

Pomiary w technice studyjnej

**POMIARY
ELEKTROAKUSTYCZNE
W DZIEDZINIE
CYFROWEJ**

Pomiary w dziedzinie cyfrowej

- Charakterystyki cyfrowych urządzeń fonicznych
- Charakterystyki urządzeń analogowych, z wykorzystaniem cyfrowego analizatora
- Charakterystyki przetworników A/C i C/A
- Pomiar parametrów sygnału cyfrowego (np. jitter)
- Pomiar cyfrowych interfejsów szeregowych

Pomiary „cyfrowe” w torze analogowym

- Pomiar analogowego urządzenia za pomocą cyfrowego analizatora
- W przypadku specyficznych testów, np. wielotonami, użyteczne jest również zastosowanie cyfrowego generatora
- Podłączenie do urządzenia poprzez przetwornik A/C (i ew. C/A) – przetworniki muszą spełniać zasadę „klasy wyższej niż mierzone urządzenie”
- Cel: wykorzystanie możliwości cyfrowego analizatora, np. FFT, „oscylskopu”, przetwarzania danych
- Należy raczej unikać takich rozwiązań, ze względu na przetworniki mogące wprowadzać błędy pomiaru

Analizatory i generatory cyfrowe

Analizatory cyfrowe zwiększają możliwości analizy o:

- wyświetlanie postaci czasowej sygnału (oscylloskop),
- wyświetlanie widma sygnału (obliczanie FFT),
- przetwarzanie sygnału (np. filtry cyfrowe),
- możliwość obróbki danych (np. obliczanie „prawdziwego” THD lub analiza statystyczna),
- pomiary parametrów urządzeń cyfrowych,
- pomiary interfejsów łączących cyfrowe urządzenia.

Generatory cyfrowe:

- mogą wytwarzać w zasadzie dowolne sygnały,
- możliwość stosowania sygnałów np. z plików,
- problem aliasingu przy sygnałach o złożonym widmie (np. fala prostokątna)

Analizatory cyfrowe

Sposób działania analizatorów cyfrowych:

- w czasie rzeczywistym – próbka po próbce (np. pomiar charakterystyki częstotliwościowej),
- *batch mode* – operacje na bloku próbek (np. obliczanie FFT).

Analizatory cyfrowe używają jednostek:

- FFS – ułamek pełnej skali (unormowanie wartości próbek, uniezależnienie od rozdzielczości bitowej)
- **dBFS** = $20 \log_{10} \text{FFS}$ (max. wartość: 1 FFS = 0 dBFS)
- %FS = $\text{FFS} * 100$

Wartości te są zwykle mierzone jako skuteczne (rms)

Wykres czasowy sygnału

Analizator cyfrowy może wyświetlać postać czasową sygnału (*waveform*) – „cyfrowy oscyloskop”.

Dostępne są często takie możliwości jak:

- powiększanie i pomniejszanie fragmentów sygnału (dla dużych powiększeń dokonywana jest interpolacja),
- nakładanie kilku sygnałów na jeden wykres,
- wyświetlanie amplitudy w skali logarytmicznej,
- wykreślanie obwiedni sygnału – użyteczne przy badaniu przy pomocy sygnałów impulsowych,
- zapis i przetwarzanie danych.

Wykres widma sygnału

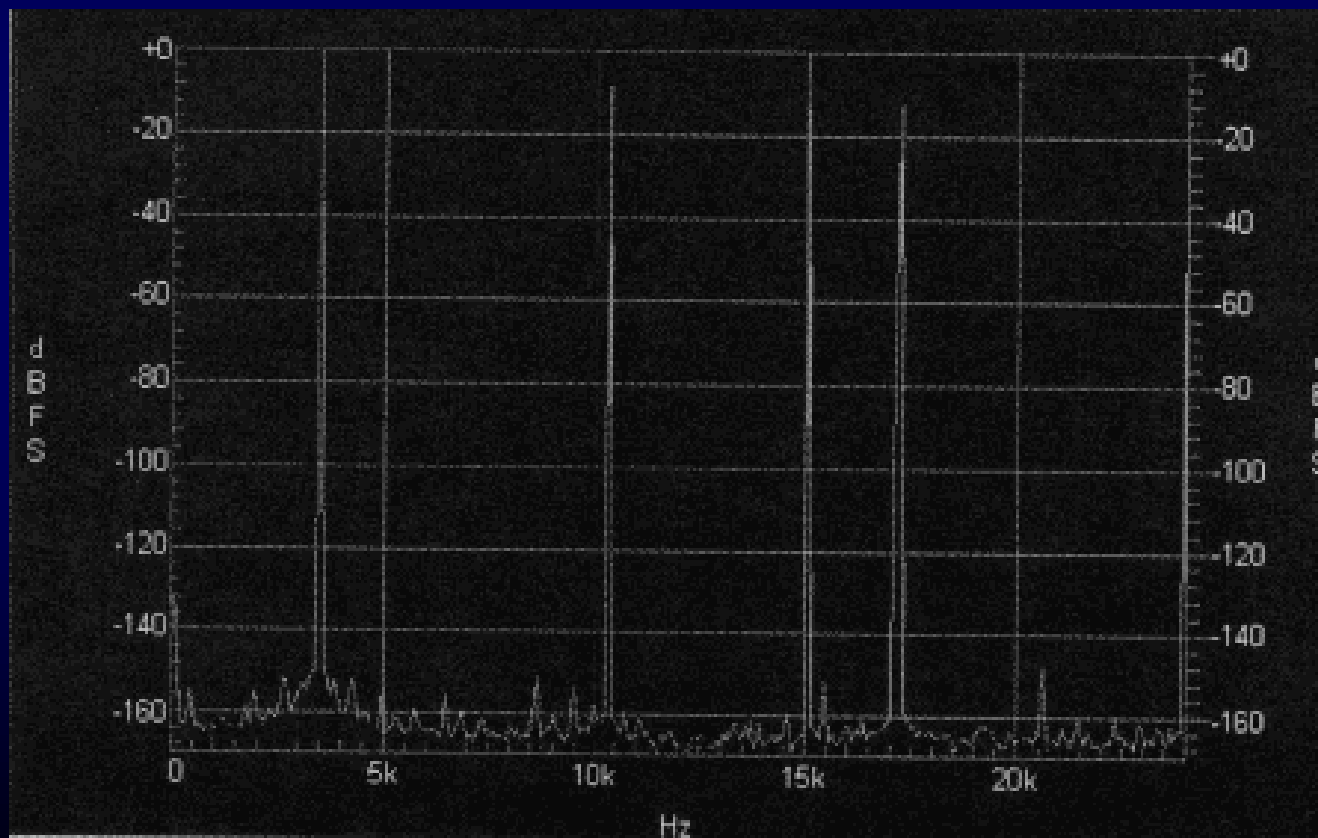
Widmo sygnału (*spectrum*) obliczane jest zwykle przez analizator za pomocą algorytmu FFT (wykorzystywany jest procesor sygnałowy DSP).

Funkcje analizy:

- wybór rozmiaru okna analizy,
- wybór typu okna czasowego,
- powiększanie i pomniejszanie,
- pomiar poziomu widma (np. amplitudy prążków),
- zapisywanie i przetwarzanie danych.

Analiza widmowa

Analiza widmowa zwiększa funkcjonalność testów pomiarowych. Przykład: analiza widmowa w badaniu zniekształceń intermodulacyjnych IMD



Generatory cyfrowe

Generator cyfrowy wytwarza sekwencje testowe:

- odczytując zapisane w pamięci próbki sygnałów,
- obliczając próbki na podstawie wzoru,
- odczytując sygnały testowe z pliku.

Parametry sygnału cyfrowego:

- typ sygnału,
- częstotliwość,
- poziom
- częstotliwość próbkowania (*rate*),
- rozdzielczość bitowa (*resolution*),
- typ *ditheringu*.

Urządzenia *dual domain*

Urządzenie typu *dual domain* posiada:

- analogowy generator,
- cyfrowy generator,
- analogowy analizator,
- cyfrowy analizator.

Pozwala to na pomiar:

- urządzeń analogowych (A gen, A an)
- urządzeń cyfrowych (C gen, C an)
- przetworników (A gen, C an) i (C gen A an)

Pomiary przetworników A/C

Pomiary przetworników analogowo-cyfrowych:

- klasyczna metoda: połączenie przetwornika C/A „lepszego klasy”, analiza analogowa
- dual domain – analogowy generator, cyfrowy analizator

Testy przetwornika A/C:

- typowe (char. częstotliwościowa, zniekształcenia),
- liniowość (odchyłka od liniowości w funkcji poziomu sygnału testowego) – ocena pracy konwertera dla b. małych poziomów sygnału, ocena *ditheringu*,
- pomiar szumu kwantyzacji.

Analogicznie bada się konwertery C/A, ale używa się cyfrowego generatora i analogowego analizatora.

Dither

Dither – szum o małej amplitudzie dodawany do sygnału w celu poprawy liniowości charakterystyki przetwornika. W generatorach cyfrowych powinny być dostępne **generatory sygnału *dither***.

Typ sygnału *dither* (kształt f. prawdopodobieństwa):

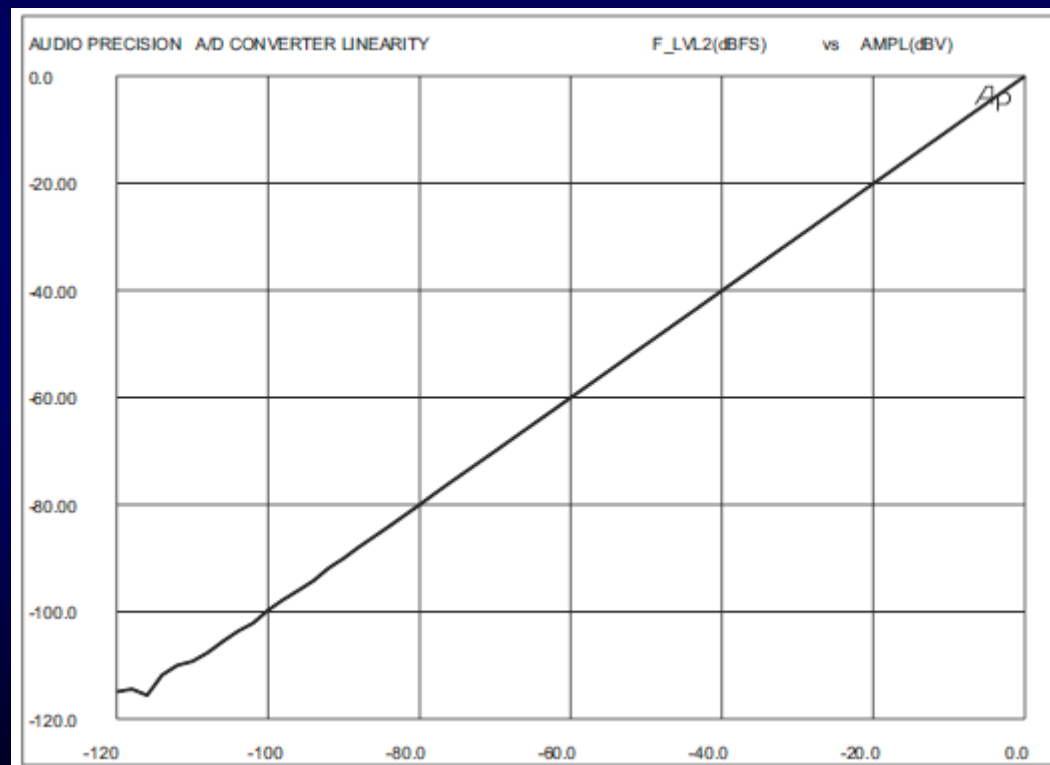
- trójkątny (*triangular*)
- prostokątny (*rectangular*) – lepszy SNR, ale wprowadza modulację szumu
- kształtowany (*shaped*) – większość energii szumu przesuwana do pasma wyższych częstotliwości.

