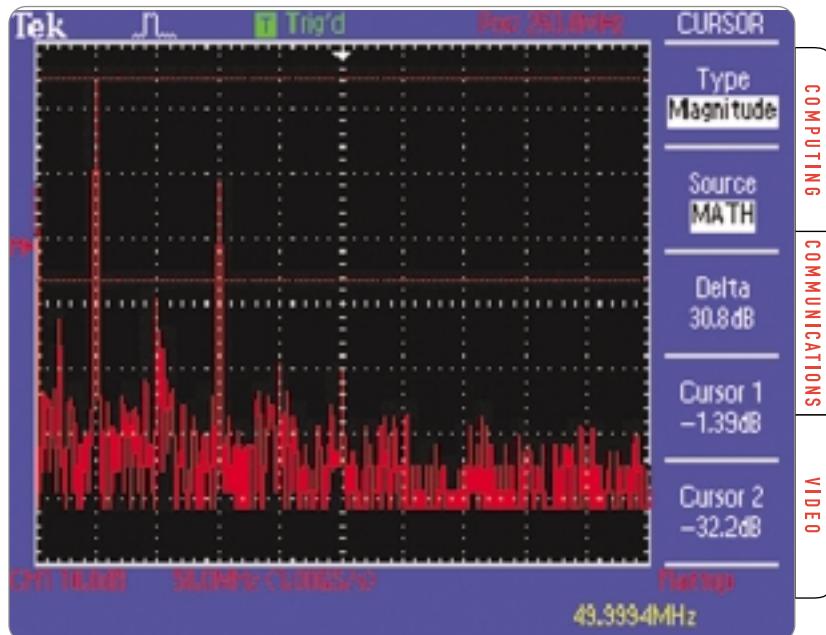


문제 해결을 지원하는 스펙트럼 분석 및 시간 도메인 측정 기능



▶ TDS2000 시리즈 오실로스코프를 사용하면 실용적인 스펙트럼 분석 기능을 활용할 수 있기 때문에 어려운 설계 문제를 해결할 수 있습니다

엔지니어와 기술자들은 설계 문제를 빨리 해결해야 한다는 압력을 지속적으로 받고 있으며 문제를 해결하는 과정에서 일반적으로 오실로스코프를 사용합니다. 오실로스코프를 사용하는 엔지니어와 기술자들은 검증되고 완성된 제품을 보다 빠르게 얻어 내기 위해 설계 문제의 원인 또는 증상을 다른 관점에서 볼 수 있게 해주는 도구를 필요로 합니다.

Tektronix TDS2000 시리즈와 같이 가격 대비 성능이 우수한 최신의 오실로스코프는 고속 푸리에 변환(FFT - Fast Fourier Transform) 스펙트럼 분석 기능을 표준 장비로 내장하고 있습니다. 새롭게 추가된 이 기능을 통해 사용자들은 새로운 방식으로 문제 해결 작업과 확인 작업을 수행할 수 있게 해주는 강력하고 통합된 도구를 갖게 되었습니다. 이 애플리케이션 노트에서는 FFT의 기본 개념을 설명하고 이 기능이 일상적인 측정 문제를 해결하는 과정에서 어떠한 역할을 하는지 논의합니다.

동일한 신호를 보는 두 가지 관점

전자 신호의 동작은 시간 도메인과 주파수 도메인으로 볼 수 있습니다. 각 뷰는 신호를 구성하는 이벤트에 대한 고유한 세부 내용을 제공합니다. 시간 도메인 뷰는 가장 기본적인 오실로스코프 측정 방식으로, 신호의 변화

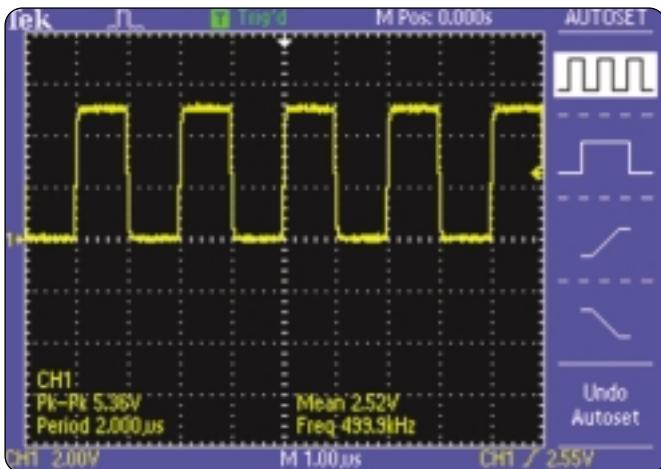
하는 진폭(세로 축에 매핑됨)이 가로 축과 시간을 통해 플로팅됩니다. 사인파, 펄스, 심지어 서로 연관성이 없는 노이즈 등이 모두 시간 도메인 뷰입니다. 문제 해결 과정에서 이 뷰를 보면 신호가 있는지 여부, 제작 중인 회로가 만들어 낼 것으로 예상되는 기본 진폭 및 주파수 특성과 신호의 파형이 일치하는지 여부를 알 수 있습니다.

