

FFT

오버랩 프로세싱의 이해



Tektronix 실시간 스펙트럼 분석기

RTSA FFT 오버랩 프로세싱 입문서

▶ 응용 자료

차 례

소개	3
더 빠른 시변 신호의 관측 필요성	3
시야의 확대	3
그림 1. 줌과 유사함	3
작동 원리	4
다수의 FFT 오버랩	4
그림 2. 오버랩 FFT 프로세싱	4
비교	5
그림 3. 오버랩이 적용되지 않은 분광사진	5
오버랩된 FFT	5
그림 4. 오버랩된 FFT 분광사진	5
의사 랜덤 변조 펄스	6
그림 5. 오버랩된 FFT 분광사진	6
그림 6. 주파수 대 시간 의사 랜덤 호퍼	6
시간의 신장(Stretching)	7
그림 7. 시간 오버랩	7
그림 8. 시변 RF의 관측	7
분광사진 상승 시간	8
텍트로닉스 RTSA FFT 오버랩	8
시간 해상도에 대한 FFT 윈도우 효과	8
범위 및 샘플 비율 효과	8
분광사진 상승 시간의 측정	9
표 1. 분광사진 유효 상승 시간	9
FFT 윈도우 비사용에 따른 효과	9
그림 9. 구형(Rectangular) FFT 윈도우	9
그림 10. Blackman-Harris 4B 윈도우-기본값	9
그림 11. 분광사진의 Moire 패턴	10
새로운 현상	10
시간 이벤트 측정	10
그림 12. 시간 이벤트의 측정	10
시간 상관 다중 영역 분석	10
진폭 효과	11
짧은 펄스	11
그림 13. 낮은 주파수의 진폭은 더 낮게 보입니다	11
표 2. 짧은 펄스의 진폭 감소	11
그림 14. 오버랩된 FFT 프레임과 단일 펄스	12
그림 15. 윈도우 기능이 적용된 FFT 프레임	12
Blackman-Harris 윈도우	13
그림 16. BH-4B 윈도우 플롯	13
그림 17. 다중 주파수 흡을 표시하는 시간 내의 단일 마커	13
진폭 감소 계산	13
기타 윈도우	14
극초단 펄스	14
그림 18. 시간 뷰를 통해 쉽게 측정할 수 있는 250 ns의 펄스	14
그림 19. 작은 펄스는 스펙트럼에서는 보이지 않습니다	14
그림 20. 이제 250 ns의 펄스를 볼 수 있습니다	15
오버랩을 통해 할 수 없는 것	16
결론	17
부록 A. 펄스 생성 파일	18
표 3. 데모 파일 이름	18

그림 1. 줌과 유사함.

본 입문서는 독자가 STSA가 어떻게 작동하는지에 대한 기초를 이해하고 있다는 가정 하에 마련되었습니다. RTSA(실시간 스펙트럼 분석)에 대한 기초적인 교육 정보는 www.tektronix.com/rsa에서 구하실 수 있습니다.

시야의 확대

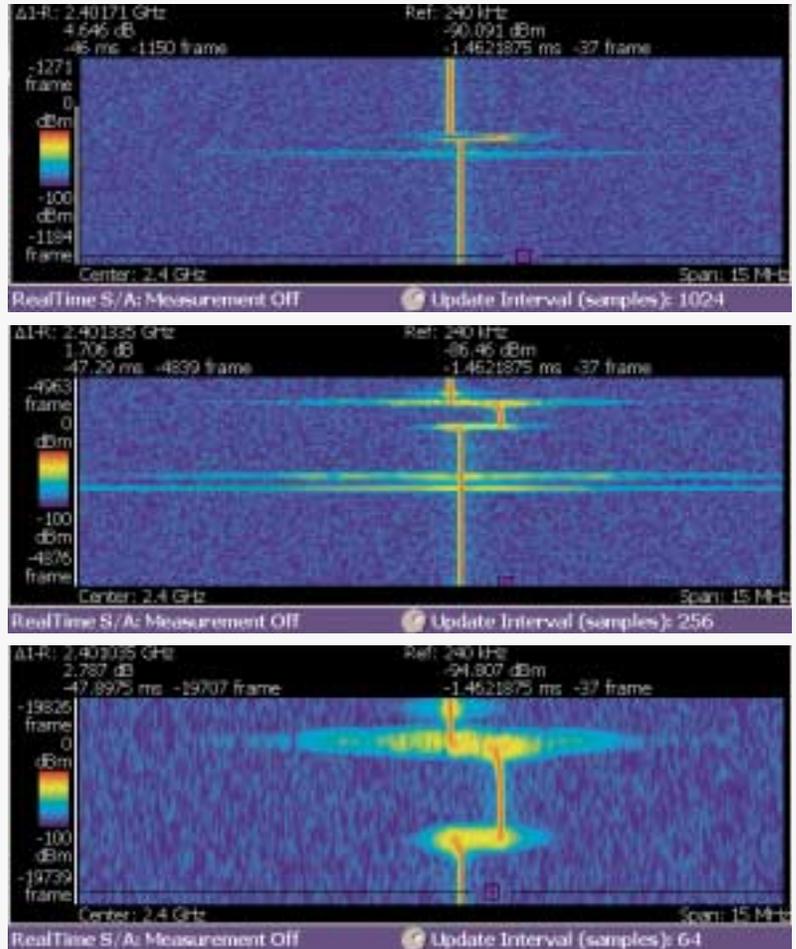
맨 위의 분광사진은 오버랩되지 않는 프레임(지속 시간=20_s)을 보여줍니다.

768 FFT 포인트 오버랩 (FFT 간격 - 256 포인트)

프레임 지속시간 = 5_s

960 FFT 포인트 오버랩 (FFT 간격 - 64 포인트)

프레임 지속시간 = 1.25_s



▶그림 1. 줌과 유사함.

더 빠른 시변 신호의 관측 필요성

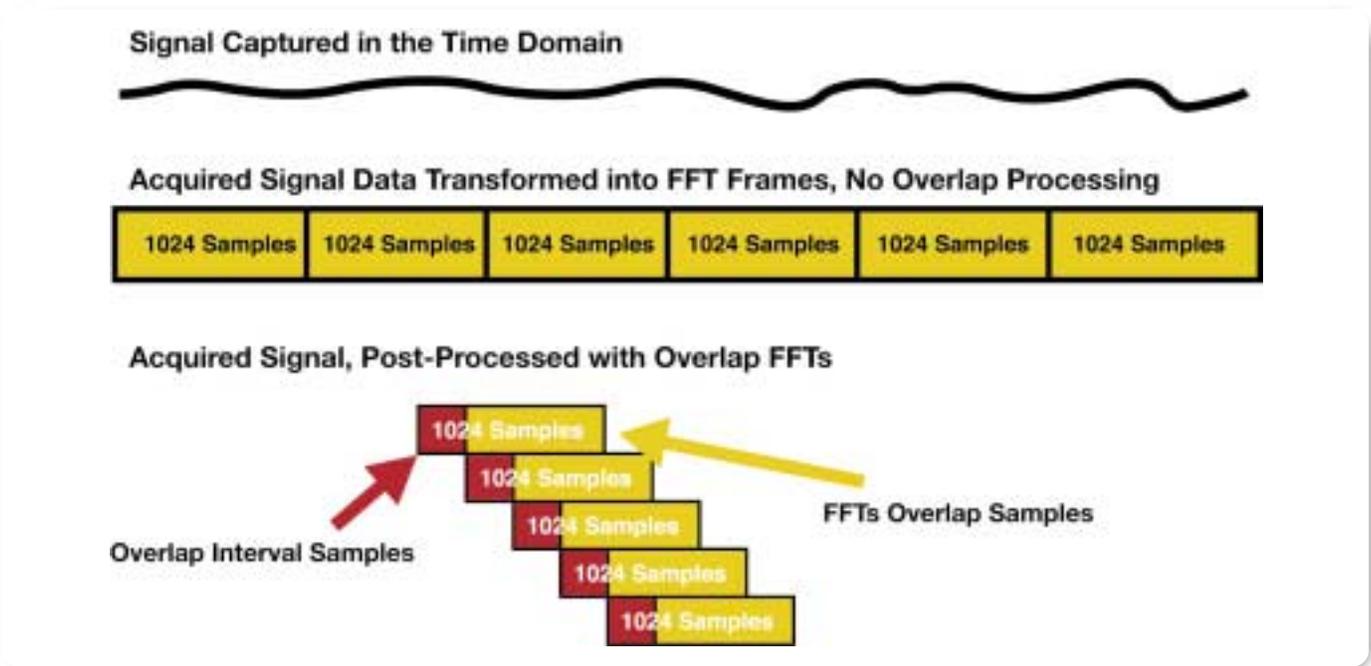
더욱 빨라진 시변 주파수 신호가 널리 사용됨에 따라 테크트로닉스는 완벽한 오버랩이 가능한 FFT 프레임을 사용하는 실시간 스펙트럼 분석기 (RTSA)를 통해 단기 이벤트에 대해 뛰어난 가시성을 제공함으로써 이와 같은 요구에 대응해 왔습니다.

