

복잡한 의료 시스템의 신호 무결성 과제 해결

효과, 안전성 및 빠른 시장 출시 기간 보장

고속 디지털 기술을 통해 복잡한 의료 시스템의 흥미로운 발전

복잡한 의료 시스템의 수와 이러한 시스템의 기능이 모두 대폭 증가하면서 이전에는 상상하지 못했던 분야에서 활용할 수 있게 되었습니다. 의료 이미징 시스템으로 정형외과학, 산부인과학, 신장학, 신경학, 심장학, 기도학 등에서 건강 질환의 조기 발견이 가능해지고 있습니다. 수술용 로봇, 병원 시설 로봇, 원격 의료 시스템은 의사가 건강 질환을 발견 및 진단하고 치료 개선을 통해 수백만 환자들의 수명을 연장하는데 도움이 됩니다. 이러한 모든 기능은 고속 디지털 신호를 기반으로 하며, 이로 인해 시스템의 신호 무결성은 그 어느 때보다 중요합니다.

소프트웨어를 기반으로 하는 새로운 활용 분야

이러한 복잡한 의료 시스템의 많은 가치가 소프트웨어 기능으로 제공되는 인텔리전스에서 비롯됩니다. 이미지를 처리하여 노이즈를 제거하는 소프트웨어, 에지 컴퓨팅을 수행하는 소프트웨어, 3D 이미지를 생성하는 소프트웨어, 이미지를 세분화 및 분류하는 신경망을 훈련 및 사용하는 소프트웨어가 있습니다.

소프트웨어의 증가로 더욱 빠른 디지털 하드웨어가 필요

소프트웨어 사용의 증가로 점점 더 까다로운 활용 분야에서 복잡한 의료 시스템을 사용하는 것이 가능하지만 안정성, 속도 및 짧은 대기 시간은 고객 안전에 있어 필수 요소가 되었습니다. 따라서 장치의 디지털 하드웨어 콘텐츠가 증가해야 하고, 더욱 빠른 데이터 탐지, 획득 및 신호 처리, 다수의 고속 프로세서 및 이미지 셰이딩 프로세서, 더욱 빠른 메모리와 클럭 속도, 더 높은 프레임 속도와 더욱 빠른 상호 연결, PAM4, PAM8, PAM16 및 NRZ(비제로 복귀) 로직 등 고급 디지털 로직이 필요하게 됩니다. 여기에 더해 사이버 보안 위협 환경 및 환자 정보의 프라이버시에 대한 규제 요건의 증가로 인해 데이터 난독화, 암호화 및 유효성 검사를 위한 디지털 하드웨어 사용이 증가하고 있습니다.

더욱 빠른 디지털 하드웨어로 인한 테스트 과제 발생

고속 디지털 하드웨어 사용의 증가는 여러 이유로 복잡한 테스트 과제를 야기합니다.

- 더욱 빠른 클럭 속도와 데이터 속도로 인해 아이 다이어그램의 신호 노이즈 및 지터 허용 오차가 감소합니다.
- 데이터 양의 증가로 작은 오류율에도 더 많은 오류가 발생합니다.
- 인쇄된 회로 기판의 부품 밀도가 증가하여 기판에 트레이스 공간이 줄어듭니다. 이로 인해 기판에 층이 증가합니다.
- 부품 밀도가 증가하면 트레이스가 좁아져야 하고, 이로 인해 트레이스가 넓을 때보다 예기치 않은 단선이 발생할 가능성이 높습니다. 트레이스 사이의 공간이 작아 트레이스에 전압을 유도하는 자기장 또는 기생 커패시턴스를 유발하는 전기장으로 인해 크로스토크가 발생합니다.
- 다층 기판의 스루 홀 바이어스 증가로 신호 무결성 개선을 위해 백드릴링과 같은 더욱 복잡한 제조 프로세스가 필요합니다.
- 더욱 빠른 클럭 속도와 좁은 기판 제조 허용 오차로 인해 리플렉션과 같은 신호 무결성 결함이 발생할 가능성이 높습니다.
- PAM4, PAM8, PAM16 및 NRZ와 같은 고급 디지털 로직 프로토콜은 신호 품질 변동에 대한 허용 오차가 낮아 위에 언급된 문제 해결의 중요성이 더욱 커집니다.