FFT는 스펙트럼 뷰라고 하는 주파수 도메인 뷰를 생성합니다. 시간 도메인 뷰와 동일한 신호 입력을 받지만 FFT는 두 개의 축을 다시 지정합니다. 가로 축은 주파수를 표시하고 세로 축은 진폭(진폭이라고도 하거나 위상 정보가 포함된 경우는 위상이라고도 함)을 표시합니다. 결과로 나온 스펙트럼 뷰를 보면 시간 도메인에서 볼 수 없는 이벤트와 경향을 볼 수 있습니다. FFT를 이용하면 특정 유형의 신호 오류를 보다 확실하게 볼 수 있기 때문에 문제 해결 속도가 배가됩니다.

1 <http://www.tektronix.com/oscilloscopes>

문제 해결을 지원하는 스펙트럼 분석 및 시간 도메인 측정 기능

▶ 애플리케이션 노트



▶ 그림 1. 구형파 신호의 시간 도메인 뷰

스펙트럼 분석이란?

그림 1과 2는 구형파 신호에 대한 두 가지 상반된 뷰를 보여 줍니다.

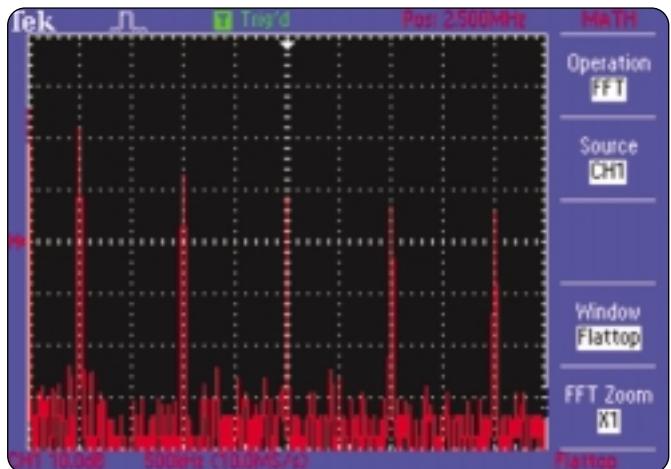
FFT의 스펙트럼 분석은 실제 스펙트럼 분석기의 출력 내용과 비슷한 내용을 출력합니다. 그러나 앞서 말한 두 가지 기술이 몇 가지 중요한 부분에서 다릅니다. 스펙트럼 분석기는 아날로그 훈합 및 필터링을 사용하여 신호의 구성 요소를 연속적인 주파수 플롯으로 분류합니다. 이렇게 아날로그 방식이고 비실시간 방식(신호를 포착한다기 보다는 문제 영역을 스위핑하는 방식)이기 때문에 스펙트럼 분석기는 변동이 심한 신호를 FFT만큼 잘 추적하지 못합니다.

FFT 기반 스펙트럼 분석은 저장된 샘플을 사후 처리하는 방식으로 수행됩니다. 디지털 방식으로 계산된 bin이 스펙트럼 분석기에서 나온 것처럼 완벽한 것은 아니긴 하지만 설정 작업만 제대로 된다면 이 접근법은 훌륭한 주파수 분석 결과를 제공합니다. 이는 이 방식이 저장된 데이터의 “스냅샷”을 사용하여 작업하기 때문입니다. 실제로 FFT가 변화하는 신호를 보다 잘 추적합니다.

몇 가지 FFT 기본 사항

이 노트에서 FFT 이론에 대한 자세한 내용을 모두 설명할 수는 없겠지만 관련된 기본적인 개념을 이해하는 것은 중요합니다.