본 입문서에서는 이러한 기술의 이점을 살펴볼 것입니다. 또한 이 기술의 작동 원리를 살펴보고, 이 기술을 가장 효율적으로 사용하여 이전보다 훨씬 명확하게 시변 RF 신호를 관측할 수 있는 방법에 대해 알아볼 것입니다.

오버랩된 FFT는 분광사진을 위한 Zoom과 유사하게 작동합니다. 오버랩된 FFT가 작은 시간 이벤트들을 오버랩하는 동안 분광사진을 통해 제공되는 뛰어난 가시성을 통해 시간에 따라 변화하는 주파수에 대한 더욱 뛰어난 가시성을 얻게 됩니다.

그림 1 하단의 분광사진은 과도 시간의 움직임을 보여줍니다. 이 경우, 두 개의 개별 주파수 스텝이 상단 분광사진에서는 단 하나의 스텝으로 나타납니다. 하단의 분광사진 전체가 상단 분광사진에서는 단지 5프레임 내에 포함되어 있습니다.

RTSA FFT 오버랩 프로세싱 입문서
▶ 응용 자료



▶ 그림 2. FFT 오버랩 프로세싱

다수의 FFL 오버랩

이전 세대의 RTSA는 A/D 컨버터로부터의 데이터를 대부분 연속 순차 방식으로 처리했습니다. 첫번째 1024 바이트는 첫번째 FFT(첫번째 프레임)로, 두 번째 1024 바이트는 두 번째 FFT(두 번째 프레임)에 포함되는 순서로 진행됩니다.

새로운 기능을 통해 사용자는 오버랩 데이터의 수를 0-1023 범위 내에서 선택할 수 있습니다. 이는 0 오버랩에서 이전 FFT에 인접한 각 FFT에 순차 방식을 적용함을 의미합니다. 오버랩의 수는 FFT 프레임의 마지막 데이터 포인트 중 얼마나 많은 포인트가 다음 프레임에 시작 포인트로 포함되어 있는지를 나타냅니다. 1023 오버랩이 선택된 경우에는 두 번째 FFT 프레임이 종단에 단 하나의 새로운 데이터 포인트를 가지며, 시작점에서는 이전 FFT로부터 단 하나의 데이터 포인트만이 누락됨을 의미합니다. 1023 데이터 포인트는 이들 인접 프레임들에 의해 공유됩니다.

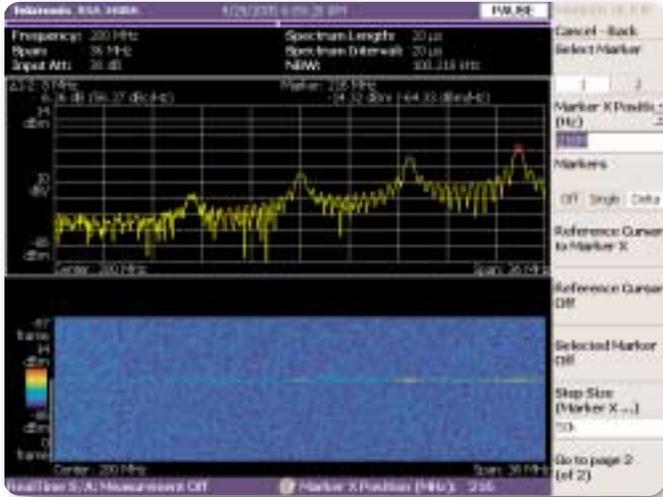
그림 2는 오버랩이 적용된 FFT 프로세싱과 오버랩이 적용되지 않은 FFT 프로세싱의 차이를 보여줍니다.

이는 또한 표시되는 각 FFT 스펙트럼이 이전 스펙트럼으로부터 얻은 정보의 일부를 포함하고 있음을 의미합니다.

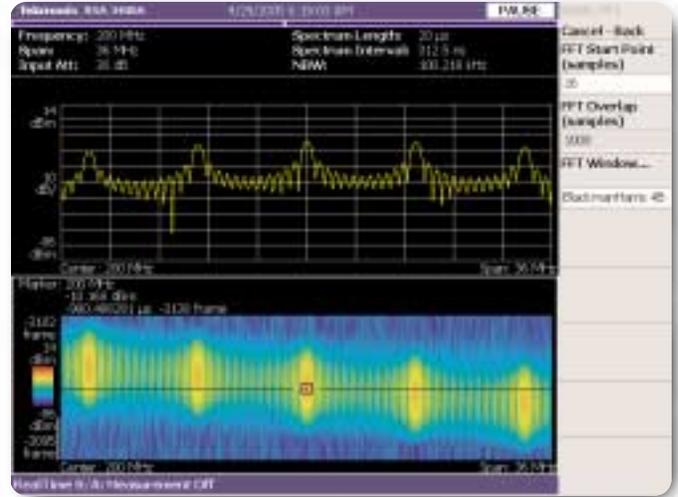
그림 1의 중간 이미지의 오버랩 FFT 프로세싱의 예에서는 각 프레임에 768개의 샘플이 오버랩된 256 샘플 FFT 간격을 사용하고 있습니다. 각 프레임은 이전 프레임보다 5 마이크로 초 이후에 시작되며, 15 MHz의 범위를 보입니다. 범위가 더 좁으면 각 스펙트럼이 더 많은 시간을 차지하게 되며, 서로에게 더욱 인접한 주파수 성분들을 동시에 볼 수 있습니다.

이러한 기술을 통해 서로에게 인접하여 표시되는 많은 FFT 스펙트럼에서 감소된 진폭에서도 매우 짧은 스펙트럼 이벤트(특히 지속 시간이 1 FFT 미만인 이벤트)를 관측할 수 있습니다.

이를 통해 얻을 수 있는 이점은 신호 내의 매우 짧은 시간 변화를 볼 수 있다는 점입니다. 반면에 단점은 FFT가 시간에 대해 오버랩되므로 다양한 주파수 이벤트 또한 동일한 정도로 오버랩되어 분광사진의 디스플레이에 표시된다는 점입니다. 이와 같은 효과로 인해 스펙트럼 이벤트 간의 상대 타이밍 측정은 스펙트럼의 가시성만큼 향상된 해상도를 보여주지 못합니다.



▶ 그림 3. 오버랩이 적용되지 않은 분광사진.



▶ 그림 4. 오버랩된 FFT 분광사진.

비교

그림 3에서는 레이더 펄스를 포함한 분광사진을 볼 수 있습니다. 이 펄스는 32 MHz에서 다섯 번 주파수 호핑됩니다. 다섯 번의 홉을 포함하여 총 길이는 8 마이크로 초입니다.

36 MHz의 범위를 사용하므로, 이는 20 마이크로 초의 FFT 스펙트럼 프레임의 약 1/3에 해당합니다. 또한 각 홉은 1 FFT 프레임의 1/12 동안만 지속됩니다. 따라서 홉은 1 프레임 동안만 존재하며, 호핑 펄스에 대한 자세한 정보를 관측할 수 없습니다.

RTSA는 이와 같은 펄스에 대한 트리거 및 캡처 기능을 지원합니다. 하지만 분광사진에 이를 표시하는 데에는 약간의 어려움이 따릅니다. 극초단 펄스에 대한 트리거링에는 전력 트리거가 선호됩니다.

앞서 언급한 펄스는 텍트로닉스 AWG710B 임의 파형 생성기를 통해 생성되었습니다. 이 펄스에 관한 파일들과 본 문서에서 사용된 모든 기타 파일들의 목록은 부록 A에 나와 있습니다.

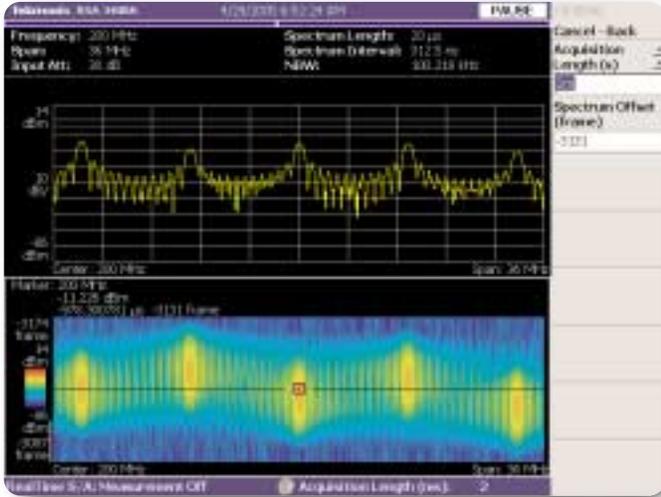
오버랩된 FFT

그림 4에서 36 MHz 대역폭의 텍트로닉스 RTSA는 1008 샘플 오버랩을 통해 FFT frame간의 간격이 1024(오버랩 안됨)에서 16 샘플로 감소되는 FFT 오버랩 프로세싱을 사용하여 호핑된 동일한 펄스를 보여줍니다.