더 이상 선택이 아닌 제작 전 시뮬레이션

위에 나열된 모든 이유로 인해 설계를 제작 단계로 보내기 전에 기판 작동을 시뮬레이션하여 의료 시스템의 위험을 줄이는 것은 무척 중요합니다. 시뮬레이션에서 모든 문제를 찾을 수 없더라도 최대한 많이 찾아냄으로써 얻는 효과가 있습니다.

- 기판의 실제 성능 개선
- 필요한 하드웨어 프로토타입 버전의 수를 줄여 시간과 비용 절감
- 프로토타입에서의 전환 속도 증가
- 계획되지 않는 기판 수정, 테스트 및 문서화 횟수 감소
- 버그처럼 보일 수 있는 소수의 잘못된 신호에서 펌웨어 및 소프트웨어 테스트 가능

제작 전에 신호 무결성 문제를 찾아내는

Keysight PathWave ADS(Advanced Design System) SIPro

Keysight의 PathWave ADS에 속한 PathWave SIPro는 복잡한 고속 PCB의 신호 무결성 분석을 제공합니다. PowerAware 시뮬레이션 엔진을 통해 동시에 신호와 파워 넷의 손실 및 커플링을 특성화할 수 있습니다. 또한 ADS 직렬 및 채널 시뮬레이터에서 사용할 정확한 EM(전자기) 모델을 추출하고 원활하게 전송할 수 있습니다. 넷 기반 인터페이스를 통해 20 회 미만의 클릭으로 레이아웃에서 결과로 이동할 수 있어 속도와 정확도가 제공됩니다. SIPro 요소에는 RapidScan Z0이 포함되어 있어, EM 추출을 이행하기 전에 시간을 절감할 수 있도록 트레이스 임피던스의 간단한 확인을 제공합니다. 이를 통해 환자의 데이터 또는 이미지에서 오류가 발생할 위험을 줄일 수 있습니다.