Pomiar liniowości przetwornika

- Pomiar wykonywany przez podawanie na przetwornik sygnału sinusoidalnego, o częstotliwości 1 kHz i zmiennym poziomie.
- Pomiar wykonywany z *ditherem* i bez niego.
- Konieczność stosowania w analizatorze filtru pasmowo-przepustowego 1 kHz.
- Wynik wykreślany jako poziom wyjściowy w funkcji poziomu wejściowego, lub jako odchyłka od liniowości: (poziom wyj. – poziom wej.) vs poziom wej

Pomiar liniowości przetwornika

Wynik pomiaru liniowości przetwornika A/C: poziom sygnału cyfrowego (dBFS) w funkcji poziomu sygnału analogowego (dBV) – użyty dither



Pomiary szumów w przetwornikach A/C i C/A

W typowych urządzeniach mierzy się poziom szumu nie podając na wejście żadnego sygnału.

Jeżeli na wejście przetwornika nie podamy sygnału, przetwornik nie będzie pracował.

Pomiar **szumu kwantyzacji** przetwornika:

- na wejście podajemy sygnał o niskiej częstotliwości (typowo 50 Hz), o maksymalnym poziomie (0 dBFS),
- sygnał z wyjścia przetwornika jest filtrowany – usuwane jest pasmo poniżej 400 Hz,
- mierzony jest poziom pozostałego sygnału.

Pomiar **modulacji szumu** (*noise modulation*) – sprawdzenie czy poziom szumu zależy od poziomu sygnału.

Zakres dynamiki w przetwornikach A/C i C/A

Dynamika przetwornika jest równa odstępowi między 0 dBFS a poziomem szumu.

Teoretyczna dynamika przetwornika A/C n -bitowego, biorąc pod uwagę szum kwantyzacji, przy braku *ditheru*:

$$SNR = 20 \log \left(2^n \sqrt{\frac{3}{2}} \right) \cong 6,0206 \cdot n + 1,761$$

Np. dla $n = 16$: SNR = 98,09 dB

$n = 24$: SNR = 146,25 dB

Rzeczywisty wynik pomiaru dynamiki można odnieść do wartości teoretycznej.

Szum modulowany

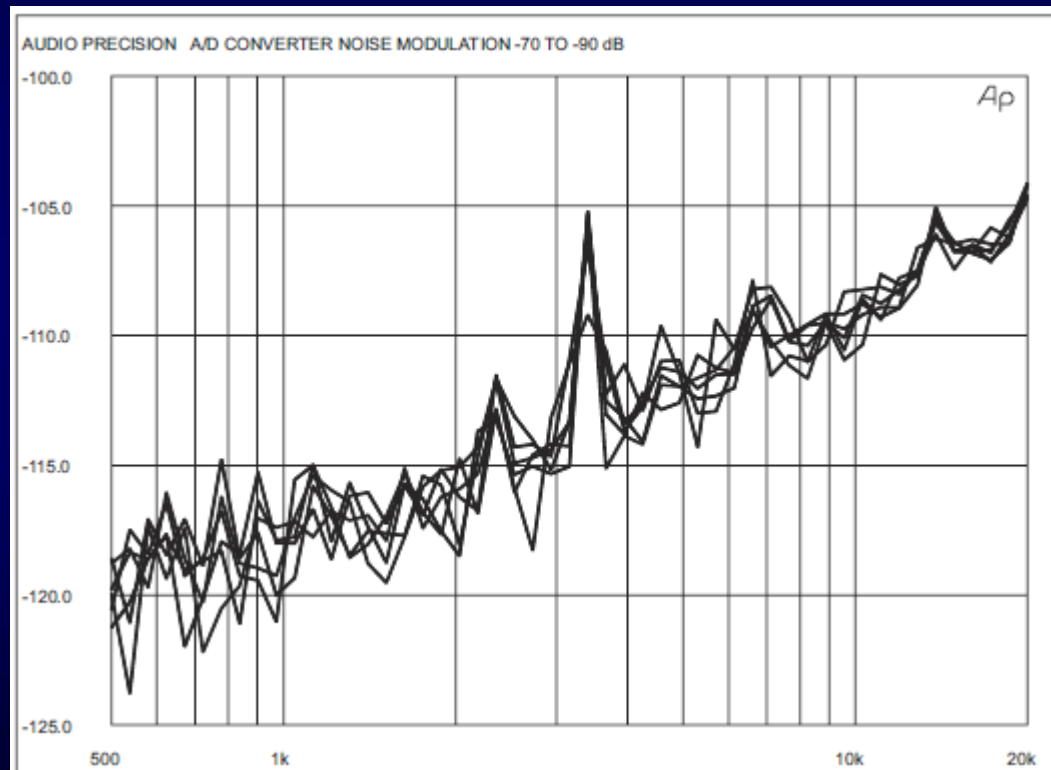
Jeżeli poziom szumu kwantyzacji jest zależny od poziomu sygnału wejściowego, mówimy o szumie modulowanym lub muzycznym (modulacja szumu – *noise modulation*).

Pomiar poziomu szumu modulowanego:

- podaje się na wejście przetwornika sygnał sinusoidalny o małej częstotliwości (50 Hz) i o zmiennym, ale małym poziomie (od -90 do -70 dBFS)
- poziom szumu jest mierzony dla różnych częstotliwości, przy użyciu przestrajanego filtra wąskopasmowego (500 Hz do 20 kHz)
- wyniki pomiarów – poziom szumu w funkcji częstotliwości pobudzenia – przedstawia się w formie rodziny krzywych dla różnych poziomów wejściowych
- krzywe te powinny pokrywać się

Szum modulowany

Pomiar poziomu szumu przy pobudzeniu o różnych poziomach i częstotliwościach



Pomiar przetwornika C/A w odtwarzaczu CD

- Źródłem sygnału testowego jest płyta CD
- Sygnały testowe: sinus od 0 dBFS do poziomu szumu (osobne ścieżki lub skokowe przestrajanie)
- Pomiar jest prostszy jeżeli podłączony analizator sam wykrywa zmiany poziomu sygnału wejściowego (*external sweep*)

Przykładowe parametry odtwarzacza CD:

- charakterystyka częstotliwościowa: $\pm 0,1$ dB (20 Hz – 20 kHz)
- THD+N (20 Hz – 20 kHz): < -90 dB
- zakres dynamiki: od 90 dB do 95 dB
- odchyłka od liniowości (od -70 dBFS do -100 dBFS): od $\pm 0,3$ dB do ± 2 dB

Preemfaza i deemfaza

Preemfaza – stosowana po stronie nadawczej, zwiększenie wzmocnienia dla wysokich częstotliwości.

Deemfaza – stosowana po stronie odbiorczej, zmniejszenie wzmocnienia dla wysokich częstotliwości.

Układ „preemfaza-deemfaza” powinien dać w rezultacie charakterystykę **płaską**.

Jeżeli badamy tylko urządzenie z deemfazą, zmierzona charakterystyka częstotliwościowa nie będzie płaska.

Aby zasymulować układ preemfazy, w generatorze cyfrowym powinien być dostępny **układ preemfazy**, o charakterystyce zgodnej ze stosowanymi normami.

Konieczne jest stłumienie sygnału testowego, aby nie wystąpiło jego przesterowanie.

Pomiary parametrów urządzeń cyfrowych

Pomiar charakterystyki częstotliwościowej

- poziom sygnału z generatora: -0,5 dBFS

Pomiar poziomu szumu

- sygnał z generatora wyłączony,
- włączony *dither* (rozkład trójkątny)

Pomiar zniekształceń THD+N

- sygnał testowy 1 kHz, poziom od -50 dBFS do 0 dBFS
- w funkcji częstotliwości: poziom 0 dBFS

Pomiary parametrów urządzeń cyfrowych

Pomiar zniekształceń intermodulacyjnych

- poziom prążka o większej amplitudzie: 0 dBFS

Pomiar liniowości

- sygnał testowy 200 Hz, poziom od -140 dBFS do 0 dBFS

Pomiar przesłuchu/separacji

- sygnał w kanale referencyjnym: 0 dBFS

Pomiar charakterystyki częstotliwościowej

Sposób 1

Pomiar za pomocą przestrajanego **sygnału sinusoidalnego** – tak samo jak w przypadku analogowym.

Sposób 2

- analiza za pomocą filtrów cyfrowych (tercjowych lub oktawowych) – charakterystyki filtrów pomiarowych muszą być zgodne z normą
- sygnał testowy – **szum różowy**

Sposób 3

- analiza za pomocą FFT
- sygnał testowy – **szum biały!**

Cyfrowe interfejsy szeregowo

Sygnal cyfrowy jest przesyłany pomiędzy urządzeniami zazwyczaj przy użyciu interfejsów szeregowych.

Format danych opisuje sposób organizacji przesyłanych danych w **ramki**. Każda ramka zawiera:

- dane zawierające informacje o sygnale,
- dane samego sygnału.

Najważniejsze formaty danych:

- AES/EBU (AES3) – sprzęt profesjonalny,
- SPDIF/EIAJ – urządzenia powszechnego użytku

Pomiary sygnału w interfejsach szeregowych

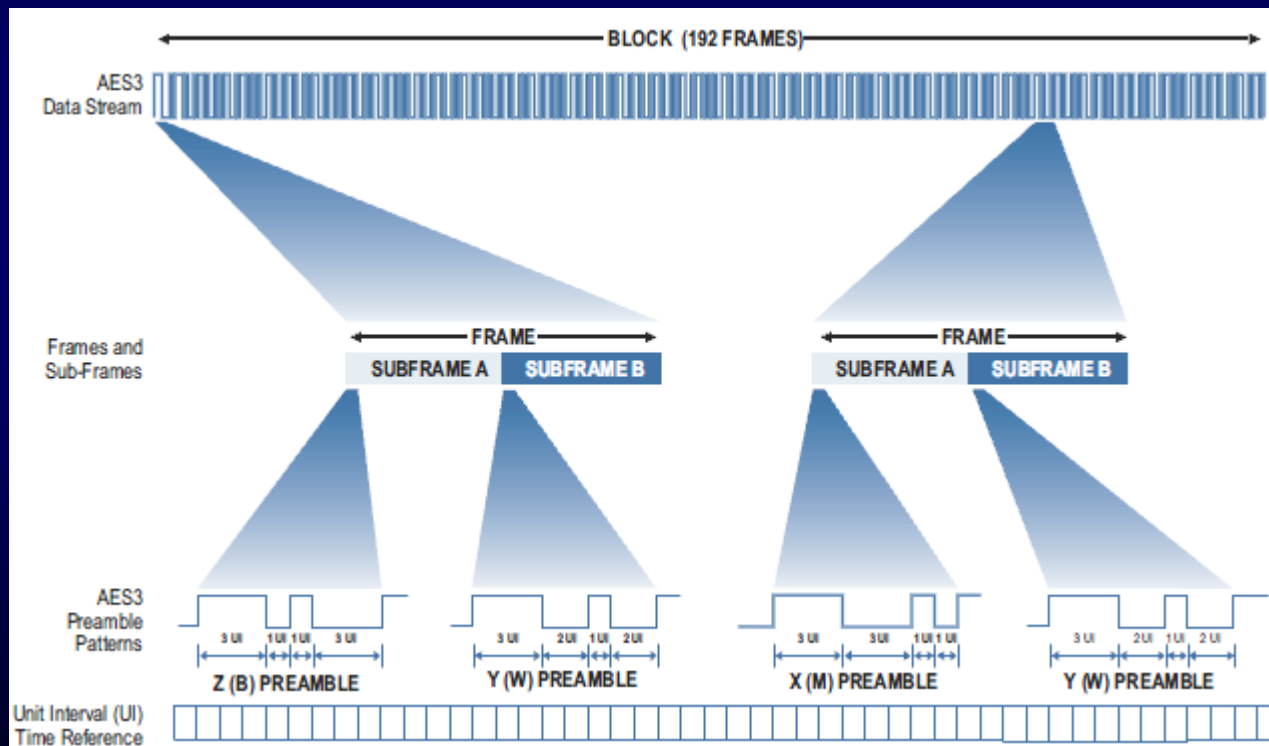
Dane dźwiękowe wraz z dodatkowymi informacjami są transmitowane przez interfejs szeregowy w postaci strumienia bitów.

Pomiary mogą dotyczyć nie tylko sygnałów dźwiękowych, ale również całego strumienia danych, przesyłanych przez interfejsy szeregowy.

W ten sposób sprawdza się prawidłowe działanie urządzeń cyfrowych oraz połączeń pomiędzy nimi.

