

WdT – Wstęp do teleinformatyki

Wstęp

Systemy cyfrowe okazały się wrażliwe na przeniki z sąsiednich traktów, przeniki międzyelementowe oraz zakłócenia o charakterze impulsowym.

Z powodu oddziaływania wymienionych wyżej czynników, nie tylko kształt impulsu, ale także czasowe zależności pomiędzy poszczególnymi impulsami tworzącymi sygnał cyfrowy zmieniają się, nawet przy przejściu przez niewielki odcinek linii transmisyjnej.

Powoduje to konieczność regenerowania sygnału w regularnych odstępach toru, a regeneracja dotyczy amplitudy impulsów, zmian czasu trwania i lokalizacji na tle rastru, co jest szczególnie istotne dla jakości transmisji. Przekaz mowy w sieciach cyfrowych nie jest bardzo wrażliwy na błędy bitowe, gdyż prowadzi one jedynie do niewielkich zniekształceń dźwięku, podczas gdy w przekazie danych ważna jest bardzo mała błędność.

Wstęp

Dane są zazwyczaj transmitowane w dużych blokach.

Błędy bitowe są przyczyną ponownej transmisji całego bloku. Przy dużej błędności linia może być przeciążona.

W najgorszym przypadku, urządzenia przerwą połączenie ze względu na niezdatność linii do transmisji.

W systemach analogowych istniały wysokie wymagania na odstęp sygnału od szumu (S/N) w systemach cyfrowych są one znacznie mniejsze.

Ponieważ stosunek S/N w danym kanale uzewnętrznia się w formie przekłamań napływających bitów, dlatego w technice transmisji cyfrowej zastosowano ocenę jakości linii transmisyjnej w oparciu o analizę błędów bitowych.

Niewielka częstość występowania błędów bitowych stwarza konieczność obserwacji odpowiednio dużej ilości transmitowanych bitów, co jest równoznaczne z odpowiednim czasem pomiaru, który musi być dłuższy w przypadku lepszych systemów i konieczności uzyskania wiarygodnych wyników.

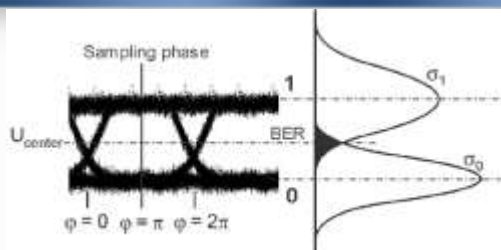
Aby zagwarantować jednakowe rozumienie jakości transmisji przez użytkowników traktów cyfrowych, ITU w stosownych zaleceniach zdefiniowała jakość transmisji i określiła limity klasyfikacyjne wyników pomiarów błędów transmisji. Pomiar tych błędów jeszcze bardziej zyskał na znaczeniu wraz z wprowadzeniem systemów cyfrowych z integracją usług, w których występuje przekaz wszystkich rodzajów informacji w sposób cyfrowy.

Podstawowe parametry oceny błędów transmisji

ESB - Elementowa Stopa Błędów,
(ang. Bit Error Ratio – **BER**):

$$BER = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n_{error}}{N_{total}} = \frac{n_{error}}{N_{total}}$$

BER



$$BER = \frac{1}{2} (P(0/1) + P(1/0))$$

BER

Bitowa stopa błędów musi być odpowiednio mała – określają wymagania.

Np.: $BER < 1 \times 10^{-9} \Rightarrow \sim 30 \text{ min z błędami przez rok}$

BER

Bitowa stopa błędów musi być odpowiednio mała – określają wymagania, w sieciach światłowodowych o dużych i bardzo dużych przepływnościach, przykłady poniżej:

$BER < 1 \times 10^{-9} \Rightarrow \sim 30 \text{ min z błędami przez rok}$

$BER < 1 \times 10^{-10}$

$BER < 1 \times 10^{-12}$

$BER < 1 \times 10^{-14}$

$BER < 1 \times 10^{-16}$

CZAS POMIARU BER

BER	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-10}
OC-48/ STM-16	0.004 ms	0.04 s	11 hours	6 days	46 days	13 years	3268 years
OC-192/ STM-64	0.001 ms	0.01 s	3 hours	8 hours	12 days	3 years	317 years

table 3 Time for one error to occur at different bit rates

- *BEC* - (ang. Bit Error Count) - liczba bitów błędnych
- *Worst BER* - (ang. Worst BER) - największy błąd bitowy
- *BSB* - Blokowa Stopa Błędów:

$$BSB = \frac{n_b}{N_b},$$

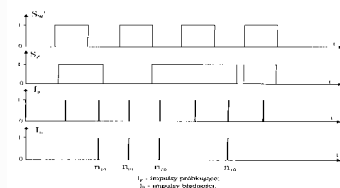
gdzie:

n_b - liczba bloków błędnych, N_b - liczba bloków zbadanych

- *CER* - (ang. Code Error Ratio) - Kodowa Stopa Błędów
- *CEC* - (ang. Code Error Count) - liczba błędów kodowych
- *Worst CER* - (ang. Worst Code Error Ratio) - największy błąd kodowy

Zasada pomiaru

Wykrywanie bitów (elementów) błędnych



Rodzaje pomiaru

- ❑ pomiar "out of service" - OOS
- ❑ pomiar "in service" - IS
- ❑ pomiar "in service monitoring" - ISM

Pomiar "out of service" - OOS

Pomiar "out of service" polega na wypełnieniu badanego kanału (wybranego z grupy kanałów) sygnałem wzorcowym i komparacji sygnałów: wzorcowego oraz odebranego, po uwzględnieniu czasu propagacji w kanale. Pomiar w tym trybie realizuje się jedną z dwu metod:

- ❑ *pomiar w pętli*, błędy w odbieranym sygnale cyfrowym wykrywa się przez porównanie go z opóźnionym sygnałem nadawanym (wzorcowym),
- ❑ *pomiar od punktu do punktu*, błędy w odbieranym sygnale cyfrowym wykrywa się przez porównanie go z sygnałem wzorcowym odtworzonym w odbiorniku z uwzględnieniem czasu propagacji.

Sygnały testowe - wzorcowe

Jako wzorce pomiarowe stosuje się cyfrowe przebiegi krótkookresowe i przebiegi pseudolosowe długookresowe. Przebiegi krótkookresowe są ciągami o długości od kilku do kilkudziesięciu bitów programowanymi przez osobę wykonującą pomiary, które są wysyłane powtarzalnie w sposób ciągły.

Ciąg pseudolosowy *PRBS* (*Pseudo Random Bit Sequence*) jest ciągiem bitów, wygenerowanym według reguł matematycznych, w którym rozkład zer i jedynek jest tylko w pewnym stopniu losowy.

W języku polskim taki sygnał nosi nazwę

sygnału prawie przypadkowego (SPP).

Najczęściej jest on generowany przez rejestr przesuwany, sprzężony zwrotnie przez bramkę EXOR. Wzorec powtarza się po określonej liczbie bitów. Długość użytego do generacji rejestru przesuwanego i miejsca gdzie stosuje się sprzężenie zwrotne, określają maksymalny okres wzorca.

Ciąg pseudolosowy PRBS

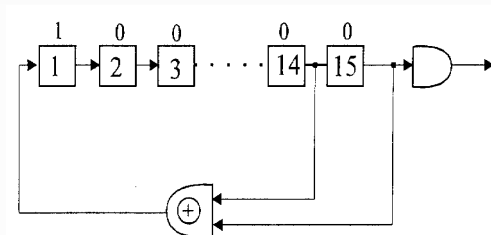
Sekwencja PRBS jest przypadkowa w tym sensie, że wartość elementu a_j jest niezależna od wartości każdego innego elementu, podobnie jak dla prawdziwych sekwencji przypadkowych.

Nazywamy ją sekwencją pseudoprzypadkową ponieważ jest ona zdeterminowana i po N elementach zaczyna się ona powtarzać, co oczywiście nie występuje dla prawdziwych sekwencji przypadkowych, takich jak sekwencje generowane przez źródła radioaktywne lub szum biały.