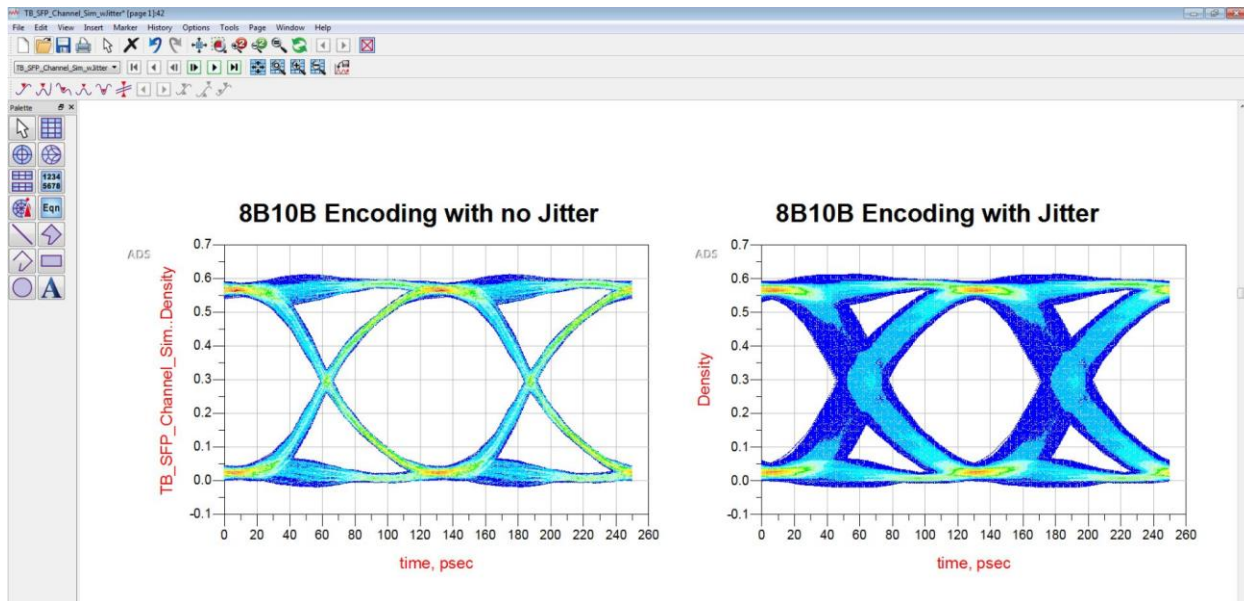


그림 1. 아이 다이어그램에서 지터가 미치는 영향을 분석하는 Keysight PathWave SIPro 요소

신호 무결성 문제의 가능한 해결 방법

설계 단계에서 신호 무결성을 개선하기 위해 여러 조치를 취할 수 있습니다. 예를 들어 바이어 주변의 구리 환형 크기를 조정할 수 있습니다. 채널 속도가 증가하면 대체로 더 작은 환형을 원하므로 이는 밸런스를 맞추는 조치에 가깝습니다. 반대로 레이저 드릴 구멍을 사용하지 않는 경우 기계 드릴이 움직일 약간의 여유 공간을 두고자 할 수 있습니다. 이와 비슷하게 SMT(표면 실장 기술) 배치 장비의 정확도에 정상적인 변형이 허용되도록 패드 크기를 늘릴 수 있습니다. 마지막으로 솔더 마스크가 제 역할을 하고 솔더가 바이어 홀로 들어가지 않도록 바이어 홀에서 바이어를 떨어뜨려야 할 수도 있습니다.

활용 분야에 적합한 커넥터를 사용하십시오. 시스템의 데이터 채널이 더 빠른 속도 또는 요구 사항이 많은 디지털 신호 프로토콜에서 실행될 때 한 속도에서 잘 작동하던 커넥터로 더 이상 충분하지 않을 수 있습니다. 베어 보드 벤더에 제조 프로세스 중 바이어 스텝을 없애기 위해 백드릴링을 구현할 것을 요청해야 하는지 여부를 고려하십시오. 노이즈 차단 개선을 위해 차동 트레이스를 구현해야 하는지 여부도 고려하십시오.

PCBA 제작 후 신호 무결성 측정이 중요한 이유

신호 제작 시뮬레이션 소프트웨어를 실행하고 PCBA(인쇄 회로 기판 어셈블리)의 배치 및 제작에 세심한 주의를 기울여도 오실로스코프를 사용하여 제작 후 기판의 신호 무결성 성능을 측정해야 합니다. 이에 대한 몇 가지 이유가 있습니다.

- 부품이 사양 내에 속하더라도 부품 내에는 항상 변동이 있습니다. 어떤 신호 무결성 소프트웨어도 모든 변동을 고려할 수 없습니다.
- 부품에 명시되지 않은 내재된 기생 아날로그 특성(임피던스, 커패시턴스, 인덕턴스)이 있는 경우가 종종 있습니다.
- SMT 부품 배치 프로세스는 변동 가능성이 있으며, 부품이 항상 패드 중앙에 위치하지는 않습니다.
- 솔더 스텐실 프로세스가 항상 솔더의 완벽한 "브릭"을 만드는 것은 아니며, 세척 간에 스텐실이 사용되므로 솔더 적층 자체가 작아지는 경향이 있습니다.
- 주변 온도에서 장시간 배치되고 산화 및 증발에 노출되면 솔더의 화학적 구성 및 특성이 약간 변합니다. 이는 솔더 조인트가 구리 패드를 SMT 부품에 접착하는 방식에 영향을 미칠 수 있습니다.
- 리플로우 오븐의 정상적인 변형 또한 솔더 리플로우 방식에 영향을 미칩니다.
- 전기적으로 연결하는 조인트가 제대로 납땜되지 않을 수도 있습니다. 예를 들어 걸왕 파트에 힐 필렛, 빌보드 패시브 SMT 저항기, 또는 헤드 인 필로우 BGA(볼 그리드 배열) 조인트가 부족할 수 있습니다.

