

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI
WARSZAWA-MIEDZESZYN

BIULETYN

INFORMACYJNY

1 (201)

1981

MINISTERSTWO ŁĄCZNOŚCI

BIULETYN INFORMACYJNY

ROK 21

WARSZAWA 1981

NR 1/20

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI
Branżowy Ośrodek
Informacji Naukowej, Technicznej i Ekonomicznej

Redaktor Naczelny - prof. mgr inż. Lesław Kędziński
Z-ca Redaktora Naczelnego - doc. dr inż. Krystyn Plewko

Redaktorzy działów:

doc. mgr inż. Władysław Cetner, doc. mgr inż. Adam Moniuszko

Adres Redakcji:
Instytut Łączności
Branżowy Ośrodek
Informacji Naukowej, Technicznej i Ekonomicznej
Warszawa-Miedzeszyn, ul. Szachowa 1

NA PRAWACH RĘKOPISU - DO UŻYTKU SŁUŻBOWEGO

Redaktor: mgr K. Juszkiewicz

Montaż tekstu: B. Drabik

Dział Wydawniczy Instytutu Łączności
Format B5. Nakład 625. Wpłynęło do
Działu Wydawniczego 26.III.1981 r.
Druk ukończono w kwietniu 1981 r.

Adam Moniuszko

WPROWADZENIE TELETRANSMISYJNYCH SYSTEMÓW CYFROWYCH
DO SIECI KABLI SYMETRYCZNYCH

Niektóre problemy techniczne

S P I S T R E S C I

	Str.
1. Zagadnienia ogólne	1
2. Zasady wprowadzania systemów cyfrowych do kabli symetrycznych	6
2.1. Zasady ogólne	6
2.2. Wprowadzanie systemów cyfrowych do istniejących linii	12
2.2.1. Systemy cyfrowe w liniach jednokablowych	12
2.2.2. Systemy cyfrowe w liniach dwukablowych	15
2.3. Nowo budowane linie dla systemów cyfrowych	18
3. Uwagi końcowe	19
Wykaz literatury	20
Załącznik A - Obliczanie szumów i tłumienności przenikowej odpowiadającej średniej energii szumów	22
Załącznik B - Obliczanie nominalnej długości odcinków regeneracyjnych systemu TCK-30	26
Załącznik C - Zależność odstępów sygnału od szumów od wymaganej stopy błędów	33
Załącznik D - Program statystycznej analizy przeników na kalkulatorze Texas Instruments	36

WPROWADZENIE TELETRANSMISYJNYCH SYSTEMÓW CYFROWYCH
DO SIECI KABLI SYMETRYCZNYCH
Niektóre problemy techniczne

1. ZAGADNIENIA OGÓLNE

Zaspokojenie potrzeb na łącza telekomunikacyjne wymaga znacznych nakładów inwestycyjnych na nowe linie kablowe bądź radiowe. Wydatki z tym związane są w dużym stopniu zależne od rodzaju i krotności zastosowanego systemu teletransmisyjnego, pozwalającego na wielokrotne wykorzystanie torów; im większa krotność systemu, tym mniejsze są zwykle koszty jednostkowe, przypadające na jeden kanał w trakcie liniowym. Stosowanie wielokrotnych systemów analogowych opłacalne jest na ogół w relacjach długich.

Dopiero opracowanie i wprowadzenie teletransmisyjnych systemów cyfrowych o modulacji kodowo-impulsowej pozwoliło na rozszerzenie zakresu wielokrotnienia linii kablowych. Uzyskano korzystne relacje ekonomiczne dzięki potaniu urządzeń cyfrowych. Poza tym urządzenia te charakteryzowały się stosunkowo dużą odpornością na zakłócenia i szumy, co stanowiło poważną ich zaletę. Przyczyniło się to do wprowadzania wielokrotnych systemów tego rodzaju na linie krótsze, jednocześnie przy niezbyt wysokich wymaganiach przenikowych, a to z kolei pozwoliło na wprowadzenie systemów na linie kablowe sieci wewnątrzstrefowych /okręgowych/ lub nawet miejscowych, to jest na linie wykorzystywane dotychczas wyłącznie dla systemów naturalnych. Nowe łącza, uzyskane w ten sposób, nie wymagały ponoszenia kosztów na budowę nowych linii kablowych, co znacznie zwiększało efektywność ekonomiczną przedsięwzięć inwestycyjno-modernizacyjnych.

Wiele innych zalet systemów cyfrowych powoduje, że w niektórych krajach zmierza się do pełnej cyfryzacji sieci telekomunikacyjnych i to nie tylko w zakresie techniki teletransmisyjnej, lecz także telekomutacyjnej. Stopniowo wprowadzane są coraz większe liczby systemów cyfrowych do eksploatacji, dążąc do stworzenia w przyszłości jednolitej sieci zintegrowanej /technicznie/. Nie jest to jednak proces szybki, gdyż wiąże się on

z dużymi nakładami inwestycyjnymi. Należy też zaznaczyć, że zastosowanie w technologii systemów analogowych najnowszych układów scalonych przyczyniło się również do potaniaenia tych systemów, co w pewnym stopniu zmniejsza konkurencyjność ekonomiczną systemów cyfrowych.

W Polsce pierwszym systemem cyfrowym, jaki opracowano i wdrożono do produkcji i eksploatacji, był system TCK-24 o przepływności binarnej 1544 kbit/s. Nieco później opracowano nowszy system TCK-30, o przepływności 2048 kbit/s, który jest już także produkowany i stosowany w eksploatacji. Następnie opracowano system wyższego zwielokrotnienia TCC-120, o przepływności 8448 kbit/s, którego produkcja jest obecnie uruchamiana. System TCK-30 pomyślany był jako system do współpracy z centralami elektronicznymi E10 i przeznaczony głównie do sieci miejscowych. System TCC-120 przeznaczony został przede wszystkim do sieci wewnątrzstrefowych i przystosowany do specjalnych kabli symetrycznych o ekranowanych grupach wiązek parowych.

Uruchomienie produkcji systemów cyfrowych poprzedzone było analizami zarówno technicznymi, jak i ekonomicznymi. Analizy tego rodzaju warto powtórzyć [1], korygując dane początkowe i uzyskując bardziej aktualne wnioski, co do zakresu stosowania systemów i korzyści ekonomicznych.

Niniejszy artykuł omawia sprawy techniczne, związane z wdrażaniem do eksploatacji systemów cyfrowych, starając się wyjaśnić niektóre problemy, na jakie natrafić można przy projektowaniu traktów cyfrowych, przede wszystkim na symetrycznych liniach istniejących aktualnie w sieciach telekomunikacyjnych, a także problemy przy badaniach i technicznej ocenie tych linii.

Istniejąca bogata sieć linii kablowych różnego rodzaju wymaga rozważenia możliwości lepszego lub zmodernizowanego jej wykorzystania. Sieci miejscowe, mimo ich rozbudowywania, nie zaspokajają w wielu przypadkach wciąż rosnących potrzeb. Wprowadzanie więc systemów cyfrowych do tych sieci, będących jak wiadomo sieciami linii jednokablowych, jest jak najbardziej uzasadnione. Duża sieć dalekosiężnych linii symetrycznych dwukablowych, wykorzystywanych dotychczas dla systemów nośnych analogowych, wymaga pilnej modernizacji. Korzystne byłoby więc w tym przypadku zastosowanie nowoczesnych systemów cyfrowych, na przykład 120-krotnych, choć pod względem technicznym będzie to trudne. W niektórych natomiast jednokablowych liniach okręgowych byłoby celowe zastosowanie systemów cyfrowych, mimo braku ekranów, oddzielających grupy wiązek różnych kierunków transmisji

w tych kablach. Nowo zaś budowane linie kablowe dla systemów cyfrowych będą zazwyczaj liniami jednokablowymi.

Z ekonomicznego punktu widzenia linie jednokablowe będą zawsze tańsze niż zawierające tyle samo torów linie dwukablowe. W przypadku stosowania analogowych systemów nośnych konieczne było korzystanie z linii dwukablowych, bowiem wysokie wymagania przenikowe między torami różnych kierunków transmisji, we względnie szerokim pasmie częstotliwości, przy dość znacznym koszcie nieobstęgiwanych stacji wzmacniakowych, uzasadniały celowość ponoszenia większych nakładów inwestycyjnych na kabie. Przy mniejszych kosztach stacji regeneratorskich systemów cyfrowych, a także dzięki lepszym konstrukcjom kabli, można było osiągnąć dostatecznie dobre parametry przenikowe w liniach jednokablowych. Z tego też względu przyjęta się na ogół zasada, że dla systemów cyfrowych, nowe linie budowane są jako linie jednokablowe. Jedynie w relacjach o bardzo dużych liczbach potrzebnych łączy może być czasem uzasadnione projektowanie linii dwukablowych.

Jakkolwiek systemy cyfrowe odznaczają się dużą odpornością na pojawiające się w torach liniowych szumy i zakłócenia, jednak te zakłócenia mogą być przyczyną wzrostu stopy błędów w transmisji bądź mogą spowodować skrócenie projektowanych odcinków regeneratorskich, zmniejszając tym samym efektywność ekonomiczną uwielokrotnienia linii. Zakłócenia w liniach mogą powodować również konieczność ograniczenia liczby zestrojów, projektowanych do wprowadzenia w danej linii (patrz także załącznik C).

W liniach symetrycznych najważniejszym problemem są zakłócenia i szumy, przenikające w kablu do określonego toru ze wszystkich sąsiednich torów. Przeniki te są bardzo trudne do wyeliminowania w procesie budowy linii kablowej, a ograniczenie ich w już eksploatowanych, istniejących w sieci liniach, jest najczęściej w ogóle niemożliwe. W przypadku więc wprowadzenia systemów cyfrowych do istniejących linii bardzo istotną sprawą jest właściwa techniczna ocena uwielokrotnionej linii kablowej, przede wszystkim z punktu widzenia przeników. Skala trudności i uzyskane wyniki zależą będą również od innych parametrów transmisyjnych linii, a więc od rodzaju kabli, sposobu ich produkcji, metody montażu linii i aktualnego stanu technicznego linii, gwarantującego właściwą ich niezawodność.

Istniejące linie kablowe w różnych sieciach telekomunikacyjnych można podzielić na:

1/ linie jednokablowe, wykorzystywane dotychczas dla teletransmisyjnych systemów naturalnych:

- a/ w sieciach miejscowych,
- b/ w sieciach wewnątrzstrefowych /okręgowych/,

2/ linie dwukablowe, wykorzystywane obecnie dla teletransmisyjnych systemów analogowych nośnych 12-, 24- lub 60-krotnych w sieciach międzystrefowych /dalekosiężnych/.

Wprowadzanie systemów cyfrowych w liniach dwukablowych wynika głównie z potrzeby wymiany przestarzałych, pracujących na tych liniach systemów analogowych, których urządzeń nie przewiduje się modernizować, a jednocześnie dość rozbudowana sieć linii dwukablowych w kraju w pełni uzasadnia dążenie do lepszego ich wykorzystania, w szczególności do obraz szerzej cyfryzacji sieci. Z punktu widzenia technicznego nie będzie to jednak sprawą łatwą, a może się także okazać, że nie ma również względów ekonomicznych, które uzasadniałyby w sposób oczywisty celowość powszechnego zastąpienia systemów analogowych systemami cyfrowymi. Mimo to w niektórych przypadkach może się to stać koniecznością.