Sygnały PRBS

Ciągi pseudolosowe	Okres wzorca [bit]	Sprzężenie zwrotne	max ciąg zer [bit]	Uwagi
PRBS 6	63	5 i 6	5	
PRBS 9	511	5 i 9	8	ITU V. 52
PRBS 10	1023	7 i 10	10	ITU
PRBS11	2047	9 i 11	10	ITU O. 152
PRBS15	32767	14 i 15	15	ITU O. 152
PRBS17	131071	14 i 17	16	
PRBS 20	1048575	3 i 20	19	ITU V. 57
PRBS 23	8388607	18 i 23	23	ITU O. 151
PRBS 31	2147483647	28 i 31	30	Pomiar czasu opóźnienia

Generator sekwencji PRBS 15



Zalecenie ITU-T G.821(12/2002)

SERIA G: SYSTEMY TRANSMISYJNE I MEDIA

Error performance of an international digital connection operating at a bit below the primary rate and forming part of an Integrated Services Digital Network

Cyfrowe systemy transmisyjne –

Sieci cyfrowe – cele jakości i dostępności

Niezawodność w operacjach międzynarodowych połączeń cyfrowych przy przepływności bitowej poniżej podstawowej oraz część tworząca cyfrową sieć z integracją usług.

Zdarzenia: ES, ESR, SES, SESR

1. *Sekunda z błędami (ES – Errored Second)*: okres jednej sekundy podczas której jeden lub więcej bitów zawierają błędy
2. *Stopa Błędnych Sekund (ESR – Errored Second Ratio)*: iloraz liczby ES w czasie dostępnym, do całkowitej liczby sekund podczas ustalonego czasu pomiaru
3. *Sekunda z poważnymi błędami (SES – Severly Errored Second)*: okres jednej sekundy podczas której elementowa (bitowa) stopa błędów jest większa od $1 \cdot 10^{-3}$; bitowa stopa błędów gorsza od $1 \cdot 10^{-3}$, ($BER > 1 \cdot 10^{-3}$).
4. *Stopa Sekund z Poważnymi Błędami (SESR – Severly Errored Second Ratio)*: iloraz liczby SES w czasie dostępnym, do całkowitej liczby sekund podczas ustalonego czasu pomiaru

CZAS DOSTĘPNY I NIEDOSTĘPNY

Okres czasu niedostępnego zaczyna się kiedy ESB (BER) w każdej kolejnej sekundzie jest gorsza od $1 \cdot 10^{-3}$ przez co najmniej dziesięć kolejnych sekund (co najmniej 10 SES). Te dziesięć sekund jest zaliczanych do czasu niedostępnego.

Czas dostępny rozpocznie się z pierwszą sekundą okresu co najmniej dziesięciu sekund, kiedy każda z nich, będzie miała ESB (BER) lepszą od $1 \cdot 10^{-3}$ (co najmniej 10 sekund nie SES).

Te 10 sekund jest zaliczane do czasu dostępnego.

Definicje dostępności można znaleźć w serii zaleceń E.800.

Wartości graniczne ESR i SESR

ustalone dla każdego kierunku połączeń komutowanych typu ISDN

Tabela 1

Rodzaj błędów	Wartości graniczne (Uwagi 1,2)
Stopa Sekund z Poważnymi Błędami SESR	< 0.002
Stopa Sekund Błędnych ESR	< 0.08

UWAGI:

- 1 Stopy błędów są obliczane dla czasu dostępnego.
- 2 Załącznik B pokazuje jak należy wykonywać całkowitą ocenę wydajności.