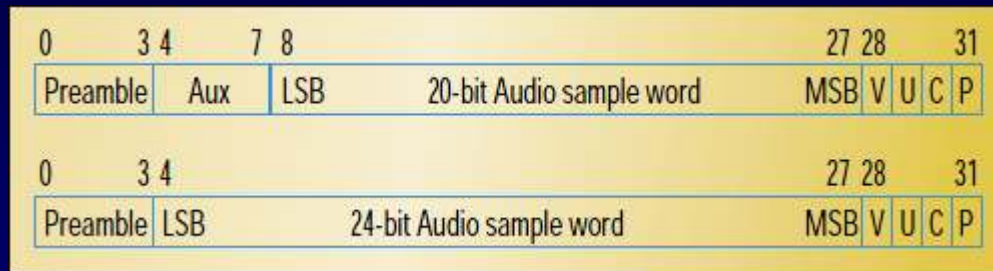
Organizacja danych w AES/EBU

Dane „dźwiękowe” dzielone na ramki.
Podramka zawiera dane dotyczące jednego kanału.



Organizacja danych w AES/EBU

Struktura podramki danych



Flagi:

- *V: validity* – poprawność danych
- *U: user data* – dane informacyjne
- *C: channel status* – stan kanału danych (np. CRCC)
- *P: parity* – bit parzystości

Pomiar liczby ustawionych flag V i P może dostarczyć informacji o błędach w transmisji danych.

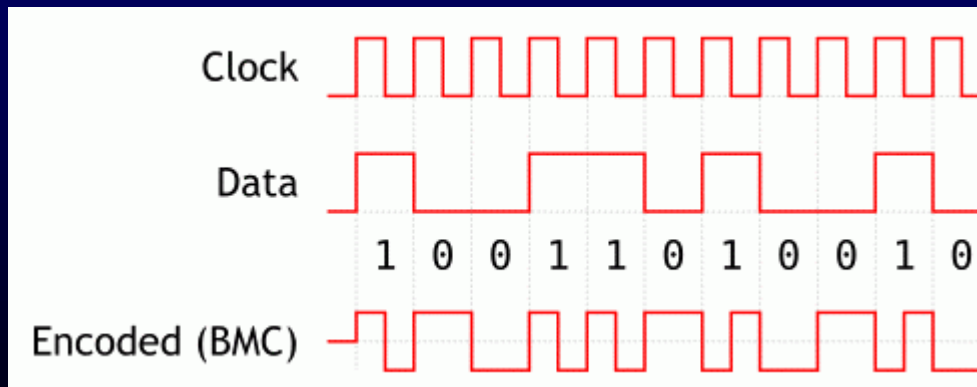
Kodowanie w AES/EBU

Kodowanie *Biphase Mark Coding (BMC)*:

- dwa impulsy zegarowe na bit
- pierwszy: zegar – zawsze zmiana stanu
- drugi: dane – zmiana stanu tylko dla bitu = 1
- nie trzeba przesyłać dodatkowego sygnału zegarowego

Dla ramki AES/EBU 2*32 bity, cz. pr. 48 kHz, „szerokość” impulsu zegarowego (UI):

$$1 \text{ UI} = 1 / (2 * 2 * 32 * 48000) = 163 \text{ ns}$$



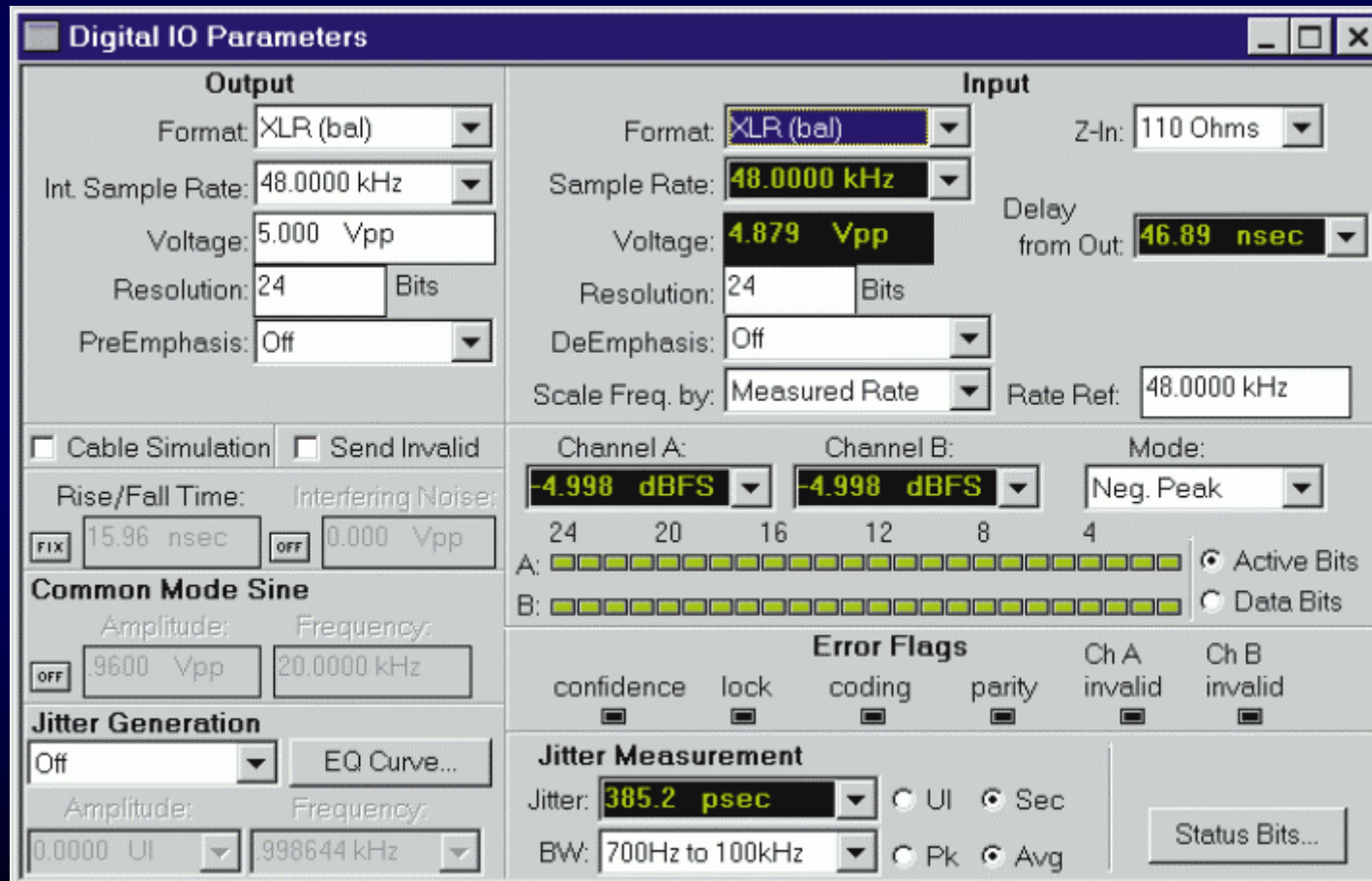
Pomiary sygnału w interfejsach szeregowych

Parametry mierzone w interfejsach szeregowych:

- częstotliwość impulsów (*sample rate*),
- amplituda impulsów,
- czas narastania i opadania impulsów,
- *jitter*,
- poziom szumów *common mode*,
- opóźnienie wprowadzane przez urządzenie (pomiędzy wyjściem generatora a wejściem analizatora),
- opóźnienie w stosunku do sygnału referencyjnego
- „*eye pattern*”

Pomiary sygnału w interfejsach szeregowych

SystemTWO – okno analizy sygnału cyfrowego



Analiza ramek sygnału cyfrowego

Status Bits – Digital IO

Transmit: A B A & B

Consumer Professional

Normal Non-Audio

Emphasis: None

Freq Mode: Locked

Sample Freq: 48 kHz

Channel Mode: Not Indicated

User Bits: None

Auxiliary Bits: 20-bit not define

Audio Word Len: Not indicated

Ref Signal: Not a ref. signal

Origin: SYS2 Dest: AP

Local Address: Auto

Time-of-day: 0

Reliability Flags: 0-5 14-17
(set = unreliable) 6-13 18-21

CRC Enable

Receive A:

Mode: Professional

Audio Mode: Normal

Emphasis: None

Freq Mode: Locked

Sample Freq: 48 kHz

Channel Mode: Not Indicated

User Bits: None

Auxiliary Bits: 20-bit not defined

Audio Word Len: Not indicated

Ref Signal: Not a ref. signal

Origin: SYS2

Dest: AP

Local Address: 4856064

Time-of-day: 4856064

Reliability Flags: 0-5 14-17
(On = unreliable) 6-13 18-21

CRC Valid:

Receive B:

Mode: Professional

Audio Mode: Normal

Emphasis: None

Freq Mode: Locked

Sample Freq: 48 kHz

Channel Mode: Not Indicated

User Bits: None

Auxiliary Bits: 20-bit not defined

Audio Word Len: Not indicated

Ref Signal: Not a ref. signal

Origin: SYS2

Dest: AP

Local Address: 4852608

Time-of-day: 4852608

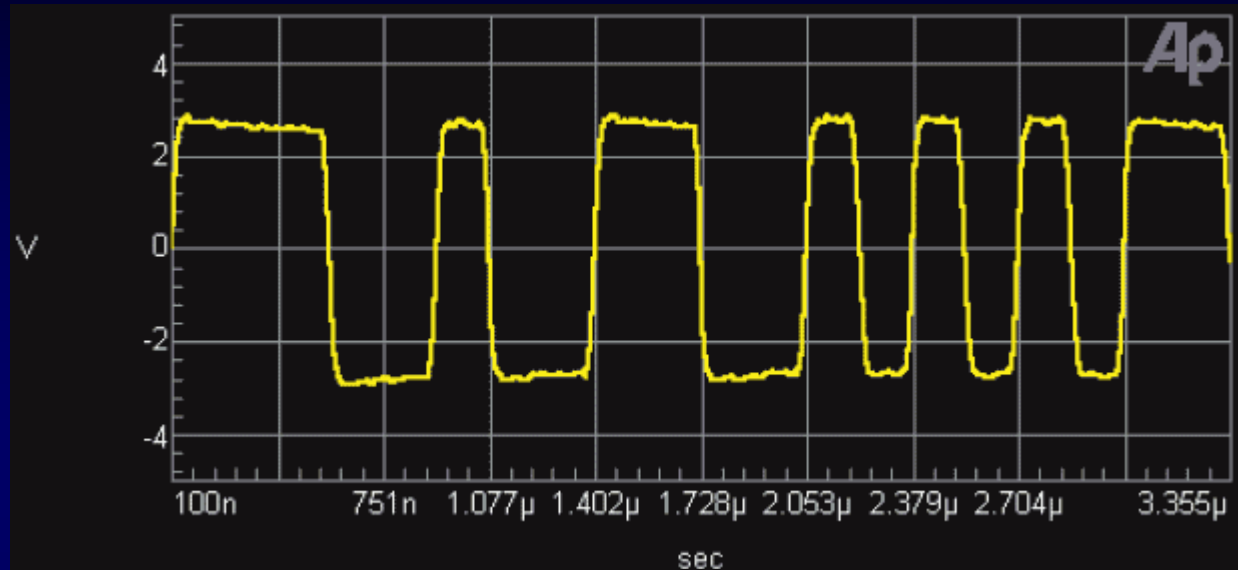
Reliability Flags: 0-5 14-17
(On = unreliable) 6-13 18-21

CRC Valid:

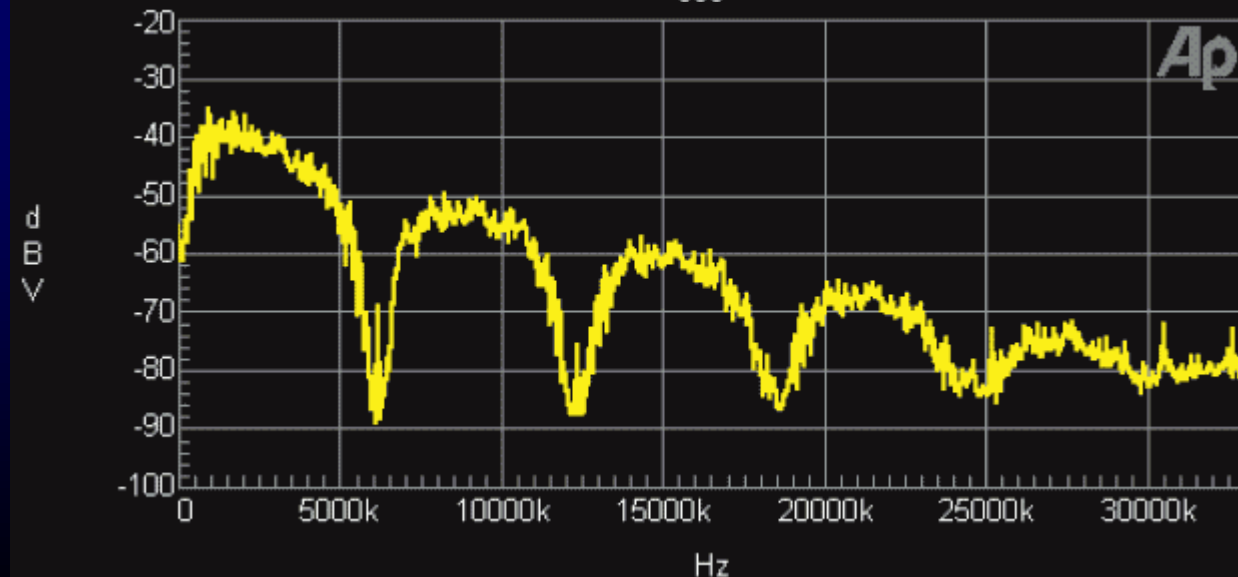
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Transmit A:	85	00	00	00	00	00	53	59	53	32	41	50	20	20	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
Receive A:	85	00	00	00	00	00	53	59	53	32	41	50	20	20	40	BB	49	00	40	BB	49	00	00	0C
Transmit B:	85	00	00	00	00	00	53	59	53	32	41	50	20	20	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
Receive B:	85	00	00	00	00	00	53	59	53	32	41	50	20	20	C0	AD	49	00	C0	AD	49	00	00	73

Pomiary sygnału w interfejsach szeregowych

Postać
czasowa
sygnału:



Postać
widmowa
sygnału:

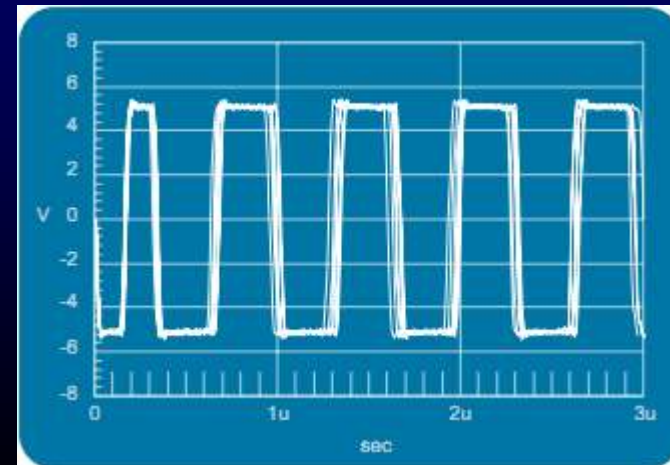


Jitter

Jitter to określenie zniekształceń sygnału cyfrowego (zakodowanego w postaci impulsów), objawiające się wahaniem czasów początku impulsu względem idealnego cyklu zegarowego.

Rodzaje *jittera*:

- wewnętrzny (*intrinsic*) – powstający w urządzeniu, np. w wyniku zakłóceń, niedokładności układów przetwarzających, itp.
- związany z połączeniami pomiędzy urządzeniami
- związany z próbkowaniem sygnału analogowego (*sampling jitter*)



Pomiary jittera

Pomiar *jittera* może dotyczyć:

- wielkości *jittera* na wyjściu urządzenia (j. wewnętrzny),
- zakłóceń powstających w połączeniach – układ pomiarowy powinien mieć możliwość symulacji połączeń i wielkości powstających w nich zakłóceń,
- *jittera* na wyjściu urządzenia w funkcji wejściowego *jittera* (funkcja przenoszenia),
- zdolności urządzenia do poprawnego odczytania sygnału wejściowego zniekształconego przez *jitter*

Pomiar *jitter*

Pomiar zniekształceń *jitter* polega na porównaniu sygnału wejściowego z sygnałem ze stabilnego („idealnego”) generatora zegarowego – porównanie momentów zmiany stanu niski/wysoki. W interfejsach AES/EBU, cykl zegarowy jest odtwarzany na podstawie analizy ciągu impulsów.

Mierzone parametry *jitteru*:

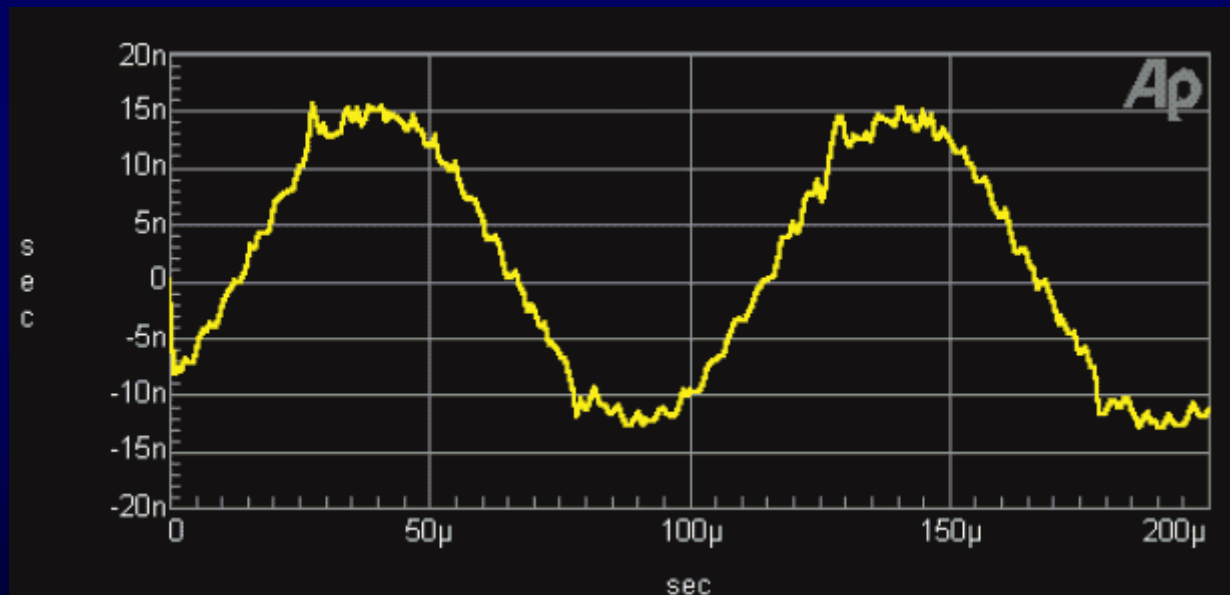
- amplituda – wielkość odchyłki czasowej od regularnego momentu zmiany stanu (uwaga: amplituda dotyczy tutaj osi czasu, nie wartości sygnału!),
- częstotliwość, z jaką te odchyłki zachodzą

Postać czasowa *jitter*

Wykres czasowy zniekształceń (*jitter waveform*)

Użyteczny szczególnie przy dużych zniekształceniach.

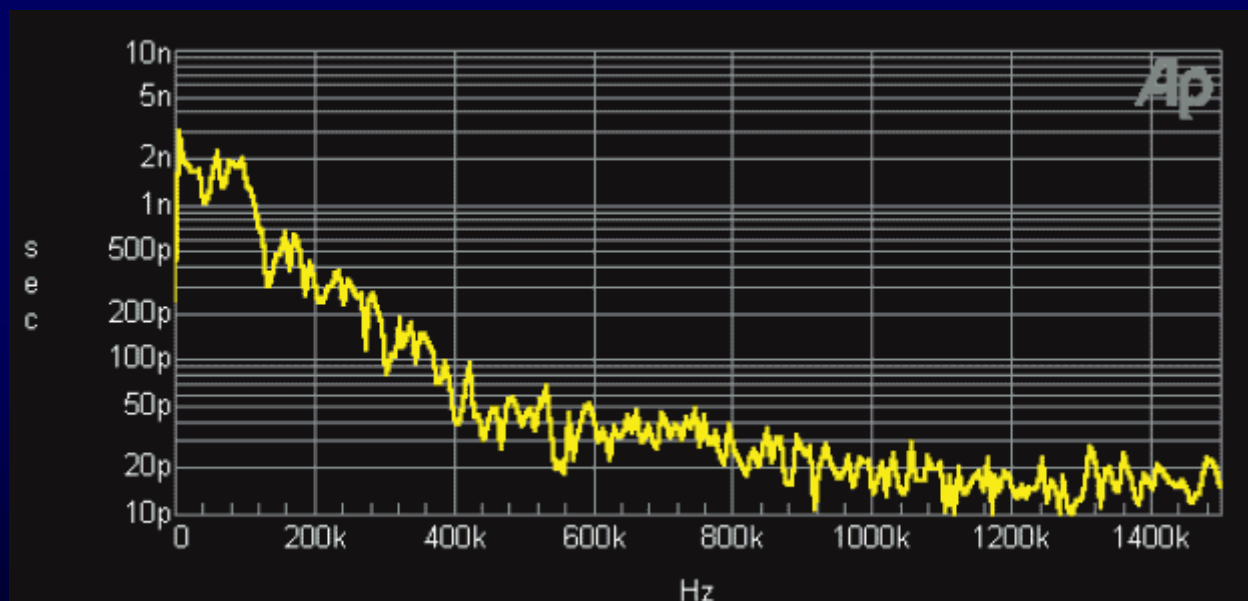
Oś pionowa – amplituda *jittera* w ns.



Postać widmowa *jitter*

Analiza widmowa zniekształceń (*jitter FFT*).

Pomocna przy lokalizacji źródła zniekształceń (np. zakłócenia od źródła emitującego sygnał o danej częstotliwości).

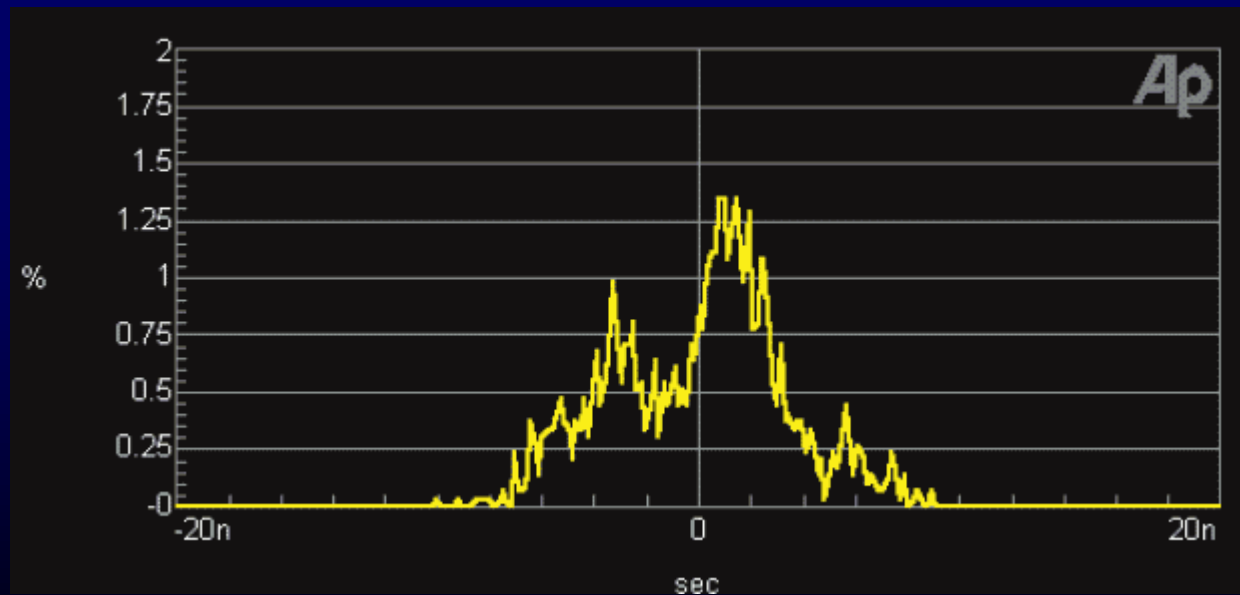


Histogram *jitter*

Wynik analizy statystycznej, przedstawia rozkład amplitud *jittera* w badanym sygnale.

