신기술 논고

디지털 TV 시스템과 측정 가이드

방동선
한국텍트로닉스주식회사 계측기사업부

1. 머리말

디지털 비디오 전송 시스템과 전송 신호의 상태를 정의하기 위해서는 새로운 시험과 측정 방법이 필요하다. 프로그램 비디오나 오디오의 신호를 분석하는 방법은 잘 알려져 있지만, 이것들이 디지털 형태로 변환된 이후에는 종전에 사용하던 기저대역 신호를 분석하는 것과는 크게 다르다.

본고에서는 디지털 TV 시스템을 설계하는 사람이나 사용자에게 관심이 될 만한 몇가지 주제로 내용이 다루어 진다.

2. 디지털로의 변화

디지털 TV는 아날로그 TV에 비하여 많은 장점을 가지고 있다. 특히 반복 복사시 화질 열화가 없고 유지 보수가 간단하며 시스템의 안정성이 뛰어나다. 이러한 디지털 TV는 보는 관점에 따라 컴포넌트/컴포지트, 직렬/병렬 등 여러가지 방식이 있으나 화질의 측면에서 특성이 보다 좋은 컴포넌트 방식이, 인터페이스 측면에서는 복잡하지 않고 실용적인 시리얼 방식이 선호되고 있다.

카메라와 같은 영상 신호원은 컬러 영상을 RGB의 3가지 성분으로 표현하지만 텔레비젼 신호는 일반적으로 휘도와 색차 신호들로 변환 된다(컴포넌트 비디오에 관한 형식이나 운용 레벨등이 NTSC방식에서는 표준화 되어 있지 않다.)

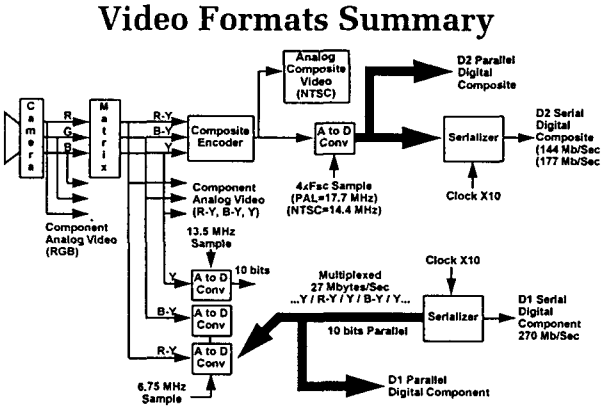


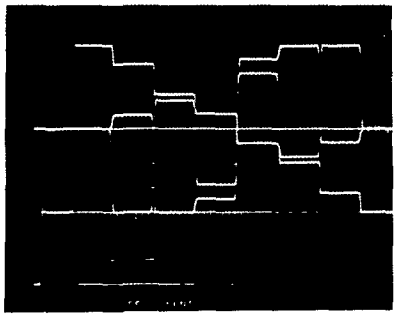
그림 1. 각종 비디오 형식의 요약

색차신호 영역에서는 Y, B-Y, R-Y가 복합되어 운용되며 그것들이 GBR로 변환될 때 정상 경계레벨(Gamut)을 벗어날 수 있으므로 신호의 레벨은 매우 중요하다. 그래서 이러한 신호들을 아날로그나 디지탈 형식으로 운용 조정할 때 색차신호의 경계레벨을 확인해야 한다. 또한 영상 신호가 서로 다른 전달 경로를 가지므로 각 채널별 주파수 응답 특성, 진폭 특성 그리고 채널간 전달 지연 특성의 측면도 신중히 고려해야 한다.

2.1 진폭의 측정

Y,B-Y,R-Y 신호의 색차 신호간에 진폭 오차가 발생하면 영상신호의 색상(Hue)과 포화도(Saturation)

가 변한다. 컴포넌트 신호를 모니터링하는 장비는 기본적으로 중첩(overlay)과 분리(parade) 모드를 선택하여 볼 수 있도록 되어있다. 이때 중첩 모드를 선택하면 채널들의 진폭을 보기 쉽게 비교할 수 있으며, 분리 모드를 선택하면 각 채널별 신호의 절대 진폭을 측정하는데 편리하다.