이러한 이유는 물론 많은 다른 이유로 인해 기판 제작 후 신호 무결성을 측정하는 것이 중요합니다.

Infiniium MXR 시리즈 오실로스코프 신호 무결성

Keysight Infiniium MXR 시리즈 오실로스코프를 통해 최대 8 개 채널을 동시에 측정하고 제조된 PCBA 에서 신호 무결성 문제를 빠르게 찾을 수 있습니다. 빠른 기판 디버그에 도움이 되도록 MXR 시리즈는 8 개 계측기와 같은 성능을 보유하고 있습니다. 오실로스코프 기능 외에도 로직 분석, RTSA(실시간 스펙트럼 분석), 시리얼 프로토콜 분석, 파형 생성, 주파수 응답 및 위상 노이즈 테스트가 가능합니다. 또한 디지털 전압계 역할을 할 수 있고 64 비트 토털라이저가 포함된 3 배수 카운터가 있습니다.



그림 2. Keysight MXR 시리즈 오실로스코프

크로스토크 감지 및 진단

의료 시스템에서 데이터 통신 속도 증가의 필요성과 함께 데이터 속도는 빨라지고 데이터 라인 간격은 좁아지는 가운데, 혼선이라는 전자기 커플링도 증가하고 있습니다. 추가로 전원 공급 장치가 노이즈와 지터 형태로 작동하면서 데이터 레인에 간섭을 유발할 수 있고, 접지 바운스로 이어지는 SSN(동시 스위칭 노이즈) 등의 데이터 종속 노이즈가 발생하기 쉽습니다.

크로스토크 감지 및 진단 문제를 해결하기 위해 Keysight의 Infiniium 시리즈 오실로스코프는 Keysight의 강력하면서 다용도로 활용 가능한 D9020ASIA 고급 신호 무결성 소프트웨어를 실행할 수 있습니다. 이 애플리케이션은 크로스토크의 존재를 감지 및 정량화할 뿐만 아니라 어떤 발생원에서 기본적으로 비롯되는지를 확인할 수 있습니다. 또한 크로스토크를 제거해 시각적으로 원래 파형과 정리된 파형을 스코프 디스플레이에서 직접 비교하거나 실시간 아이 다이어그램 또는 지터 분석 등의 기타 범위 분석 툴을 통해 결과를 비교할 수 있습니다. 이를 활용하여 크로스토크의 다양한 원인을 완화함으로써 개선 정도를 정량화할 수 있습니다.



그림 3. Keysight D9020ASIA 고급 신호 무결성 소프트웨어

지터, 수직 노이즈, 위상 노이즈 감지 및 진단

고속 디지털 의료 장치에서 위험을 줄이기 위해 RJ(임의의 지터), DJ(확정적 지터) 및 DDJ(데이터 종속 지터) 등의 지터를 유발하는 요인을 이해해야 합니다. 지터는 시간 도메인에서 관찰되는 효과로, 주파수 도메인에서 관찰되는 위상 노이즈와 관련이 있습니다. 위상 노이즈는 신호 생성 장치의 가장 유용한 성능 지수 중 하나이며, 고속 디지털 의료 시스템을 제한시키는 요인이 될 수 있습니다. 지터와 위상 노이즈는 모두 수평 방향에서 아이 다이어그램을 폐쇄시키는 경향이 있기 때문에 중요합니다. 지터와 위상 노이즈 외에도 수직 방향에서 아이 다이어그램을 폐쇄시키는 경향이 있는 수직 노이즈도 측정해야 합니다.

Keysight의 D9010JITA 지터, 수직 및 위상 노이즈 분석 소프트웨어는 Keysight의 Infiniium 오실로스코프에서 지터, 수직 및 위상 노이즈를 분석하는 데 도움을 줍니다. 지터와 실시간 신호의 상관 관계를 확인하여 지터 요소의 원인을 추적하는 데 도움이 됩니다. 또한 규정 준수 보기와 측정 설정 마법사가 포함되어 업계 표준 테스트에 대해 RJ/DJ 분리를 간소화 및 자동화할 수 있습니다.