Podział wartości granicznych dla klasyfikacji trójpoziomowej

Tabela 2

Rodzaj poziomu	Rodzaj wartości granicznych podanych w tabeli 1
Poziom lokalny (2 zakończenia)	15% wartości granicznej na każdym z zakończeń
Poziom średni (2 zakończenia)	15% wartości granicznej na każdym z zakończeń
Poziom wysoki	40% (równoważne wartości 0,0016% na 1km dla 25000km)

Blokowa stopa błędów

Obszar zastosowań G.826:

PDH; SDH; ATM

Definicje zdarzeń związanych z błędami

Ocena parametrów

Rozbieżności między G.821 i G.826

Zdarzenia związane z błędami, definicje zdarzeń

Blok z błędami (*Errored Block - EB*)
 Sekunda z błędami (*Errored Second - ES*)
 Sekunda z poważnymi (wielokrotnymi błędami *Severely Errored Second - SES*)
 Błędy blokowe tłowe (*Background Block Error - BBE*)

Jakościowe parametry względne

Stopa sekund z błędami (*Errored Second Ratio - ESR*)

Stopa sekund z wielokrotnymi błędami
 (*Severely Errored Second Ratio - SESR*)

Stopa blokowych błędów tłowych
 (*Background Block Error Ratio - BBER*)

Definicje : EB; ES; SES; BBE ESR; SESR; BBER – wg G 826

EB – blok w którym stwierdzono jeden lub więcej bitów błędnych

ES – odstęp czasu jednej sekundy, w którym stwierdzono jeden lub więcej bloków z błędami

ESR (*Errored Second Ratio*) – stopa sekund z błędami, iloraz ilości sekund z błędami do wszystkich sekund w trakcie trwania seansu pomiarowego

c.d. definicje

SES (*Severly Errored Second*) – odstęp czasu jednej sekundy, w którym stwierdzono defekt lub minimum 30% bloków z błędami

BBE – błędny blok nie należący do sekundy z wieloma błędami (*SES*), odmienną nazwę przyjęto w TPSA(ET-04 i ET-07) ;błąd bloku składowego, błąd bloku podkładowego

SESR (*SES Ratio*) –iloraz SES do wszystkich sekund w trakcie seansu pomiarowego

BBER (*BBE Ratio*) – iloraz ilości bloków błędnych, lecz nie należących do SES, do ilości wszystkich bloków obserwowanych w trakcie seansu pomiarowego

ANOMALIE i DEFEKTY

ANOMALIE, zdarzenia anormalne w czasie pracy systemu, np:

- zakłócenia sygnału synchronizacji ramki (FAS),
- zakłócenia słowa kodowego CRC lub bitów E w ramce 2Mbit/s,
- zakłócenia bitów parzystości,
- zakłócenia kodowe na styku G.703,
- kontrolowane poślizgi bitowe.

ZDARZENIA ANORMALNE SĄ RÓWNOWAŻNE Z WYSTĄPIENIEM SEKUND Z BŁĘDAMI (ES)

c.d ANOMALIE i DEFEKTY

DEFEKTY, defektami są np.:

- Strata synchronizacji (LOF),
- Zanik sygnału (LOS),
- Sygnał alarmu (AIS).

Defekty są zdarzeniami równoznacznymi z wystąpieniem sekund z błędami (ES), oraz sekund z wielokrotnymi błędami (SES)

Dziękuję za uwagę !

3. Inne parametry oceny jakości transmisji

3.1. Diagram rozwartości oka

Diagram rozwartości oka jest szybką metodą oceny jakości i integralności elektronicznego sygnału (lub po przekonwertowaniu sygnału optycznego na elektryczny), z powodzeniem stosowany w transmisji elektrycznej i optycznej.

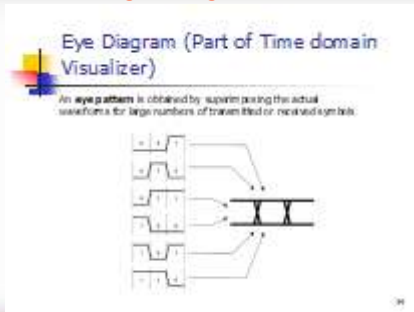
Diagram rozwartości oka powstaje przez nakładanie na siebie kolejnych okresów bitowych (nałożenie bitów - „jedynek” i „zer”) i wyeksponowanie obrazu na monitorze. Jeżeli sygnał ma małe zniekształcenia, a jego amplituda jest wystarczająca do rozpoznania w odbiorniku, wówczas oko jest wystarczająco otwarte. W przeciwnym razie otwartość oka jest niewystarczająca – odbiornik nie jest w stanie poprawnie rozróżnić potoku bitów złożonych z „jedynek” i „zer”.