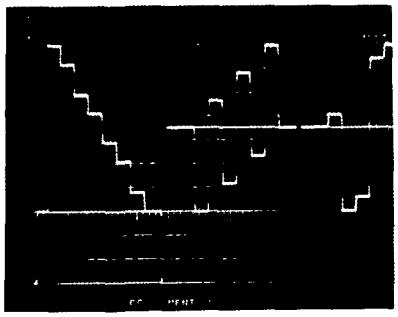


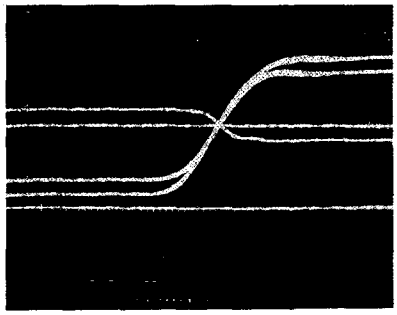
그림 2. 중첩모드(윗쪽)와 분리 모드(아래쪽)
- Color Bars신호 예

2.2 타이밍 측정

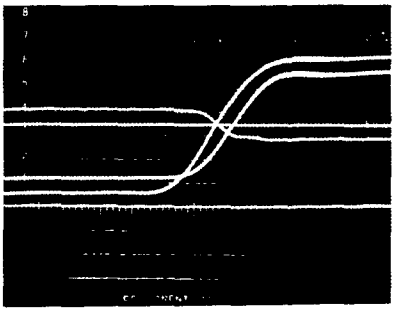
컴포넌트 신호 채널간에 타이밍 에러가 발생한다면 영상 신호의 위치가 달라지고 이로 인해 화상의 윤곽 부분에서 왜곡이 발생하게 된다. 이런 상태에서 제작된 프로그램은 화상 윤곽 부분의 sharpness를 열화시켜 결국 focus가 흐려지는 듯한 현상을 야기 한다. 이런 경우 채널간 타이밍 관계를 측정해볼 필요가 있다. 일반적인 타이밍 측정 방법 두가지를 소개하면 아래와 같다.

2.2.1 Color Bars신호를 사용한 측정

Color Bars의 신호에서 Green과 Magenta의 경계부분은 3채널의 레벨이 급격히 변하는 부분으로 모니터를 중첩 모드에 놓고 이 부분을 확대해 보면 정상 신호의 경우 진폭의 50%지점에서 모두 교차하게 된다.



〈정상 신호〉



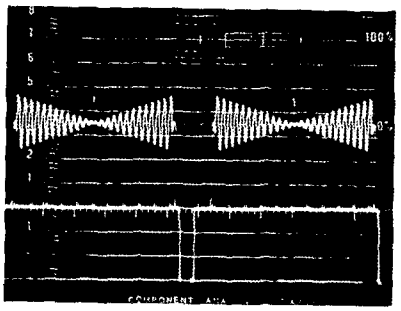
〈채널 2가 지연된 신호〉

그림 2-1. Color Bars를 이용한 타이밍 측정

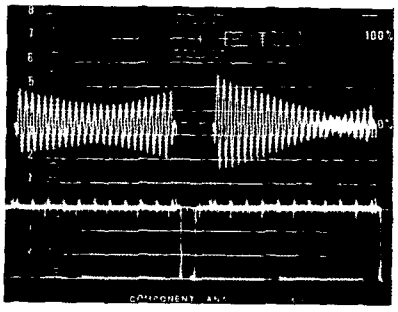
2.2.2 Bowtie[1] 신호를 사용한 측정

Bowtie 신호는 채널간 상대 진폭과 상대 타이밍을 측정하기 위해 Tektronix사가 개발한 신호로서 한 채널은 500Khz, 나머지 두 채널은 502Khz의 주파수를 갖고 각 채널 모두 동일 진폭인 신호이다. 이 신호는 모니터의 회로에서 채널별로 감산하여 모니터 화면의 왼쪽에는 CH1 - CH2의 결과를, 오른쪽에는 Ch1-CH3의 결과를 디스플레이 한다. 정상적인 타이밍과 이득 특성을 갖는 장비라면, Bowtie의 모양이 대칭을 이루며 그 교차점의 모양이 정확하게 나타난다. 이 모드는