우리에 변환 스펙트럼 분석은 모든 복잡한 파형이 다양한 진폭, 위상 및 주파수가 조합된 사인파로 구성되어 있다는 이론을 기반으로 하고 있습니다. 예를 들어, 순수한 구형파는 각 흔수 고조파 주파수에 하나씩 있는 사인 구성 요소의 연속입니다. 그러므로 1 MHz 구형파는 연속적으로 감소하는 진폭 내에서 1 MHz, 3 MHz, 5 MHz 등과 같은 식으로 계속 사인 구성 요소를 포함합니다. 삼각파 같은 모든 대칭 파형은 다른 진폭을 가지면서 동일한 고조파 분포를 나타냅니다. 기울어진 듀티 사이클을 가진 구형 펄스와 같은 비대칭 파형도 역시 짹수 고조파를 포함합니다. 이런 펄스는 1 MHz, 2 MHz, 3 MHz, 4 MHz, 5 MHz과 같은 패턴으로 구성 요소를 나타냅니다.



▶ 그림 2. 구형파 신호의 주파수 도메인 뷰

FFT는 앞서 그림 2에서 본 것처럼 시간 도메인에서 샘플링된 신호를 변환하여 스펙트럼 피크의 연속처럼 보이게 합니다. TDS2000 시리즈 FFT에서는 이런 각각의 피크가 특정 주파수를 나타내는 사인파의 진폭(데시벨, dB로 표시함)을 나타냅니다. 결과를 분석하고 대역폭을 적용하는 데 있어서 아주 일반적이면서도 허용 오차 내에 있는 문제들을 오실로스코프 디스플레이에서는 신호에 포함된 주파수의 스펙트럼으로 표시해 줍니다.

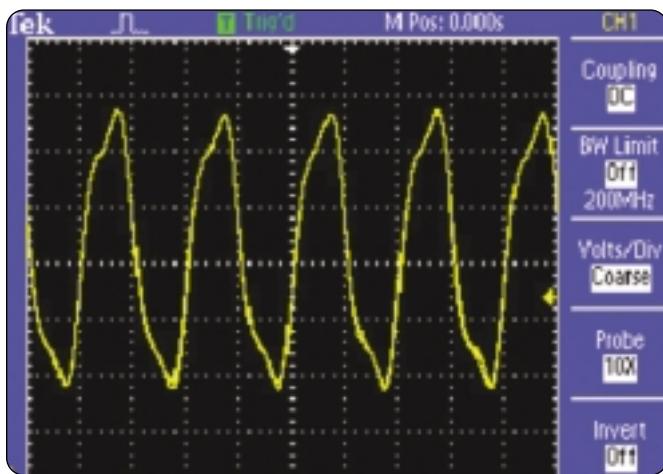
FFT를 이용하여 할 수 있는 일

FFT의 정보가 유용한 이유는 무엇일까요? 그림 2에서 구형파 FFT 이미지가 예상치 못한 피크 진폭을 예를 들어, 다섯 번째 고조파에서 나타났다고 가정해 보겠습니다. 이것은 파형에서 불규칙성 또는 탈선을 나타내거나(예를 들어, 상승 에지가 눈에 띄지 않을 정도의 오버슈트를 보여 주는 경우) 또는 인접한 회로의 자취에 있는 신호에서 누화가 일어났음을 나타내는 것입니다. 괘도를 벗어난 피크의 원인이 무엇인지는 모른다고 해도 스펙트럼 뷰를 통해 시간 도메인 뷰에서는 간과될 수 있는 문제를 쉽게 발견할 수 있는 것입니다.

비용 면에서 경제적인 Tektronix TDS2000 시리즈 오실로스코프를 사용하면 서비스 기술자, 생산직 엔지니어 및 현장 보수 팀원들도 실용적인 스펙트럼 분석을 실시할 수 있습니다. TDS2000 시리즈를 사용하면 파형을 쉽게 검사하고 다른 관점에서 문제를 보기 위해서 빠르게 FFT 뷰로 전환할 수 있습니다.