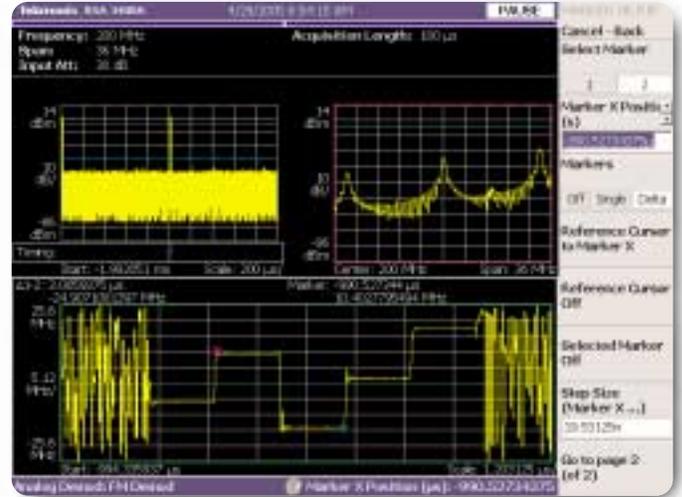
그 결과는 매우 극적입니다. 펄스가 여전히 1 프레임보다 짧음에도 불구하고 개별 프레임은 320 나노 초의 간격으로 순차적으로 위치하고 있습니다. 이를 통해 펄스 전반에 걸쳐 주파수가 증가하는 스텝들과 각 스텝의 대략적인 시간을 분명하게 볼 수 있습니다.

RTSA FFT 오버랩 프로세싱 입문서

▶ 응용 자료



▶ 그림 5. 오버랩된 FFT 분광사진 의사 랜덤 호핑.

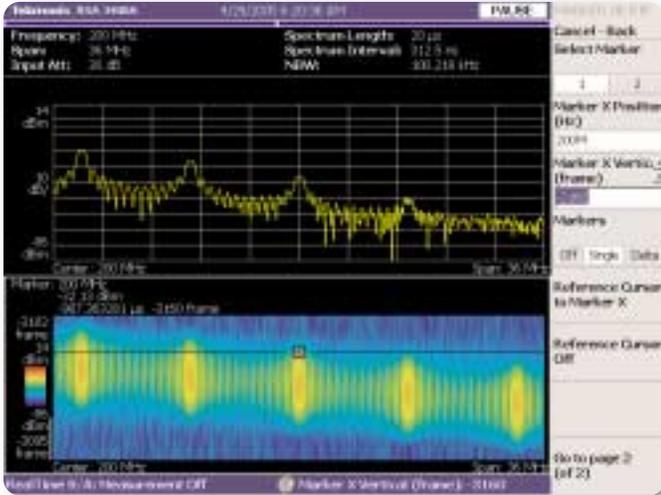


▶ 그림 6. 주파수 대 시간 의사 랜덤 호핑.

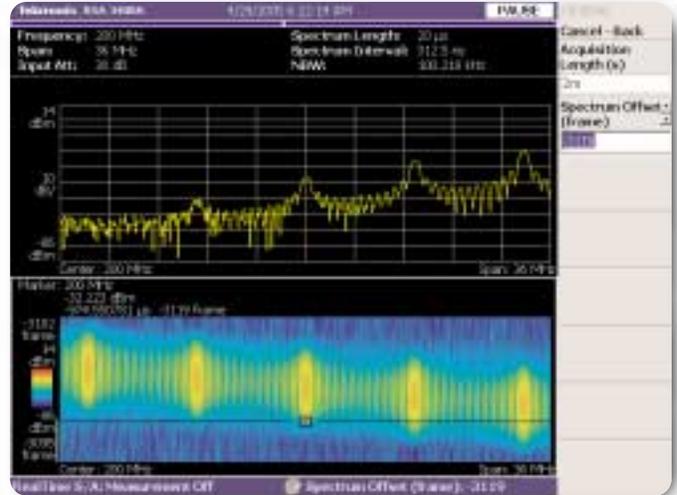
의사 랜덤 변조 펄스

의사 랜덤 방식으로 호핑된 펄스 파형 또한 사용이 가능합니다. 이 파형은 그림 5와 그림 6에서 보실 수 있습니다. 이 파형은 그림 4의 펄스와 동일한 호핑 시간과 주파수 간격을 사용합니다. 하지만 각 흡에 대해 주파수를 선형적으로 증가시키는 대신 대역폭 전반에 걸쳐 흡이 임의적으로 생성됩니다.

그림 6에서는 오버랩된 FFT의 시간 오버랩 효과로 인해 각 호핑 신호의 타이밍 측정을 위해 주파수 대 시간 디스플레이가 중요한 기능을 확인하실 수 있습니다. 이 그림은 주파수 대 시간 디스플레이의 이점을 명백하게 보여줍니다. 이 그림에서는 그림 5의 시간이 명백하게 반전되어 있고, 시간이 순차적으로 표시되어 있습니다.



▶ 그림 7. 시간에 대해 오버랩되는 펄스.



▶ 8. 시변 RF의 관측.

시간의 확대(Stretching)

오버래핑으로 인한 진정한 효과는 좁이 아니라 시간의 확대입니다. 이를 통해 시변 현상에 대한 가시성이 획기적으로 향상되지만, 이벤트들이 모두 함께 확대됩니다.

그림 7에서는 펄스의 중간 흡의 시작점에 마커가 위치해 있습니다. FFT 프레임의 오버랩으로 인해 개별 스텝이 시간에 대해 오버랩되어 있는 것처럼 보인다는 점에 유의하시기 바랍니다. 이와 같은 오버랩은 실제 발생하는 것이 아니라 FFT 프레임의 오버랩으로 인한 것입니다.

그림 8은 중간 흡의 종단에 위치한 마커를 보여줍니다. 이들 그림을 통해 1 FFT의 프레임 시간 내에 전적으로 존재하는 이 펄스의 주파수 및 시변 특성을 명백하게 파악하실 수 있습니다. FFT 프레임의 오버래핑 없이는 이와 같은 가시성을 얻을 수 없습니다.

시간의 신장 효과로 인해 이 펄스의 모든 흡은 대부분 시간 동시성을 지니는 것처럼 보이지만, 우리는 이들 흡이 시간에 대해 개별적이라는 사실을 알고 있습니다. 이와 같은 효과에 가장 큰 기여를 하는 것은 이들 특정 이벤트의 길이가 1 FFT 프레임보다 짧다는 사실입니다.

FFT 프로세스는 극도로 짧은 시간의 한 조각이 아니며, 서로를 분리하기 위해 입력 주파수의 다중 주기를 처리할 필요가 있습니다. 따라서 몇 개의 서로 다른 주파수가 모두 이 프레임 내에 존재하는 경우, 이들 주파수는 FFT에 의해 모두 보고됩니다. 또한 이 FFT는 단 하나의 스펙트럼만을 생성합니다. 따라서 이들 주파수 흡은 시간 상 모두 분리되어 있지만 단일 FFT 프레임 내에 존재할 경우 하나의 스펙트럼에 모두 함께 표시됩니다.

분광사진 상승 시간

분광사진에서 시간 해상도를 실제로 높일 수 있는 능력을 제한하는 또 다른 효과는 오버랩된 TTF를 사용할 때 발생하는 분광사진의 피상 상승 시간입니다. 이로 인해 펄스 디스플레이의 개별 홉 부분의 시간 오버래핑 또한 증가하게 됩니다.

텍트로닉스 RTSA FFT

오버랩이 적용되지 않은 FFT를 사용할 경우, 각 스펙트럼은 20 마이크로 초의 데이터로 구성된 차기 프레임(1024x샘플 당 20 ns)으로부터 생성됩니다. 따라서 두 개의 순차적 프레임 사이의 지점에서 커진 신호는 첫번째 프레임에는 에너지를 전혀 기여하지 않고 다음 프레임에 모든 에너지를 기여합니다. 이것은 분광사진을 사용할 때 시간 이벤트가 20 마이크로 초의 해상도로 측정될 수 있음을 의미합니다.

(한 스펙트럼의 시작점과 다음 스펙트럼의 시작점 간의 시간 차가 20ns인) 완전히 오버랩된 FFT가 사용된다면 시간 해상도가 20ns 가 될 것이라고 추정하기 쉽지만, 실제로는 그렇지 않습니다.

이 프로세스를 이해하면 결과를 잘못 해석할 가능성을 인식하는 데 도움이 될 것입니다.

