도 몇 가지 어려움을 가져다 줍니다. USB 제품의 적합성을 보장하기 위해 로고 아트웍 파일에 액세스하여 USB-IF 적합성 테스트를 통과한 제품의 로고를 사용할 권리를 갖기 위해 라이선스 계약은 적법하게 승인된 회사 대표가 서명하고 USB Implementers Forum, Inc.에 보내야 합니다.

RIGOL은 포괄적인 USB 2.0 신호 품질 테스트 솔루션을 제공하므로 USB 장치의 설계, 테스트 및 검증에 관련된 엔지니어가 RIGOL에서 제공하는 기기, 소프트웨어 및 테스트 고정 장치로 USB 2.0 적합성 테스트를 신속하게 수행할 수 있습니다.

이 어플리케이션 노트에는 USB 2.0 신호 품질 테스트의 테스트 항목과 방법이 소개되며 각 테스트에 필요한 테스트 장비에 대한 설명이 포함됩니다.

2. USB 2.0 기초

USB 2.0 은 4 선 직렬 버스로 V_{BUS} , D+, D-, GND 핀을 가집니다. D+와 D- 핀은 USB 2.0 연결에 사용되는 차동 쌍으로 호스트, 허브 및 장 간 통신을 위한 주요 캐리어 역할을 합니다.

USB 2.0 은 USB 1.0/1.1 과 하위 호환되며 저속(Low Speed) 및 고속 (Full Speed) 데이터 전송을 정의하는 USB 1.1 사양을 대체로 통합했지만 고속 (High Speed) 데이터 전송도 추가했습니다. 범용 직렬 버스 사양 리비전 2.0 에는 표 1 과 같이 다음과 같은 세 가지 데이터 전송 속도가 설명되어 있습니다.

	Data Rate	Rise Time
Low Speed (LS)	1.5 Mbps	75 ns to 300 ns
Full Speed (FS)	12 Mbps	4 ns to 20 ns
High Speed (HS)	480 Mbps	About 500 ps

표 1. USB 2.0 데이터 전송 속도

USB 2.0 전기 테스트에는 신호 품질(signal quality), 돌입 전류(inrush current) 및 낙하 및 처짐(drop and droop) 테스트가 포함됩니다. 이 문서에서는 주로 신호 품질 테스트에 대하여 설명합니다.

3. 신호 품질 테스트

신호 품질 테스트는 기본적인 전기 기능 테스트의 세트입니다. USB 2.0 장치가 정상적으로 호환되는 지 확인하는 것이 핵심이며 이에 따라 USB 2.0 인증 로고가 수여됩니다. USB 2.0 신호 품질 테스트에는 디지털 오실로스코프와 호환 프로브, 케이블 및 테스트 고정 장치가 필요합니다. 이에 대한 자세한 설명은 다음 섹션에서 자세히 설명합니다.

USB-IF 는 USB 2.0 규격의 명확한 테스트 설명과 적합성 기준을 제공합니다. 수동 테스트 방법도 승인합니다. 그러나 수동 테스트 구성, 검증, 결과 요약 및 레포트는 반복적이고 시간이 많이 소요되는 프로세스 일 수 있기 때문에 효율성이 많이 떨어집니다. RIGOL USB 2.0 컴플라이언스 테스트 소프트웨어는 이 프로세스를 자동화하여 엔지니어가 정확하고 효율적으로 적합성 테스트를 수행할 수 있도록 합니다. 그림 2 은 RIGOL DS70000 시리즈 오실로스코프에서 실행되는 USB 2.0 컴플라이언스 테스트 소프트웨어를 보여줍니다.

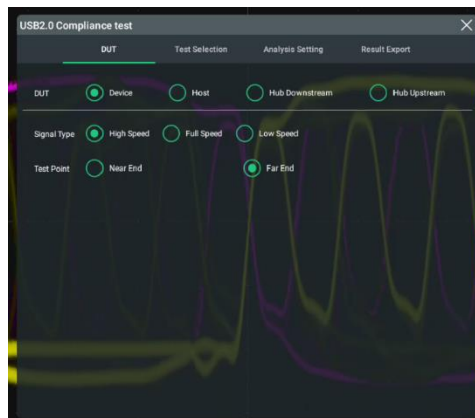


그림 2. USB 2.0 컴플라이언스 테스트 소프트웨어

신호 품질 테스트는 다음을 포함합니다:

- SYNC filed
- End of Packet (EOP) width
- Signal rate
- Edge monotonicity Test
- Rising time/rate
- Falling time/rate
- Paired JK jitter
- Paired KJ jitter
- Eye Diagram Testing

3.1 SYNC Field

모든 패킷은 USB 프로토콜의 SYNC(동기화) 필드로 시작합니다. SYNC 필드는 기본적으로 들어오는 데이터와 로컬 클럭을 맞추기 위해 사용됩니다. USB 2.0 버스에서는 SYNC 패킷을 통해 동기화를 구현하기 위해 간단한 클럭 복구 메커니즘이 사용됩니다. 고속 전송에 사용되는 SYNC 패턴은 32 비트의 데이터를 구성하기 위해 15KJ 쌍에 2K가 필요합니다 (패킷 라인 전송 패턴의 시작이 KJKJKJKJKJ KJKJKJKJKJ KJKJKJKJKJKK 로 시작되어야 합니다). 간단히 말해서 고속을 위한 SYNC 패턴은 32 비트가 필요합니다.

3.2 End of Packet (EOP) Width

USB 프로토콜의 경우 패킷은 EOP (End-of-Packet)로 종료됩니다. EOP의 너비는 비트 시간으로 정의됩니다. SOF EOP의 경우 필요한 너비의 범위는 39.5 bit에서 40.5 bit입니다. SOF EOP가 아닌 경우 너비의 범위는 7.5 bit에서 8.5 bit입니다.

3.3 Signal Rate

고속 데이터 전송률(THSDRAT)은 명목상 480.00Mb/s이며, 필요한 비트 전송률 정확도는 500ppm (480.00MB/s \pm 0.05%)입니다. 고속 데이터 전송률(TFDRAT)은 명목상 12.000Mb/S이며, 전송시 필요한 데이터 전송률은 12.000Mb/s \pm 0.25%(2,500ppm)입니다. 저속 데이터 전송률 (TLDRATE)은 명목상 1.50Mb/s입니다. 전송 시 필요한 데이터 전송률은 1.50Mb/s \pm 1.5% (15,000ppm)입니다.

3.4 Edge Monotonicity Test

고속 데이터 전이는 아이 다이어그램 패턴 템플릿의 최소 수직 개구에 대해 단조로운 것이 요구됩니다. 따라서 2.0 고속 준수를 위해 개발자는 신호가 단조로운 지 확인해야 합니다. 단조로움은 전송된 신호가

반대 방향으로의 편차 없이 진폭이 부드럽게 증가하는 지 또는 감소하는 지 확인합니다. 아래 그림 3는 단조롭지 않은 신호를 보여줍니다.

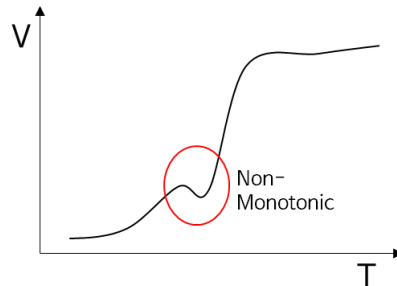


그림 3. 단조롭지 않은 USB 2.0 HS 신호 예시

3.5 Rise/Fall Time

LS 신호와 FS 신호의 경우 출력 상승 시간과 하강 시간이 그림 4 처럼 신호의 10%에서 90% 사이에서 측정됩니다. 상승 및 하강 시간 요구 사항은 차동 신호와 단일 종단 신호 사이의 전환뿐만 아니라 차동 전환에도 적용됩니다. 고속의 경우 상승/하강 시간이 500ps 이상이어야 하며 상승/하강 속도는 1600V/ μ s 이하여야 합니다.