문제 해결을 지원하는 스펙트럼 분석 및 시간 도메인 측정 기능

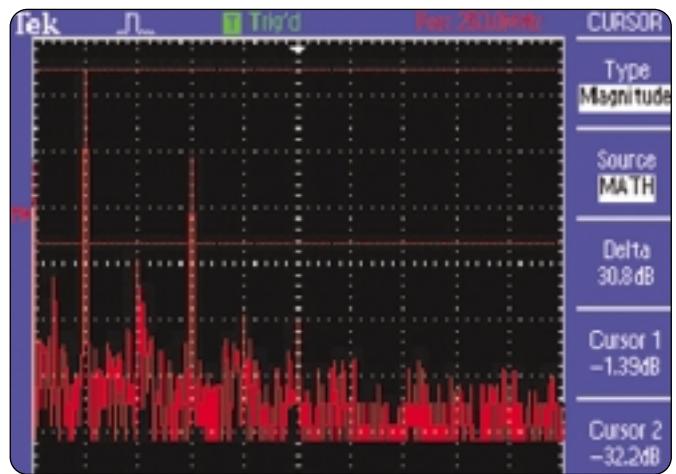
▶ 애플리케이션 노트



▶ 그림 3. 피크에서 나타나는 다양한 수준의 왜곡을 보여 주는 50 MHz 클록 신호의 시간 도메인 뷰. 이것은 신호가 보다 낮은 주파수 소스에 의해 변조되고 있다는 것을 의미합니다.

TDS2000 시리즈의 스펙트럼 분석 기능은 여러 다양한 분야에서 활용할 수 있습니다:

- ▶ 전자적인 문제 해결: 일반적인 회로 디버깅 — 진동 및 누화를 탐지하고 노이즈 및 누화의 소스를 찾고 노이즈, 왜곡 및 주파수 응답의 특성을 규정하며 의도하지 않은 변조를 탐지합니다
- ▶ 자동화: 서스펜션 및 프레임 설계 — 기계적 공명 및 스트레스를 판별합니다
- ▶ 항공: 날개의 설계 및 표면 조절 — 스트레스 지점을 찾아서 바로잡고 진동을 감소시키며 기계적 소음의 소스를 밝혀냅니다
- ▶ 진동 분석: 기계적 시스템의 설계 및 테스트 — 공명을 탐지하여 제거하고 이론적인 모델을 검증하며 다른 도구를 사용하여 측정한 값을 확인합니다
- ▶ 환경: 노이즈 감소 — 병원, 공장 및 기타 작업 환경에서의 소음 수준과 주파수 특성을 파악하여 환풍기와 HVAC 시스템에서 발생하는 소음을 최소화합니다
- ▶ 생리학: 건강 검진 — 심전도 및 신경 신호 특성을 측정합니다
- ▶ 전자적 설계: 전원 공급 장치 설계 — 전원 공급 단자의 고조파와 비일관성을 측정하고 진동을 탐지하고 정량화하여 DC 간 컨버터에서 왜곡과 고조파의 특성을 규정합니다



▶ 그림 4. 50 MHz 클록의 주파수 도메인 뷰. 20 MHz에서의 피크는 변조의 소스를 보여 줍니다.

FFT는 모든 종류의 회로에서 노이즈 및 진동과 관련된 문제를 검사하는 데 있어서 필수적인 도구입니다. 소프트웨어 설계 도구와 모델링된 프로토타입을 사용하는 요즘에도 새로운 설계로 제작한 첫 번째 프로토타입은 여러 가지 예상치 못한 결과를 나타내는 경우가 많습니다. 가장 흔히 볼 수 있는 문제는 한 회로의 자취에서 다른 회로의 자취로 신호가 예기치 않게 커플링되는 것으로, 문제가 있는 라인의 신호가 “변조”됩니다. 누화는 지금 현재로도 문젯거리이지만 앞으로 운영 주파수가 계속 늘어감에 따라 더 큰 문제로 부각될 것입니다.

문제를 잘 이해하기 위해서 그림 3의 시간 도메인 파형을 살펴 보겠습니다. 이것은 프로세서 보드의 50 MHz 클록 신호입니다. 이론적으로 파형은 대칭파여야 하지만 요즘의 디지털 회로는 상당히 이런 점에서 너그럽고 여기서 보이는 신호는 일반적인 환경에서 장치를 상당한 신뢰도를 가지고 클록킹하는 데 충분합니다.

이런 사실을 안다면 각 파형 사이클의 피크에서 나타나는 작은 차이를 간과한다고 해서 큰 문제가 되지는 않을 것입니다. 그러나 약간 불규칙적인 파장 모양이 의미하는 것은 하위 고조파 주파수에서 주 클록 신호를 무엇인가가 변조하고 있다는 것입니다. 주파수, 그리고 클록 신호에서 주파수 범위란 무엇일까요?

오실로스코프를 FFT 모드로 전환하면 이런 질문에 대한 답을 바로 얻을 수 있습니다. 그림 4에서는 그림 3에서 보았던 동일한 50 MHz 클록 파형의 FFT 뷰를 볼 수 있습니다.