Duży i wąski prążek dla 0 s oznacza mały *jitter*.

Szeroki i niski wykres oznacza duży *jitter*.



Jitter wprowadzany celowo

Aby zbadać zachowanie się urządzenia przy sygnale wejściowym obciążonym *jitterem*, na jego wejście podaje się sygnał testowy z generatora, z dodanym zniekształceniem *jitter* w postaci:

- sygnału sinusoidalnego o zmiennej częstotliwości (najczęściej),
- szumu szerokopasmowego,
- szumu wąskopasmowego,
- fali prostokątnej o zmiennej częstotliwości.

Badania przeprowadzane są dla różnych poziomów zakłóceń.

Generator cyfrowy musi mieć możliwość wprowadzania kontrolowanego *jittera* do sygnału testowego.

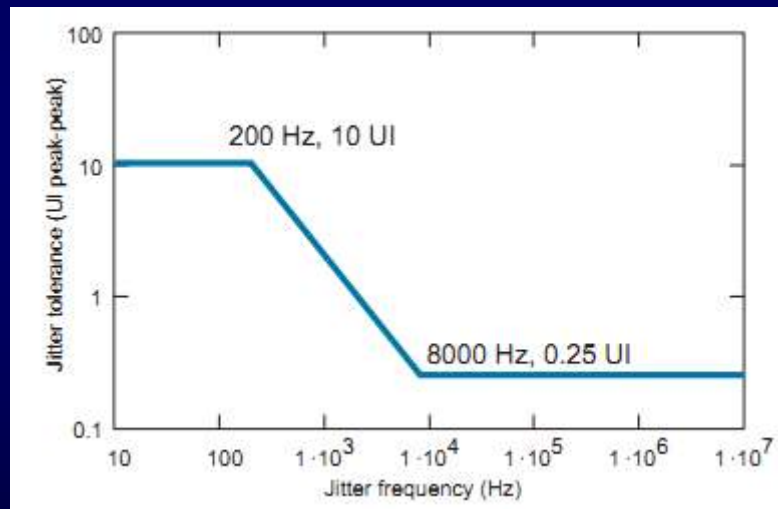
Badanie podatności urządzenia na *jitter*

Badanie wg zaleceń AES3:

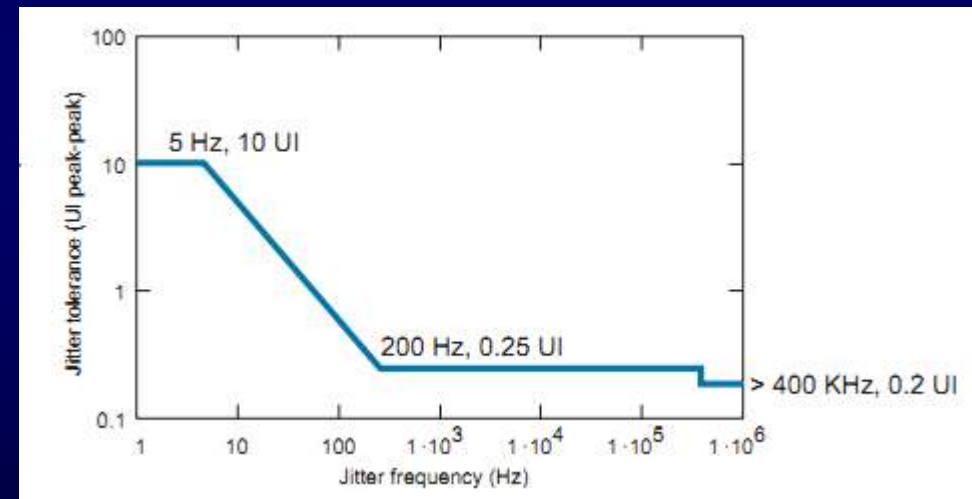
- sygnał testowy – sinusoidalny, amplituda 1 FS, częstotliwość 3,456 kHz
- do sygnału dodawany *jitter* w postaci sygnału sinusoidalnego o częstotliwości przestrajanej w zakresie 50 Hz – 100 kHz, amplituda *jitter* wysoka dla małych cz., maleje ze wzrostem częstotliwości
- sygnał + *jitter* podawany na wejście urządzenia
- pomiar zniekształceń THD+N urządzenia (sygnał przetwarzany przez filtr wycinający sinus)
- jeżeli zniekształcenia wzrastają, urządzenie nie potrafi odtworzyć zniekształconego sygnału.

Badanie podatności urządzenia na *jitter*

Normy odporności na *jitter* definiują jaka międzyszczytowa (*peak-to-peak*) amplituda *jittera* nie powinna powodować błędnego odczytania sygnału.



Dla sprzętu profesjonalnego



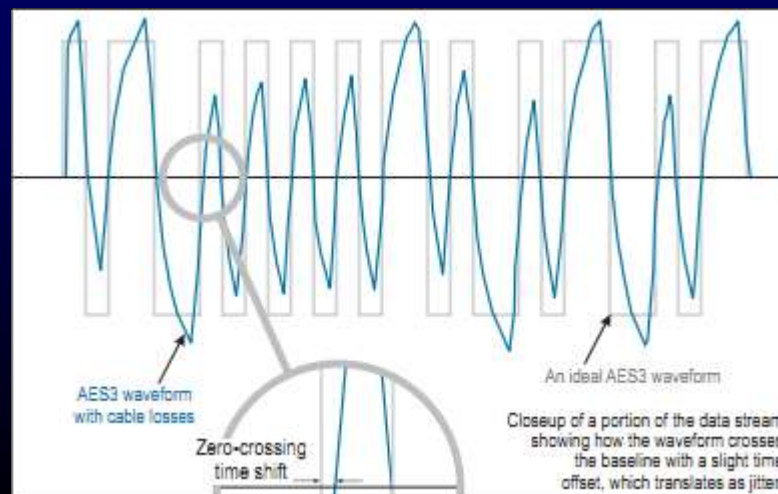
Dla sprzętu konsumenckiego

Pomiar zniekształceń impulsów

Zniekształcenia impulsów w zakodowanym sygnale cyfrowym mogą objawiać się w następujący sposób:

- *jitter* – wahania czasu początku impulsu, a w rezultacie wahania czasu trwania (szerokości) impulsów
- zniekształcenia amplitudy – odchyłki względem idealnego poziomu 0 V / 5 V
- niezerowy i zmienny czas narastania i opadania zboczy impulsów – wpływa na szerokość impulsów

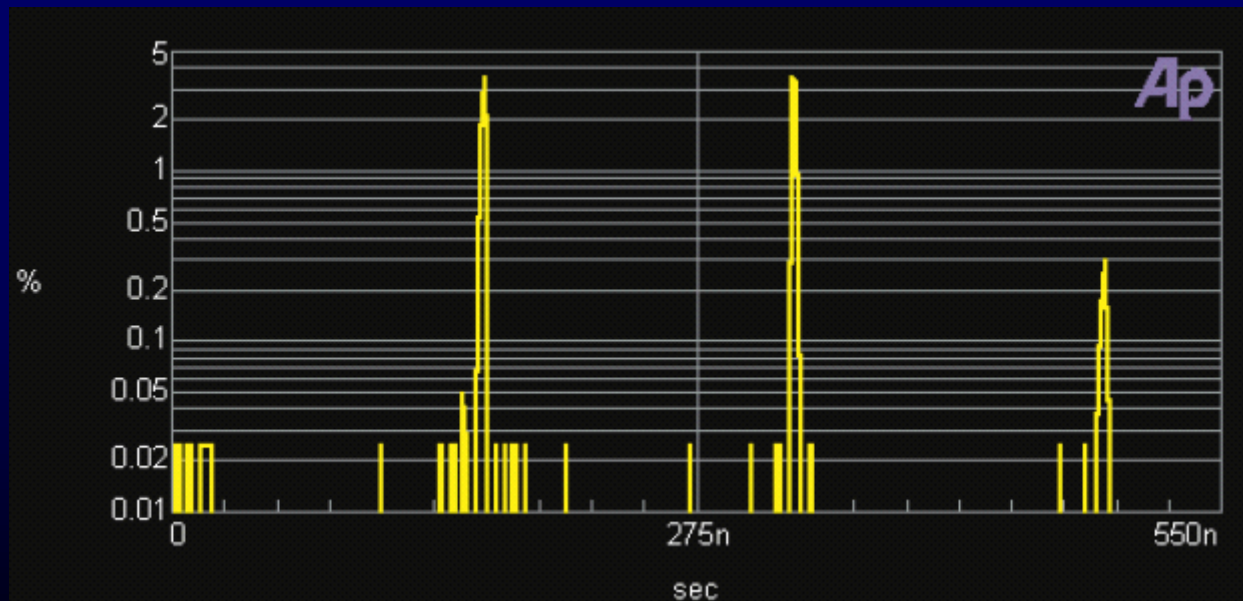
Duże zniekształcenia mogą powodować błędy odczytu sygnału cyfrowego.



Analiza statystyczna

Histogram długości impulsów:

w sygnale z interfejsu szeregowego długość impulsu może wynosić 1 lub 2 jednostki zegarowe (oraz 3 jednostki tylko w preambule). Histogram powinien pokazać tylko 3 prążki, dwa pierwsze powinny być w przybliżeniu równe, trzeci prążek powinien być wyraźnie mniejszy.

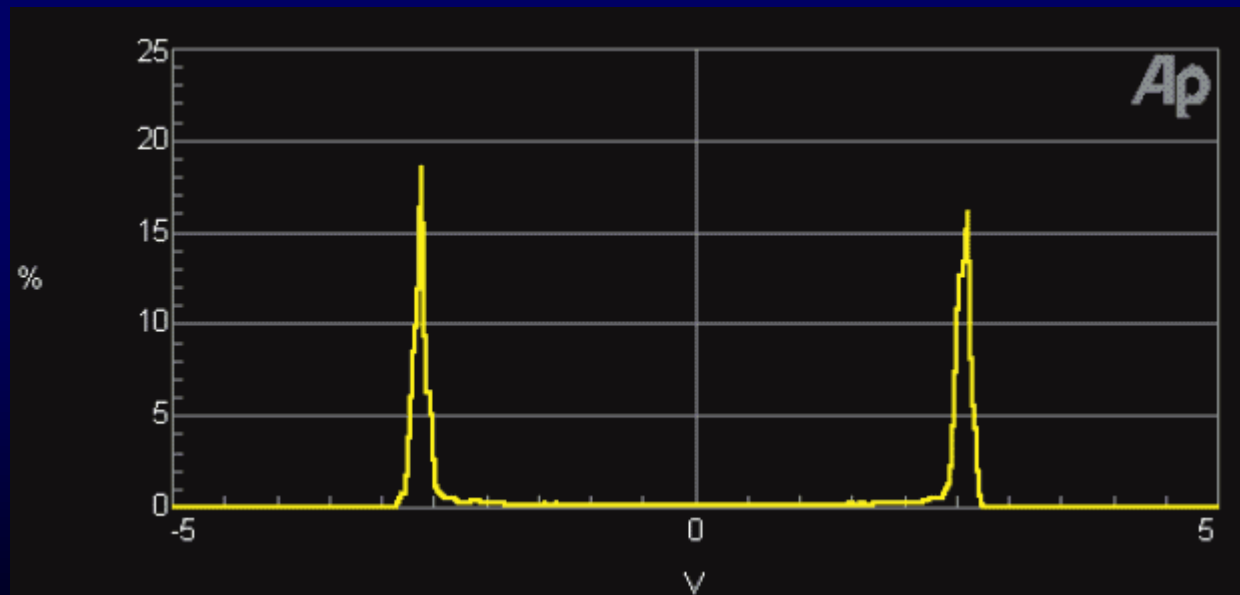


Analiza statystyczna

Histogram amplitudy impulsów:

dla sygnału nie zniekształconego powinny być widoczne dwa wyraźne prążki (amplituda ujemna i dodatnia).