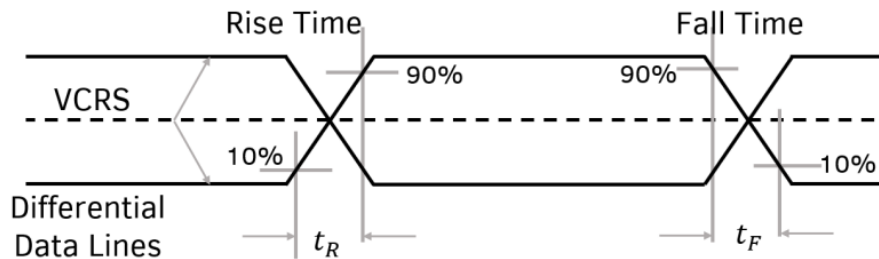


그림 4. 상승 하강 시간

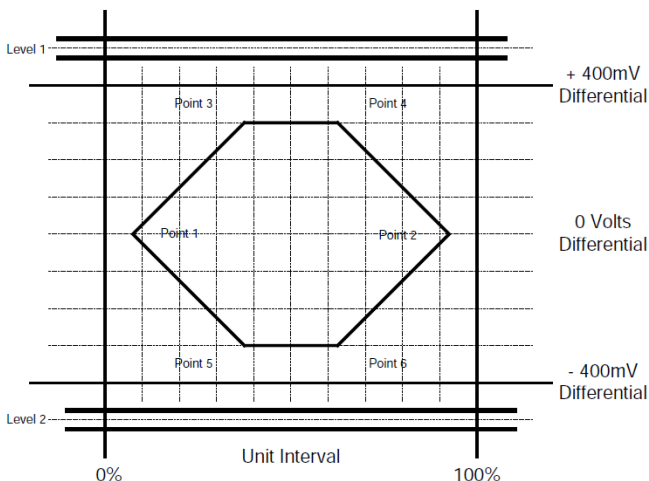
3.6 Jitter Test

USB2.0 고속 지터 테스트 결과는 아이 다이어그램 테스트 결과에 포함되어 있습니다. 지터 유형에는 연속 지터, 페어드 JK 지터, 페어드 KJ 지터가 있습니다. 자세한 내용은 아래 표에 나와 있습니다.

USB 2.0 High-speed Jitter Measurement Items	Standard Range
Consecutive Jitter & RMS Jitter	-100 ps ≤ X ≤ 100 ps
Paired JK Jitter & RMS Jitter	-100 ps ≤ X ≤ 100 ps
Paired KJ Jitter & RMS Jitter	-100 ps ≤ X ≤ 100 ps

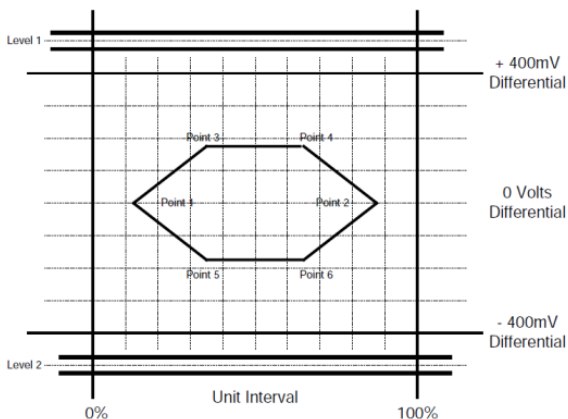
3.7 Eye Diagram Testing

USB 2.0 적합성 테스트에서 아이 다이어그램은 신호의 품질을 나타내는 중요한 지표입니다. 아이 다이어그램 결과는 USB-IF 에 의해 정의된 아이 다이어그램 패턴 템플릿(아래 그림에 표시된 것과 같이)과 일치해야 합니다. 아이 다이어그램 템플릿이 내장된 RIGOL USB 2.0 테스트 솔루션은 자동으로 플롯된 아이 다이어그램을 표준 아이 패턴 템플릿과 비교하여 테스트 결과를 직접 제공할 수 있습니다.