FFT 윈도우가 시간 해상도에 미치는 효과

A/D 컨버터는 102.4 MHz의 속도로 연속적인 디지털화를 수행하며, 51.2 MHz의 유효 속도에서 I 및 Q 샘플을 모두 공급하여 메모리 레코드를 채웁니다. 각 FFT에는 메모리 레코드(프레임) 내의 임의의 장소로부터 1024개의 연속 샘플이 공급됩니다. 우리가 사용해 온 예에서는 36 MHz의 범위의 프레임 길이는 20 마이크로 초입니다.

오버랩된 FFT에서는 어떠한 일이 발생하는 지에 대해 좀 더 자세히 살펴보도록 하겠습니다. 우리가 살펴볼 첫번째 FFT는 RF의 짧은 버스트 이전의 마지막 FFT입니다. 버스트가 아직 시작되지 않았으므로, 이 FFT는 RF 버스트로부터 전력을 전혀 공급받지 않습니다. 두번째 FFT는 1023 샘플에 의해 오버랩되며, 따라서 1 샘플 포인트 이후에 시작합니다. 이 FFT는 버스트로부터 공급받는 전력의 단 하나의 샘플 포인트만을 포함합니다. 각 후속 프레임은 마침내 전체 버스트를 포함한 1 프레임을 얻게될 때까지(버스트가 1 프레임 보다 짧은 경우), 또는 버스트로 완전히 채워진 프레임을 얻게 될 때까지(버스트의 길이가 1 프레임의 20 마이크로 초 이상인 경우) 추가적인 버스트 샘플을 하나 더 포함하게 됩니다.

각 프레임은 이전 프레임보다 더 많은 전력을 포함하고 있으므로, 우리가 살펴보고 있는 두 번째 프레임은 기껏해야 버스트의 가능한 총 전력의 1/1024만을 포함하고 있는 것을 알 수 있습니다.

이것은 사실상 Parseval의 정리를 통해 설명될 수 있습니다. 이 정리에 따르면 FFT는 FFT에 포함된 신호의 샘플 수의 제곱에 정비례하여 증가하는 가간섭성 신호(coherent signal)의 전력 레벨을 표시하는 스펙트럼을 산출합니다. 공식은 다음과 같습니다.

$$\text{Power(dB)} = 20 \text{ Log} (\text{SignalSamples} / \text{TotalSamples})$$

이 현상에 대한 추가 정보는 본 문서의 진폭 효과 섹션을 참조하십시오.

FFT 윈도우로 인한 두 번째 효과는 프레임 종단의 샘플들이 스펙트럼에 기여하도록 허용된 양을 감소시킵니다 (최종단의 샘플에서는 이 양이 근본적으로 0으로 감소됩니다). 이 시간 필터는 프레임 내의 신호를 갑작스럽게 시작 또는 중단시키는 말단 효과(end effect)를 제거하는 것을 목적으로 합니다. 이 윈도우는 프레임의 종단에 인접해서 이 신호의 일부가 존재할 때 관찰되는 신호의 기여도를 더 감소시킵니다 (그림 7 및 8 참조).

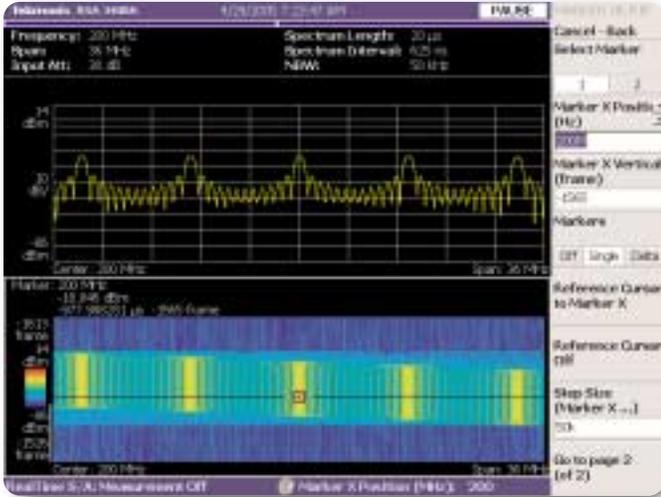
이들 두 효과는 버스트의 샘플 하나를 포함하고 있는 첫번째 스펙트럼이 관심의 대상이 되는 신호의 스펙트럼을 근본적으로 지니고 있지 않음을 의미합니다. 다음 스펙트럼은 관심의 대상이 되는 신호의 스펙트럼을 조금 더 지니고 있을 뿐입니다. 버스트가 거의 1/4 차 있는 스펙트럼을 얻게 될 때 비로소 의미 있는 버스트 진폭이 표시됩니다.

이로 인해 분광사진의 유효 상승 시간과 종합 시간 해상도가 줄어들게 됩니다.

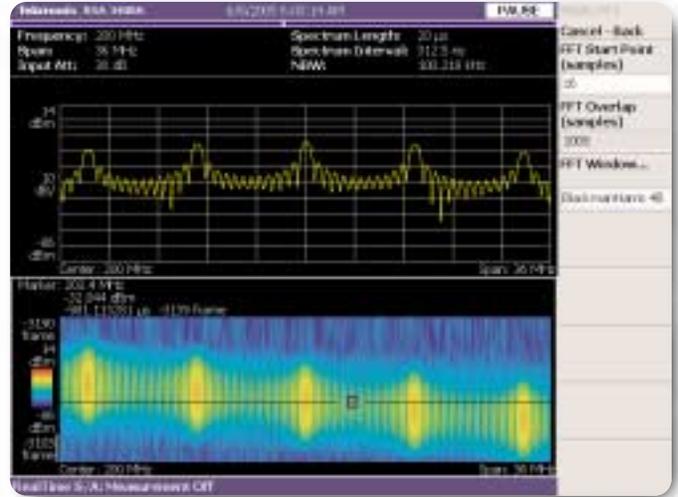
범위 및 샘플 비율의 효과

분광사진 상승 시간은 (사용되는 실제 유효 샘플 비율과 잡음 대역폭에 따른) 선택된 범위에 의해서도 좌우됩니다. 이 상승 시간은 FFT 오버랩의 양과는 무관합니다. 이 상승 시간은 전적으로 선택된 범위와 그 결과로 인한 유효 샘플 비율에 좌우됩니다.

펄스 또는 기타 주파수 이벤트의 종단에서는 등가 상승 시간과 시간 번짐(time smearing)이 존재한다는 사실에 유의하시기 바랍니다. 펄스의 양 종단에는 동일한 효과가 적용됩니다.



▶ 그림 9. 구형(Rectangular) FFT 윈도우.



▶ 그림 10. Blackman-Harris 4B 윈도우 - 기본.

분광사진 상승 시간의 측정

다음의 표(표 1)는 분광사진 상승 시간 측정의 결과를 보여줍니다.

범위 / NBW	오버랩		
	1023	1022	992
10 MHz / 25 kHz	27.0 μ s	28.0 μ s	31.0 μ s
20 MHz / 50 kHz	14.6 μ s	14.4 μ s	14.1 μ s
36 MHz / 100 kHz	7.2 μ s	7.2 μ s	7.1 μ s

▶ 표 1. 분광사진 유효 상승 시간.

참고: 이 측정은 RF 펄스에 10% 및 90%의 전압 포인트를 가하여 실시하였습니다.

이 상승 시간 한계는 오버랩된 FFT 분광사진을 사용하여 스펙트럼 이벤트의 타이밍을 측정할 때 이용 가능한 시간 해상도를 제한합니다.

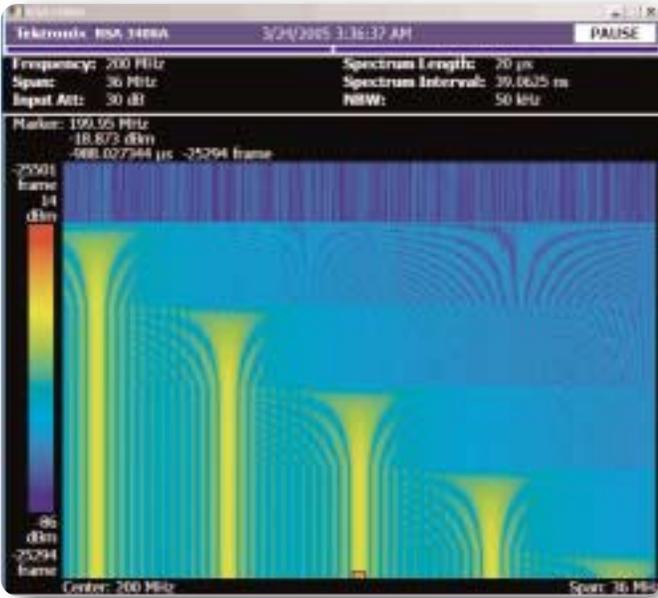
FFT 윈도우 사용에 따른 효과

FFT 윈도우는 분광사진에서 상승 시간 한계의 많은 부분을 차지하므로, 이 필터를 제거했을 경우 어떤 일이 발생하는 지를 살펴볼 필요가 있습니다. 필터 선택 옵션 중의 하나는 Rect(구형 필터 또는 필터 없음)입니다.