1) Tektronix, Inc.의 특허임



〈정상 신호〉



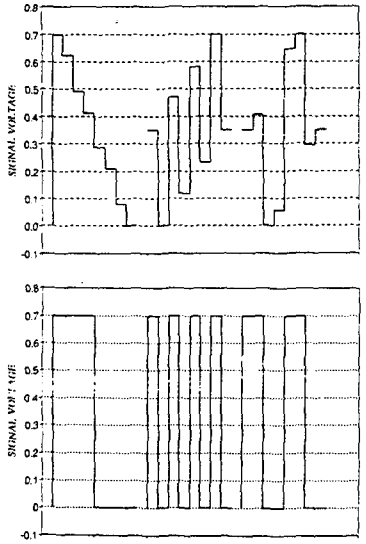
〈타이밍과 이득 에러가 있는 신호〉

그림 2-2. Bowtie Display

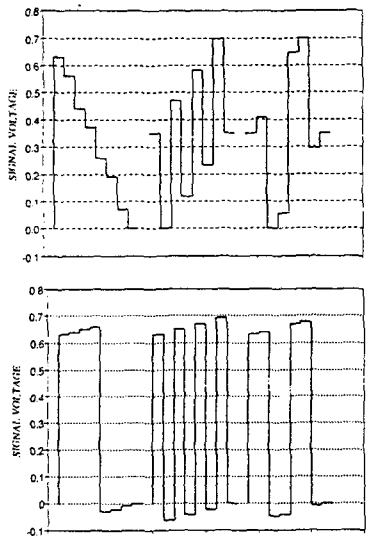
Tektronix의 1760과 WFM601시리즈 모니터에서 지원한다.

2.3 Gamut에러

컴포넌트 시스템에서 고화질의 프로그램을 제작하기 위하여 위에서 설명된 진폭및 타이밍 측정 뿐만 아니라 Gamut 에러를 감시하여야 한다. RGB신호를 제외한 컴포넌트 신호 규격은 휘도 신호와 색차 신호들로 되어 있다. 이러한 규격에서는 일반적인 방법으로 검출해 낼 수 없는 진폭에 따른 에러가 발생할 수 있다. 이는 컴포넌트 신호를 다른 포맷의 신호로 변환할 때 발생할 가능성이 있어 어느 포맷에서는 신호가 규정된 진폭 범위내에 있다 할지라도 다른 포맷에서는 규정 범위를 초과하는 경우가 있다. 이런 경우는 신호가 clip되거나 다른 왜곡의 원인이 된다. 아래의 예는 규정 범위를 만족하는 정상적인 Color Bars 신호가 RGB 컴포넌트로 변환되었을때와, 규정 범위 내에는 있으나 비 정상적인 Color Bars가 RGB로 변환 되었을 때를 비교한 그림이다.



〈정상 신호〉



〈Gamut 에러 신호〉

그림 2-3. Gamut의 비교

이러한 Gamut에러를 확인하는 방법으로 Tektronix에서는 Diamond Dislpay [2]를 개발하였다.

컴포넌트 신호를 받아 G와 B신호의 합·차를 모니터

2) Tektronix, Inc.의 특허임

의 위쪽 부분에 G와 R신호의 합·차를 모니터의 아래 부분에 두개의 꼭지점을 붙여 배치하고 규정 범위를 표시하여 마치 다이아몬드 두개를 맞붙인 모양으로 디스플레이한다. 사용자는 이 디스플레이 모드에서 다이아몬드의 경계를 살펴 봄으로써 GBR Gamut 에러를 쉽게 검출할 수 있다.

덧붙여서 현재와 같은 아날로그 디지털 혼합 환경에서는 대부분의 제작및 편집을 디지털 컴포넌트로 한 후 송출시 아날로그 컴포지트로 변환할 경우 제작 편집되는 프로그램이 아날로그 컴포지트 경계 레벨을 지키고 있는지 확인하기가 매우 곤란해 진다. 이런 경우를 위해서 Tektronix의 WFM 601 시리즈 디지털 모니터는 Arrowhead Display를 이용하여 그 여부를 관찰 할 수 있게 도와 준다.

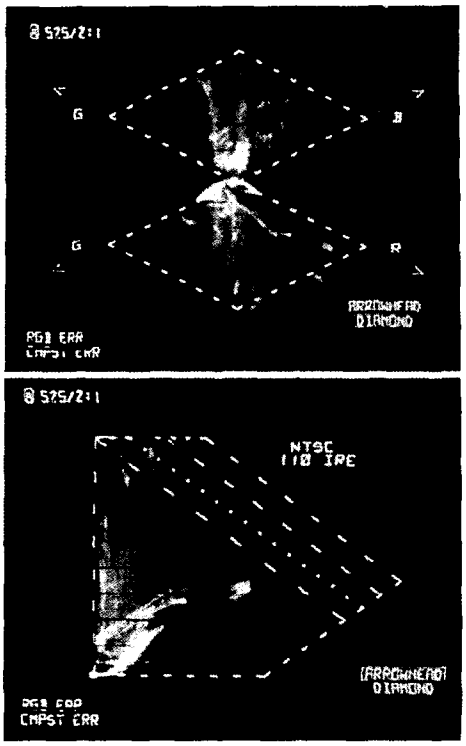


그림 2-4. Diamond Display 대 Arrowhead Display

3. 부가 데이터(Ancillary Data)와 내장형 오디오 (Embadded Audio)