FFT 활용 예

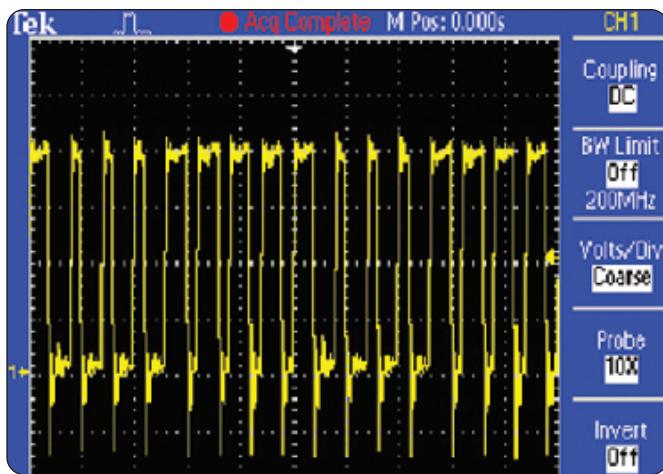
전자적인 문제 해결

FFT 분석은 오실로스코프를 사용한 시간 도메인 측정 방식을 보완하는 강력한 기능입니다. 간단히 FFT 모드로 전환하고 신호를 보기만 해도 시간 도메인 파형에서는 볼 수 없었던 동작을 탐지해 낼 수 있습니다.

신호에는 신호의 일반적인 내용에 의해 시간 도메인 뷰에서 가려졌던 주파수 구성 요소가 있을 수 있습니다. FFT 뷰는 이런 것을 한 번에 알아낼 수 있게 해 줍니다.

문제 해결을 지원하는 스펙트럼 분석 및 시간 도메인 측정 기능

▶ 애플리케이션 노트



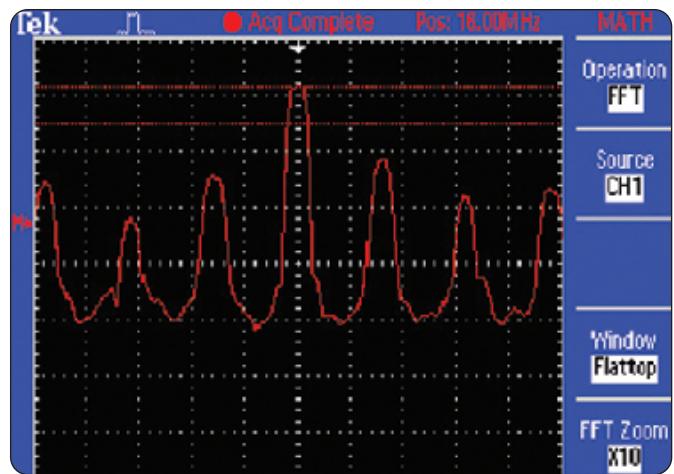
▶ 그림 5. 2 MHz 주파수에 의해 위상 변조되는 16 MHz 신호.

FFT 디스플레이의 주파수 범위는 500 MHz로 설정되어 있는 데 이것은 각 수평 구분이 50 MHz라는 것을 의미합니다. 계수선의 왼쪽은 0 MHz입니다. 첫 번째 세로 구분선에 있는 가장 높은 피크는 클록 신호의 기본 주파수를 나타냅니다. 다음 두 개의 수직선에서는 각각 두 번째(100 MHz) 및 세 번째(150 MHz) 고조파를 볼 수 있습니다. 이들은 다른 나머지 높은 고조파와 같이 일반적인 비율로 나타납니다.

그러나 0 MHz와 50 MHz 기본 주파수 사이에는 뭔가 확인해 볼 것이 있습니다. 20 MHz 주변에 피크가 하나 있는데 이것은 두 번째 고조파와 거의 높이가 같습니다. 이런 하위 고조파 피크가 있다는 것은 클록을 변조하는 원하지 않았던 20 MHz 신호가 있다는 것을 의미합니다. 단추를 하나 누르는 조작만으로 FFT는 누화가 있음을 알아냈으며 문제가 되는 주파수를 정확하게 집어냈습니다. 문제를 해결해야 하는 사람들에게 이런 기능은 변조 신호와 신호가 클록 선과 함께 커플링되는 방식을 찾아내는 과정을 훨씬 빠르게 수행할 수 있게 해 줍니다.