W przypadku budowy nowych linii kablowych projekty linii powinny z góry określić potrzebę i zakres wprowadzania systemów cyfrowych na daną linię, ustalając odpowiedni typ kabla i technologię jego montażu, gwarantując nie tylko w chwili budowy, ale także w przyszłości uzyskanie wymaganych parametrów technicznych i maksymalnych korzyści ekonomicznych. Z punktu widzenia technicznego jest to problem łatwiejszy, choć metoda oceny technicznej jakości linii powinna być taka sama, jak ocena linii istniejących w sieciach telekomunikacyjnych.

Każda ocena techniczna przydatności linii dla systemów cyfrowych wymaga analizy parametrów technicznych tej linii, zmierzonych bądź oszacowanych na podstawie danych uśrednionych. Wynik analizy zależy będzie oczywiście od parametrów urządzeń systemu cyfrowego. Parametry te, dla systemów produkowanych w Polsce, określone są w wymaganiach techniczno-eksploatacyjnych [2, 3]. W razie potrzeby określenia poziomu zakłóceń wprowadzanych przez systemy cyfrowe mogą być przydatne niektóre dane techniczne urządzeń traktu liniowego, dlatego też /dla przypomnienia/ zestawione są w tabl. 1 ważniejsze parametry charakterystyczne tych urządzeń.

Maksymalna gęstość widma mocy sygnału liniowego przypada przy częstotliwości f_0 /podanej w tabelicy 1/, jednak gęstość mocy sygnałów o częstotliwościach zbliżonych do f_0 niewiele różni się od wartości tej gęstości przy f_0 . Oznacza to, że częstotliwości sąsiednie występują w sygnale liniowym również ze znaczącą mocą. Rozpatrując sygnał liniowy ja-

T a b l i c a 1

Lp.	Parametr	TCK-24	TCK-30	TCC-120
1	2	3	4	5
1	Liczba kanałów telefonicznych	24	30	120
2	Przepływność binarna [kbit/s]	1544	2048	8448
3	Kod linowy: bipolarny, o wypełnieniu 50%	AMI	HDB3	HDB3
4	Częstotliwość f_0 /dla maksymalnej gęstości widma mocy sygnału liniowego/ [kHz]	772	1024	4224
5	Poziom sygnału na wyjściu regenera- tora			
	a. Maksymalny poziom mocy w szczycie sygnału /elementu o wartości "1"/ [dBm]	18,2	18,2	17,5
	b. Średni poziom mocy użytecznej sygnału liniowego [dBm]	12,2	13,7	13,0
	c. Średni poziom mocy na 1 kanał [dBm]	-1,6	-1,1	-7,8
	d. Napięcie /amplituda/ sygnału /ele- mentu o wartości "1"/, przy do- puszczalnej tolerancji $\pm 10\%$ [V]	± 3	± 3	± 3
6	Moduł impedancji wejściowej lub wyj- ściowej regeneratora Z_0 , [Ω]	135	135	160
7	Tłumiennosc niedopasowania na wej- ściu regeneratora w stosunku do Z_0 , co najmniej. [dB]	20	20	20
8	Tłumiennosc falowa odcinka linii, kompensowana przez regenerator, przy częstotliwości f_0			
	a. Wartość maksymalna [dB]	28	36	67
	b. Wartość nominalna, w temperaturze $+10^\circ\text{C}$ [dB]	25	33	56
9	Zakres automatycznej regulacji	-	12-36 ^{1/}	47-67
10	Liczba potrzebnych dla służb pomoc- niczych par na jeden zasobnik ^{2/}	1...2	2	1

^{1/} Zmodernizowany system TCK-30 ma rozszerzony zakres automatycznej regulacji od 8 do 36 dB.

^{2/} Niezależnie od wskazanych tu par, niezbędne są 2 pary dla danej relacji do zrealizowania służbowej łączności trasowej; łączność służbowa odcinkowa realizowana jest zwykle na 1 parze dla wszystkich zasobników w studni.

ko źródło zakłóceń, wpływające na inne sygnały w torach sąsiednich, należy więc uwzględnić pasmo częstotliwości, znajdujące się wokół częstotliwości f_0 .

Zakładając, że w rozważaniach zakłóceń powodowanych przez sygnały liniowe należy uwzględnić te częstotliwości, których moce stanowią 65% mocy pojedynczego impulsu w okresie elementarnego przedziału ciągu impulsów, interesujące częstotliwości zawarte będą w granicach od ok. $0,6 f_0$ do $1,4 f_0$ dla kodu HDB3 [10].

2. ZASADY WPROWADZANIA SYSTEMÓW CYFROWYCH DO KABLI SYMETRYCZNYCH

2.1. Zasady ogólne

Przy wprowadzaniu systemów cyfrowych do sieci kablowej należy kierować się przede wszystkim generalną zasadą, że uwielokrotniana systemem cyfrowym linia powinna być w dobrym stanie technicznym, tj. powinna mieć ona poprawne parametry elektryczne oraz własności mechaniczne, gwarantujące jej dostateczną niezawodność. Drugą ważną zasadą jest wybór linii o możliwie małej tłumienności skutecznej przy dużych częstotliwościach, a więc zwłaszcza linii zbudowanych z kabli o większej średnicy żył, gdyż można uzyskać wówczas dłuższe odcinki regeneracyjne. Z parametrów elektrycznych najważniejsze będą szumy przenikowe, rzutujące zarówno na jakość techniczną pracujących zestawów, jak i na efekty ekonomiczne, bowiem większe szumy przenikowe zmuszają do skrócenia nominalnej długości odcinków regeneracyjnych.

Ze względu na szerokie pasmo częstotliwości przesyłanych torami, dla systemów cyfrowych mogą być wybierane tylko tory nieupinizowane i niesymetryzowane skupionymi elementami odsprężającymi /kondensatorami, oprnikami lub cewkami indukcyjnymi/. W przypadku systemów cyfrowych wyższych krotności, począwszy już od systemu TCC-120, należy także zwrócić uwagę na jednorodność linii, aby charakterystyki tłumienności falowych torów cyfrowych były jak najbardziej równomierne, a zafalowania w funkcji częstotliwości w stosunku do wygładzonej charakterystyki nie przekraczały dopuszczalnych granic. Wydaje się, że aby niejednorodności linii nie wpływały na pogorszenie stosunku sygnału do szumów, zafalowania charakterystyki tłumienności odcinka regeneracyjnego w funkcji częstotliwości nie powinny przekraczać wartości ± 2 dB.

Projekt linii, na której ma pracować system cyfrowy, powinien zawierać z góry wytypowane torry dla zestawów cyfrowych. Na podstawie uśrednionych parametrów przenikowych dla danego typu linii i przy niezbędnej liczbie zestawów, powinna być ustalona nominalna długość odcinka regeneratorskiego. W nowo budowanych liniach sprawy te są łatwiejsze, natomiast w liniach istniejących często uśrednione parametry linii bardzo ograniczają dopuszczalną liczbę zestawów cyfrowych w linii.

Szczegółowe zasady wprowadzania systemów cyfrowych podane są w opracowaniach [1] oraz wymaganiach techniczno-eksploatacyjnych [5,6,7,8]. Opracowania te pozwalają na dokonanie wyboru odpowiednich torów dla zestawów cyfrowych i dokonanie obliczeń długości nominalnej odcinków regeneratorskich przy założonej liczbie zestawów w linii. Obliczenia te w zasadzie powinny być oparte na parametrach uśrednionych, jednak jeśli konieczne jest wprowadzenie dużej liczby zestawów, może się okazać niezbędne wykonanie pomiarów przeników w celu uzyskania dokładniejszych danych, odnoszących się do konkretnej, projektowanej linii.

Interesujące parametry związane są znanymi [5,6,7] zależnościami:

$$l_n \leq \frac{a}{\alpha_{0 \max}} \quad /1/$$

$$l_n \leq \frac{1}{\alpha_{0 \max}} \left[/A_{b\bar{e}} - \sigma_b/ - 10 \cdot \lg n - /R_p + q/ \right] \quad /2/$$

$$10 \lg l_n / n - 1/ \leq /E_{d\bar{e}} - \sigma_d/ - /R_p + q/ \quad /3/$$

gdzie:

- l_n - nominalna długość odcinka regeneratorskiego, w km;
- a - nominalna tłumienność skuteczna w dB, odcinka regeneratorskiego, przy częstotliwości f_0 ;
- $\alpha_{0 \max}$ - maksymalna tłumienność jednostkowa toru w dB, w temperaturze $+10^\circ\text{C}$, przy częstotliwości f_0 ;
- $/A_{b\bar{e}} - \sigma_b/$ - tłumienność zbliżnoprzenikowa w dB, odpowiadająca średniej mocy szumów, między torami różnych kierunków transmisji, pomniejszona o odchylenie standardowe;

$/E_{d\bar{a}} - \sigma'_d/$ - odstęp zdalno przenikowy w dB, odpowiadający średniej mocy szumów, pomniejszony o odchylenie standardowe;

n - liczba zestawów pracujących w kablu;

$/R_p + q/$ - wymagany odstęp sygnału od szumu przenikowego, powiększony o margines bezpieczeństwa, w dB.

Zależności powyższe pozwalają na określenie dopuszczalnej nominalnej długości odcinków regeneracyjnych przy zapewnieniu wymaganej dopuszczalnej stopy błędów, tj. przy zachowaniu odstępu sygnału do szumu $R_p + q$ na poziomie co najmniej 26 dB oraz przy założeniu równego podziału szumów zbliżonych i zdalno przenikowych.

Czasami jednak korzystne jest dokonanie innego podziału szumów, wlicząc na przykład, że przenik zdalny jest stosunkowo mały /duże odstępy zdalno przenikowe/, a przenik zbliżony jest duży /małe tłumienności zbliżonych i zdalno przenikowych/. Wygodniej jest wtedy korzystać z nieco zmodyfikowanych wzorów, uwzględniających stosunek mocy szumów zbliżonych bądź zdalno przenikowych do łącznej mocy szumów, a mianowicie:

$$n \leq \frac{1}{\alpha_{0 \max}} \left[/A_{b\bar{a}} - \sigma'_b/ - 10 \lg n - R_p - 10 \lg \frac{P_s}{P_{sb}} \right] \quad /2a/$$

oraz

$$10 \lg /n-1/ \leq /E_{d\bar{a}} - \sigma'_d/ - R_p - 10 \lg \frac{P_s}{P_{sd}} \quad /3a/$$

gdzie:

P_s - łączna moc szumów przenikowych.

P_{sb} - moc szumów zbliżonych i zdalno przenikowych,

P_{sd} - moc szumów zdalno przenikowych.

Do obliczeń należy tu przyjmować $R_p = 23$ dB.