디지털 시스템에서는 신호의 끝 지점과 시작 지점 사이의 구간(HANC[3];Horizontal Ancillary Data)과 수직 Blanking 구간(VANC[4];Vertial Ancillary Data)을 부가 데이터용으로 사용할 수 있다. (단, 525라인 시스템의 9번과 14번 라인은 에러 검출과 DVTIC를 위한 공간으로 배제됨) 이 부가 데이터는 헤더와 데이터를 포함하는 블럭 단위로 되어 있고 최대 255 워드의 사용자 데이터를 포함할 수 있다. 다중 데이터 패킷인 경우 개별 부가 데이터 공간에 들어갈 수도 있어 데이터 전송 채널로 사용할 수 있게 한다.

내장형 오디오 데이터 패킷의 기본 포맷은 AES 오디오에서 비롯되었다. AES/EBU 방식의오디오는 소스 하나당 2채널로 구성되며 이를 채널쌍(Channel pair)이라고 한다. 내장형 오디오에서는 오디오 4개 채널을 하나의 그룹으로하여 비디오 1 채널에 4개 그룹의 오디를 포함할 수 있어 최대 16채널의 오디오를 별도의 케이블 없이 비디오 구간에 내장하여 전송할 수 있다.

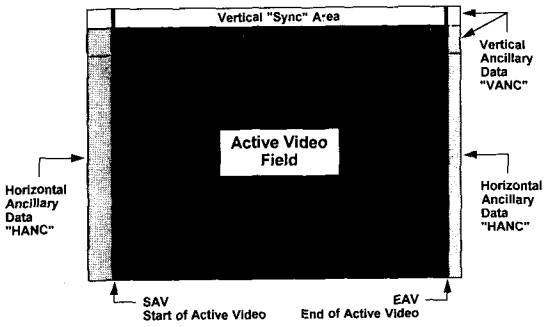
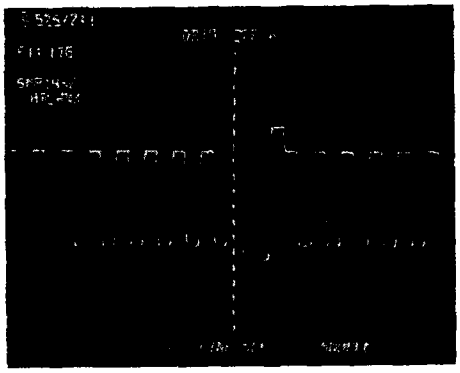
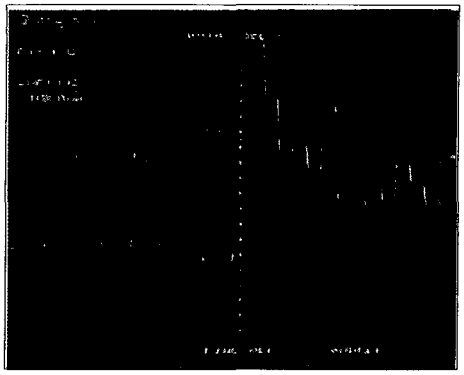


그림 3-1. 컴포넌트 신호의 블랭킹 구간



〈오디오 신호가 없는 경우〉

3) SMPTE에서 정의됨
4) EBU에서 정의됨



〈오디오 신호가 있는 경우〉

그림 3-2. 내장형 오디오 구간

4. 시리얼 신호의 측정

4.1 파형 측정

적절한 오실로스코프[5]나 신호 측정용 모니터를 사용하면 시리얼 신호의 eye-pattern을 관찰할 수 있다. 시리얼 디지털 신호 파형의 아날로그적 측정 항목은 진폭, 상승시간[6] 진폭이20%에서 80%에 도달하는데 소요된 시간, 지터등이 있다. 지터 측정시 단위로 UI(Unit Interval)를 사용하는데 시리얼 디지털 컴포넌트 신호에서의 UI는 3.7nSec이다. 일반적으로 시리얼 수신장치에서 검출되는 데이터는 eye의 중심부[7]에서 High 또는 Low로 결정된다.