그림 4. Keysight D9010JITA 지터, 수직 및 위상 노이즈 분석 소프트웨어

고주파 신호 무결성 테스트를 위한 모듈식 솔루션

많은 복잡한 의료 시스템, 특히 이미징 시스템에서 광학 통신을 활용합니다. 지터, 위상 노이즈 및 수직 노이즈의 개념은 비슷하지만 이러한 광학 신호가 작동하는 주파수는 전기 신호의 주파수보다 높은 경우가 많습니다. 이러한 주파수를 테스트하고 고객이 비용 효율적인 테스트 솔루션을 유연하게 구성할 수 있도록 Keysight는 오실로스코프 시리즈에서 DCA(디지털 통신 분석기) 기술을 활용합니다. 예를 들어 DCA-M 샘플링 오실로스코프는 1Gb/s에서 64GBaud에 이르는 넓은 데이터 속도 범위를 측정할 수 있습니다.



그림 5. Keysight DCA-M 샘플링 오실로스코프

고속 디지털 의료 장치는 계속해서 진화하고 있습니다. 앞으로의 테스트 과제 및 요구 사항은 지금의 것보다 훨씬 더 많아질 가능성이 높습니다. 추가로 동시에 테스트할 채널 수도 증가할 것입니다. 따라서 다른 DCA 제품군인 Keysight DCA-X 샘플링 오실로스코프 시리즈를 고려해야 합니다. 50Mb/s에서 224Gb/s의 고속 디지털 설계에서 정확하고 정밀한 측정이 제공됩니다. DCA-X 메인프레임을 대역폭, 필터링 및 민감도를 활용한 정밀 광학, 전기 및 TDR/TDT(시간 도메인 리플렉션/전송) 측정을 수행하는 모듈로 구성해 최대 16개 채널 측정이 가능합니다.



그림 6. Keysight DCA-X 샘플링 오실로스코프

소프트웨어로 DCA 측정을 중요한 인사이트로 변환

DCA 시리즈의 고정밀 측정은 환자 위험을 줄이고 고속 디지털 시스템의 효과를 보장하는 데 있어 매우 중요합니다. 하지만 시장에 빠르게 출시하고 환자와 의사에게 시스템의 가치를 제공하려면 실행 가능한 인사이트가 필요합니다. Keysight의 FlexDCA 샘플링 오실로스코프 소프트웨어는 DCA 측정 하드웨어를 제어하는 친화적 인터페이스 그 이상을 제공합니다. (Keysight의 ADS 및 SystemVue 제품과 같은) 시뮬레이션의 시각적 출력은 물론 지원되는 DCA 메인프레임의 원격 액세스를 제공합니다. 여기에 더해 생산성을 높이고 테스트 중인 신호 또는 장치 문제의 근본 원인에 대한 인사이트를 제공하는 강력한 툴을 제공합니다.

다음과 같은 활용 분야에 적합하며 지속적으로 진화하고 있습니다.

- 전기 송신기(ASIC, FPGA, PHY)의 R&D 검증
- 광학 송신기 및 트랜시버 연구, 개발 및 제조
- 전기 부품 및 채널의 리플렉션 및 전송 특성 분석
- 아날로그 및 디지털 신호의 범용 분석



그림 7. Keysight FlexDCA 샘플링 오실로스코프 소프트웨어의 일반 사용 사례

신호 무결성에 대한 더욱 강력한 인사이트를 위해 FlexDCA 소프트웨어에는 N1010300A 신호 무결성 패키지 옵션이 있어 임피던스를 측정하는 Automatic Fixture Removal, 전송 특성, 기본 TDR/TDT 측정에 대한 S 파라미터 계산과 같은 강력한 툴을 추가합니다.