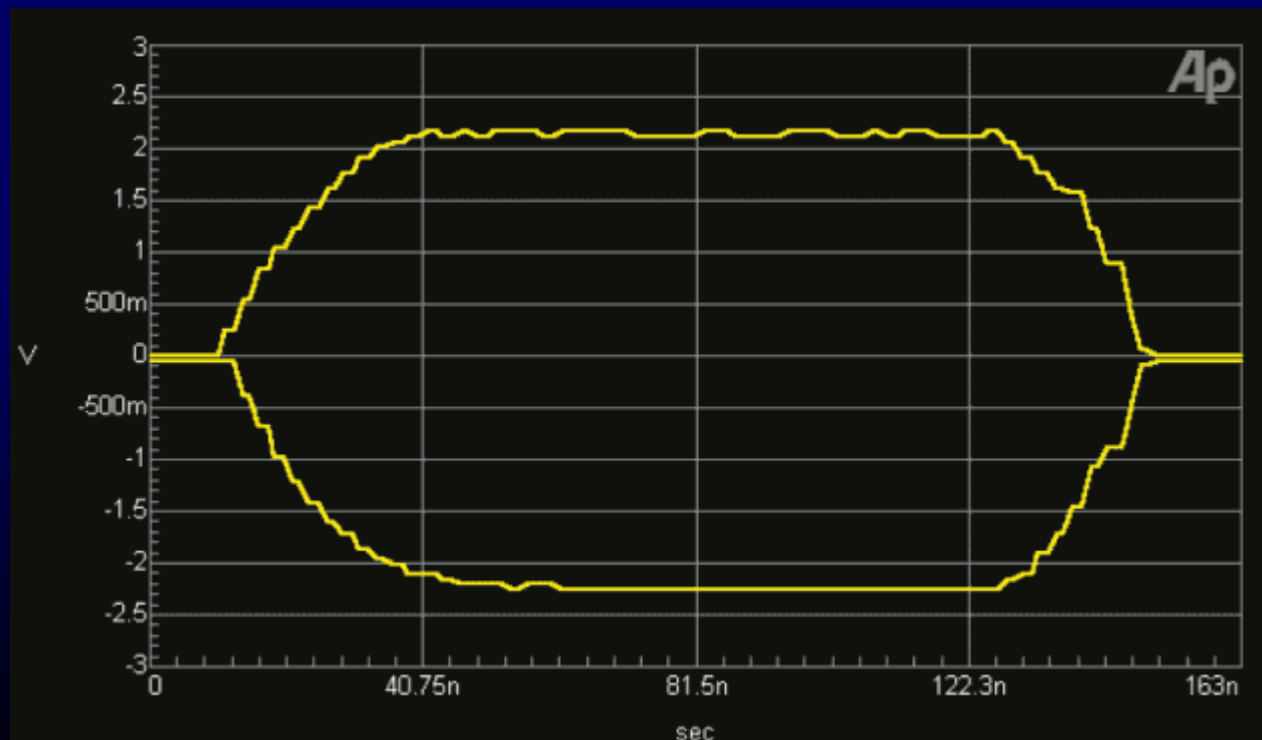
Szerokie prążki o zmniejszonej amplitudzie świadczą o zniekształceniach impulsów.



Eye pattern

Wykres *eye pattern* to specyficzny sposób przedstawiania wyniku pomiaru sygnału cyfrowego.

Dostarcza informacji o amplitudzie impulsów, czasie narastania i opadania impulsów, szumie i zakłóceniach *jitter*.



Eye pattern

Jak powstaje wykres *eye pattern*:

- analizowana jest duża liczba kolejnych impulsów,
- wszystkie impulsy są wykreślane w stosunku do „idealnego” impulsu, jeden na drugim.

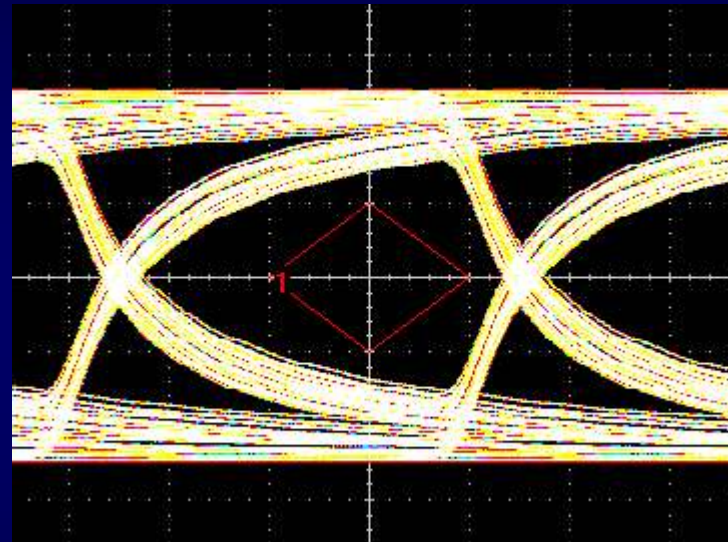
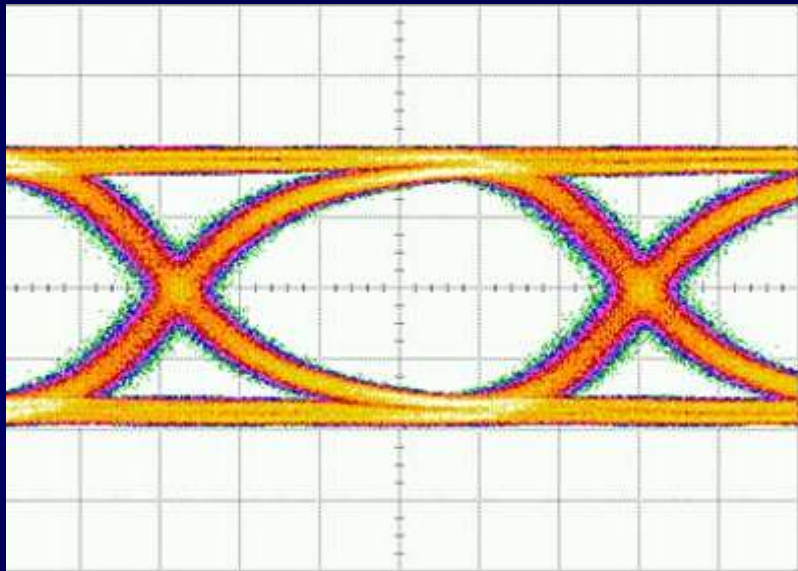
Bardziej obrazowo:

- każdą jednostkę wykreślamy na przezroczystej folii,
- wszystkie folie nakładamy na siebie,
- krawędź wewnętrznego obszaru wyznacza *eye pattern*.

Obszar w środku wykresu przedstawia zatem „najgorszy przypadek”.

Eye pattern

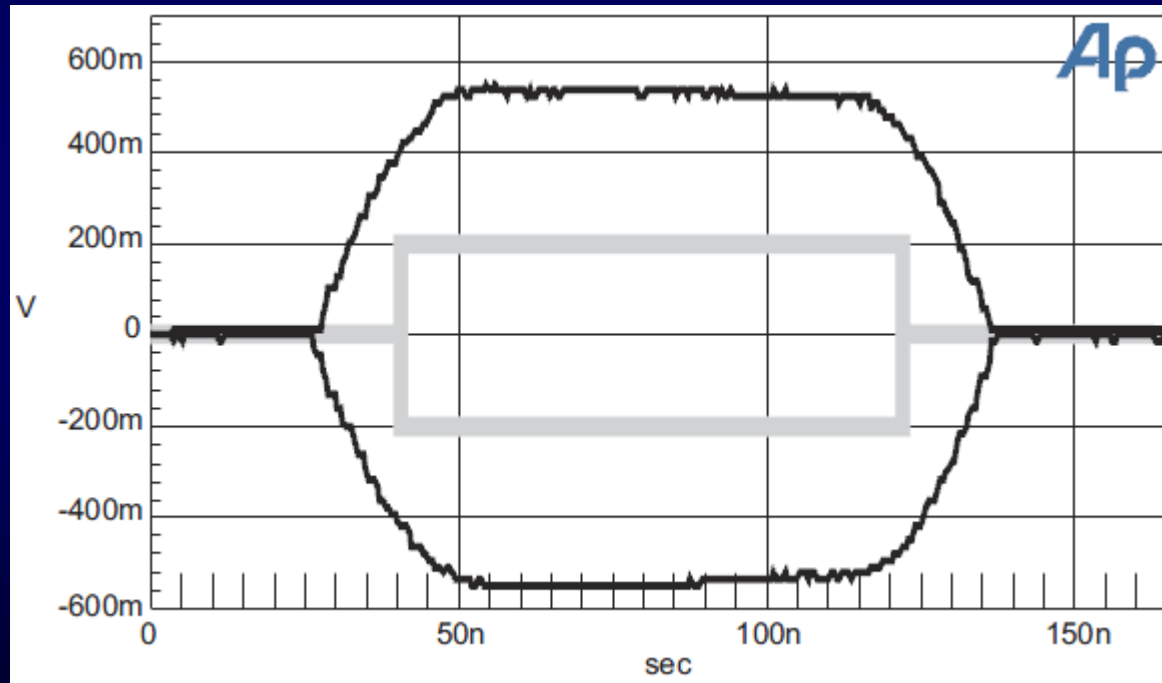
Wykres nałożonych na siebie impulsów



Eye pattern

Szary prostokąt w środku wykresu oznacza dopuszczalne zniekształcenia wg normy AES3.

Wykres *eye pattern* nie powinien nachodzić na ten obszar.



Eye pattern

Interpretacja wykresu *eye pattern*:

- mały pionowy rozstęp: duży wpływ szumu i zakłóceń,
- mały poziomy rozstęp: duży wpływ *jitter*.

Wzór *eye pattern* powinien mieć jak największy obszar „oka”. Mały obszar oznacza sygnał bardziej podatny na przekłamanie stanu 0/1.

Normy (AES3):

- minimalny rozstęp pionowy: ± 200 mV
- minimalny rozstęp poziomy: 1/2 okresu impulsu zegarowego (dla $f_s = 48$ kHz: 81,5 ns)

Testy urządzeń cyfrowych - BITTEST

Badanie BITTEST polega na:

- podaniu na wejście urządzenia sekwencji testowej
- odczycie sekwencji z wyjścia urządzenia
- porównaniu obu sekwencji

Liczba błędów pozwala stwierdzić czy urządzenie działa poprawnie – nie powinny wystąpić żadne błędy.

Typowe sekwencje testowe:

- sygnał stały (ta sama wartość)
- sygnał przypadkowy (rozkład równomierny)
- *walking bit*: wszystkie bity w słowie zerowe poza jednym, pozycja bitu „jedynkowego” przesuwa się w kolejnych słowach
- sygnał sinusoidalny

FASTTEST - Wprowadzenie

Zastosowanie techniki cyfrowej w pomiarach elektroakustycznych pozwoliło znacznie skrócić czas wykonywania pomiarów.

Mimo to, standardowy „pakiet pomiarów”:

- charakterystyka częstotliwościowa,
- zniekształcenia harmoniczne (liniowość),
- poziom szumów,

wymaga czasu rzędu kilkudziesięciu sekund do kilku minut.

W pewnych warunkach zależy nam na skróceniu czasu pomiaru. Czynnikiem ograniczającym jest czas samego pomiaru, natomiast czas analizy wyników (przy użyciu analizatora cyfrowego) jest bardzo krótki.

FASTTEST – badanie za pomocą wielotonów

Idea polega na wykonaniu pomiaru wszystkich parametrów za pomocą jednego, krótkiego sygnału pomiarowego, bez konieczności zmian parametrów tego sygnału (np. przestrajanie częstotliwości).