Odchylenie standardowe we wzorach /2,3/ a także /2a,3a/ przyjmuje się $\sigma'_b = 8$ dB oraz $\sigma'_d = 11$ dB, jeżeli wartości odpowiadające średniej mocy szumów przyjmowane są na podstawie danych statystycznych dla określonego typu linii kablowych jako wartości przeciętne. Jeśli natomiast wykonane zostały pomiary wielokrotnej własnie linii, to należy przyjmować wartości średnie i odchylenie standardowe obliczone dla tej linii, na podstawie wykonanych pomiarów.

Tłumienność zbliżonych i zdalno przenikowych, odpowiada-

jące średniej mocy szumów, są to wartości obliczeniowe, uzyskane bądź dla danego kabla, bądź przyjmowane dla danego typu linii jako wartości przeciętne. Wartości te oblicza się według wzorów:

$$A_{b\bar{e}} = -10 \lg \left[\frac{1}{m_1} \sum_{k=1}^{m_1} 10^{-0,1 A_{bk}} \right] \quad [\text{dB}] \quad /4/$$

$$E_{d\bar{e}} = -10 \lg \left[\frac{1}{m_2} \sum_{k=1}^{m_2} 10^{-0,1 E_{dk}} \right] \quad [\text{dB}] \quad /5/$$

gdzie:

$A_{bk} / E_{dk} /$ - tłumienność zbliznoprzenikowa /lub odstep zdelnoprzenikowy/ dla k-tej kombinacji torow,

$m_1 / m_2 /$ - liczba sumowanych szumow przenikowych odpowiadajaca liczbie kombinacji torow.

Wzory te wynikaja z prostego sumowania mocy szumow, pochodzacych z roznych torow zaktocejacych. Przyjmujac jednakowy poziom mocy w kazdym torze zaktocejacym P_z , dla k-tej kombinacji torow tłumienność zbliznoprzenikowa bedzie:

$$A_{bk} = 10 \lg \frac{P_z}{P_{sk}} \quad [\text{dB}] \quad /6/$$

gdzie:

P_{sk} - poziom mocy szumow dla k-tej kombinacji torow.

Stąd:

$$P_{sk} = P_z \cdot 10^{-0,1 A_{bk}} \quad /7/$$

Sumujac nastepnie moce szumow, pochodzacych od wszystkich m torow zaktocejacych, otrzymamy łączną moc szumow zbliznoprzenikowych w danym torze zaktoceanym:

$$P_s = P_z \cdot \sum_{k=1}^m 10^{-0,1 A_{bk}} \quad /8/$$

Stąd średnia moc szumów, pochodzących od jednego toru zakłócającego wyniesie:

$$\bar{P}_s = \frac{P_z}{m} \cdot \sum_{k=1}^m 10^{-0,1 A_{bk}} \quad /9/$$

Wzór ten można bezpośrednio przekształcić do postaci takiej, jak w zależności /4/, bowiem:

$$A_{b\bar{e}} = 10 \lg \frac{P_z}{\bar{P}_s} \quad /10/$$

Oczywiście obliczanie mocy średniej szumów może być dokonywane dla jednego toru zakłócanego, bądź dla grupy torów lub też dla całego kabla, zależnie od liczby wyników pomiarów, które są do dyspozycji. Należy jedynie zwracać uwagę na odpowiednią interpretację obliczonych wartości, a przy obliczaniu szumów dla różnych grup torów należy uwzględniać fakt zakłócania danego toru przez tory z różnych grup.

Jeżeli jest dostępny komplet pomiarów tłumienności przenikowych dla wszystkich kombinacji torów wzajemnie się zakłócających, wtedy można sprawdzić w każdym torze zakłócanym moce szumów, pochodzących od n torów zakłócających, a do obliczenia długości odcinka regeneratorskiego wg wzoru /2/ przyjąć wartość $A_{b\bar{e}}$ najmniejszą, lecz bez potrzeby odejmowania już wartości odchylenia standardowego^{x/}. Jeżeli natomiast obliczenie $A_{b\bar{e}}$ wykona się dla wszystkich m_1 zmierzonych wartości w całym kablu, konieczne jest odejmowanie odchylenia standardowego od obliczonej wartości.

Przy tego rodzaju obliczeniach należy zwracać uwagę na sposób wykorzystywania danych pomiarowych, zwłaszcza gdy do dyspozycji są tylko pewne grupy wartości przeników. Należy wtedy brać do obliczeń odpowiednie liczby danych z każdej grupy pomiarów, a nie przyjmować tylko wartości najgorsze, co prowadziłoby do znacznego ograniczenia możliwości wprowadzania zestawów cyfrowych do linii.

^{x/} Mowa tu oczywiście o wartości najmniejszej spośród obliczonych wartości $A_{b\bar{e}}$ dla średniej energii szumów przenikowych; nie można tu w żadnym razie przyjmować wartości minimalnych tłumienności A_{bk} , jakie mogą wystąpić w kablu.

Odchylenia standardowe występujące w zależnościach /2,3,2a,3a/ należy obliczać na podstawie wzorów:

$$\sigma_b = \sqrt{\frac{\sum_k A_{bk}^2 - \frac{1}{m_1} \left(\sum_k A_{bk} \right)^2}{m_1 - 1}} \quad /11/$$

$$\sigma_d = \sqrt{\frac{\sum_k E_{dk}^2 - \frac{1}{m_2} \left(\sum_k E_{dk} \right)^2}{m_2 - 1}} \quad /12/$$

przy czym sumowanie, rozciągnięte jest tu na wszystkie m_1 /lub m_2 / wartości; oznaczenia jak we wzorach /4/ i /5/.

Wszystkie cytowane powyżej wzory są w zasadzie słuszne dla każdego systemu cyfrowego, jeżeli odpowiednio wartości parametrów występujących w zależnościach odnoszą się do właściwej częstotliwości, wynoszącej połowę częstotliwości zegarowej systemu cyfrowego, tj. do częstotliwości f_0 . Dla orientacji co do wartości odstępów zdalnoprzenikowego przy wyższych częstotliwościach należy zmniejszyć wartości pomierzone przy 1 MHz o wartość $20 \lg f$, gdzie f - oznacza częstotliwość w MHz. Ponadto poza zmniejszeniem wartości odstępów zdalnoprzenikowych, a także zmniejszeniem ze wzrostem częstotliwości wartości tłumienności zbliżnoprzenikowych, należy uwzględnić wzrost tłumienności falowej torów, w przybliżeniu wprost proporcjonalnie do \sqrt{f} .

Można stąd wysunąć wniosek, że wprowadzenie 120-krotnego /8 Mbit/s/ systemu cyfrowego do linii miejscowych będzie nieoptyczne bądź niemożliwe, gdyż przy bardzo małych tłumiennościach przenikowych i przy dużej tłumienności falowej jednostkowej kabli nie będzie można zapewnić wymaganego odstępów sygnału od szumów. Natomiast w liniach dalekosiężnych jednokablowych można pokusić się o wprowadzenie 1-2 zestrojów do kabla, np. z żyłami 1,2 mm, pod warunkiem, że wybrane tory nie były uprzednio symetryzowane. W przypadku np. dwóch zestrojów wymagane byłyby tłumienności zbliżnoprzenikowe powyżej 60 dB /przy 4,2 MHz/, tak aby można było zastosować odcinki regeneracyjne o długości 2 km. Minimalne wartości odstępów zdalno-przenikowych powinny wynosić ok. 30-35 dB. Przy takim odcinku regeneracyjnym nie jest jednak wykorzystana w pełni wzmacniająca regeneratory, co oczywiście zmniejsza uzyskiwane efekty ekonomiczne.

Ocena efektywności ekonomicznej wprowadzania systemów cyfrowych do sieci powinna poprzedzać wykonanie konkretnych projektów na realizację traktów. Ogólnie można ocenić, że wprowadzenie systemów cyfrowych TCK-30 na istniejące linie kablowe jest opłacalne przy odległościach począwszy od około 10 km. Szczegółowe omówienie analizy ekonomicznej podano w pracy [1].

2.2. Wprowadzanie systemów cyfrowych do istniejących linii

2.2.1. Systemy cyfrowe w liniach jednokablowych

Istniejąca, rozgałęziona kablowa sieć miejscowa i okręgowa na wielu swoich odcinkach nie zaspokaja ciągle rosnących potrzeb na łącza. Stanowi jednak poważny zasób materialny tak, że wysiłki zmierzające do lepszego wykorzystania poszczególnych linii są w pełni uzasadnione i przynieść mogą poważne korzyści, zarówno techniczne jak i ekonomiczne, i to bez potrzeby ponoszenia nakładów na kosztowne przecięż kable. Możliwość zwiększonego wykorzystania linii kablowych przez ich uwielokrotnienie systemami cyfrowymi zależy od parametrów technicznych linii, jest więc rzeczą ważną ocena pod tym względem każdej rozpatrywanej linii kablowej.

Ocena parametrów elektrycznych eksploatowanej linii kablowej jest dość trudna, przede wszystkim z powodu trudności przy pomiarach linii, która musi być wówczas wyłączana z ruchu, co w wielu przypadkach jest niewykonalne. Mimo to wykonywane są czasem pomiary przy częściowym i okresowym wyłączeniu z ruchu niektórych torów, dające pogląd na mierzone tory i pośrednio, na inne tory, znajdujące się w tej samej linii. Inną, bardziej ogólną metodą oceny linii jest wykonanie statystycznych pomiarów, to jest zorganizowanie wielu seansów pomiarowych na wytypowanych, reprezentatywnych liniach, z których wyniki, po uśrednieniu, mogą być przyjmowane jako przeciętne parametry wszystkich tego typu linii. Pomiary takie powinny zawierać dużą liczbę wyników, aby statystyczne zestawienia miały wartość dla uzyskania wiarygodnych danych dla wszystkich linii danego typu, dla których wykonano pomiary.

Najdogodniejsze jest wykonanie w niezbędnym zakresie częstotliwości pomiarów wszystkich torów, przeznaczonych dla zestrojów cyfrowych. Liczba wybranych torów dla transmisji cyfrowej zależy oczywiście od liczby wprowadzanych zestrojów, ale zależy także od stanu technicznego linii. Gorszy stan techniczny linii pod względem szumów przenikowych może wymagać zrezygnowania, na przykład, z wykorzystania obu torów z każdej włącz-

ki czwórkowej kabla, co zmusi do wyboru większej liczby czwórek. Ponadto gorsze kable, a zwłaszcza tam, gdzie istnieje przypuszczenie, że tory w nich były symetryzowane elementami skupionymi, wymagać będą wykonywania pomiarów w całym pasmie częstotliwości określonym w tabl. 1, a nie tylko przy częstotliwości f_0 .