위상 변조 특성 규정

앞의 예에서 누화에 의해 발생한 원치 않는 변조의 영향을 보았습니다. 어떤 경우에는 변조가 의도적으로 사용되기도 합니다. 예를 들어, 위상 변조의 경우는 바이너리 정보의 스트림에서 특정 펄스 폭에 변화를 주기 위해 사용할 수 있습니다. 위상 변화는 바이너리 정보(0과 1)를 나타냅니다.

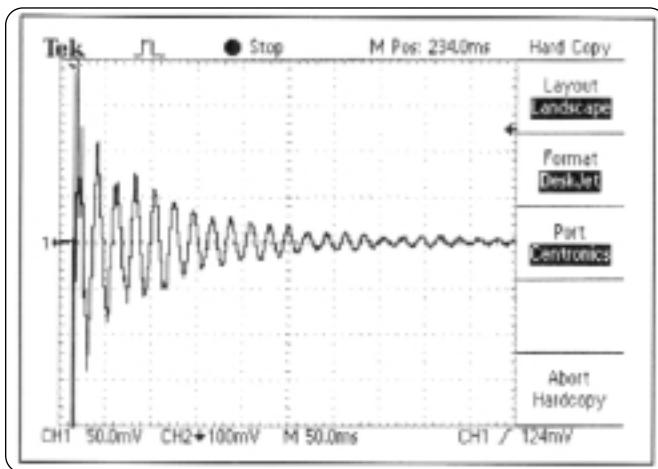


▶ 그림 6. 16 MHz 신호의 FFT 플롯. 2 MHz 변조 신호로 인한 2 MHz 간격의 측대역을 주목하십시오.

그림 5에서 볼 수 있는 펄스 열은 2 MHz 구형파에 의해 변조된 16 MHz 클록 신호입니다. 결과가 여덟 개의 펄스 그룹으로 반복되는 형태라는 것에 주의하십시오. 이런 형태는 두 개의 상호 작용하는 신호의 산술비에서 볼 수 있는 것입니다. 여기서, “좁은” 펄스와 “넓은” 펄스의 비율은 변조 변수인데 최고 8가지 상태로 나타낼 수 있습니다. 그림 5에서는 비율이 5:3인데 이것은 넓은 펄스가 5개, 좁은 펄스가 3개임을 의미합니다.

주파수 도메인에서 위상 변조된 신호를 보면(FFT를 사용하여) 변조의 영향을 명확하게 볼 수 있습니다. 그림 6(10배의 선명도로 “확대된” 그림)을 보면 가운데 선에 있는 주파수인 16 MHz가 기본 주파수입니다. 2 MHz 변조 주파수의 구분되는 특성은 2 MHz 간격으로 연속되는 측대역으로 나타납니다. 측대역의 관련 진폭을 검사하면 실제로 유효한 비율이 어떤 것인지를 구분할 수 있습니다. 이런 사실을 안다면 8가지 상태 중 어떤 것이 나타나는지를 쉽게 결정할 수 있습니다.

비록 이 정보를 시간 도메인 뷰에서도 구분해 낼 수 있긴 하지만 FFT를 이용하면 정보를 간단하게, 빨리 해석할 수 있습니다. 예를 들어, 신호에 노이즈가 있는 경우 시간 도메인 뷰에서는 데이터의 패턴을 식별하는 것이 어려울 것입니다. 이런 문제는 “넓은” 펄스와 “좁은” 펄스의 차이가 적으면 적을 수록 더 어려운 문제가 됩니다. 그러나 FFT는 기본적으로, 심지어는 위상에 차이가 거의 없는 경우에도 변조와 노이즈를 쉽게 구별합니다.



▶ 그림 7. 루프 보우 빔의 공명 주파수에 대한 시간 도메인 뷰.

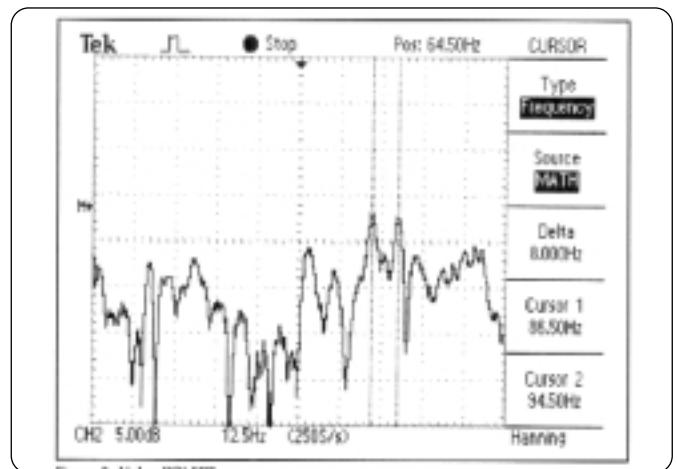
기계적인 공명 및 진동 분석

자동차 장비를 설계할 때 부품의 기계적인 공명은 부품 자체의 신뢰도는 물론이고 승객의 안락함과 안전에 아주 큰 영향을 줍니다.