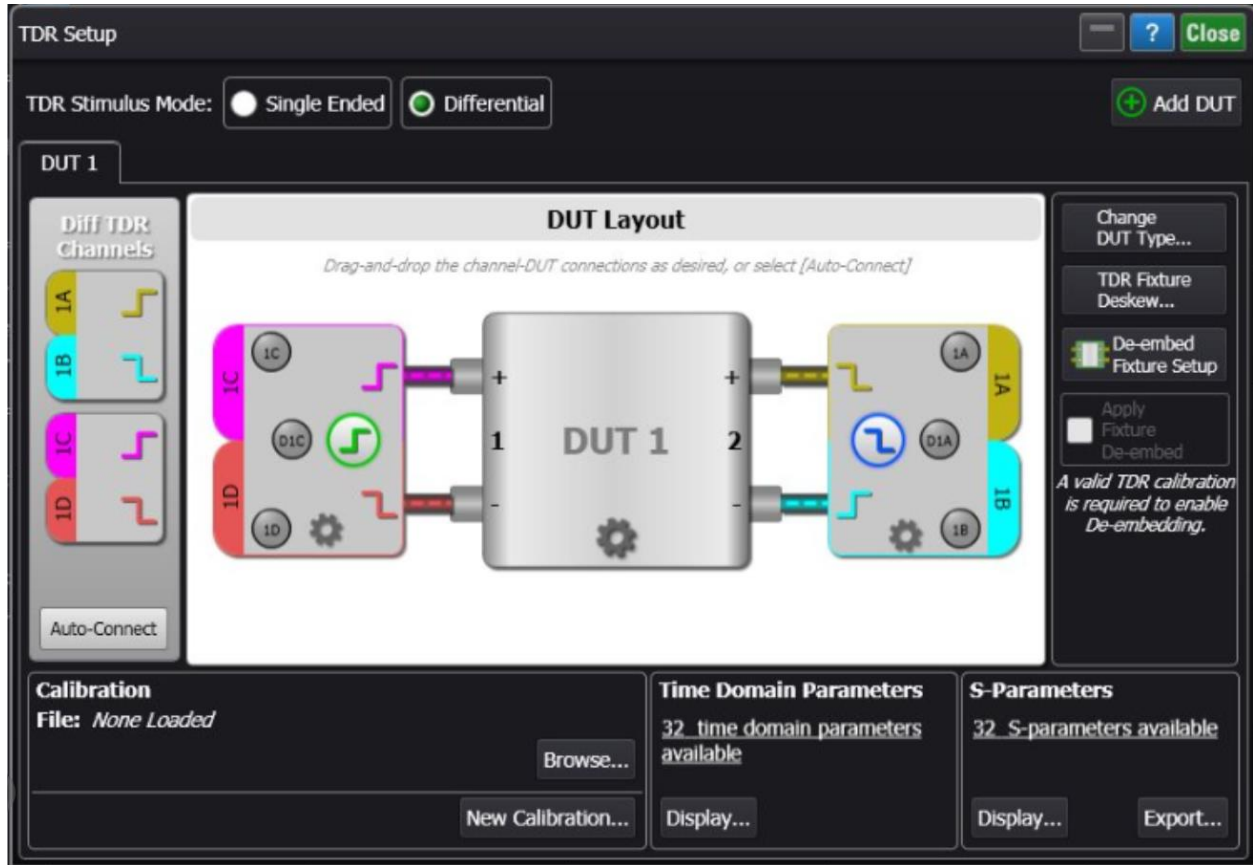


그림 8. Keysight FlexDCA 샘플링 오실로스코프 소프트웨어의 N1010300A 신호 무결성 패키지

결론

고속 디지털 의료 시스템을 제공하는 것은 늘 어려운 일이었고, 더욱 빠른 데이터 속도, 더 높은 해상도 이미징 및 에지 컴퓨팅이 시스템에 포함되면서 활용 분야에 적합한 신호 무결성 유지와 관련된 문제는 점점 더 커지고 있습니다. PCB 제조 전에 시뮬레이션 소프트웨어와 제조 후 강력한 소프트웨어가 포함된 오실로스코프를 활용하여 환자 위험을 줄이고 환자와 의료 전문가에게 필요한 효과와 안전성있는 제품을 시장에 출시할 수 있습니다.