Niewykorzystywanie drugiego toru z czwórki kablowej wyklucza także możliwość wykorzystywania go do telefonii naturalnej, z powodu zagrożenia toru cyfrowego zakłóceniami centralowymi, zwłaszcza w przyległych do central elektromechanicznych odcinkach regeneracyjnych. Zakłócenia te, przechodzące poprzez małe tłumienności przewodników wewnątrzczwórkowe, mogą być znaczące nawet mimo stosowanego w tych przypadkach skrócenia przyległych do central odcinków regeneracyjnych do połowy. Wykorzystywanie natomiast do telefonii cyfrowej obu torów z wiązki czwórkowej kabla wymaga oczywiście szczegółowej analizy, czy odstępstwa przewodników wewnątrzczwórkowe spełniają wymagania równań /3/ lub /3a/. Należy tu pamiętać, że do obliczenia wartości E_{dc} według wzoru /5/ - trzeba brać tylko jedną wartość wewnątrzczwórkową /a więc najniższą/, pozostałe zaś wartości E_{dk} pochodzą od czwórek sąsiednich lub nawet dalszych, są więc dużo lepsze.

Nieznanomość parametrów technicznych linii przed wykonaniem pomiarów lub nieznanomość sposobu, w jaki była dana linia montowana, utrudnia dokonanie wyboru właściwych torów dla zestawów cyfrowych i zmusza do wyznaczenia większej, niż to wynika z potrzeb, liczby torów do pomiarów. Opieranie się na danych statystycznych również wskazuje na celowość wyboru większej liczby torów, aby w razie uzyskania negatywnych wyników przy uruchamianiu zestawów cyfrowych, można było przetrząsnąć je na tory inne, rezerwowe. Ponieważ dla n zestawów cyfrowych potrzeba, poza torami dla służb pomocniczych, n par torów /tzn. $2n$ torów/, należałoby więc w tych przypadkach wybrać co najmniej:

$$2n/1 + 10\% + 2 = 2/1,1n + 1/ \text{ torów}, \quad /13/$$

oczywiście z dokładnością do parzystej liczby całkowitej. Np. przy $n = 6$ liczba wybranych torów wyniesie $2 \cdot /1,1 \cdot 6 + 1/ \approx 16$, przy czym po wykonaniu pomiarów pełnych lub po uruchomieniu zestawów, wykorzystanych będzie dla transmisji cyfrowej tylko 12 torów, prócz niezbędnych torów dla służb pomocniczych /zdalnej kontroli, lokalizacji uszkodzeń oraz łączności służbowej trasowej i odcinkowej/.

Na ogół najbardziej krytyczne są szumy zbliżnoprzenikowe, a więc przeniki między torami wykorzystywanymi dla różnych kierunków transmisji. Z tego też względu tory dla różnych kierunków transmisji oddziela się od siebie innymi wiązkami, wykorzystywanymi w zakresie częstotliwości akustycznych. Nie zawsze jest to łatwe, gdyż najczęściej nie jest znane położenie wybranego toru w przekroju kabla, a ponadto położenie to zmienia się wzdłuż linii, niemal w każdym złączeniu. Konieczne jest wówczas oparcie się na wynikach pomiarów przeników i dokonanie podziału torów dla różnych kierunków, aby między nimi uzyskiwane były jak największe tłumienności zbliżnoprzenikowe. Natomiast między torami przeznaczonymi do transmisji sygnałów w tym samym kierunku, pożądane jest uzyskiwanie możliwie dużych wartości odstępów zdalno-przenikowych, bowiem przenik zbliżny nie jest tu istotny.

Warto zaznaczyć, że im jest większy procent wykorzystania torów dla zestrojów cyfrowych w stosunku do wszystkich torów w kablu, tym większa liczba pomiarów powinna być wykonana i tym ostrożniej należy oceniać kable pod względem przenikowym.

Obliczenia długości odcinków regeneracyjnych według wzorów /1,2,3/ lub /1,2,3a/ należy wykonać opierając się na danych statystycznych, reprezentatywnych dla rozpatrywanej linii. Przykładowe obliczenia podane są w załączniku C. Jeśli jednak możliwe było wykonanie odpowiednich pomiarów przeników, wówczas należy oprzeć się na uzyskanych wartościach i dokonać najpierw obliczeń według wzorów /4,5,11 i 12/ zgodnie z przykładem, podanym w załączniku A, a następnie obliczyć długość nominalną odcinka regeneracyjnego zgodnie z przykładem wyjaśnionym w załączniku B.

W załączniku C omówiono zależność odstepu sygnału do szumów od wymaganej stopy błędów, liczby zestrojów i nominalnej długości odcinka regeneracyjnego. Korzystając z programowanego kalkulatora firmy Texas Instruments TI-58 lub TI-59 można posłużyć się programem podanym w załączniku D, pozwalającym na analizę statystyczną przeników i obliczenie tłumienności przenikowej, odpowiadającej średniej mocy szumów.

Należy tu zwrócić uwagę, że w liniach kabli miejscowych /np. w liniach międzycentrałowych/ uzyskiwane wartości tłumienności przenikowych są mniejsze, nie można zatem osiągnąć takich rezultatów jak w liniach dalekosiężnych. Konieczne jest więc skracanie odcinków regeneracyjnych do 2 km lub nawet mniej, co zresztą wynika także ze słabości regeneratorów systemu TCK 30. Ponadto w sieciach miejscowych istnieje duża liczba kabli

z żyłami 0,5 mm, które mają większe tłumienności, dodatkowo ograniczające długości odcinków regeneracyjnych. Mimo to celowe często bywa wprowadzanie na tego rodzaju linie systemów cyfrowych, wobec znacznych kosztów inwestycyjnych, jakie musiałyby być poniesione, gdyby podjęto decyzję o budowie nowej linii zamiast uwielokrotnienia linii istniejącej. Czasami jednak nie tylko względy ekonomiczne przemawiają za celowością lub koniecznością wprowadzenia systemów cyfrowych do sieci miejscowej. Niektóre bowiem zapotrzebowania na nowe łącza nie mogą być w żaden inny sposób zadowolone z powodu zajętości kanalizacji kablowej lub niemożności jej rozbudowy na skutek istniejącego zagęszczenia urządzeń podziemnych na pewnych głównych trasach.

Linie międzycentralowe charakteryzują się najczęściej zaletą, polegającą na tym, że są to kable grube, zawierające dużą liczbę wiązek, z których można wybrać dostateczną liczbę torów dla zestrojów cyfrowych. Należy więc wybierać zawsze tory cyfrowe wraz z torami rezerwowymi, w liczbie co najmniej według wzoru /13/. Ponadto przy bardzo złych parametrach przenikowych, gdyby długość odcinka regeneracyjnego była mniejsza niż 1,6 km, wówczas można na przykład zrezygnować z wykorzystywania obu torów z każdej czwórki kabla do transmisji w tym samym kierunku, zmniejszając dzięki temu szumy zdaloprzenikowe i uzyskując powiększenie średniej energetycznej odstępstwa zdaloprzenikowego, zwykle przy jednoczesnym zmniejszeniu odchylenia standardowego.

2.2.2. Systemy cyfrowe w liniach dwukablowych

Potrzeba modernizacji istniejących zwykle w sieciach wewnątrzstrefowych teletransmisyjnych linii dwukablowych zmusza do analizy technicznych możliwości tego przedsięwzięcia. Przyczyną zmuszającą do modernizacji systemów, pracujących na tych liniach są przestarzałe analogowe systemy nośne /np. TN24 lub TN60/, wymagające wymiany na nowszy system analogowy o większej krotności, co wymaga nowych opracowań konstrukcyjnych tych urządzeń bądź zastąpienia ich produkowanymi już urządzeniami systemu cyfrowego.

Jedną z zasadniczych przeszkód wprowadzania systemów cyfrowych do istniejących linii dwukablowych zbudowanych z kabli typu dalekosiężnego jest fakt, że linie te przy budowie podlegały skupionej symetryzacji w zakresie do 108 kHz lub do 252 kHz. Elementy wyrównawcze dobrane dla tego typu pasma częstotliwości oczywiście nie gwarantują właściwych parametrów

przenikowych w pobliżu częstotliwości 1 MHz ani 4,2 MHz. Zmusza to do wykonania wielu pomiarów przeników na całej linii i do analizy szumów przenikowych, dla oceny parametrów linii oraz zakresu wprowadzania zestrojów cyfrowych. Z drugiej strony wykorzystywanie linii systemami nośnymi stwarza poważne kłopoty lub wręcz uniemożliwia zrobienie pomiarów, wymagających wyłączenia z ruchu całej linii lub przynajmniej dużej części torów. Znacznie łatwiejsze byłoby wykorzystanie torów, na których pracują systemy naturalne, gdyż często są to tory, które nie były symetryzowane kondensatorami. Zwykle jednak tory te są pupinizowane, lecz usunięcie zespołów pupinizacyjnych jest dużo łatwiejsze niż usunięcie układów wyrównawczych /symetryzacyjnych/.

W liniach dwukablowych wprowadza się systemy cyfrowe w taki sposób, by realizować różne kierunki transmisji w oddzielnych kablach. Dzięki temu unika się potrzeby spełnienia wysokich wymagań na przenik zbliżony między torami jednego kabla, co zarazem pozwala na złagodzenie żądanych wartości odstępów zdalnoprzenikowego. Mimo to mogą wystąpić trudności w uzyskaniu odpowiednich odstępów zdalnoprzenikowych w liniach, które były symetryzowane.

Pożądané jest, aby wprowadzane zestroje cyfrowe zapewniały uzyskanie przynajmniej takiej samej liczby łączy, jakie dawała linia przed modernizacją. W liniach wykorzystywanych systemem TN-24 należałoby wprowadzić co najmniej 80% zestrojów TCK-30 lub 20% zestrojów TCC-120, natomiast w liniach, na których pracował system TN-60, konieczne będzie wprowadzenie minimum 50% zestrojów TCC-120.

Wykorzystanie wszystkich torów, a nawet tylko 80% torów dla zestrojów cyfrowych wydaje się trudne i kosztowne, nawet jeśli będą to tylko zestroje systemu TCK-30. Należałoby raczej zbadać czy nie byłoby możliwe wykorzystanie na przykład połowy torów dla zestrojów systemu TCC-120, to jest korzystanie tylko z jednej pary każdej czwórki kablowej, gdyż zwykle przeniki wewnątrzczwórkowe są najgroźniejsze. Celowe byłoby wówczas rezygnowanie z jakiegokolwiek wykorzystania drugich par z każdej czwórki, pozostawiając w miejscach regeneracji przerwy na niewykorzystywanych parach, aby uniknąć przeników pośrednich /zbliżonych/, mogących powiększać szumy na wejściu regeneratorów, przedostające się z wyjścia regeneratorów /sygnały wysokiego poziomu/ poprzez przenik zbliżony na sąsiedni niewykorzystywany /tor naturalny/ i ponownie przez drugi przenik zbliżony na wejście toru cyfrowego.