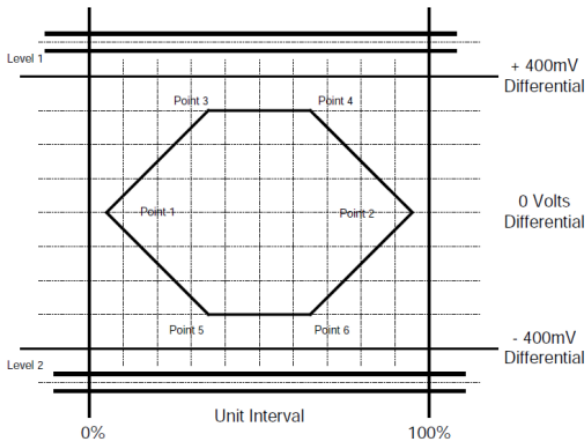
	Voltage Level (D+ - D-)	Time (% of Unit Interval)
Level 1	525 mV in UI following a transition, 475 mV in all others	N/A
Level 2	-525 mV in UI following a transition, -475 in all others	N/A
Point 1	0 V	7.5% UI
Point 2	0 V	92.5% UI
Point 3	300 mV	37.5% UI
Point 4	300 mV	62.5% UI
Point 5	-300 mV	37.5% UI
Point 6	-300 mV	62.5% UI

그림 5. TP2에서 측정된 허브 및 TP3에서 측정된 디바이스(캡티브 케이블 없음)에 대한 송신 파형 요구 사항



	Voltage Level (D+ - D-)	Time (% of Unit Interval)
Level 1	525 mV in UI following a transition, 475 mV in all others	N/A
Level 2	-525 mV in UI following a transition, -475 in all others	N/A
Point 1	0 V	12.5% UI
Point 2	0 V	87.5% UI
Point 3	175 mV	35% UI
Point 4	175 mV	65% UI
Point 5	-175 mV	35% UI
Point 6	-175 mV	65% UI

그림 6. TP2에서 측정된 장치(캡티브 케이블 포함)의 송신 파형 요구 사항



	Voltage Level (D+ - D-)	Time (% of Unit Interval)
Level 1	525 mV in UI following a transition, 475 mV in all others	N/A
Level 2	-525 mV in UI following a transition, -475 in all others	N/A
Point 1	0 V	5% UI
Point 2	0 V	95% UI
Point 3	300 mV	35% UI
Point 4	300 mV	65% UI
Point 5	-300 mV	35% UI
Point 6	-300 mV	65% UI

그림 7. TP1에서 측정된 허브 송수신기 및 TP4에서 측정된 장치 송수신기에 대한 송신 파형 요구 사항

3.8. USB 2.0 Signal Quality Test Results

그림 8은 DS70000의 USB 2.0 적합성 테스트 보고서입니다. 보고서에는 측정 항목과 최대/최소 한계, 측정값 및 합격/불합격 결과가 표시됩니다. 테스트한 USB 2.0 플래시 드라이브는 손상되지 않았으므로 모든 항목의 기준을 충족합니다. 따라서 모든 결과는 마지막 열에 "합격"이 표시되고 그렇지 않으면 "불합격"이 표시됩니다.

USB2.0 Far End Test Results (Ref: USB Specification Revision 2.0)						
Test Information		Report Time: 2024-08-08 15:33:23 1.0.0.0				
Equipment Information		Device	Manufacturer	Model	Serial Number	
		Probe	RIGOL TECHNOLOGIES	UNKNOWN PROBE		
		Oscilloscope	RIGOL TECHNOLOGIES	DS70504	DS7G240800015	
Device Under Test		Device ID	Device Description	Port ID		
		USB 01	USB	1#		
Measure	Item	Measured Value	Standard Number	Minimum	Maximum	Result
	SYNC	32 bits	8.2 SYNC Field	32 bits	32 bits	Passes
	EOP Width	7.779 bits	7.1.13.2.2 High-speed EOP	7.5 bits	8.5 bits	Passes
	Signal Rate	480.049 Mb/s	7.1.11 Data Signaling Rate	479.76 Mb/s	480.24 Mb/s	Passes
	Edge Monotonicity	0 mV	7.1.2.2 High-speed Signaling Eye Patterns	0 mV	50 mV	Passes
	Rise Edge Time	534.1 ps	7.1.2.2 Rise and Fall Time	100 ps	NA	Passes
	Fall Edge Time	580.57 ps	7.1.2.2 Rise and Fall Time	100 ps	NA	Passes
	Rise Edge Rate	949.529 V/us	7.1.2.2 Rise and Fall Time	NA	1600 V/us	Passes
	Fall Edge Rate	873.525 V/us	7.1.2.2 Rise and Fall Time	NA	1600 V/us	Passes
	Consecutive Jitter	Range: -29.12 ps to 30.88 ps; RMS jitter: 16.98 ps	7.1.2.2 High-speed Signaling Eye Patterns and Rise and Fall Time	-100 ps	100 ps	Passes
	Paired JK Jitter	Range: -25.24 ps to 38.76 ps; RMS jitter: 17.77 ps	7.1.2.2 High-speed Signaling Eye Patterns and Rise and Fall Time	-100 ps	100 ps	Passes
	Paired KJ Jitter	Range: -31.24 ps to 19.76 ps; RMS jitter: 13.36 ps	7.1.2.2 High-speed Signaling Eye Patterns and Rise and Fall Time	-100 ps	100 ps	Passes
	Signal Eye	0 data points violate eye	7.1.2.2 High-speed Signaling Eye Patterns and Rise and Fall Time	0	0	Passes