우리는 이 필터가 분광사진의 피상 상승 시간을 향상시킬 것으로 기대하지만, 이제 프레임의 갑작스러운 중단이라는 효과 또한 얻게 될 것이라는 점을 알고 있습니다. 그림 9는 그 결과를 보여줍니다. 개별 흡의 시작 및 종단은 시간에 대해 여전히 오버랩되어 있습니다. 오버랩된 FFT에서는 이것이 불가피한 현상입니다. 하지만 이제 각 세그먼트의 시작 및 종단이 훨씬 더 선명함을 볼 수 있습니다. 이것을 그림 10(기본 윈도우)과 다시 한 번 비교해 보십시오. 구형 윈도우를 통해 유효 상승 시간이 실제로 개선되었습니다. Blackman-Harris 4B(BH-4B)(그림 10)을 통한 36 MHz 범위의 상승 시간은 7.2 마이크로 초였습니다. 필터를 제거했을 경우의 상승 시간은 1.27 마이크로 초입니다! 상당히 개선된 수치입니다.

RTSA FFT 오버랩 프로세싱 입문서

▶ 응용 자료



▶ 그림 11. 분광사진의 Moiré 패턴.

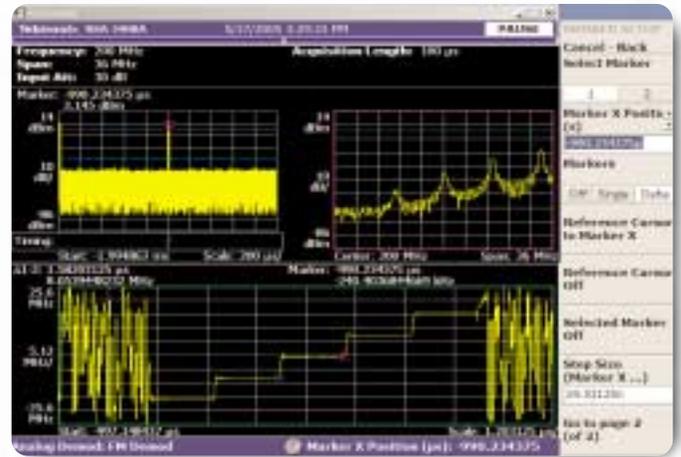
새로운 현상

구형 윈도우를 사용하면 시변 흡을 더 잘 볼 수 있지만, 흡의 가장 자리로부터 매우 바람직하지 않은 현상이 발생합니다. 이 같은 현상이 우리가 관찰해야 할 작은 신호들을 가리게 됩니다. 실제로 그림 11에서 볼 수 있는 바와 같이 단 하나의 흡 세그먼트의 말단 효과는 분광사진에서 중요한 Moiré 패턴으로 나타납니다.

이와 같은 말단 효과는 펄스가 FFT 프레임이 샘플들을 포함할 때에만 효과적으로 시작되고 펄스 자체가 끝날 때 중단됨으로 인해 형성됩니다. 이것은 윈도우 필터가 없는 경우에는 오버랩된 FFT를 따라 이동할 때 첫번째 FFT 프레임에서는 가파르고 좁은 펄스를, 전체 펄스가 1 프레임 내에 위치하게 될 때까지는 각 후속 프레임에서 약간 더 넓은 펄스를 볼 수 있음을 의미합니다.

각 프레임이 이전 FFT에서 볼 수 있는 것보다 약간 더 넓은 펄스를 분석함에 따라, 사인 x/x 펄스 스펙트럼이 주기적으로 변하며 분광사진에 패턴이 형성됩니다.

반면에 필터가 없는 경우에는, 단 하나의 주파수 스텝도 다른 스텝보다 감소되지 않는 상태에서 이 호핑된 펄스의 모든 주파수 컴포넌트들이 적어도 1 FFT 프레임 길이의 시간 부분으로 시간이 신장되는 것을 볼 수 있습니다. 이들 컴포넌트는 펄스의 짧은 길이 만큼 동일하게 감소됩니다. 또한 오버랩된 FFT를 통해 이 시간 포지션 내에 정확히 위치하는 FFT 윈도우를 선택할 수 있습니다. 그림 9 상단의 분광사진 뷰에서 이것을 볼 수 있습니다. 그림에서 모든 흡 컴포넌트는 기울어(tilt)지지 않고 동일한 진폭으로 나타납니다.



▶ 그림 12. 시간 이벤트의 측정.

시간 이벤트 측정

그렇다면 시간을 측정하기 위해서는 어떻게 해야 할까요? 텍트론릭스 RTSA는 시변 현상의 정확한 측정을 위한 최적의 솔루션입니다. 시간 또는 복조 모드를 사용하기만 하면 됩니다.

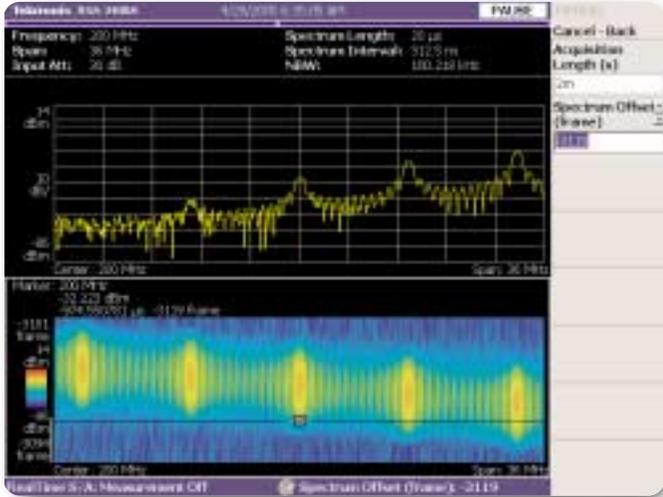
RTSA는 또한 시간 상관 다중 영역 분석 기능을 제공하며, 이를 통해 시간의 변화를 정확하게 측정할 수 있습니다. 이와 같은 주파수 호핑된 펄스에는 FM(Frequency Demodulation) 모드(주파수 대 시간)를 사용합니다.

시간 상관 다중 영역 분석

그림 12의 하단 윈도우에서는 주파수 대 시간을 보여줍니다(FM 복조가 선택됨). 델타 마커는 펄스의 단일 흡 부분의 변환 지점에 위치하고 있습니다.

판독 값은 1.602 마이크로 초의 흡 시간을 보여줍니다.

마커는 스텝의 가장자리에 위치하고 있으므로, 8MHz 주파수 스텝의 크기도 정확하게 측정합니다.



▶ 그림 13. 낮은 주파수의 진폭은 더 낮게 보입니다.

진폭 효과

단펄스

앞서 언급한 바와 같이, 1 FFT 프레임보다 짧은 펄스 또는 기타 RF 이벤트는 신호가 차지하는 FFT 프레임의 양에 비례하는 진폭으로 감소된 스펙트럼 정보로 변환됩니다 (Parseval의 정의).

그림 13을 보십시오. 펄스를 포함하고 있는 1 FFT에 의해 산출된 스펙트럼은 진폭이 뚜렷하게 변하고 있습니다.

가장 위쪽의 주파수는 약 -15 dBm, 다음으로 낮은 주파수는 -21 dBm, 다음 두 개의 주파수는 -31 및 -45 dBm으로 나타나며 마지막 주파수는 잡음 수준 아래에서는 보이지도 않습니다.

하지만 우리는 모든 흡 세그먼트의 진폭이 같다는 것을 알고 있습니다. 전반적인 진폭 감소는 개별 세그먼트가 1 FFT 프레임보다 짧기 때문에 발생합니다.

개별 세그먼트 간의 진폭 차이는 FFT 윈도우 필터 내의 위치 (프레임 내의 위치) 때문입니다. 펄스가 FFT 프레임에 대해 완전히 비동기적이므로, 우리가 측정된 펄스는 프레임의 시작점에 가깝게 위치하게 됩니다.

따라서 (주파수가 가장 낮은) 첫번째 흡은 FFT에 적용된 윈도우 기능으로 인해 크게 감소되었습니다. 이와 같은 감소 폭은 흡이 프레임의 후반부에 발생할수록, 따라서 윈도우 기능의 중앙에 더 가까워질수록 더 작아집니다.

이 표는 몇 가지 단펄스 길이에 대한 보정 값들을 보여줍니다. 이 표에서는 36 MHz의 실시간 대역폭이 사용되었습니다. 이 대역폭은 20 마이크로 초의 FFT 프레임 길이를 사용합니다. 프레임 시간 이

상의 펄스 길이는 진폭의 정확한 측정이 가능합니다.

이 표에는 감소된 진폭의 단펄스가 보고되는 원인이 되는 오류들이 열거되어 있습니다.