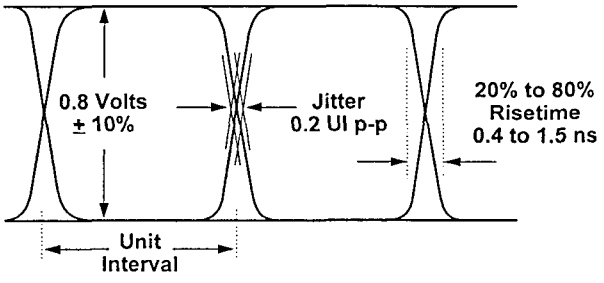


그림 4-1. 시리얼 신호의 규격

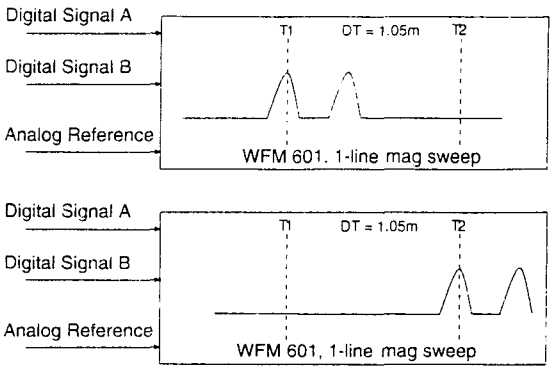


그림 4-2. 타이밍 측정

4.2 타이밍 측정

스튜디오 내의 시리얼 비디오 신호들간의 타이밍 차는 수 nsec에서 수 라인 까지 나타날 수 있다. Active Picture Timing Test Signal을 이용하여 디지털 파형 모니터(예: Tektronix WFM601M)에 두 개의 신호를 넣고 White Bar의 50%점을 찾아 번갈아서 파형을 관측하면 그 차이를 볼 수 있다. 이때 Line Select모드에서 타이밍 커서를 사용하고 필요에 따라 확대 디스플레이도 선택할 수 있다.

5 에러의 정의와 검출

5.1 에러의 정의

어떤 신호원과 수신단 사이에서 디지털 값이 변화했다면 이를 에러라고 정의 한다. 일반적으로 Routing Switcher나 Distribution Amp., Patch Panel, Digital Delay 등은 디지털 데이터를 변형시키지 않는다. 간혹 Routing Switcher가 소스를 선택[8]할 때 짧은 동요가 있을 수 있으나 이는 에러로 간주하지 않는다.

가시 신호를 변형시키지 않으리라 예상되는 장비로는 프로세싱 앰프 기능이 없는 Frame Synchronizer, 내장형 오디오 Mux/Demux, Straight-through 모드의 Production Switcher 그리고 E/E모드의 디지털

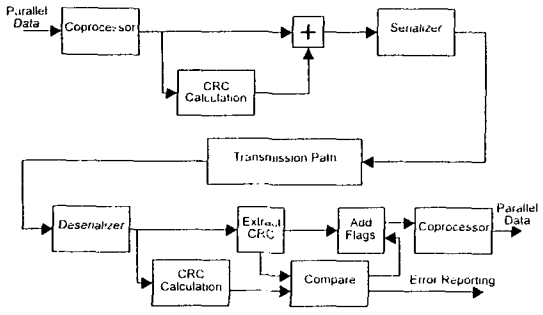
5) 270MB를 기준으로 하면 약 1Ghz 대역폭을 가진 오실로스코프(예;Tektronix TDS 784A)
6) 진폭이 20%에서 80%에 도달하는 소요된 시간
7) 어떤 수신기는 각 Edge의 정해진 시간에 판정함
8) SMPTE RP168에서 스위칭이 행해지는 라인을 정의함

VTR 등으로 수평 또는 수직 블랭킹 구간 내의 신호 일부를 바꿀 수 있는 기능이 있다. 또 신호를 변형시킬 수 있는 장비는 디지털 VTR 또는 디스크 레코더, Production Switcher등 이다.

5.2 에러의 정량화

데이터 전송에 있어서 에러는 BER(Bit Error Rate)로 환산하여 사용한다. 예를 들어 데이터 속도가 270Mb/s인 비디오 신호의 한 프레임당 하나의 에러가 발생한다면 이때 BER은 525라인 시스템에서 30/270 x 10^6=1.11 x 10^{-7} 이다. 그런데 비디오 신호 에러의 대부분은 순식간에 발생한다. 즉 간헐적인 에러가 아니라 한번에 수백개의 에러가 발생하므로 에러가 발생한 시간을 뜻하는 Errored Seconds의 단위를 사용하는 것이 효과적이다.