그림 8. DS70000 USB 2.0 컴플라이언스 테스트 결과 레포트

USB 2.0 컴플라이언스 테스트 소프트웨어는 인터페이스로부터 표준 신호의 품질을 분석합니다(테스트 패킷은 USB-IF 에서 권장하는 XHCI HSET 에서 생성됩니다). 그림 9 은 캡처된 테스트 패킷을 보여주고, 그림 10 는 템플릿으로 계산된 아이 다이어그램을 보여줍니다.

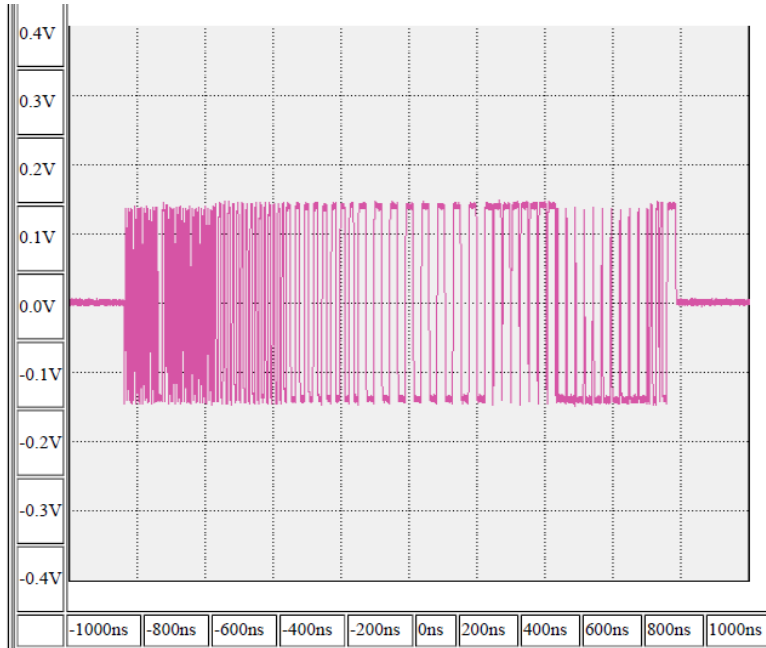


그림 9. 분석 결과에 대한 획득 파형

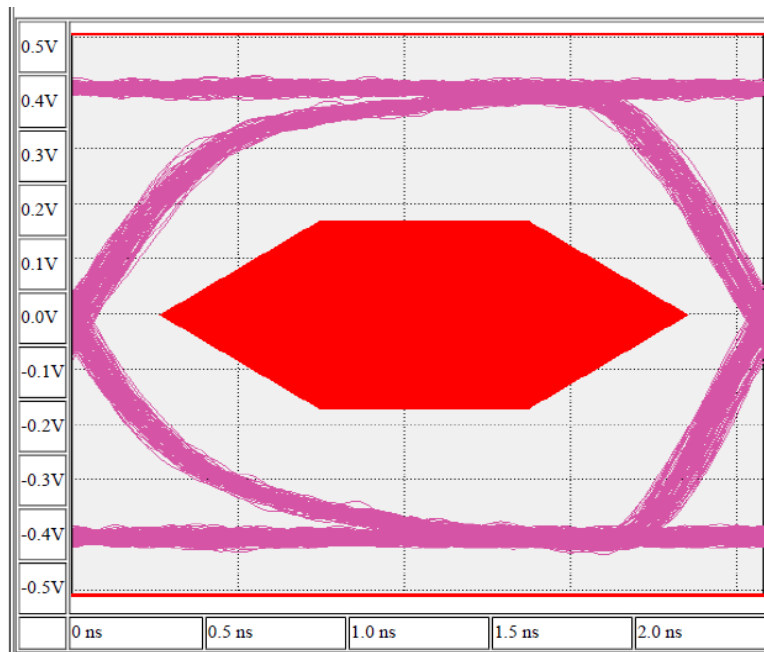


그림 10. 아이 다이어그램 템플릿 분석

USB 2.0 사양에 정의된 아이 다이어그램 패턴 템플릿과 마찬가지로 "눈"의 개구가 클수록 좋습니다. "스트레스"로 보이는 아이 다이어그램은 신호 품질이 좋지 않음을 나타냅니다.

4. USB 2.0 신호 품질 테스트를 위한 계측 요구사항

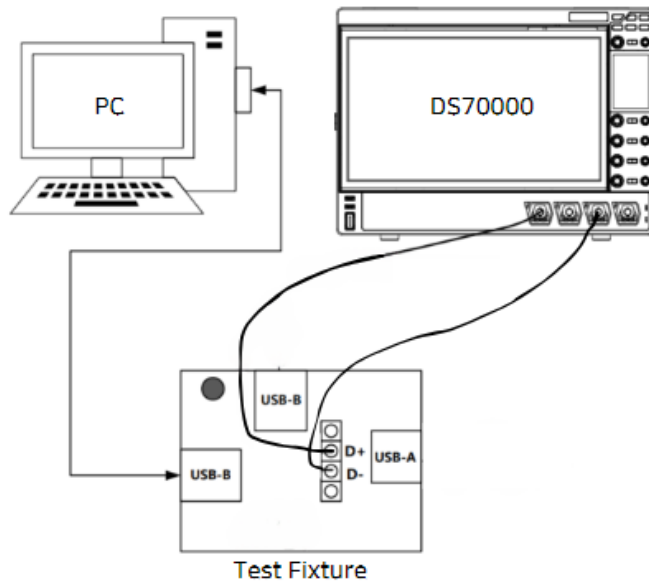


그림 11. USB 2.0 신호 품질 테스트를 위한 연결 다이어그램

USB 2.0 HS(High Speed) 신호 측정에 권장되는 테스트 장비

표 2. 액티브 차동 프로브가 포함된 도구 세트

개수	품목	설명/모델
1	오실로스코프	DS70304/DS70504
1	USB 2.0 적합성 검사 소프트웨어	DS70000-USBC
1	차동 프로브	PVA7250/PVA8000 시리즈 액티브 프로브