이 표에 사용된 계산식에서는 펄스가 프레임의 중앙에 위치하고 있으며 사용되는 윈도우가 세로열의 제목에 표시되어 있는 바와 같이 None 또는 BH-4B인 것으로 가정합니다.

또한 인입 신호의 중심 주파수가 분석기가 설정된 주파수와 다르기 때문에 발생하는 스칼러핑(scalloping) 오류가 존재하지 않는다고 가정합니다. 스칼러핑 오류는 신호가 FFT의 정 중앙에 위치하지 않아 10분의 몇 dB의 추가적인 오류를 야기할 수 있는 경우에 발생합니다. 이와 같은 오류는 필터를 교체하면 처리가 가능합니다.

BH-4B 윈도우를 위한 두 개의 세로 행은 이론 및 측정입니다. 측정된 결과값은 이론 값에 극도로 근접해 있습니다.

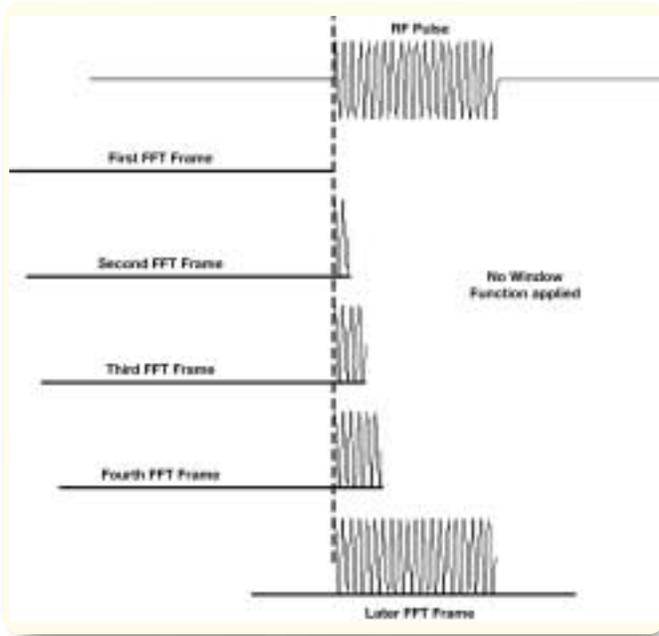
20 마이크로 초 FFT 프레임의 중간에 위치하는 단펄스에서 볼 수 있는 진폭 감소(풀 프레임 진폭으로 정규화됨)

펄스 길이 (마이크로 초)	구형 필터 (없음)	Blackman-Harris BH-4B (측정 값)	BH-4B (이론 값)
20 이상	0dB	0dB	0dB
8	-7.96dB	-1.61dB	1.45dB
4	-13.98dB	-5.72dB	5.74dB
2	-20.00dB	-11.29dB	11.37dB
1	-26.02dB	-17.23dB	17.18dB
0.5	-32.04dB	-23.19dB	23.34dB
0.25	-38.06dB	-29.11dB	29.62dB

▶ 표 2. 단펄스의 진폭 감소.

RTSA FFT 오버랩 프로세싱 입문서

▶ 응용 자료



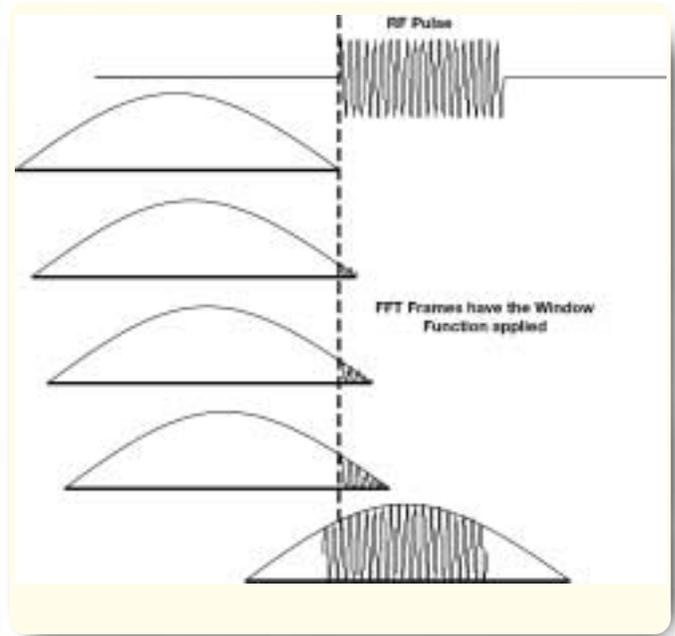
▶그림 14. 오버랩된 FFT 프레임과 단일 펄스.

그림 14의 상단에서는 RF의 펄스를 볼 수 있습니다. 그 아래에는 순차적으로 오버랩된 네 개의 FFT 프레임 시간을 표시하는 네 개의 선이 그려져 있습니다. 이들 각 프레임은 앞으로 나가면서 더 많은 RF 펄스를 포함하고 있습니다.

각 프레임에 포함된 전력은 이전 프레임에 포함된 전력보다 더 높음을 알 수 있으며, 아래 쪽에는 중심 부위에 전체 펄스를 포함하는 프레임(시간적으로 상당히 나중에 캡처된)을 볼 수 있습니다. 이 프레임은 프레임 중에서 가장 높은 펄스 진폭을 보여줍니다.

이들 FFT 프레임에는 윈도우 필터가 사용되지 않습니다.

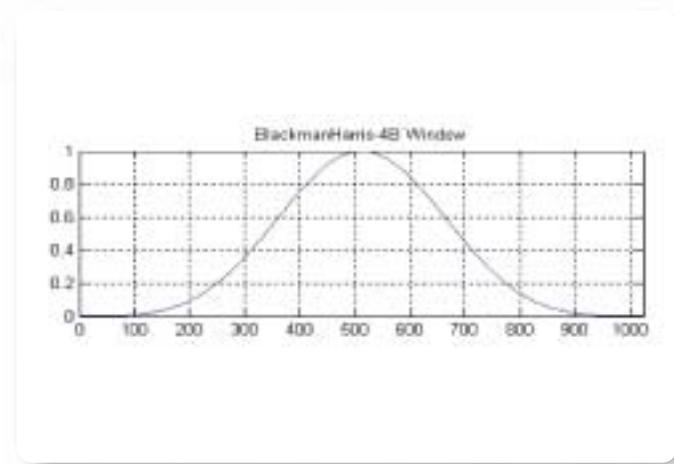
그림 15에서는 시간 윈도우 필터가 추가된 동일한 펄스 및 FFT 프레임을 볼 수 있습니다. 이 그림은 펄스가 필터의 가장자리에 위치할 때에는 펄스 진폭이 크게 감소하지만 프레임 중앙에 위치한 펄



▶그림 15. 윈도우 기능이 적용된 FFT 프레임.

스의 진폭은 약간만 감소하는 것을 보여줍니다.

길이가 1 프레임 이상인 RF 신호는 정확한 진폭의 측정이 가능하며, 진폭은 프레임 전반에 걸쳐 연속적입니다. FFT 프로세스에 의해 보고되는 진폭은 윈도우 기능을 위해 사용되는 필터의 응답에 대해 정규화됩니다. 다음으로 여기에 사용된 특정 필터를 살펴해보도록 하겠습니다.



▶ 그림 16. BH-4B 윈도우 플롯.

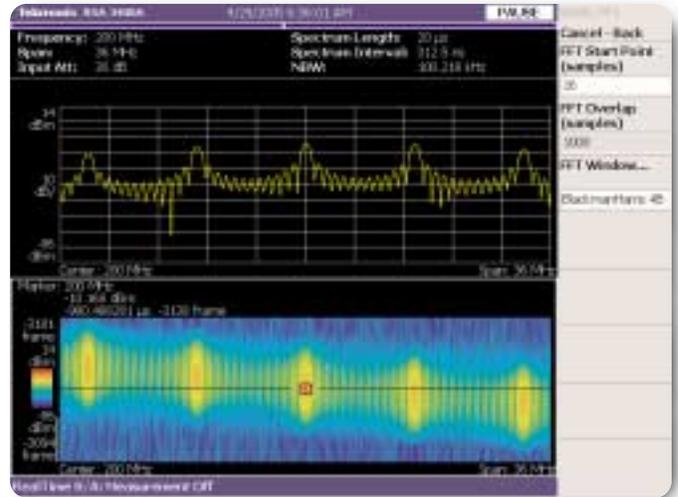
Blackman-Harris 윈도우

텍트로닉스 RTSA 제품에 장착되는 기본 FFT 시간 윈도우는 Blackman-Harris BH-4B 윈도우입니다. 그림 16은 이와 같은 필터의 정규화된 응답에 대한 플롯입니다.