그렇기 때문에 자동차에 들어가는 다양한 부품의 피로 주기를 예측하는 작업은 필수적입니다. 자동차에서 DVD 기기나 기타 부착물과 같은 선택적으로 사용하는 장치를 지지하기 위해서 그 사용이 점점 늘고 있는 자동차의 루프 보우(앞 좌석 위에 있는 지지 막대)의 사례를 보겠습니다. 루프 보우의 “자연적인”(공명) 주파수는 물론이고 자동차가 가속하거나 틀어질 때 자동차 샤시를 통해 전달되는 영향 등을 종합적으로 알아야 합니다.

루프 보우의 기본적인 공명 주파수는 가속도계와 망치의 면이 측정 대상 면을 칠 때 트리거 신호를 오실로스코프에 전송하도록 고안된 전문 장비인 충격 망치(impact hammer)를 사용하여 측정할 수 있습니다. 이 장비를 사용하면 가해진 힘의 양에 대한 정보도 얻을 수 있고 대상 표면의 회복력으로 인한 “방음 효과”가 있는지 여부도 알 수 있습니다. 오실로스코프는 센서에서 오는 응답을 포착하고 시간 도메인 파형 또는 스펙트럼으로 표시합니다.

그림 7에는 망치로 침으로써 발생한 시간 도메인 파형이 표시되어 있습니다. 이것은 오실로스코프의 자동화된 주파수 측정 기능을 이용하여 측정한 값으로 47.4 Hz의 자연 공명 주파수가 있는 전통적인 감소형 진동파입니다. 그림 7은 FFT 플롯이 아님에 주의해야 합니다.



▶ 그림 8. 시뮬레이션된 자동차의 움직임에 대해 나타난 루프 빔에서 발생한 진동의 FFT 플롯.

다음 과정은 실제 운전 상황에서 발생할 수 있는 진동을 측정하는 것입니다. 다시 말해서, 예측할 수 없는 주파수와 강도로 지속적인 충격과 스트레스를 주는 것입니다. 널리 사용되는 방법 중에 고의적으로 균형이 잡히지 않은 회전 하중과 같은 단순한 여진 소스를 만들어서 자동차의 특정 부분에 장착하는 방법이 있습니다. 루프 보우에 부착한 센서를 이용해서 결과를 얻은 TDS2000 시리즈 FFT 플롯을 그림 8에서 볼 수 있습니다. 이 예제에서는 85 Hz와 약 95 Hz 범위에서 문제가 되는 공명 피크가 발생합니다. 여기서, 커서 측정은 두 피크의 주파수를 정확하게 집어냅니다.

데이터가 수집되면 루프 보우의 자연 주파수와, 샤시가 자동차의 가속을 받을 때 특정 지점에 예상되는 가속 사이의 지속적인 관계가 있음을 알 수 있습니다. 그림 8에서 알 수 있는 내용은 기계적인 부품을 개발하는 설계자에게는 아주 소중한 정보입니다. FFT 플롯은 변수의 폭을 줄여 주고 엔지니어가 모델링된 매개변수와 스트레스를 확인하는데 사용할 수 있는 신뢰도 높은 사전 결과를 제공합니다. 물론 전문가 수준의 신호 분석기와 최종 요소 분석(Finite Element Analysis) 도구를 사용한 연속적인 테스트를 통해 초기 측정값을 얻어내는 것도 필수적인 작업입니다.

문제 해결을 지원하는 스펙트럼 분석 및 시간 도메인 측정 기능

▶ 애플리케이션 노트

에일리어싱에 대한 몇 가지 주의 사항

Tektronix TDS2000 시리즈 오실로스코프에 내장된 FFT 기능은 일반적인 시간 도메인 기능을 보완하도록 편리하고 사용이 간편하게 고안되었습니다. 이 기능은 신호의 스펙트럼 내용에 대한 해답을 빨리 제공하기 위해 서 샘플링한 데이터로 작업합니다.