Ocenę możliwości wprowadzania zestrojów cyfrowych na linię dwukablową należy oprzeć przede wszystkim na wynikach pomiarów odstępów zdaloprzenikowych, nie pomijając oczywiście ogólnej oceny stanu technicznego linii. Korzystając na przykład z faktu, że między torami dwóch różnych kabli tłumienności zbliznoprzenikowe są duże, wartości odstępów zdaloprzenikowych są stosunkowo małe, należy opierając się na wzorach /2a/ i /3a/ przyjąć inny podział szumów niż robiono to w przypadku linii jednokablowych, zakładając podział mocy szumów odpowiednio:

$$P_{sb} = 10\% P_s$$

oraz

$$P_{sd} = 90\% P_s$$

Otrzyma się wówczas ze wzoru /2a/:

$$\alpha_{o \max} \cdot I_n \leq A_{b\bar{e}} - \sigma_b^2 / - 10 \lg n - R_p - 10 \quad /14/$$

zaś ze wzoru /3a/

$$10 \lg n - 1 \leq E_{d\bar{e}} - \sigma_d^2 / - R_p - 0,5 \quad /15/$$

Oceniając, że wartości przeniku zbliznego między torami różnych kabli w odcinku regeneracyjnym wyniosą co najmniej:

$$A_{b\bar{e}} = 120 \text{ dB}, \quad \sigma_b^2 = 8 \text{ dB}, \quad \text{otrzymamy dla } n = 12$$

ze wzoru /14/:

$$\alpha_{o \max} \cdot I_n \leq 120 - 8 - 10 \lg 12 - 23 - 10 = 68,2 \text{ dB}$$

Natomiast ze wzoru /15/ można określić

$$E_{d\bar{e}} - \sigma_d^2 \geq 10 \lg 12 + 23 + 0,5 = 33,9 \text{ dB}$$

Zakładając $\sigma_d^2 = 11 \text{ dB}$, wymagany w odcinku regeneracyjnym odstęp zdaloprzenikowy przy średniej wartości energii szumów wyniesie

$$E_{d\bar{e}} \geq 44,9 \text{ dB}$$

nie jest to więc wysokie wymaganie nawet w pasmie częstotliwości w pobliżu 4,2 MHz.

Wprowadzanie zestrojów cyfrowych w liniach zbudowanych z dwóch różnych kabli powinno być projektowane na zasadach zupełnie analogicznych. W liniach takich zwykle jeden kabel jest kablem zawierającym 4 lub 7 czwórek do telefonii nośnej, a drugi kabel, oprócz takich samych czwórek do telefonii nośnej, posiada również wiązki do telefonii naturalnej. Wybierając wiązki dla zestrojów cyfrowych można wybierać wiązki dowolne, a nie tylko wiązki uprzednio wykorzystywane dla telefonii nośnej, uwzględniając jednak ogólne zasady podane w 2.1 oraz następujące zalecenia:

- średnice żył i budowa wiązek wybranych torów w obu kablach powinny być jednakowe;
- wiązki powinny znajdować się w zewnętrznej warstwie ośrodka kabla;
- jeśli pozostałe tory w kablu są pupinizowane, stacje regeneracyjne należy lokalizować w punktach pupinizacyjnych linii, co powoduje skrócenie maksymalnej długości odcinka regeneracyjnego; jest to jednak często zalecane, gdyż cewki pupinizacyjne w torach naturalnych działają jak cewki zaporowe, zmniejszające dodatkowe szumy przeników pośrednich /poprzez tory trzecie/.

Któręś z tych zaleceń /lub nawet żadnego/ można nie spełnić, jednak osiągnięcie wymaganych parametrów odcinka regeneracyjnego będzie wtedy z pewnością trudniejsze.

2.3. Nowo budowane linie dla systemów cyfrowych

Projektowane dla systemów cyfrowych linie kablowe powinny w zasadzie umożliwiać tworzenie odcinków regeneracyjnych o maksymalnej długości, ograniczonej jedynie maksymalną mocnością, a więc określonej nierówności $1/\lambda$, dla uzyskania największych efektów ekonomicznych. Aby było to możliwe, muszą być ściśle przestrzegane podstawowe zasady projektowania, budowy i montażu linii, wymieniane już w wielu dokumentach [6,7]. Muszą być także odpowiednio dobierane średnice żył, dające optymalne pod względem ekonomicznym rozwiązanie projektowe. Zazwyczaj zaleca się stosowanie żył grubszych, o średnicach co najmniej 0,6 mm dla systemów TCC-30 lub 0,8 mm dla systemów TCC-120.

Parametry i wyniki pomiarów nowych typów kabli telekomunikacyjnych podane są w pracach [11, 12, 13, 14].

Ogólnie przyjęto regułę budowy dla systemów cyfrowych linii jednokablo-

wych, o grupach wiązek, oddzielonych ekranami dla różnych kierunków transmisji, lub o większej liczbie wiązek, przeznaczonych także dla systemów naturalnych, a stanowiących także ekrany między torami cyfrowymi różnych kierunków transmisji. Linie takie są zwykle tańsze niż linie dwukablowe.

W przypadku budowy linii dla systemów naturalnych i cyfrowych, pracujących w jednym kablu, należy przestrzegać, co bardzo ważne, zasadę montażu linii, polegającą na zachowaniu niezmiennego położenia wiązek w przekroju kabla wzdłuż całej linii, co pozwala na dokonanie właściwego wyboru torów dla zestawów cyfrowych, bez konieczności dokonywania bardzo pracochłonnych pomiarów przeników. Ponadto liczba zestawów, które mogą być wprowadzone do linii musi być zwykle określona a priori, na etapie projektowania, na podstawie uśrednionych parametrów kabli. Dlatego też pomiary wykonywane są w ograniczonym zakresie, po zmontowaniu linii na odcinkach regeneracyjnych, oraz w pełnym zakresie na całym trakcie, po uruchomieniu zestawów cyfrowych. Wyniki pomiarów na odcinkach regeneracyjnych powinny spełniać zależności podane w 2.1.

Zasady budowy linii jedno- bądź dwukablowych cyfrowych, to jest zawierających tylko tory cyfrowe są jednoznaczne, a odpowiednie wymagania podane są w [6,7], nie będą tu więc szerzej omawiane.

3. UWAGI KOŃCOWE

Rozbudowa telekomunikacyjnych sieci kablowych w wielu europejskich krajach opierana jest coraz częściej na systemach cyfrowych. Zakres stosowania tych systemów początkowo ograniczony do sieci miejscowych, obecnie obejmuje już sieci wewnętrzstrefowe, a w niektórych krajach wchodzi na dalekosiężne linie zbudowane z kabli współosiowych. Tak więc obserwuje się tendencję do tworzenia zintegrowanych sieci cyfrowych.

Utworzenie kompleksowej, w pełni zintegrowanej sieci cyfrowej nie jest możliwe natychmiast, natomiast wprowadzane jest stopniowo, w niektórych gałęziach sieci. Dlatego wydaje się celowe, również w Polsce, wprowadzanie systemów cyfrowych na niektóre linie istniejące w sieci lub nowo budowane. Pozwala to z jednej strony na zwiększenie stopnia wykorzystania linii kablowych - dzięki wprowadzeniu tanich, cyfrowych systemów wielokrotnych - z drugiej zaś strony przyczyni się do modernizacji i stopniowej cyfryzacji sieci telekomunikacyjnej w Polsce.

Omówione w artykule zasady wprowadzania systemów cyfrowych w liniach kablowych i podane przykłady obliczeń powinny przyczynić się do wyjaśnie-

nia niektórych problemów technicznych związanych z projektowaniem i instalowaniem urządzeń systemów cyfrowych.

WYKAZ LITERATURY

1. Felczak A.: Analiza techniczno-ekonomiczna stosowania w sieciach wewnątrzstrefowych teletransmisyjnych systemów wielokrotnych z modulacją impulsowo-kodową TCK-30 i TCC-120. Praca dyplomowa, Instytut Telekomunikacji Politechniki Warszawskiej, 1978/1979.
2. Miłek J., Busz W., Nowak A., Żurawski M.: Wymagania techniczno-eksploatacyjne na urządzenia traktu liniowego 8448 kbit/s z kablem symetrycznym specjalnym. It, Warszawa 1977.
3. Miłek J. i in.: Wymagania techniczno-eksploatacyjne na urządzenia końcowe i trakt liniowy systemu PCM-30. It, Warszawa 1974.
4. Moniuszko A.: Kable telekomunikacyjne do transmisji sygnałów cyfrowych. Problemy Łączności It, nr 115, Warszawa 1974.
5. Moniuszko A.: Wymagania techniczno-eksploatacyjne dotyczące odcinków regeneracyjnych kabli w istniejących sieciach telekomunikacyjnych. It, Warszawa 1975.
6. Moniuszko A.: Wymagania techniczno-eksploatacyjne na odcinki regeneracyjne kabli symetrycznych dla systemów cyfrowych 8 Mbit/s. It, Warszawa 1976.
7. Moniuszko A.: Wymagania techniczno-eksploatacyjne na odcinki regeneracyjne kabli w nowo budowanych liniach kablowych wykorzystywane dla systemów cyfrowych małej krotności. It, Warszawa 1976.
8. Moniuszko A.: Zasady wyboru wiązek dla systemów cyfrowych w kablach istniejących sieci miejscowych i okręgowych. It, Warszawa 1975.
9. Praca zbiorowa: Teletransmisyjne systemy cyfrowe. Problemy Elektroniki i Telekomunikacji. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1976.
10. Rydel M.: Kody transmisyjne w systemach telekomunikacyjnych. Biuletyn Informacyjny nr 4-5 /194-195/. It, Warszawa 1980.
11. Szpejn J., Leoniak Z., Sikora W.: Badania i ocena kabli telekomunikacyjnych nowej produkcji. It, Warszawa 1979.

12. Szpejn J.: Nowe typy kabli telekomunikacyjnych. Kryteria stosowania kabli. Cz. I. Kabie stacyjne, zakończeniowe i miejscowe. It, Warszawa 1977.
13. Szpejn J.: Nowe typy kabli telekomunikacyjnych. Kryteria stosowania kabli. Cz. II. Kabie dalekosiężne. It, Warszawa 1977.
14. Szpejn J.: Wstępne wytyczne techniczne stosowania nowych typów kabli telekomunikacyjnych. It, Warszawa 1979.
15. Telekomunikacyjne kabie dalekosiężne. Profile typowe i zastępcze. Katalog. Wydawnictwa Przemysłu Maszynowego "WEMA". Warszawa 1975.

**OBLICZANIE SZUMÓW I TŁUMIENNOŚCI PRZENIKOWEJ
ODPOWIADAJĄCEJ ŚREDNIEJ ENERGII SZUMÓW**

Moc szumów przenikowych lub jej wartość średnią oblicza się ze wzoru /8/ lub /9/. Zakładając, że moc zakłóceń równa jest średniej mocy użytecznej sygnału liniowego /tabl. 1 p. 5b/ możemy napisać

$$p_{\bar{u}} = 10 \lg \frac{P_{\bar{u}}}{P_0} = 10 \lg \frac{P_Z}{P_0}$$

skąd:

$$P_Z = P_0 \cdot 10^{0,1 p_{\bar{u}}}$$

gdzie: $p_{\bar{u}}$ - średni poziom mocy użytecznej sygnału liniowego,
 P_0 - moc odniesienia, 1 mW.

Otrzymamy stąd w przybliżeniu dla systemu TCK-24 $P_Z = 16,6$ mW, dla TCK-30 $P_Z = 23,4$ mW oraz dla TCC-120 $P_Z = 20$ mW.

