

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI
WARSZAWA-MIEDZESZYN

BIULETYN

INFORMACYJNY

8(186)

1979

MINISTERSTWO ŁĄCZNOŚCI

BIULETYN INFORMACYJNY

ROK 19

WARSZAWA 1979

NR 8/186/

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI
Branżowy Ośrodek
Informacji Naukowej, Technicznej i Ekonomicznej

Redakcja Biuletynu Informacyjnego

Redaktor Naczelny - prof. mgr inż. Lesław Kędzierski
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. Juskiewicz

Montaż tekstu: B. Drabik

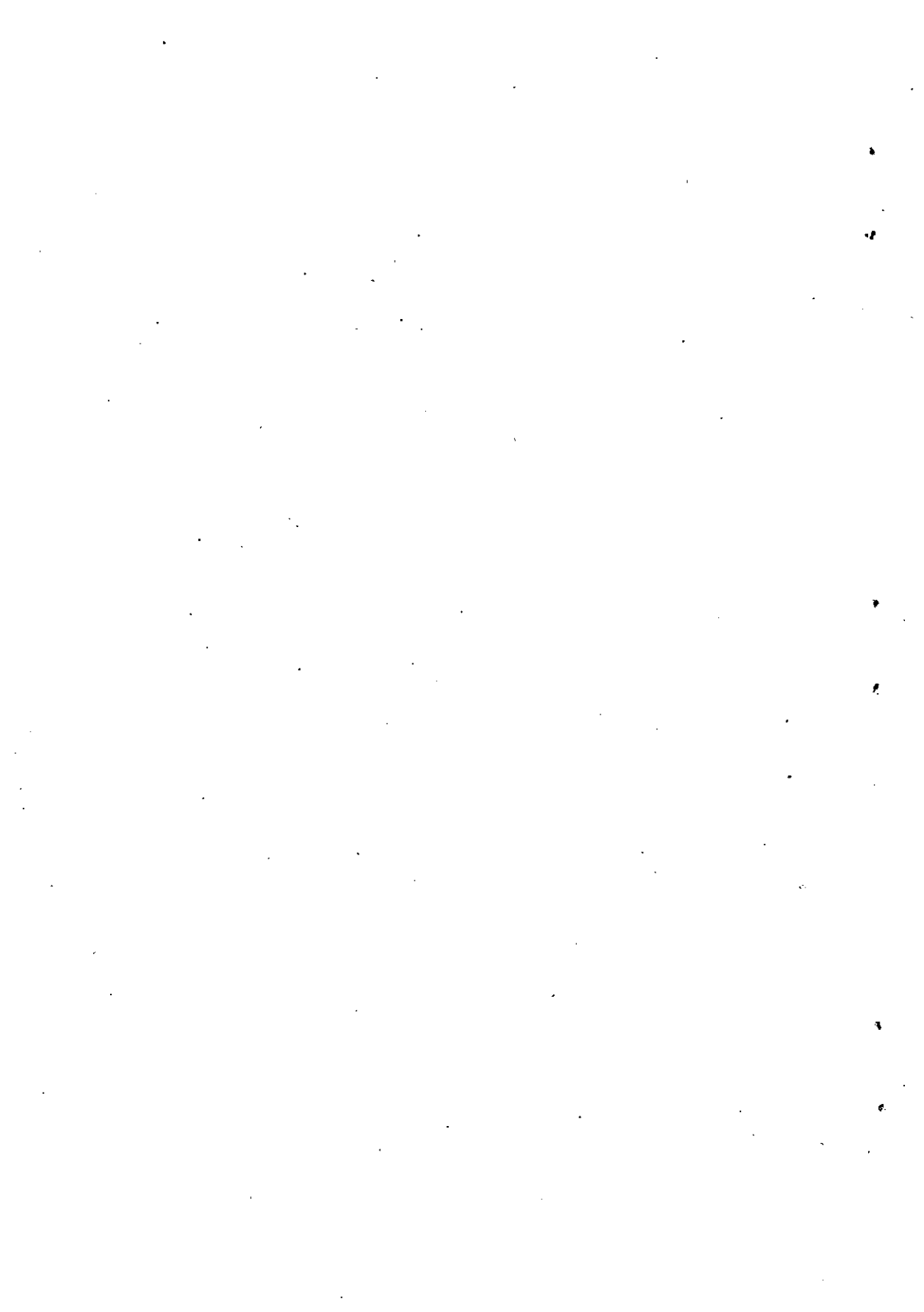
Dział Wydawniczy Instytutu Łączności
Format B5. Nakład 625. Wpłynęło do
Działu Wydawniczego 22.10.1979 r.
Druk ukończono w listopadzie 1979 r.