ZASADA POMIARU ROZWARTOŚCI OKA

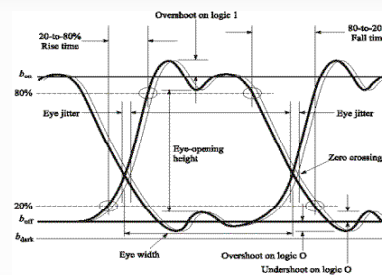


Wykres oczkowy uzyskuje się doprowadzając do wejścia odchylania pionowego oscyloskopu analizowany sygnał, a podstawę czasu wyzwalając sygnałem zegarowym; podstawa czasu jest zsynchronizowana z zegarem sygnału. Na ekranie monitora powstanie obraz z nałożonych na siebie wszystkich możliwych kombinacji danych bitowych, tworząc charakterystyczny przebieg w kształcie oka

KOMBINACJE „0” i „1” W SYGNALE POMIAROWYM

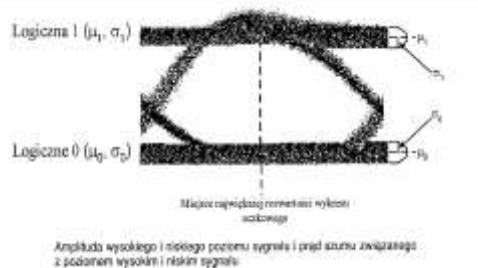


ROZWARTOŚĆ OKA

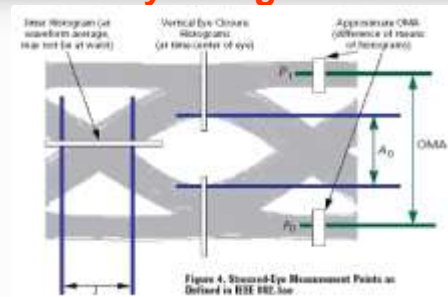


Rozwartość oka, amplitudy i wariancje sygnału

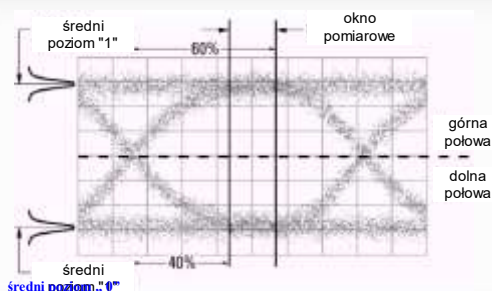
DIAGRAM OKA



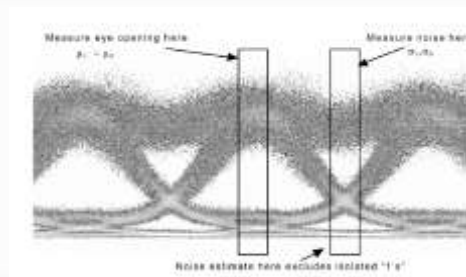
Eye Diagram



Miejsce pomiaru



Miejsce pomiaru μ i σ



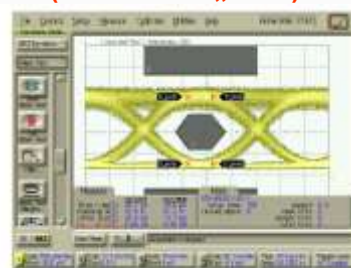
OCENA SYSTEMU w oparciu o rozwartość oka

W praktycznej ocenie systemu w oparciu o wykres rozwartości oka, porównuje się uzyskany wykres z tzw. maską telekomunikacyjną o kształcie wieloboku, który określa granice obszaru, w którym nie może znaleźć się odbierany sygnał.

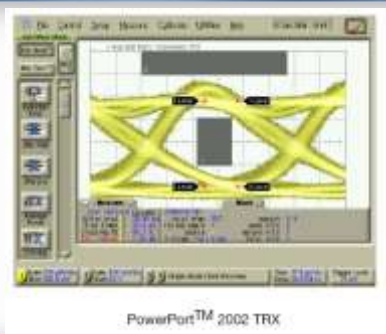
Maski są zdefiniowane w zaleceniach ITU-T G.957 dla STM 1-STM16 i w G.691 dla systemu STM 64.