Obliczenie łącznej mocy szumów przenikowych według wzoru /8/ nie przedstawia żadnej trudności, gdy można korzystać z kalkulatora, pozwalającego na obliczanie dowolnych potęg liczby 10. Jeśli nie dysponujemy odpowiednim kalkulatorem, można posłużyć się tablicą A1.

Tablica A1

r	10^{-r}
0,0	1,000
0,1	0,794
0,2	0,631
0,3	0,501
0,4	0,398
0,5	0,316
0,6	0,251
0,7	0,200
0,8	0,1585
0,9	0,1259

Wartość $10^{-0,1A_{bk}}$ obliczamy w następujący sposób.

Ponieważ wartość A_{bk} określana jest z dokładnością do 1 dB, wówczas $0,1A_{bk}$ będzie liczbą, składającą się z części całkowitej c oraz części ułamkowej r , z dokładnością do jednego miejsca po przecinku. Można więc napisać

$$0,1 \cdot A_{bk} = c + r$$

a następnie

$$10^{-0,1A_{bk}} = 10^{-c-r} = 10^{-c} \cdot 10^{-r}$$

Odczytując z tabelki wartość 10^{-r} oraz mnożąc ją przez współczynnik 10^{-c} , otrzymamy szukaną wartość. Sumując poszczególne wartości dla wszystkich m kombinacji torów obliczymy łączną moc szumów przenikowych.

Dla przykładu można obliczyć w ten sposób odstęp zdalnoprzenikowy odpowiadający średniej energii szumów przenikowych dla wartości ujętych tabl. B2 zał. B. Występuje tam 28 wartości podanych w tabelicy A2.

Tablica A2

Wartości E_{dk}	Liczba wartości
45, 49, 50, 56, 59, 60, 61, 62, 64, 65, 71, 72, 74, 75, 77, 78, 81	po 1
66, 67, 68, 70	po 2
69	3

Grupując wartości według kolejności narastającej, można dokonać obliczeń, przytoczonych przykładowo w tabelicy A3.

Wartości szumów w tabelicy A3 otrzymano mnożąc kolejne wartości 10^{-r} przez liczbę tych wartości m_2 i sumując je grupami.

Korzystając następnie ze wzoru /5/ otrzymamy:

$$E_{d\bar{e}} = -10 \lg \left[\frac{63,15239 \cdot 10^{-6}}{28} \right] = -10 \lg 2,255 + 60 \approx$$

$$= -3,5 + 60 = 56,5 \text{ dB}$$

Obliczanie szumów

E_{dk}	m_2	E_{dk}^2	10^{-r}	10^{-c}	$\sum 10^{-r+c}$	
45	1	2025	0,316	10^{-4}		
49	1	2401	0,1259		$0,4419 \cdot 10^{-4}$	$44,19 \cdot 10^{-8}$
50	1	2500	1,0			
56	1	3136	0,251	10^{-5}		
59	1	3481	0,1259		$1,3769 \cdot 10^{-5}$	$13,769 \cdot 10^{-8}$
60	1	3600	1,0			
61	1	3721	0,794			
62	1	3844	0,631			
64	1	4096	0,398			
65	1	4225	0,316	10^{-6}		
66	2	4356	0,251			
67	2	4489	0,200			
68	2	4624	0,1585			
69	3	4761	0,1259		$4,7357 \cdot 10^{-6}$	$4,7357 \cdot 10^{-8}$
70	2	4900	1,0			
71	1	5041	0,794			
72	1	5184	0,631			
74	1	5476	0,398	10^{-7}		
75	1	5625	0,316			
77	1	5929	0,200			
78	1	6084	0,1585		$4,4975 \cdot 10^{-7}$	$0,44975 \cdot 10^{-6}$
81	1	6561	0,794	10^{-8}	$0,794 \cdot 10^{-8}$	$0,00794 \cdot 10^{-6}$
Suma 1848	28	123950	-	-	-	$63,15239 \cdot 10^{-6}$

Natomiast według wzoru /12/ obliczymy:

$$\sigma_d = \sqrt{\frac{123950 - \frac{1}{28} / 1848^2}{28 - 1}} \approx 8,6 \text{ dB}$$

Są to więc obliczenia stosunkowo proste do wykonania, choć żmudne, dla-

tego też warto posługiwać się kalkulatorem, zwłaszcza programowanym, co bardzo przyspiesza rachunek, szczególnie przy dużej liczbie pomierzonych wartości.

Dokonana szczegółowa analiza statystyczna pozwala na uzyskanie następujących danych:

średnia energetyczna	$E_{d\bar{e}} = 56,47$ dB
odchylenie standardowe	$\sigma = 8,57$ dB
mediana	$E_{dm} = 65,7$ dB
średnia arytmetyczna	$\bar{E}_d = 66$ dB

Odrzucenie jednej czwórki z najbliższymi wartościami przeników daje wyniki:

$$E_{d\bar{e}} = 57,4 \text{ dB}, \quad \sigma = 7,6 \text{ dB}, \quad \bar{E}_d = 64,9 \text{ dB}$$

Widać więc pewne polepszenie wartości średniej energetycznej.

**OBLICZANIE NOMINALNEJ DŁUGOŚCI ODCINKÓW REGENERATOROWYCH
SYSTEMU TCK-30**

Założenia:

1. Liczba potrzebnych zestrojów: $n = 6$.
2. Linia zbudowana jest z kabla typu TKD $36 \times 4 \times 0,9 + 1 \times 2 \times 0,9_{ek} + 2 \times 1 \times 0,8$. Jest to profil II 74 D wg katalogu profili typowych [13].
3. Tłumienność jednostkowa toru przy 1 MHz przy 10°C : $\alpha = 8,6 \text{ dB/km}$
4. Odstęp sygnału od szumu: $R_p + q = 26 \text{ dB}$.

Do pomiarów wybrano: $2 \cdot /1, 1n + 1/ = 2 \cdot /1, 1.6 + 1/ = 15,2 \approx 16$ torów, to jest 8 czwórek: po 4 czwórki z różnych warstw kabla. Ponieważ kabel uprzednio wykorzystywany był dla systemów analogowych telefonii nośnej w zakresie do 108 kHz, niektóre tory symetryzowane były w tym zakresie częstotliwości. Przewidując, że symetryzacja torów mogła spowodować pogorszenie parametrów przenikowych przy wyższych częstotliwościach, wybrano w zasadzie inne /nie symetryzowane/ włązki, starając się, aby wybierane włązki miały różne skoki skrętów. Wybrano więc:

- dla kierunku transmisji A-B : czwórki nr 7, 10, 13, 16
- dla kierunku transmisji B-A : czwórki nr 20, 23, 29, 35.

Pomierzone wartości przeników na odcinku 2,1 km./na jednym końcu/ podane są w tablicach B1 i B2. Są to wartości przytoczone przykładowo. Oczywiście dla kompletności pomiarów konieczne byłoby wykonanie pomiarów na obu końcach każdego odcinka regeneratorskiego linii, czego jednak, ze względu na dużą pracochłonność, najczęściej się nie wykonuje.

Tablica B1

Tłumienności zbliznoprzenikowe przy $f = 1$ MHz między torami różnych kierunków transmisji, w dB
Miejsce pomiaru: Koniec B

Nr czwórki zakłócającej	Nr czwórki zakłócaanej	7		10		13		16	
		I	II	I	II	I	II	I	II
20	I	69	77	74	78	75	84	86	73
	II	80	79	65	75	68	85	83	79
23	I	81	90	82	85	81	78	79	80
	II	87	84	79	77	83	79	75	77
29	I	82	70	75	81	72	78	76	78
	II	76	78	77	74	82	80	72	76
35	I	81	77	80	74	73	76	68	70
	II	74	73	76	71	76	88	71	72

Wartości średnie

Dla czwórek	7, 10, 13, 23, 29, 35	Wszystkich
Liczba wartości m	36	64
Średnia energetyczna $A_{b\bar{e}}$ dB	76,5	74,5
Odchylenie standardowe σ dB	4,8	5,2
Średnia arytmetyczna A_b dB	78,6	77,5

Tablica B2

Odstęp zdainoprzenikowy przy $f = 1$ MHz między torami tego samego kierunku transmisji, w dB

Miejsce pomiaru: koniec B

Nr czwórki zakłócającej	Nr czwórki zakłócaanej	7		10		13		16	
		tor.	I	II	I	II	I	II	I
7	I	X	49	65	68	72	61	77	67
	II		X	67	69	70	66	71	64
10	I			X	50	68	69	59	60
	II				X	74	69	78	81
13	I					X	56	70	62
	II						X	66	75
16	I							X	45
	II								X

Wartości średnie

Dla czwórek	7, 10, 13	Wszystkich
Liczba wartości m	15	28
Średnia energetyczna $E_{d\bar{e}}$ dB	57,4	56,5
Odchylenie standardowe σ dB	7,6	8,6
Średnia arytmetyczna E_d dB	64,9	66

Zależnie od liczby i rodzaju posiadanych wartości liczbowych obliczenie nominalnej długości odcinka regeneratorskiego należy przeprowadzić w różny sposób, według wzorów podanych niżej.

1. Przypadek kompletności wykonania pomiarów /wynik odnoszą się do wszystkich kombinacji przenikowych dla n zestrojów, tj. dla torów cyfrowych i rezerwowych/

Przykładowe wyniki pomiarów wykonywanych na jednym z końców odcinka linii, podane są w tablicach B1 i B2. Zakładając, że takie same pomiary wykonane były dla obu końców bardzo wielu odcinków linii i że wyniki te są najgorsze ze wszystkich otrzymanych, można wykonać następujące obliczenia.

Możliwe jest określenie szumów przenikowych i odpowiadającej im średniej energetycznej tłumienności przenikowej dla każdego toru. Rozpatrując szumy na końcu B zmierzonego odcinka linii, należy przyjąć, że tory z czwórek 23, 29 i 35 są torami zakłócającymi, a tory czwórek 7, 10 i 13 torami zakłócanymi przez przenik zbliżony, lecz także każdy z torów czwórek 23, 29 i 35 jest torem zakłócanym przez przenik zdalny z pozostałych torów zakłócających tychże czwórek. Obliczane tak średnie energie szumów przenikowych i odpowiadające im tłumienności $A_{b\bar{e}}$ i $E_{d\bar{e}}$ zestawiono w tablicy B3. Dla porównania podano również wartości średnie arytmetyczne tłumienności przenikowych \bar{A}_b oraz \bar{E}_d .