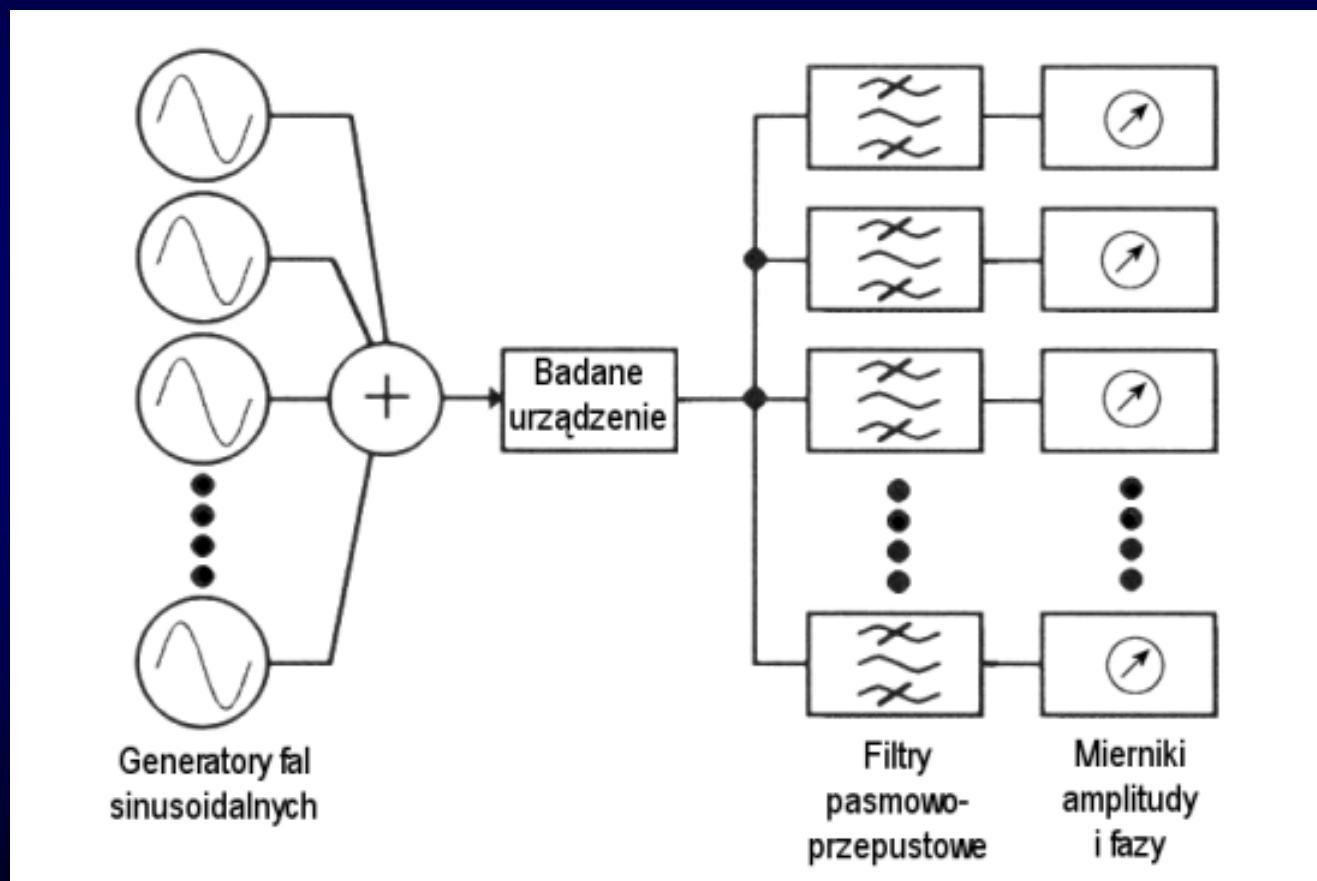
Metoda *FASTTEST* („najszybszy test”) została wprowadzona przez firmę **Audio Precision** w urządzeniu *System One*.

Sygnałem pomiarowym jest **wieloton** (*multitone*) – sygnał będący połączeniem sygnałów sinusoidalnych o różnych częstotliwościach (i ew. różnych amplitudach).

Wieloton jest przetwarzany przez badane urządzenie, a następnie analizowany (FFT, filtracje, itp.).

FASTTEST – badanie za pomocą wielotonu

Ilustracja algorytmu FASTTEST:

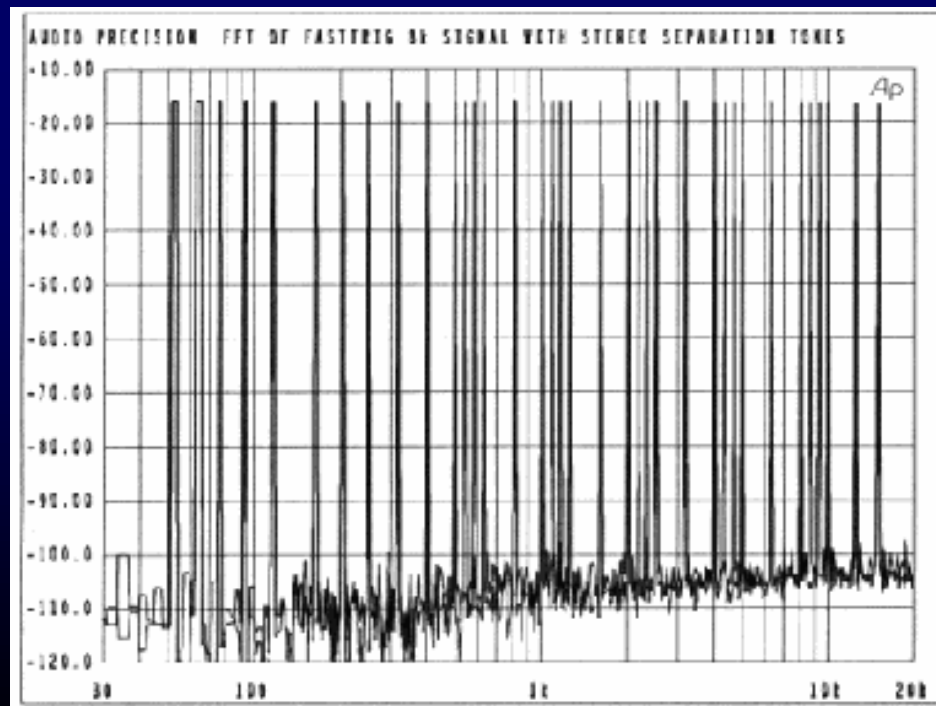


Wieloton

Struktura wielotonu (liczba składowych i ich częstotliwości) może zwykle być ustalana przez użytkownika.

Typowa liczba składowych: od 5 do 60, najczęściej od 15 do 30.

Przykładowy wieloton złożony z 31 składowych (wykres widmowy):



Rozdzielczość analizy

Zaletą metody FASTTEST jest to, że krótkie czasy trwania sygnału testowego wystarczają do uzyskania zadawalającej rozdzielczości podczas analizy.

Zależność rozdzielczości analizy od czasu trwania impulsu testowego:

DŁUGOŚĆ IMP.	ROZDZIELCZOŚĆ
960 ms	2,93 Hz
480 ms	5,86 Hz
240 ms	11.72 Hz
120 ms	23.44 Hz
60 ms	46.88 Hz

Pomiar charakterystyki częstotliwościowej

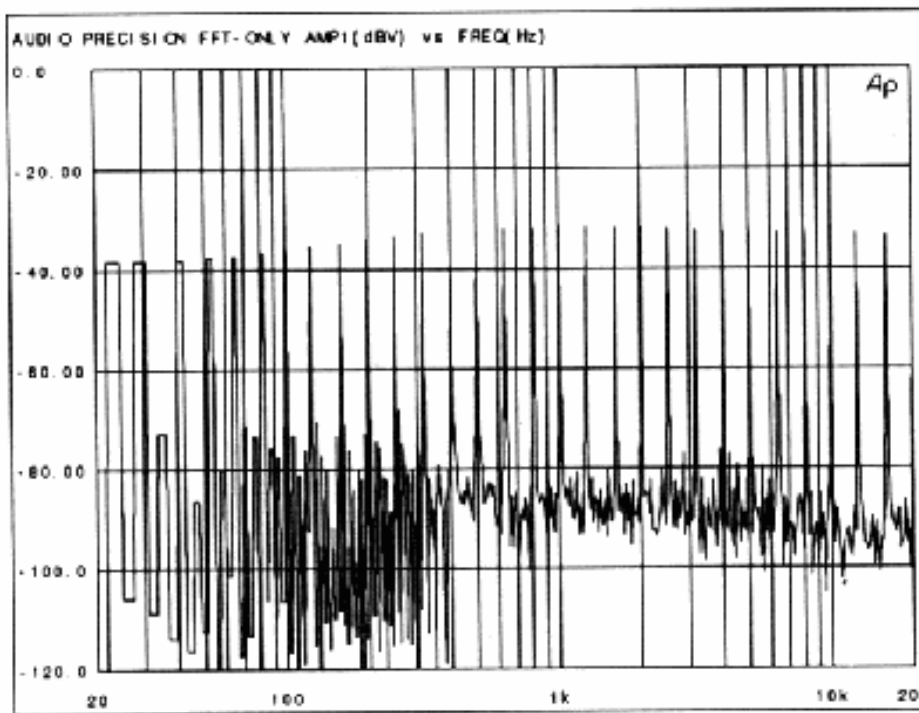
Pomiar charakterystyki częstotliwościowej (amplitudowej i fazowej) przy użyciu wielotonów:

- wieloton przetwarzany jest przez badane urządzenie
- analizator mierzy amplitudę i/lub fazę sygnału dla częstotliwości, z których złożony jest wieloton
- wyniki pomiarów tworzą charakterystykę cz.

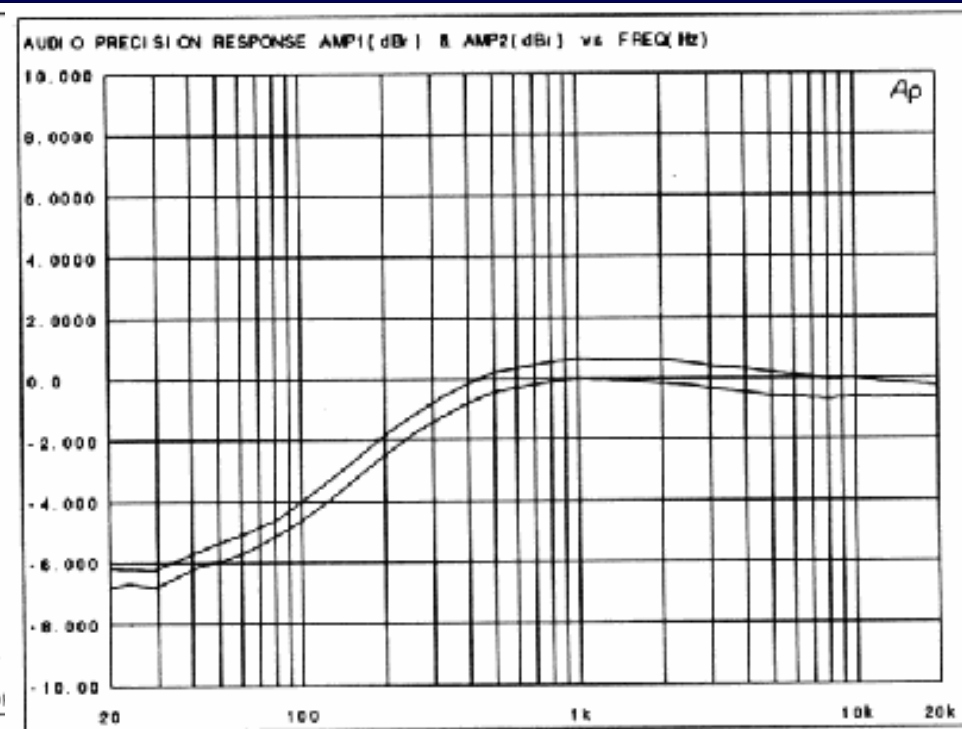
Wysyłając sygnał do jednego kanału a analizując sygnał z drugiego kanału, możemy uzyskać charakterystykę przesłuchu (separacji).