5.3 에러의 측정 방법



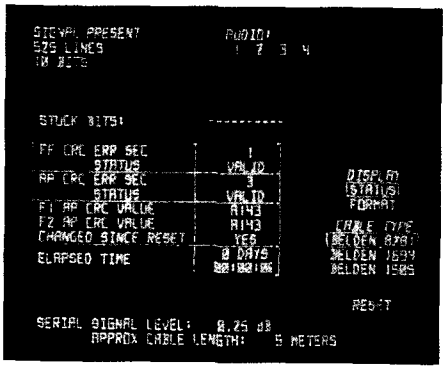


그림 5-1. 에러 검출 개념도와 예

Tektronix 사에서 디지털 TV에 있어서 에러 검출 방법을 개발하였고 이 방법이 시스템이 정상적으로 동작하는지의 여부를 판단하는데 감도와 정확도 측면에서 그 우수성이 검증되어 SMPTE RP 165로 채택되어 사용되고 있다. 즉 EDH(Error Detection & Handling) 개념으로 시리얼로 신호를 변환하기 전단에 비디오 매 필드 마다 CRC(Cycle Redundancy Code)를 만들어 시리얼 데이터와 함께 전송하고 수신단에서 이를 재 계산하여 원래의 값과 다를 경우 에러의 발생을 통보하고 Errored Seconds와 가장 최근에 발생한 에러와의 시간차를 알려준다. 이 기능은 매우 적은 비용으로 모든 송. 수신단 내부에 장착될 수 있고 여러 종류의 TV설비가 지닌 에러 정보를 전체 시스템 진단을 위해 중앙으로 집결할 수 있도록 한다.

6. 지터의 영향 및 측정

앞서 살펴본 eye-pattern에서 eye가 충분히 열려져 있다면 데이터는 완벽하게 복원된다. 실제 시스템에서 클럭은 시리얼 비트열(Serial Bit Stream)로 부터 추출되는데 신호상에 존재하는 지터가 이 추출되는 클럭에 포함된다.

데이터 복원을 위해 사용되는 추출된 클럭내에서의 지터 허용 범위에 준해서 다음 두가지 형태의 지터가 정의된다.

1) Timing Jitter : 어느 정도 낮은 주파수(약 10Hz) 이상에서 무지터 클럭에 비교했을 때 Zero Crossing과 같은 중요 순간의 시간 변동으로 정의

2) Alignment Jitter(또는 Relative Jitter) : 신호 그 자체로부터 복원된 클럭에 비교했을 때 Zero Crossing과 같은 중요 순간의 시간 변동으로 정의(이 클럭은 10Hz 이상의 지터 성분을 가지나 1KHz~10KHz 이상을 초과하지 않는다)

일반적으로 데이터는 지터를 가진 클럭을 이용하여 복원되므로 그 결과 디지틀 정보는 천이 에지(Transition Edges)상에 지터를 가지게 된다. 그래도 이는 아직 쓸만 하다. 왜냐하면 디지틀 신호 처리 장치는 클럭 주기의 중심 부위에서 High/Low 값을 결정하기 때문이다. 그러나 지터를 가진 동일 클럭이 디지털 정보를 아날로그로 변환하는데 쓰인다면, <그림 6-1>와 같은 에러가

발생한다. 정확한 시간에 아날로그로 변환되는 샘플값들은 직선을 만들겠지만 지터가 있는 클럭의 사용은 잘못된 아날로그 파형을 만들어 내게 된다.

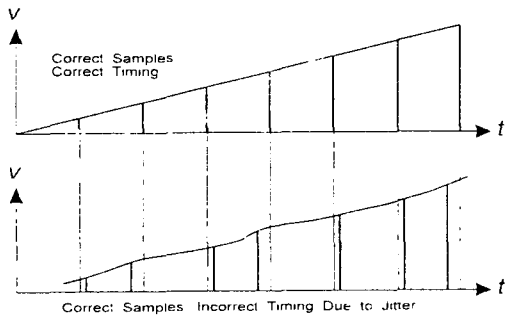


그림 6-1. 클럭 지터에 의한 신호 에러

⑵ 지터 측정

시리얼 디지털 신호의 지터를 오실로스코프를 이용하여 측정하는 몇가지 지터 측정 방법이 있다. 첫번째, Timing 지터의 측정은 지터가 전혀 없는 기준 클럭이 있어야 하고 두번째, Alignment(Relative) 지터는 시리얼 신호로 부터 추출된 클럭을 사용한다.