Wiedząc, że są to wartości najgorsze jakie mogą wystąpić w różnych odcinkach linii, we wzorach /2/ i /3/ należy pominąć odchylenia standardowe, biorąc do obliczeń minimalne wartości $A_{b\bar{e}}$ oraz $E_{d\bar{e}}$. Otrzymamy wówczas ze wzoru /2/:

$$l_n \leq \frac{1}{8,6} /75 - 10 \lg 6 - 26/ = 4,79 \text{ km}$$

Uwzględniając jednak wzór /1/, w którym należy przyjąć największą dopuszczalną wartość $a = 33 \text{ dB}$ otrzymamy

$$l_n \leq \frac{33}{8,6} = 3,83 \text{ km.}$$

Narzuca się stąd wniosek, aby przyjąć $l_n = 3,4 \text{ km}$ /podwójny odcinek pupinizacyjny/. Przekształcając następnie wzór /2/ otrzymamy:

$$10 \lg n \leq /A_{b\bar{e}} - G/ - c_{o \max} \cdot l_n - /R_p + q/ \quad /B1/$$

Należy tu zaznaczyć, że określając dopuszczalną liczbę zestrojów n musimy

Tablica B3

Tłumienności przenikowe średnie dla poszczególnych torów w kablu

Nr czwórki	Tor	$A_{b\bar{e}}$	\bar{A}_b	Nr czwórki	Tor	$E_{d\bar{e}}$	\bar{E}_d
7	I	78,3	80,2	23	I	55,6	63,0
	II	75,0	78,7		II	55,8	64,2
10	I	77,5	78,2	29	I	56,7	63,8
	II	75,0	77,0		II	56,8	66,0
13	I	75,8	77,8	35	I	62,4	68,0
	II	78,7	79,8		II	61,2	64,2

operować wartościami średnimi i odchyleniem standardowym z tablicy B1.
Stąd:

$$10 \lg n \leq 74,5 - 5,2 - 8,6 \cdot 3,4 - 26 = 14,06$$

$$n \leq 25$$

Widać więc, że przy takich parametrach kabla możliwe jest z punktu widzenia przeniku zbliżonego zainstalowanie 25 zestawów TCK-30. Należy jednak sprawdzić te możliwości z punktu widzenia przeniku zdalnego, wg wzoru /3/. Uwzględniając jednak ewentualne wydłużenie odcinka regeneratorskiego w stosunku do długości mierzonego odcinka, wartości odstepu zdaloprzenikowego mogą pogorszyć się o:

$$10 \lg \frac{l_1}{l_2} = 10 \lg \frac{a}{\alpha l_2} \quad /B2/$$

W przypadku przyjęcia $a = 33$ dB otrzymamy poprawkę:

$$10 \lg \frac{33}{8,6 \cdot 2,1} = 2,6 \text{ dB}$$

Przyjmując natomiast $l_1 = 3,4$ km otrzymamy:

$$10 \lg \frac{3,4}{2,1} = 2,1 \text{ dB}$$

Korzystając ze wzoru /3/ obliczymy:

$$10 \lg/n-1/ \leq 55,6 - 2,6 - 26 = 27$$

$$n \leq 502$$

Przyjmując natomiast wariant większej liczby zestrojów niż 6, przy odcinku 3,4 km należy uwzględnić odchylenie standardowe i wartość średnią z tabl. B2:

$$10 \lg/n-1/ \leq 56,5 - 2,1 - 8,6 - 26 = 19,8$$

$$n \leq 96$$

Widać więc, że dla $n \leq 25$ przy $l_n = 3,4$ km warunek na szumy zdalno-przenikowe spełniony jest z zapasem.

II. Przypadek statystycznych danych, reprezentujących daną linię

Traktując posiadane dane /tabl. B1 i B2/ jako dane statystyczne o wartościach średnich, podanych w tych tablicach, obliczenia należy przeprowadzić wg wzorów /1, 2, 3/, uwzględniając jednak zalecane w obowiązujących wymaganiach [8] odchylenie standardowe $\sigma_b^2 = 8$ dB:

$$l_n \leq \frac{1}{8,6} \left[174,5 - 8 - 10 \lg 6 - 26 \right] = 3,8 \text{ km}$$

Przyjmując $l_n = 3,4$ km /podwójny odcinek pupinizacyjny/ wg wzoru /B1/ otrzymamy:

$$10 \lg n \leq 74,5 - 8 - 8,6 \cdot 3,4 - 26 = 11,26$$

$$n \leq 13$$

Określając następnie wartość n , wynikającą z ograniczeń przenikami zdalnymi, biorąc dane z tabl. B2 oraz uwzględniając poprawkę wg wzoru /B2/ i odchylenie standardowe $\sigma_b^2 = 11$ dB wg WTE [8], otrzymamy wg wzoru /3/:

$$10 \lg/n-1/ \leq 56,5 - 2,1 - 11 - 26 = 17,4$$

$$n \leq 55$$

Wynika stąd wniosek, że dla $n \leq 13$ i $l_n = 3,4$ km, warunek na odstęp zdalno-przenikowy spełniony jest z zapasem.

III. Obliczenia przy innym podziale szumów

Gdyby istniała potrzeba powiększenia liczby zestrojów powyżej 13, wtedy warto skorzystać ze wzorów /2a/ i /3a/ przyjmując inny podział szumów przenikowych. Wzór /B1/ przyjmie postać, wynikającą ze wzoru /2a/:

$$10 \lg n \leq 1/A_{be} - \sigma_b / - \alpha_{o \max} \cdot l_n - R_p - 10 \lg \frac{P_s}{P_{sb}} \quad /B3/$$

Zakładając na przykład, że na szumy zbliznoprenikowe przydzielone będzie 80% mocy tacznych szumów, zaś 20% będzie stanowiła moc szumów zdalno-prenikowych, otrzymamy ze wzoru /B3/:

$$10 \lg n \leq 74,5 - 8 - 8,6 \cdot 3,4 - 23 - 10 \lg \frac{P_s}{0,8 P_s} = 13,3$$

$$n \leq 21$$

Następnie sprawdzając wyniki z wynikiem wg wzoru /3a/ z uwzględnieniem poprawki /B2/ otrzymamy:

$$10 \lg/n-1/ \leq 56,5 - 2,1 - 11 - 23 - 10 \lg \frac{P_s}{0,2 P_s} = 13,4$$

$$n \leq 22$$

Widzimy więc, że taki podział szumów jest lepiej dostosowany do uzyskanych przeciętnych wartości przeników, gdyż liczby n obliczone wg obu wzorów są bardziej zbliżone do siebie. W ten sposób uzyskano możliwość wprowadzenia 21 zestrojów przy tej samej nominalnej długości odcinka re-generatorowego 3,4 km i przy tych samych parametrach przenikowych.

Oczywiście słabe wartości szumów przenikowych, zarówno zbliżonych jak i zdalnych, spowodują ograniczenie liczby zestrojów jakie mogą pracować w kablu, niezależnie od sposobu podziału szumów.

ZALEŻNOŚĆ ODSTĘPU SYGNAŁU OD SZUMÓW
OD WYMAGANEJ STOPY BŁĘDÓW

Odstęp sygnału od szumów jako zależność od wymaganej stopy błędów omówione były w wielu publikacjach [5, 14, 15]. Tu warto może przytoczyć wartości liczbowe, które choć teoretyczne, odnoszące się do idealnego regeneratora, wyrażają zależność elementowej stopy błędów od odstępu sygnału od szumów w punkcie decyzyjnym regeneratora [tabl. C1/.

Tablica C1

p	R_p dB	p	R_p dB
10^{-3}	16,1	10^{-9}	21,7
10^{-4}	17,7	10^{-10}	22,2
10^{-5}	18,8	10^{-11}	22,6
10^{-6}	19,7	10^{-12}	23,0
10^{-7}	20,5	10^{-13}	23,4
10^{-8}	21,1	10^{-14}	23,7

Z tablicy widać, że pogorszenie odstępu sygnału od szumów R_p tylko np. o 1,1 dB spowoduje pogorszenie /powiększenie/ stopy błędów 10^{-5} o jeden rząd wielkości, t.j. do wartości 10^{-4} .

Wymagania na regeneratory stawiają warunek, aby przy odstępie sygnału od szumów wynoszącym 24,5 dB w punkcie decyzyjnym regeneratora, stopa błędów nie przekroczyła wartości 10^{-5} . Niestety nie wykonywano pomiarów odstępu sygnału od szumów na wejściu regeneratora i nie mierzono uzyskiwanej stopy błędów, trudno jest więc ocenić jakość produkowanych regeneratorów w stosunku do stawianych im wymagań.

Wynikają stąd wątpliwości, że nie ma obecnie danych, które usprawiedliwiłyby przyjęcie dopuszczalnego odstępu sygnału od szumów na wejściu regeneratora na niższym poziomie niż proponowany w wymaganiach [6,7]. Również przyjęty tam margines bezpieczeństwa $q = 3$ dB nie jest wygórowany, stąd w obliczeniach, opartych na równaniach [2,3/ lub [2a, 3a/, należy przyjąć wartość $R_p + q = 26$ dB.

Przekształcając równania /2,3/ uzyskuje się:

$$A_{b\bar{e}} \geq R_p + q/ + \alpha_{\text{omax}} \cdot l_n + 10 \lg n + \sigma_b^2$$

$$E_{d\bar{e}} \geq R_p + q/ + 10 \lg /n - 1/ + \sigma_d^2$$

natomiast z równań /2a, 3a/ otrzymuje się:

$$A_{b\bar{e}} \geq R_p + \alpha_{\text{omax}} \cdot l_n + 10 \lg n + \sigma_b^2 + 10 \lg \frac{P_s}{P_{sb}}$$

$$E_{d\bar{e}} \geq R_p + 10 \lg /n - 1/ + \sigma_d^2 + 10 \lg \frac{P_s}{P_{sd}}$$

Przyjmując dla przykładu następujące dane:

$$R_p = 23 \text{ dB}, \sigma_b^2 = 8 \text{ dB}, \sigma_d^2 = 11 \text{ dB}, P_{sb} = 0,8 P_s, P_{sd} = 0,2 P_s$$

otrzymujemy:

$$A_{b\bar{e}} \geq 32 + \alpha_{\text{omax}} \cdot l_n + 10 \lg n$$

$$E_{d\bar{e}} \geq 41 + 10 \lg /n - 1/$$

Jeśli na przykład założymy, że tłumienność odcinka regeneratorskiego nie przekroczy 25 dB, wtedy uzyskamy

$$A_{b\bar{e}} \geq 57 + 10 \lg n$$

$$E_{d\bar{e}} \geq 41 + 10 \lg /n - 1/$$

Kilka wartości obliczonych według tych wzorów podano w tablicy C2.

Tablica C2

n	2	6	12	18
$A_{b\bar{e}}$ dB	60	64,8	67,8	69,5
$E_{d\bar{e}}$ dB	41	48	51,4	53,3

Większe wartości tłumienności odcinka regeneratorowego zwiększą oczywiście wymagane wartości tłumienności przenikowych.

Inaczej interpretując powyższe wzory można zauważyć, że każde podwojenie liczby wprowadzanych do linii zestrojów cyfrowych, przy stałych wartościach tłumienności przenikowych, wymaga skrócenia odcinków regeneratorem o 3 dB.

**PROGRAM STATYSTYCZNEJ ANALIZY PRZENIKÓW
NA KALKULATORZE TEXAS INSTRUMENTS**

Program umożliwia dokonanie statystycznej analizy tłumienności przenikowych z wyznaczeniem wartości minimalnej i maksymalnej, dystrybuanty rozkładu normalnego, wartości średniej oraz odchylenia standardowego, a także obliczenia szumów przenikowych i wyznaczenia tłumienności odpowiadającej średniej energii przenikowej /średniej mocy szumów/.