이 필터가 사용되지 않는 상태에서 FFT가 입력 샘플의 프레임 상에서 작동할 경우, 스펙트럼의 갑작스러운 시작 또는 중단으로 인해 생성되는 다수의 스펙트럼 현상이 발생하게 됩니다. 이에 대한 해결책은 이 필터(또는 유사 필터)를 사용하여 프레임의 중단에서 나오는 응답을 0으로 감소시키는 것입니다. 그런 다음 프레임의 중앙에 인접한 샘플들의 기여를 점차적으로 증가시켜야 합니다.

이 플롯의 수평 축은 1024 샘플로 구성된 프레임입니다.

이 플롯으로부터 필터를 적용한 프레임과 필터를 적용하지 않은 프레임 간의 차이를 계산하여 펄스 폭 대 표시된 진폭의 표(표 2)를 얻게 됩니다.



▶ 그림 17. 다중 주파수 흡을 표시하는 시간 내 단일 마커.

진폭 감소 계산하기

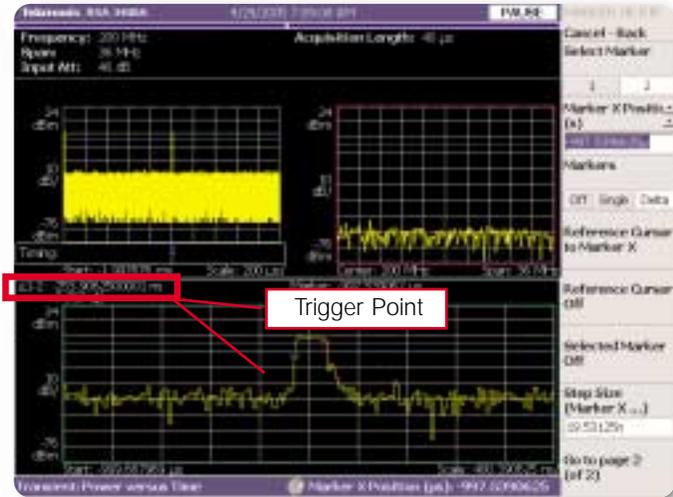
그림 17을 통해 오버랩된 FFT를 사용하고 마커를 신장된 디스플레이의 정중앙 또는 중앙 근처에 위치시킬 경우, 펄스가 프레임의 중앙에 위치하는 FFT의 결과인 스펙트럼을 볼 수 있게 됨을 알 수 있습니다. 이 그림을 통해 모든 주파수 흡이 단일 프레임 내에 포함되어 있고, 프레임에 적용된 윈도우 기능의 중앙에 위치하고 있음을 볼 수 있습니다. 이들 흡의 판독 값은 $-13 \text{ dBm} \sim -16 \text{ dBm}$ 사이입니다.

각 흡의 길이가 1.6 마이크로 초이고 전체 프레임의 길이가 20 마이크로 초이므로, 분광사진에 기록된 전력은 Parseval의 정의에 의해 감소될 것으로 예상할 수 있습니다. 계산 공식은 $20\text{Log}(1.6/20) = -21.9 \text{ dB}$ 입니다. 또한 총 -13.66 dB 에서 FFT 윈도우 필터(표 2의 BH-4B 필터 응답)가 $+8.24 \text{ dB}$ 이기 때문에 20 마이크로 초 길이의 프레임에 대한 전력 판독 값이 이미 지니고 있는 보정도 고려해야 합니다.

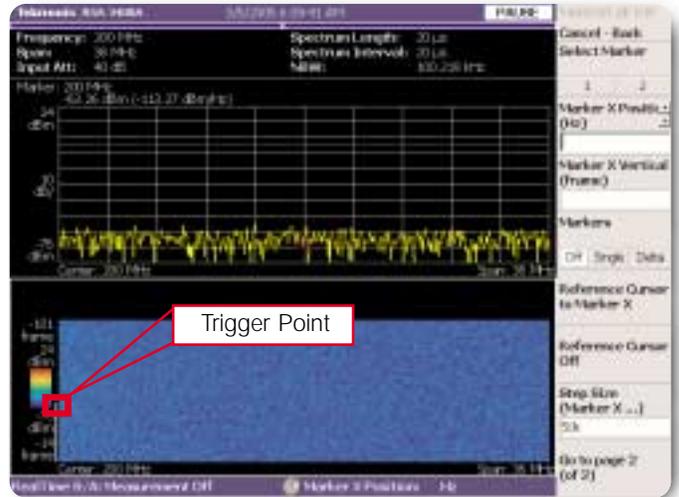
이를 통해 좁은 펄스 진폭에 대한 판독 값을 수동으로 보정할 수 있습니다. 중심 펄스의 판독 값은 -10.071 dBm 이고, 13.66 dB 의 감소에 대한 보정이 이루어져야 합니다.

이 펄스에 대한 정확한 진폭은 $+3.589 \text{ dBm}$ 입니다. 이 펄스가 1 FFT 프레임보다 더 길게 신장될 경우 측정 값은 $+3.51 \text{ dBm}$ 입니다. 이것은 실제 측정과 이론적 계산이 매우 가깝게 일치함을 보여줍니다.

윈도우의 중앙에 위치하지 않는 펄스의 진폭 보정의 계산은 훨씬 더 어려우며, 필터의 양쪽 끝에 대해 BH-4B 곡선이 개별적으로 사용되어야 합니다.



▶ 그림 18. 시간 뷰를 통해 쉽게 측정할 수 있는 250 ns의 펄스.



▶ 그림 19. 250 ns의 펄스는 스펙트럼에서는 보이지 않습니다.

기타 윈도우

텍트로닉스 RTSA 제품에서는 몇 가지의 다양한 윈도우를 사용할 수 있습니다. 본 문서에서는 BH+4B 및 구형 윈도우 관련 문제들에 대해 설명한 바 있습니다. 다른 윈도우들은 기본 윈도우보다 훨씬 크거나 작은 시간 및 진폭 효과를 보입니다. 기타 윈도우를 사용하는 경우에는 진폭 및 피상 분광사진의 상승 시간 효과를 다시 계산해야 합니다.

특정 신호를 위한 최적의 윈도우 기능 선택은 본 문서에서 다루지 않을 것입니다.

극초단 펄스

1 FFT보다 길이가 훨씬 짧은 펄스는 분광사진이나 스펙트럼 뷰를 통해 볼 수 없습니다. 이와 같은 펄스는 전력 트리거에 의해서만 유발이 가능하며, FFT 프레임은 펄스와 정확히 동시에 유발되고 시작됩니다. 이로 인해 펄스는 FFT 프레임의 시작점, 따라서 윈도우 필터의 한쪽 끝 부분에 위치하게 됩니다.

전력 대 시간 디스플레이는 단펄스의 측정을 위해 사용됩니다.

펄스 측정 제품군은 400 ns까지의 단펄스의 특성화를 위해 고안되었습니다. 400 ns보다 더 짧은 펄스에는 시간 상관 다중 영역 측정이 적합합니다.

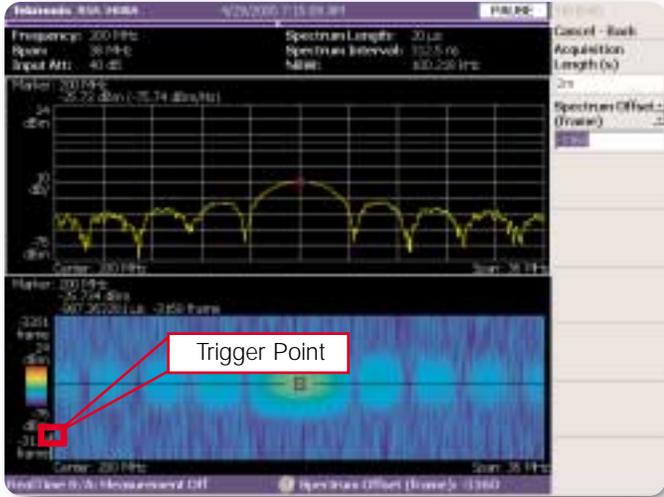
전력 트리거는 극초단 펄스에 대해 작용합니다. 이 트리거는 단순히 선택된 임계 값을 상회하는 디지털화된 샘플들을 찾아냅니다.

그림 18에서는 250 ns 펄스 상의 마커가 254 ns 폭의 측정값을 보고하고 있는 것을 볼 수 있습니다.

펄스 진폭은 좁은 폭으로 인해 이미 매우 낮은 상태입니다. 하지만 펄스가 프레임의 가장자리에 존재하므로, 윈도우 기능을 통해 진폭이 잡음 수준 이하로 추가 감소하게 됩니다. 그림 19을 참조하십시오.

이 펄스의 길이는 250 ns이며, 이것은 1 프레임의 1 퍼센트보다 아주 약간 더 긴 것입니다. 이 펄스를 시간 영역에서 이미 볼 수 없었다면, 펄스의 존재를 추측할 수 있는 유일한 길은 분석기가 트리거를 실행했다는 사실, 그리고 분광사진이 신호가 존재하지 않는데도 반 정도 상승한 트리거 포인트를 보여주고 있다는 사실 뿐입니다.