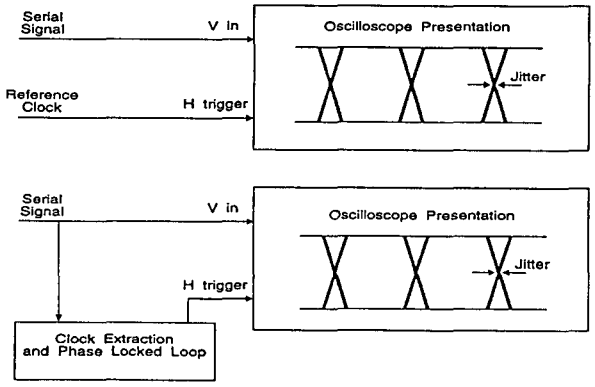


그림 6-2. 오실로스코프를 이용한 지터 측정

측정이라기 보다는 관찰인 세번째 방법으로, 〈그림 6-3〉에서 볼 수 있듯이 간단한 반면 정확한 데이터로 믿을 수 없는 자체 트리거 방식의 오실로스코프 측정이 있다. 파형의 상승(혹은 하강) 부위에서의 자체 트리거는 트리거 점이후 지연된 시간에서의 eye 패턴 관찰을 가능케 한다. 최근의 디지틀 샘플 방식 스코프를 사용하면 스코프내의 지연 회로 기능으로 극히 적은 양의 지터와 함께 장시간 지연이 가능하다.

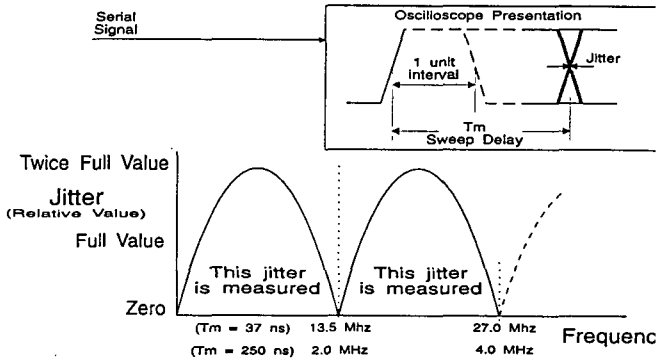


그림 6-3. 자체 동기식 지터 관찰

이 이외에도 Tektronix사의 WFM601M를 이용하면 복조된 지터의 양을 수치로 판독할 수 있어 시스템 지터의 측정이 훨씬 용이해 졌다.

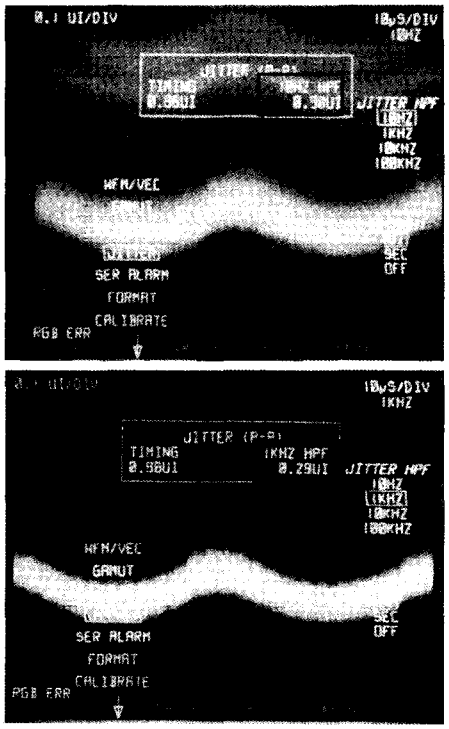


그림 6-4. WFM601M을 이용한 지터의 분석

7. 시스템 시험

(1) 충격시험(Stress Testing)

신호를 점진적으로 감쇠 시키는 아날로그 시스템과는 달리 디지털 시스템은 붕괴 전까지 결함 없이 정상 동작 한다. 디지틀 시스템을 운용할 때 동작 범위가 얼마나 되는가를 아는 것이 바람직한데 이는 시스템이 붕괴점에서 어느 정도 떨어졌는지 알게 한다. 동작 범위를 측정하는 in-service 시험은 없으나 이 분야에서 연구가 계속되고 있으며, 시스템 동작을 판정하는데 필요한 것은 out-of-service이다.

충격시험이라 함은 결함이 발생할 때까지 디지틀 신호의 특정 요소를 하나 또는 그 이상 바꾸는 과정을 말한다. 결함을 만들어 내는데 필요한 "변화량"이 바로 Headroom의 측정이다. Serial 디지틀 비디오 신호의 표준(SMPTE 259M)에 있는 규격을 가지고 생각하면 시스템에 충격을 주는 가장 직접적인 방법은 에러가 생길 때 까지 케이블을 추가하는 것이다. 다른 시험 방법은 신호에 진폭 또는 상승 시간의 변화나 노이즈/지터를 추가시키며 수신기 성능, 규격상의 자동 등화기(Automatic Equalizer) 운용 범위 및 정확도 그리고 수신기 노이즈 특성의 한가지 또는 그 이상의 측면을 판정한다. 실험 결과에 의하면 케이블 길이에 따른 시험이 실제 운용을 나타내기 때문에 가장 의미 있는 충격시험이라 한다.