Pomiar charakterystyki częstotliwościowej

Zmierzony sygnał



Uzyskana charakterystyka



Pomiar zniekształceń THD+N

Pomiar zniekształceń harmonicznych z uwzględnieniem szumu (współczynnik THD+N):

- mamy nadal ten sam pomierzony wieloton,
- teraz mierzymy poziom sygnału dla wszystkich częstotliwości, pomijając częstotliwości wchodzące w skład wielotonu – mierzymy prężki zniekształceń harmonicznych oraz szum
- na podstawie pomiarów obliczamy THD+N

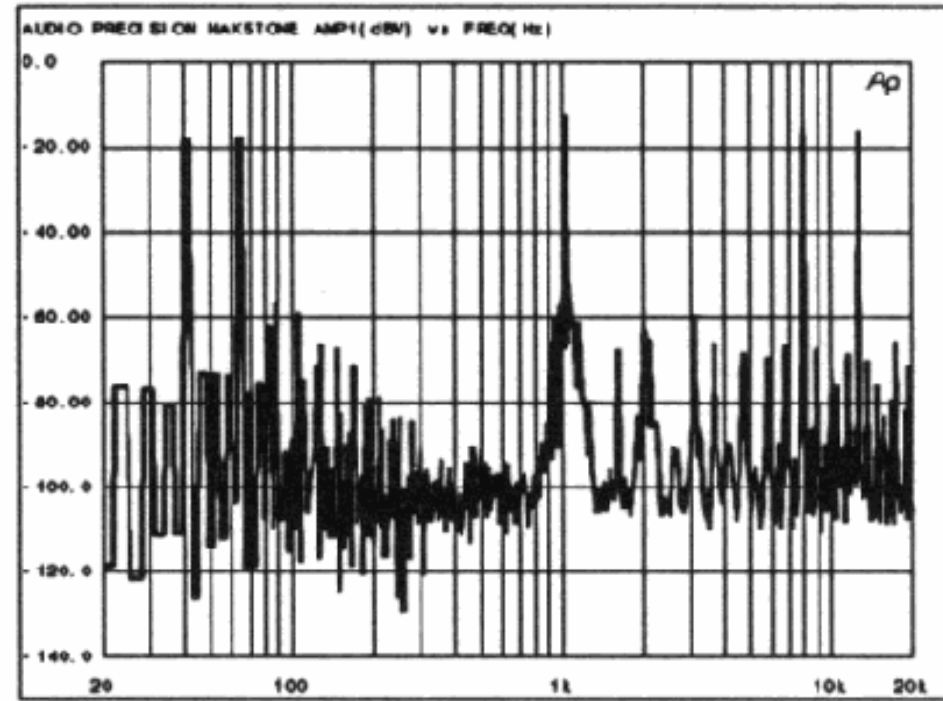
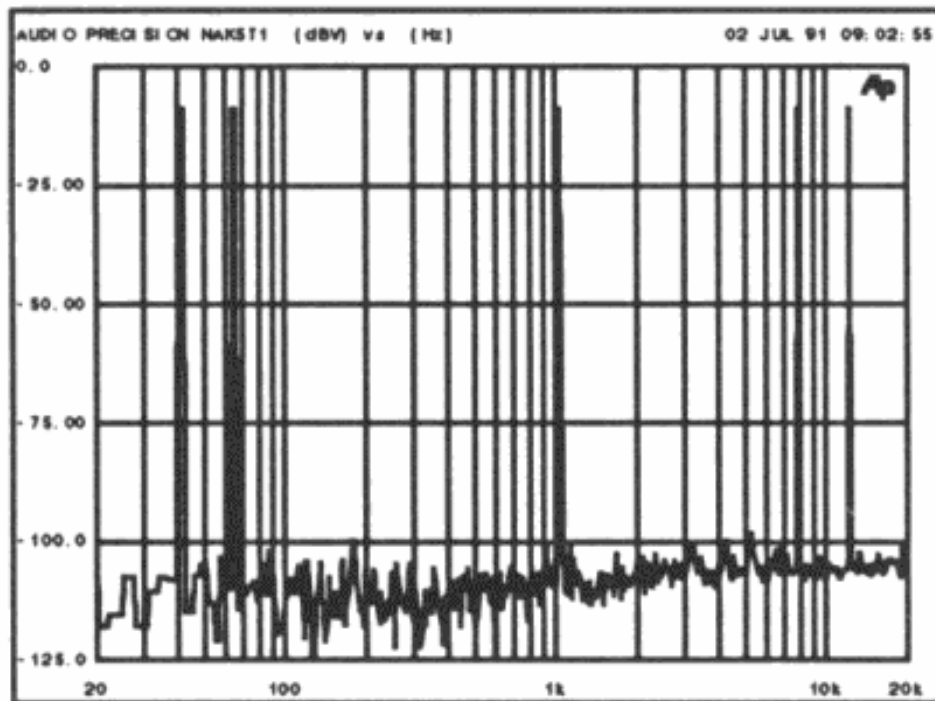
W podobny sposób możemy wyznaczyć zniekształcenia intermodulacyjne (IMD).

Pomiar zniekształceń THD+N

Przykład pomiaru THD+N przy użyciu wielotonu złożonego z 5 częstotliwości:

Sygnał testowy

Sygnał przetworzony



Pomiar poziomu szumu

Pomiar poziomu szumu:

- dalej analizujemy ten sam przetworzony wieloton
- mierzymy poziom dla wszystkich częstotliwości, ale pomijamy te, które odpowiadają:
 - częstotliwościom występującym w wielotonie,
 - częstotliwościom prążków zniekształceń harmonicznym i intermodulacyjnym.

W ten sposób mierzymy tylko sam szum.

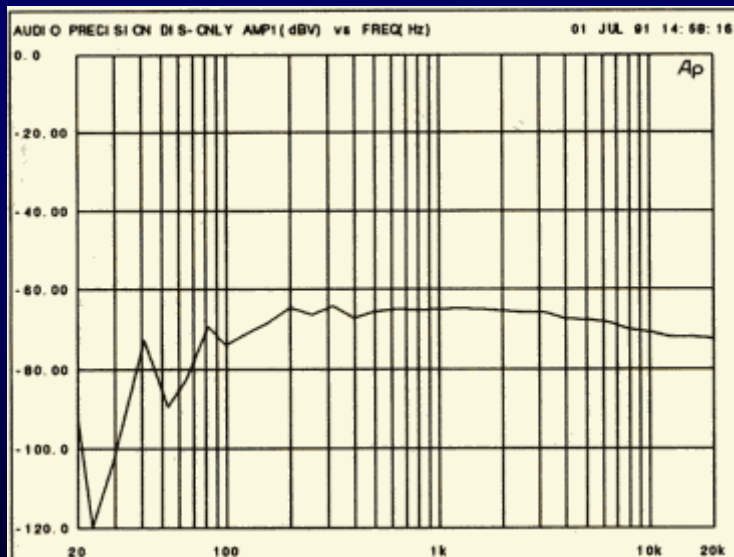
Zaletą metody: mierzymy szum w obecności sygnału.

Możemy też obliczyć stosunek sygnału do szumu.

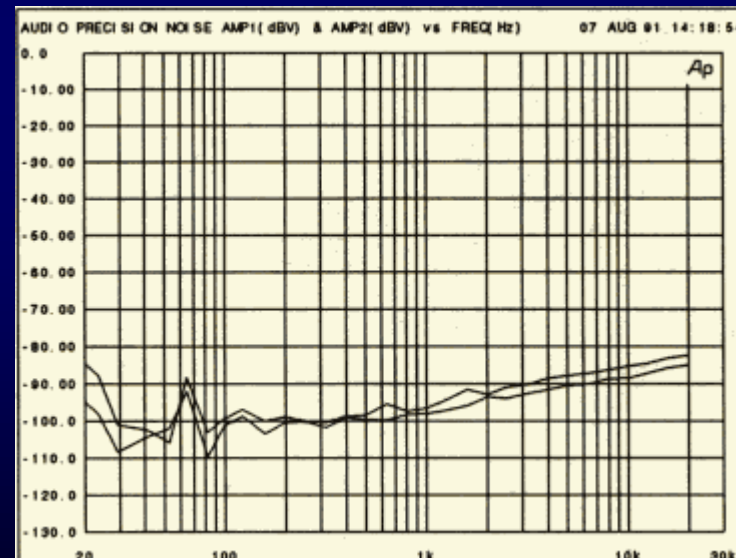
Pomiar THD+N i poziomu szumu

Przetworzone wyniki pomiarów – obliczenia charakterystyk dokonane na podstawie wielotonu przetworzonego przez badane urządzenie:

THD+N



Szum



Pomiary sygnału radiowego

Chcemy dokonać pomiarów sygnału radiowego.

Problemy:

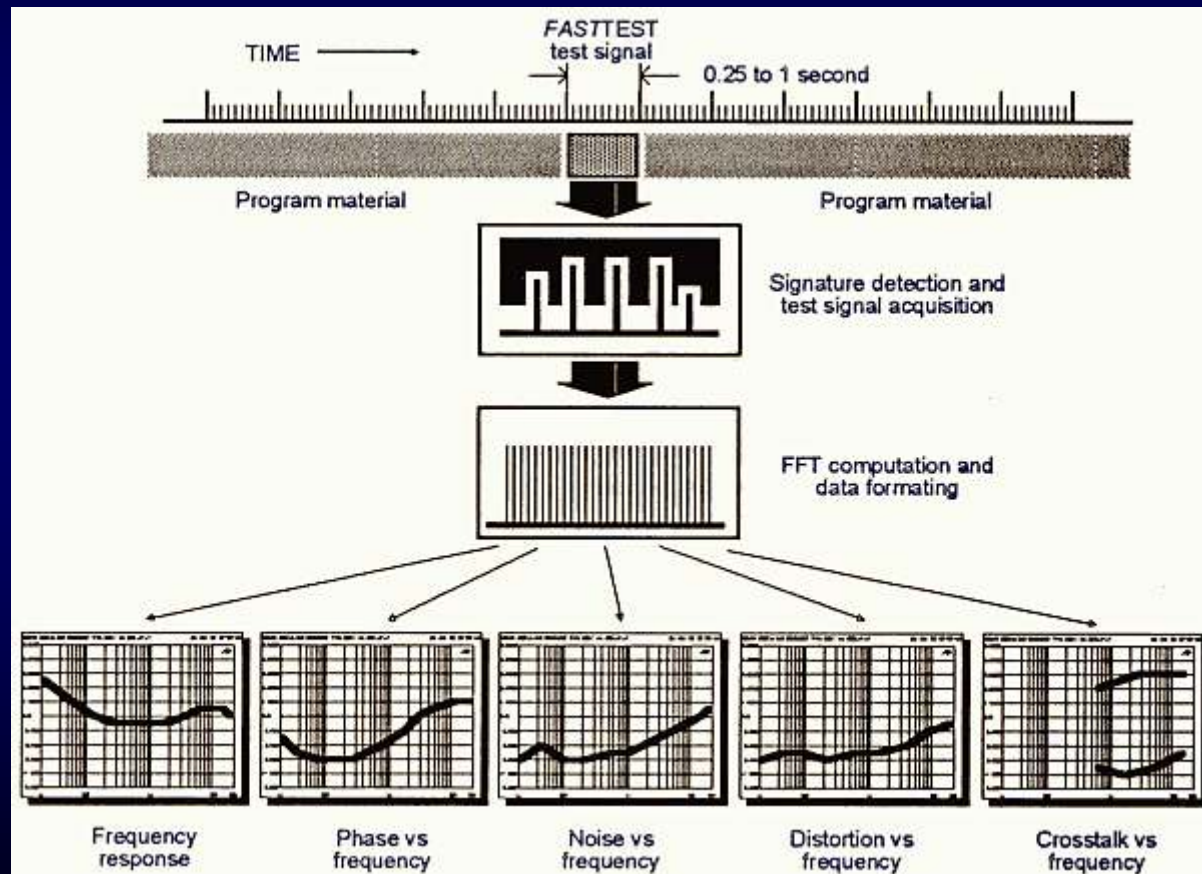
- trzeba przerywać transmisję,
- pomiary „w środku nocy” nie są chętnie wykonywane
- konieczny jest „nasłuch” sygnału radiowego w celu wykrycia i zmierzenia sygnału testowego

Rozwiązanie zaproponowane przez Audio Precision:

- wieloton jako sygnał pomiarowy
- krótki czas trwania (250 ms) – może być „wbudowany” np. w „dżingiel” lub sygnał stacji
- sygnał stanowi identyfikator automatycznie rozpoznawany przez analizator

FASTTRIG

Ilustracja działania metody FASTTRIG:



FASTTRIG

Zasada działania systemu FASTTRIG:

- system monitoruje sygnał radiowy
- w chwili wykrycia sygnału testowego dokonuje jego analizy (TRIG)
- wyniki analizy (charakterystyki) mogą być zapisywane na dysk, drukowane, wysłane przez Internet, itp.
- jeżeli system stwierdzi że wyniki pomiaru nie mieszczą się w zadanych granicach, może powiadomić o tym operatora

Bibliografia

- Bob Meltzer: *Audio Measurement Handbook*. Audio Precision, 1993. Dostępne na stronie www.ap.com.
- Wayne Jones: *Measuring Digital Audio*. Broadcast Engineering, 11/2002.
- Julian Dunn: *Measurement Techniques for Digital Audio*. Audio Precision Application Note #5. Dostępne na stronie www.ap.com.
- *System TWO User's Manual*. Dostępne na stronie www.ap.com.
- *Wikipedia*