Sprawdzenie czy wykres oka jest zawarty na zewnątrz maski, ma na celu wykrycie nieprawidłowości w wyniku których układ decyzyjny odbiornika miałby problemy z prawidłową detekcją stanu logicznego. Nachodzenie wykresu oka na maskę, świadczy o pogorszeniu jakości transmisji (wzrasta wartość BER).

EYE DIAGRAM dla DWDM 100GHz (rozwartość „oka”)

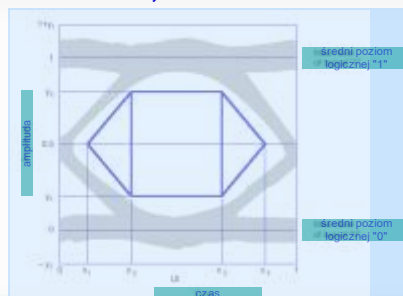


EYE DIAGRAM



ROZWARTOŚĆ OKA

Maska telekomunikacyjna dla STM-1, STM-4 i STM-16



Dane do maski telekomunikacyjnej

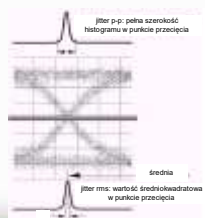
	STM-1	STM-4	STM-16	STM-64
x_1/x_4	0,15/0,85	0,25/0,75	-	
x_2/x_3	0,35/0,65	0,40/0,60	-	
x_3-x_2	-	-	0,20	0,20
y_1/y_2	0,20/0,80	0,20/0,80	0,25/0,75	0,25/0,75

Maska telekomunikacyjna (prostokąt) dla STM-64 i STM-256

	10 Gbit/s	40 Gbit/s
x_3-x_2	0,2	0,2
y_1	0,25	0,15
y_2	0,75	0,85
y_3	0,25	0,25

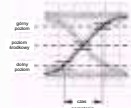
Pomiar jittera na podstawie wykresu oka

Jitter jest opisywany w dalszej części wykładu. Wartość jittera można wyznaczyć z wykresu oka. Po zebraniu kolejnych obrazów sygnału, określana jest maksymalna szerokość wykresu oka na skrzyżowaniu opadających i narastających zboczy wykresu. Analizator Agilent 86100A ma możliwość pomiaru zarówno największej zmierzonej szerokości (amplitudy) jittera jak i jego wartości średniokwadratowej.



Czas narastania impulsu

Czas narastania impulsu definiuje się jako czas jaki upłynie od chwili gdy amplituda sygnału osiągnie 10% odległości między średnimi wartościami logicznego „0” i „1” do chwili gdy amplituda osiągnie 90% ww. wartości (wg Agilent przy wyłączonym filtrowaniu). Czas narastania powinien być mierzony również pomiędzy 20% i 80% amplitudy.



Pomiar nachylenia zbocza impulsu

Podsumowanie rozwartość oka \Leftrightarrow jakość sygnału

- *większe rozwarcie oka w części centralnej* tym lepsze jest działanie systemu telekomunikacyjnego,
- *większe rozwarcie oka w części centralnej* tym większa odporność systemu telekomunikacyjnego na zakłócenia,
- *większe rozwarcie oka w poziomie* wykresu tym większa odporność systemu telekomunikacyjnego na fluktuacje fazy,
- *czasy narastania impulsów optycznych* (przejście z logicznego „0” do logicznej „1”) powinny być odpowiednio małe i w miarę jednostajne,
- *nachylenie wykresu oczkowego*, wskazuje na podatność (odporność) systemu na błędy czasowe. Ze zmniejszaniem się kąta nachylenia wykresu względem osi czasu, rośnie prawdopodobieństwo wystąpienia błędów czasowych,
- stany „0” i „1” powinny charakteryzować się: stabilnym poziomem mocy optycznej i małym zaszumieniem.

Dziękuję za uwagę !