(2) SDI Check Field

SDI(Serial Digital Interface) Check Field("병리학" 신호 - Pathological Signal-로 알려진)는 충격 시험은 아니지만 Full field 시험 신호이기 때문에 out-of-service 시험이라야 한다. 이 신호는 시리얼 디지털 시스템이 처리하기 어려운 신호이어서 매우 중요한 시험이기도 하다. SDI Check Field의 특성으로는 두개의 분리된 신호내에 최대의 저주파 에너지를 가진다는 것인데, 한 신호는 등화기(equalizer) 동작을 시험하며 다른 하나는 PLL 동작을 시험한다. 이 신호는 컴포넌트 디지털에 대해 완전한 Valid 신호이면서 원래 D-1 VTR을 시험하기 위해 개발되었다.

SDI Check Field는 SMPTE 권고안 RP178에 의해 규정되었다.

부 록

디지털 TV 규격들

ITU-R BT.601-2 - 디지털 TV 스튜디오를 위한 인코딩 파라미터
ITU-R BT.656 - 컴포넌트 디지털을 위한 인터페이스들
SMPTE 125M - 컴포넌트 디지털 인터페이스, 525
SMPTE 244M - 컴포지트 디지털 인터페이스, NTSC
EBU Tech 3276 - 컴포넌트 디지털 인터페이스, 625
SMPTE 259M - 시리얼 디지털 비디오
SMPTE 240M - 아날로그 고화질 TV, 1125/60
SMPTE 260M - 디지털 고화질 TV, 1125/60

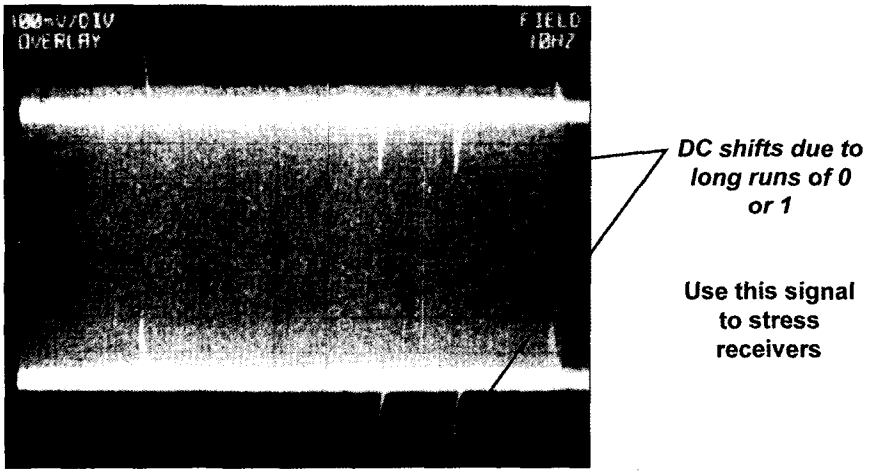
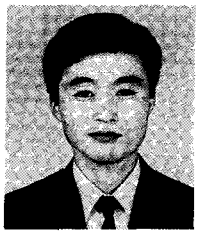


그림 7. SMPTE RP178에 의한 측정 예

SMPTE RP 165 - 시리얼 디지털에서의 에러 검출
SMPTE RP 168 - 수직구간 스위칭 포인트
SMPTE RP 154 - 동기화를 위한 기준 신호들
SMPTE RP 155 - 디지털 오디오의 기준 레벨
SMPTE 267M - 16:9 컴포넌트 디지털

각종 VTR규격들
D-1 협회에 의한 제조 규격
D-2 Ampex사 규격
D-3 Matsushita/Panasonic사 규격
D-5 Matsushita/Panasonic사 컴포넌트/컴포지트 레코딩
DCT Ampex사 컴포넌트 디지털 규격
Digital Betacam Sony사 규격
새로운 규격 - DVCPRO(올림픽에서 사용됨)

필자소개



방 동 선

1994년 2월 건국대학교 전기공학과 학사
1993. 12 (주)씨에스시 입사
1996. 5~1997년 현재 한국텍트로닉스(주) 입사
주관심분야 : 비디오 전송과 네트워킹