이것이 바로 오버래핑 FFT가 펄스에 대한 스펙트럼 가시성의 결여와 뛰어난 가시성의 제공 사이의 커다란 차이점을 보여주는 경우입니다. 그림 19와 그림 20을 비교해 보십시오. 그림 20에서는 인접 프레임 다음에 16 샘플마다 각 프레임이 시작되도록 오버래핑이 설정되어 있습니다.



▶ 그림 20. 250 ns의 펄스를 볼 수 있습니다.

그림 20에서 윈도우의 중심에 위치한 펄스가 포함된 스펙트럼을 선택하면 이제 분광사진과 스펙트럼을 모두 명확하게 볼 수 있습니다. 이것은 FFT 오버랩을 통해서만 가능한 것입니다.

(좌측 흰색 막대의 위에 있는) 트리거 포인트와 관측이 가능한 펄스의 시작점 사이에서 볼 수 있는 시간 지연에 주의하시기 바랍니다. 이것은 트리거가 신호를 포함한 첫번째의 (오버랩되지 않은) 프레임에서 발생하기 때문입니다. 윈도우 필터가 프레임을 0으로 감소시키기 때문에 이 프레임은 신호의 모양을 하고 있지 않습니다. 오버랩이 진행됨에 따라, 프레임은 관측이 가능한 양에 도달할 때까지 점점 더 많은 신호를 포함하게 됩니다. 이와 같은 피상 지연을 야기하는 것은 앞서 언급한 바 있는 상승 시간입니다.

이제 이 펄스를 포함하는 64 FFT 프레임이 존재합니다. 이 중에서 다섯 개의 프레임은 펄스가 중심에 매우 가깝기 때문에 진폭이 서로에 대해 0.2 dB 내로 측정됩니다.

오버랩 설정의 핵심은 필요 이상의 오버랩을 설정하는 것이 아니라, 가장 작은 펄스도 캡처할 수 있도록, 또는 시변 현상을 보여줄 수 있도록 충분한 오버랩을 설정하는 것입니다. 오버랩이 과도하면 스펙트럼 이벤트의 과도한 시간 번짐을 야기하게 됩니다.

오버랩을 통해 할 수 없는 것

FFT의 오버랩 처리는 RTSA의 하드웨어 설정을 변경하지 않고 연속적인 레코드를 디지털화할 수 있는 실시간 스펙트럼 분석 모드에서만 작동합니다.

RTSA의 실시간 대역폭보다 더 넓은 범위에 대해서는 서로 다른 RF 컨버터 설정을 사용하여 수집한 여러 결과를 한 데 모아야 하며, 따라서 FFT 오버래핑 기능이 작동할 수 없습니다. 우리가 살펴본 예에서는 실시간 대역폭이 36 MHz입니다.

오버랩이 제공하는 측정 해상도는 가시성의 향상 만큼이나 뛰어나지는 못합니다. 윈도우 필터를 제거하더라도 여전히 유효 상승 시간 제한이 존재하며, 시간 신장의 효과 또한 여전히 존재합니다. 이와 같은 한계는 RTSA의 시간 영역 디스플레이를 사용함으로써 극복이 가능합니다.

결론

오버랩된 FFT는 짧은 시변 RF 현상의 가시성을 크게 (최대 2000 배) 증가시켜 줍니다. 오버랩된 FFT는 1 표준 (오버랩되지 않은) FFT 프레임보다 짧은 시간의 다수의 시변 이벤트를 보여줄 수 있으며, 따라서 이전 세대의 RTSA에서는 볼 수 없었던 극초단 펄스를 관측할 수 있게 해줍니다.

오버랩된 FFT는 테크트로닉스 RTSA 제품이 제공하는 강력한 분석 기능의 일부에 지나지 않으며, 가장 완전하고 정확한 결과를 얻기 위해서는 오버랩된 FFT를 다른 심층 분석 모드와 함께 사용하여야 합니다. 극초단 RF 현상에 대해서는 시간 또는 복조 모드를 통해 오버랩 FFT 프로세스 중에 발생하는 일부 상쇄조건에 영향을 받지 않고 시간 및 전력에 대한 정확한 측정을 할 수 있습니다.

오버랩된 FFT는 분광사진을 위한 극도로 효율적인 시간 인핸서 (enhancer)이며, 이를 통해 엔지니어들은 전에는 볼 수 없었던 극도로 짧은 RF 이벤트들을 파악할 수 있게 됩니다.

RTSA FFT 오버랩 프로세싱 입문서

▶ 응용 자료

제품	그림 번호	AWG 파일 이름	RTSA 데이터 파일	RTSA 상태 파일
RSA3408A	그림 3, 4, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 17	IF_HOP_LIN_LAP.EQU	Hop-1.iqt	Hop-1.sta
	그림 18 ~ 20	IF_Pulse250ns.EQU	QuartUsPulse.iqt	QuartUsPulseSpec.sta QuartUsPulseFM.sta
	(그림 없음)	IF_Pulse250nsTrain.EQU		
	그림 5, 6	IF_HOP_RND_LAP.EQU	RND-HOP.iqt	RND-HOP-SA.sta RND-HOP-SA-LAP.sta RNS-HOP-FM.sta

▶ 표 3. 데모 파일 이름.

부록 A: 펄스 생성 파일

본 문서에서 사용된 모든 신호를 제공하기 위해 텍트로닉스 AWG710B 임의 파형 생성기가 사용되었습니다. 이들 모든 파형을 위한 Equation 파일들도 준비되어 있습니다.

이들 Equation 파일은 AWG로 로딩된 후 필요한 파형 및 시퀀스 파일로 컴파일되어야 합니다.

또한 RTSA에 의해 디지털화된 신호들을 포함하고 있는 데이터 파일도 제공되며, 본 문서의 스크린샷에서 볼 수 있는 특정 결과를 얻기 위해 RTSA 를 사전에 설정할 수 있도록 셋업 파일도 제공됩니다.

표 3은 본 문서에 제시된 개념들을 설명하는 데 도움이 되는 이들 파일과 다른 기타 파일들의 목록입니다.

이들 파일은 Tektronix.com의 소프트웨어/드라이버 섹션에서 '오버랩된 FFT 입문서 파일'을 검색하시면 찾아보실 수 있습니다.

텍트로닉스 연락처:

동남아시아/대양주/파키스탄 (65) 6356 3900
오스트리아 +41 52 675 3777
발칸, 이스라엘, 남아프리카 및 다른 ISE 국가들 +41 52 675 3777
벨기에 07 81 60166
브라질 및 남미 55 (11) 3741-8360
캐나다 1 (800) 661-5625
중앙동유럽, 우크라이나 및 발트국 +41 52 675 3777
중앙 유럽 및 그리스 +41 52 675 3777
덴마크 +45 80 88 1401
핀란드 +41 52 675 3777
프랑스 및 북아프리카 +33 (0) 1 69 86 81 81
독일 +49 (221) 94 77 400
홍콩 (852) 2585-6688
인도 (91) 80-22275577
이태리 +39 (02) 25086 1
일본 81 (3) 6714-3010
룩셈부르크 +44(0) 1344 392400
멕시코, 중앙아메리카 및 카리브해 52 (55) 56666-333
중동, 아시아 및 북아프리카 +41 52 675 3777
네덜란드 090 02 021797
노르웨이 800 16098
중국 86 (10) 6235 1230
폴란드 +41 52 675 3777
포르투갈 80 08 12370
대한민국 82 (2) 528-5299
러시아 및 CIS 7 095 775 1064
남아프리카 +27 11 254 8360
스페인 (+34) 901 988 054
스웨덴 020 08 80371
스위스 +41 52 675 3777
대만 886 (2) 2722-9622
영국 및 아일랜드 +44 (0) 1344 392400
미국 1 (800) 426-2200
기타 지역: 1 (503) 627-7111
최종 갱신일 2005년 6월 15일

추가 정보

Tektronix는 최첨단 기술을 다루는 엔지니어를 지원하기 위해 응용 자료, 기술 문서 및 기타 리소스 등을 총 망라한 방대한 자료를 보유 관리하고 있으며 이를 계속 확장하고 있습니다.
www.tektronix.com을 참조하십시오.



Copyright © 2005, Tektronix, Inc. All rights reserved. 텍트로닉스 제품은 현재 등록되어 있거나 출원중인 미국 및 국제 특허의 보호를 받고 있습니다. 이 문서에 포함되어 있는 정보는 이전에 발행된 모든 자료에 실린 내용에 우선합니다. 사양이나 가격 정보는 예고 없이 변경될 수 있습니다. TEKTRONIX 및 TEK은 Tektronix, Inc.의 등록 상표입니다. 본 문서에 인용된 다른 모든 상표는 해당 회사의 서비스 마크, 상표 또는 등록 상표입니다.

06/05 EA/WOW

37K-18839-0

Tektronix
Enabling Innovation