1	테스트 픽스처	USB-IF 에서 지정한 표준 시험 장비 혹은 USB 2.0 규격에 따른 RIGOL 테스트 픽스처
1	테스트 패킷을 생성할 수 있는 USB-IF 소프트웨어	USBHSETT (usb.org 에서 사용가능한)
1	5V 파워 케이블	USB A male to B male 케이블

표 3. 동축 케이블을 포함하는 도구 세트

개수	품목	설명/모델
1	오실로스코프	DS70304/DS70504
1	USB 2.0 적합성 검사 소프트웨어	DS70000-USBC
1	테스트 픽스처	USB-IF 에서 지정한 표준 시험 장비 혹은 USB 2.0 규격에 따른 RIGOL 테스트 픽스처
2	SMB-BNC 케이블	SMB-BNC 테스트 케이블
1	5V 파워 케이블	USB A male to B male 케이블

5. USB 2.0 신호 품질 테스트를 위한 도구 선택

USB 2.0 신호는 차동신호로 최대 480Mbps의 시그널링 비트레이트와 240MHz 주파수를 가지고 있습니다. Tr은 주기의 약 1/10, 즉 417ps입니다. 파형의 5중 고조파를 관찰하기 위해 신호율만을 고려한다면 USB 2.0 신호를 캡처하기 위해서는 오실로스코프의 대역폭이 신호율의 2.5배, 즉 1.2GHz(480M*2.5)가 필요합니다. 그러나 USB-IF 요구사항을 고려할 때 Tr=417ps의 신호가 500ps 이내인 경우 오실로스코프가 10%의 측정 정확도를 얻는 데 필요한 대역폭은 1/Tr=2.4GHz입니다.