모든 샘플링 장치(TDS2000 시리즈 같은 DSO 포함)가 기반으로 하고 있는 Nyquist 샘플링 이론에 따르면 어떤 시스템이라도 재생산할 수 있는 최고의 주파수는 그 현재 샘플링 비율 설정의 1/2 미만입니다. 그러므로 초당 100 MHz 샘플의 비율은 50 MHz 사인파 신호를 수집하고 재생산할 수 있습니다.

Nyquist 이론은 사인파 입력 신호가 있어야 성립합니다. 앞에서 설명했지만 비사인 파형이 더 높은 고조파 주파수를 갖지는 않습니다. FFT에서 에일리어싱이라고 알려진 현상으로 인해서 이런 더 높은 주파수 신호 요소가 문제의 주파수 영역 내에서 부정확하게 표시될 수 있습니다. 수집한 신호에 샘플링 비율을 초과하는 고조파가 포함되어 있는 경우 기본파가 Nyquist 주파수 명세 내에 있는 것이라고 해도 에일리어싱이 발생할 수 있습니다.

전용 스펙트럼 분석기는 데이터를 샘플링하지 않기 때문에 에일리어싱 문제가 발생하지 않습니다. 스펙트럼 분석기의 필터링 범위와 스윕 범위로 인해 기기가 사용할 수 있는 대역폭의 적은 부분에 집중할 수 있습니다.

최고 200 MHz 대역폭을 제공하는 모델인 TDS2000 시리즈 오실로스코프는 에일리어싱 문제 없이 광범위한 FFT 분석 요구 사항을 만족합니다. 시간 도메인 뷰에서 파형의 최소 한 사이클이 안정적으로 표시되도록 샘플링 비율을 간단하게 조작하기만 하면 TDS2000 시리즈 장비로 스펙트럼 분석을 수행하면서 발생할 수 있는 여러 가지 상황에서 에일리어싱 문제를 피할 수 있습니다.

Tektronix(주) 연락처:

아세안(동남 아시아 제국 연합)/ 오스트랄라시아/ 파키스탄

(65) 6356 3900

오스트리아 +43 2236 8092 262

중앙유럽 및 그리스 +43 2236 8092 301

벨기에 +32 (2) 715 89 70

브라질 및 남미 55 (11) 3741-8360

캐나다 1 (800) 661-5625

덴마크 +45 44 850 700

핀란드 +358 (9) 4783 400

프랑스 및 북아프리카 +33 (0) 1 69 86 80 34

독일 +49 (221) 94 77 400

홀란드 (852) 2585-6688

인도 (91) 80-2275577

이태리 +39 (02) 25086 1

일본 81 (3) 6714-3010

멕시코, 중앙 아메리카 및 캐리비언 52 (55) 56666-333

네덜란드 +31 (0) 23 569 5555

노르웨이 +47 22 07 07 00

중국 86 (10) 6235 1230

폴란드 +48 (0) 22 521 53 40

한국 82 (2) 528-5299

러시아, CIS 및 발트 +358 (9) 4783 400

남아프리카 +27 11 254 8360

스페인 +34 (91) 372 6055

스웨덴 +46 (8) 477 6503/4

대만 886 (2) 2722-9622

영국 및 아일레 공화국 +44 (0) 1344 392400

미국 1 (800) 426-2200

미국 (수출 판매) 1 (503) 627-1916

미국 이외의 지역 텍트로닉스(주) 연락처 (USA): 1 (503) 627-7111

Updated December 23, 2003

추가 정보

Tektronix에서는 기술자들의 최신 기술 이용을 지원하기 위하여 종합적인 애플리케이션 노트, 기술 요약 및 기타 자료를 지속적으로 보급하고 있습니다. 당시 웹사이트 www.tektronix.com 을 방문하십시오.



Copyright © 2004, Tektronix, Inc. All rights reserved. Tektronix의 제품은 기준에 출원된 특허나 출원 중에 있는 특허 등 미국과 기타 외국의 특허법에 의해 보호됩니다. 이 문서에 기록된 정보는 이전에 배포된 어떤 정보에도 우선합니다. 제품의 명세 사항이나 가격은 사전 고지 없이 변경될 수 있습니다. TEKTRONIX와 TEK은 Tektronix, Inc의 등록 상표입니다. 기타 언급되는 모든 상표명은 각 해당 회사의 서비스 표시, 상표, 등록 상표입니다.

02/04 MD/SR

40K-16563-1

Tektronix

Enabling Innovation