Program ten może posłużyć również do wykonywania analizy statystycznej innych parametrów o rozkładzie normalnym, choć nie jest wtedy konieczne obliczanie "mocy szumów" i "średniej energetycznej".

Program został opracowany oszczędnie /239 kroków programu/ tak, aby zmieścił się w pamięci kalkulatorów TI-58, choć dla kalkulatorów TI-59 mógłby być nieco bardziej rozbudowany.

Przyjmując ogólne oznaczenia, analizę oparto na następujących zależnościach:

Zakres analizy: zmienna przypadkowa X_i w zakresie od X_{gd} do X_{gg}
z podziałem na 43 przedziały co Δx :

$$X_{gg} = X_{gd} + 42 \cdot \Delta x$$

Dodatkowe 2 przedziały przewidziano:

jeden dla wszystkich $X_i < X_{gd}$ oraz drugi dla $X_i > X_{gg}$

Uwaga:

Ze względu na oszczędność miejsc w pamięci, każdy rejestr pamięci podzielono na 3 części /każda po 3 cyfry/, w których zliczana jest liczba wartości sąsiednich tzn.: X_k , $X_k + \Delta x$ oraz $X_k + 2 \cdot \Delta x$. Wtedy zapis w rejestrze RN będzie np. 11014008, co oznacza, że wartość X_k powtórzyła się 8 razy, wartość $X_k + \Delta x$ powtórzyła się 14 razy, zaś wartość $X_k + 2 \cdot \Delta x$ powtórzyła się 11 razy. Założono więc, że każda z wartości może się powtórzyć co najwyżej 999 razy, gdyż do zapisu przeznaczone są 3 miejsca cyfrowe.

Obliczenia oparte są na następujących zależnościach:

Wartość średnia

$$\bar{x} = \frac{\sum X_i}{m}$$

gdzie m - liczba wszystkich wczytanych wartości.

Odchylenie standardowe

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum x_i^2 - 1/m(\sum x_i)^2}{m-1}}$$

Wartość średnia energetyczna /tj. odpowiadająca średniej mocy szumów przenikowych/

$$x_g = -10 \lg \left[\frac{1}{m} \sum 10^{-0,1x_i} \right]$$

Dystrybuanta

Prawdopodobieństwo wystąpienia wartości $x_i \leq x_k$

$$p_k = \frac{\sum_{i=1}^k n_i(x_i \leq x_k)}{m+1} \cdot 100\%$$

gdzie: n_i - liczba wartości w przedziałach od pierwszego do k-tego.

Numery rejestrów dla poszczególnych wartości:

$$N = \frac{1}{3} \left(\frac{x_i - x_{gd}}{\Delta x} + 28 \right)$$

gdzie: N - numer rejestru wczytanej wartości x_i , przy czym dla $x_i < x_{gd}$ $N = 9$, a więc wartości te zliczane zostaną w rejestrze R9 w jego pierwszej części /trzy pierwsze cyfry licząc od prawej strony/ dla $x_i = x_{gd}$ $N = 9,333\dots$ co oznacza, że wartości te będą zliczane w drugiej części tegoż rejestru R9 /cyfry czwarta, piąta i szоста licząc od prawej strony/ itd., aż do wartości $x_i = x_{gg}$ co da w wyniku

$$N = \frac{1}{3} \left(\frac{x_{gd} + 42 \cdot \Delta x - x_{gd}}{\Delta x} + 28 \right) = \frac{70}{3} = 23,333\dots$$

a. więc wartości zostają zliczane w drugiej części rejestru R23. Na ostatku założono również, że dla $x_i > x_{gg}$

$$N = \frac{71}{3} = 23,666\dots$$

ozn. że wartości te zliczane zostają w trzeciej części /ostat-

niej/ rejestru R26 /będą to cyfry na 7, 8 i 9 miejscu licząc od prawej strony/.

Do rejestru R28 powinna być wprowadzona dolna wartość graniczna X_{gd} zaś do rejestru R29 założona szerokość przedziału Δx .

R3 ~ liczba m wczytanych wartości.

Po zaprogramowaniu kalkulatora, bądź wczytaniu programu z karty magnetycznej należy wprowadzić do pamięci wartości początkowe:

$X_{gd} \rightarrow$ STO 28 oraz $\Delta x \rightarrow$ STO 29

Kilkakrotnie wykonywana analiza wymaga wymazania wszystkich pamięci rejestrów za wyjątkiem R28 i R29. Uzyskuje się to przez naciśnięcie SBR.CE, otrzymując wynik 0.

Następnie dokonuje się wczytywania danych, kolejno nastawiając wartości X_i oraz naciskając E; ukazuje się wtedy wczytana wartość X_i .

W przypadku mylnego wczytania wartości niewłaściwej /np. Y_i / należy wartość tę powtórzyć, naciskając przycisk E; ukaze się wówczas wyrugowana wartość ze znakiem minus - Y_i .

Po wczytaniu wszystkich wartości należy nacisnąć D i odczytać /zanotować/ wartość średnią energetyczną $X_{\bar{e}}$, a następnie odczytać, notując kolejno następujące dane:

Nacisnąć	Odczytać
\bar{x}	\bar{X} - wartość średnia arytmetyczna
INV \bar{x}	σ - odchylenie standardowe
RCL 24	X_{\min} - wart. minimalna
RCL 25	X_{\max} - wart. maksymalna

Dystrybuantę rozkładu, tj. kolejne wartości prawdopodobieństw dla $X_i \leq X_k$ otrzymamy dla zakresu od X_{gd} do X_{gg}

naciskając: C odczytując p_k

a następnie naciskając R/S odczytywać kolejne p_k
R/S... itd., aż do ukazania się 0.

Interesując się konkretną wartością p_k dla wybranej wartości X_k należy:

- nastawić X_k , nacisnąć B' i odczytać M

przy czym może być: $M_1 = 1$
 $M_2 = 1000$
 lub $M_3 = 1000\ 000$

Nacisnąć RCL Ind 08 i odczytać liczbę

interesujących nas wartości jako 3 skrajne po prawej stronie cyfry, gdy $M_1 = 1$ lub jako 3 cyfry na 4, 5 i 6 miejscu licząc od prawej strony gdy $M_2 = 1000$, względnie jako pozostałe skrajne cyfry z lewej strony, tj. na 7, 8 i 9 miejscu licząc od prawej strony. Oczywiście na 8 i 9 miejscu może nie być żadnych cyfr jeśli będą to zera. Podobnie na 5 i 6 miejscu może nie być cyfr, jeśli wystąpią zera na 7, 8, 9 oraz na 5 i 6 miejscu. Następnie należy nastawić odczytaną liczbę wartości i nacisnąć B, otrzymując szukaną wartość P_k .

Możliwe jest również obliczenie mocy szumów przenikowych przy danej wartości tłumienności lub odstępku przenikowego A_p . Należy wtedy wprowadzić do pamięci rejestru R26: $A_p \rightarrow \text{STO } 26$, a następnie nacisnąć A'. Otrzymaną wartość należy tylko pomnożyć przez średnią moc sygnału użytecznego.

PROGRAM

Nr adresu	Operacja	Nr adresu	Operacja
000	R/S	058	÷
	<u>Lb1 E</u>		RCL 29
	STO 26		+
	If flg 2 017		28
	St flg 2		=
	STO 24		÷
	STO 25		3
	GTO x^2	067	=
017	$x \rightarrow t$	068	$x \rightarrow t$
	RCL 24		9
	INV $x \geq t$ 029		$x \geq t$ 083
024	$x \rightarrow t$		71
	STO 24		+
	GTO x^2		3
029	RCL 25		=
	$x \geq t$ x^2		INV $x \geq t$ 083
	$x \rightarrow t$		$x \rightarrow t$
	STO 25	083	STO 08
	<u>Lb1 x^2</u>		INV Int
	RCL 26		x
	B'		9
	SUM Ind. 08		=
	A'		EE INV EE
	SUM 07		INV log
	RCL 26	095	INV SBR
	$\Sigma +$		<u>Lb1 A'</u>
	RCL 26		RCL 26
051	INV SBR		÷
052-053	<u>Lb1 B'</u>		10
	-		=
057	RCL 28		+/-
	=		INV log
		107	INV SBR

Nr adresu	Operacja	Nr adresu	Operacja
108-109	<u>Lb1 D</u> RCL 03 ÷ RCL 07 = log x 10 = 121	168	Int STO 27 = x 1 EE 3 = SUM 27 STO 06 x RCL 05 = SUM Ind 08 RCL 06
131-133	INV SBR <u>Lb1 C</u> 16 STO 00 9 STO 08 1 EE 3 STO 05 RCL Ind 08 STO 27 C' RCL 05 Prd 05 C' Op 28 RCL 27 SUM Ind 08 B	176	STO 05 = RCL 05 = SUM Ind 08 RCL 06 <u>Lb1 B</u> ÷ (RCL 03 + 1) x 100 = R/S INV SBR
153-156	Dsz 0 131 CLR R/S	189-190	<u>Lb1 E'</u> STO 26 B' INV SUM Ind 08 RCL 26 INV Σ+ A' INV SUM 07 RCL 26 +/- R/S
158	R/S	204	INV SBR <u>Lb1 E'</u> STO 26 B' INV SUM Ind 08 RCL 26 INV Σ+ A' INV SUM 07 RCL 26 +/- R/S
159-160	<u>Lb1 C'</u> RCL 27 ÷ 1 EE 3	224	INV SBR <u>Lb1 E'</u> STO 26 B' INV SUM Ind 08 RCL 26 INV Σ+ A' INV SUM 07 RCL 26 +/- R/S
167	-		

Nr adresu.	Operacja	Nr adresu	Operacja
225-226	Lbl CE	233-234	Exc 29
	RCL 28		x \rightarrow t
	x \rightarrow t		Exc 28
	RCL 29	238	RST
232	CMs		

Uwagi do programu

Program zapisany jest tak, aby łatwiejsze było jego odczytanie. Grupowano ze sobą zapis po 2 lub więcej kroków programu, łączące się w logiczną całość. Na przykład Lbl x^2 zapisano w jednym wierszu /choć zajmuje 2 kroki programu/, a zapis ten oznacza etykietę " x^2 ". Podobnie rozkazy warunkowe, wraz z adresem pisane są w jednym wierszu, np. INV $x \rightarrow t$ [029], zajmuje 4 kroki programu i jak wiadomo oznacza: "czy wartość x jest mniejsza od wartości t , a jeśli tak \rightarrow zrób skok do adresu 029". Również liczby zapisywane są w jednym wierszu, chociaż zajmują tyle kroków programu ile jest cyfr w liczbie.

W zapisach zrobiono również skrót, polegający na pominięciu przycisku [2nd]; zakładając, że jest to oczywiste. Na przykład zapis RCL Ind 08, zajmujący 2 kroki programu, przy programowaniu wymaga naciśnięcia kolejno 5 klawiszy: RCL, 2nd, Ind, 0, 8, zapis Prd 05 wymaga naciśnięcia 4 klawiszy: 2nd, Prd, 0, 5 a zapis Lbl E' wymaga naciśnięcia 2nd, Lbl, 2nd, E' itp.