USB-IF에 따르면, 이 테스트는 대역폭이 2GHz 이상이고 샘플링 속도가 5GS/s인 오실로스코프가 필요합니다. 그럼에도 불구하고, 이 애플리케이션 노트는 더 높은 측정 정확도를 얻기 위해 최대 5GHz 대역폭과 20GSa/s 샘플링 속도를 가진 RIGOL DS70000 시리즈 실시간 샘플링 디지털 오실로스코프를 사용한 USB 2.0 적합성 테스트를 보여줍니다.



그림 12. DS70000 시리즈 디지털 오실로스코프

오실로스코프와 함께 테스트를 수행하려면 고속 액티브 차동 프로브, 액티브 싱글 엔드 프로브 및 USB 2.0 신호 품질 테스트 고정 장치가 필요합니다. 이 경우 RIGOL은 고속 액티브 차동 프로브 (PVA7000/PVA8000) 및 고속 싱글 엔드 액티브 프로브(RP7000S)를 포함한 호환 프로브를 제공합니다.



그림 13. PVA8000 시리즈 액티브 차동 프로브

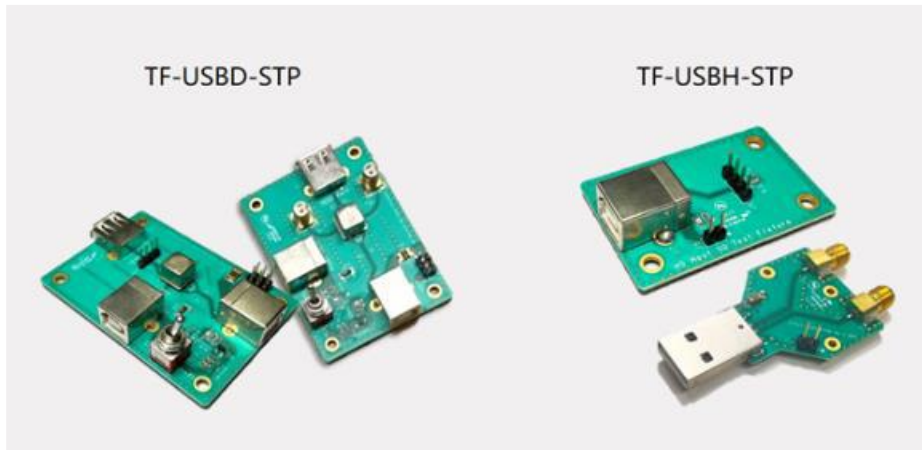


그림 14. USB 적합성 테스트 픽스처

또한 테스트를 수행하려면 USB-IF의 승인을 받은 테스트 픽스처도 필요합니다. RIGOL은 장치 테스트 픽스처 장치(TF-USBD-STP) 및 호스트 테스트 픽스처(TF-USBH-STP)를 포함한 테스트 고정 장치를 제공할 수 있습니다.

6. Conclusion

USB 2.0 인터페이스는 사용자들이 요구하게 된 더 높은 전송률, 핫 플러그 가능한 기능, 여러 장치를 연결할 수 있는 기능 및 사용 편의성과 같은 이점 덕분에 주변 장치 제조업체들에게 완벽한 선택이 되었습니다. 하지만 이렇게 향상된 표준과 호환성은 장치 설계자들이 해결해야 할 새로운 설계 과제를 제시합니다.

RIGOL은 USB 2.0 장치 설계자가 빠르고 정확한 전기 컴플라이언스 테스트 및 분석을 수행할 수 있도록 디지털 오실로스코프, 전문 테스트 고정 장치 및 프로브, 완전 자동 컴플라이언스 테스트 소프트웨어와 같은 포괄적인 도구 세트를 제공합니다.

RIGOL은 엔지니어들에게 포괄적인 테스트 솔루션을 제공하기 위해 최선을 다하고 있습니다. 자세한 내용은 kr.rigol.com을 방문하세요

A black rectangular box containing the RIGOL logo in yellow, a QR code, and contact information. The contact information includes a phone number (82) 02-6953-4466, a website URL (https://kr.rigol.com), and an address (508, BalsanW-tower, 222, Gonghang-daero, Seoul). The text 'ROGOL KOREA 리콜 한국지사' is also present.