Jerzy Miłek
Andrzej Nowak

TRAKT LINIOWY SYSTEMU 8 Mbit/s

SPIS TREŚCI

	Str.
1. Wstęp	1
2. Własności traktu liniowego	1
2.1. Struktura traktu liniowego.	1
2.2. Parametry punktu styku traktu liniowego	2
2.3. Łącze odniesienia	4
2.4. Tory kablowe wykorzystywane do transmisji sygnałów o przepływności 8448 kbit/s	6
3. Regenerator przelotowy	7
3.1. Podstawowe bloki funkcjonalne regeneratora	7
3.2. Przedwzmacniacz	7
3.3. Automatyczna korekcja	10
3.4. Układ taktowania	10
3.5. Układ regeneracyjny	12
3.6. Układ zasilania	12
3.7. Zabezpieczenie przepięciowe	13
4. Urządzenia końcowe traktu liniowego	13
4.1. Regenerator odbiorczy	13
4.2. Regenerator nadawczy	13
4.3. Zdalna lokalizacja uszkodzeń regeneratorów	14
5. Badania regeneratora	14
6. Zakończenie	15



Jerzy Miłek
Andrzej Nowak

621.395.452:621.376.56

TRAKT LINIOWY SYSTEMU 8 Mbit/s

1. WSTĘP

Prawidłowy rozwój sieci telekomunikacyjnej wymaga, aby w każdym jej szczeblu stosować systemy teletransmisyjne o właściwej krotności. Z tego względu w systemach cyfrowych, podobnie jak i w systemach analogowych, utworzona jest hierarchia zwielokrotnień, w której dla krajów europejskich przewiduje się system drugiego rzędu o 120 kanałach telefonicznych, tworzący cyfrowy sygnał zbiorczy o przepływności 8448 kbit/s. Urządzenia końcowe systemu o zwielokrotnieniu cyfrowym czterech sygnałów zbiorczych /zawierających po 30 kanałów każdy, o przepływności 2048 kbit/s /TCK-30/ zostały omówione w Biuletynie Informacyjnym nr 1/167/ z 1978 r.

Artykuł niniejszy poświęcony jest omówieniu traktu liniowego systemu 8 Mbit/s również z urządzeniami opracowanymi w kraju, współpracującymi z kablem o parach symetrycznych, grupowanych w ekranowanych pęczkach.

2. WŁASNOŚCI TRAKTU LINIOWEGO

2.1. Struktura traktu liniowego

Trakt liniowy systemu 8 Mbit/s przeznaczony jest do przesyłania sygnałów cyfrowych o przepływności binarnej 8448 kbit/s. Sygnały takie mogą pochodzić z różnych źródeł, a należą do nich:

- Urządzenia końcowe o sygnale zbiorczym o przepływności 8448 kbit/s, zwielokrotniające w sposób cyfrowy cztery sygnały cyfrowe o przepływności binarnej 2048 kbit/s /mogą to być krotnice o synchronicznej lub asynchronicznej zasadzie zwielokrotnienia, o różnej metodzie dopełniania/.
- Urządzenia końcowe o przepływności binarnej 34 Mbit/s, zwielokrotniające cztery sygnały cyfrowe o przepływności 8448 kbit/s.
- Urządzenia końcowe PCM o 128 kanałach dla sygnałów akustycznych, tworzące sygnał zbiorczy o przepływności 8448 kbit/s.

- Centrale elektroniczne, których sygnał wyjściowy posiada przepływność 8448 kbit/s lub centrale o przepływności 2048 kbit/s, tworzący sygnał 8448 kbit/s przez synchroniczne zwielokrotnienie sygnałów o przepływności 2048 kbit/s.
- Urządzenia końcowe dla zakodowanych sygnałów wizjotelefonii.
- Urządzenia końcowe dla zakodowanych sygnałów grup FDM-60.
- Inne źródła sygnałów cyfrowych o przepływności 8448 kbit/s.

Aby spełnić wymagania stawiane przez różne usługi, trakt liniowy musi być rozwiązany w sposób umożliwiający elastyczne jego wykorzystanie w sieci i dlatego powinien być niezależny pod względem eksploatacyjnym od urządzeń końcowych z nim współpracujących.

Z powyższego względu urządzenia traktu liniowego muszą posiadać niezależne układy zasilania oraz układy alarmujące, dozoruujące jakość transmisji sygnału cyfrowego.

Na rysunku 1^{x/} przedstawiono strukturę traktu liniowego. Składa się on z urządzeń końcowych traktu liniowego oraz z nieobsługiwanych stacji przelotowych wyposażonych w regeneratory i urządzenia pomocnicze.

Trakt liniowy za pośrednictwem urządzeń końcowych traktu łączy się z urządzeniami końcowymi, stanowiącymi źródła i odbiorniki sygnału cyfrowego o przepływności 8448 kbit/s, za pośrednictwem znormalizowanych punktów styku, przez które przesyłane są sygnały cyfrowe w obu kierunkach.

Sygnały te w czasie normalnej pracy są sygnałami informacyjnymi danej usługi, a w przypadku wadliwej pracy traktu przesyłane są przez omawiane punkty styku sygnały charakterystyczne, których zadaniem jest informowanie współpracujących urządzeń końcowych o braku poprawnej transmisji.

2.2. Parametry punktu styku traktu liniowego

W punkcie styku z traktem liniowym systemu 8448 kbit/s zalecany jest kod HDB-3. Kod taki przedstawiony na rys. 2, charakteryzuje się tym, że w cyfrowym sygnale liniowym nie występują więcej niż trzy kolejne elementy o wartości zero. Jego wytwarzanie polega na następujących zasadach. Jeżeli w kodzie binarnym występuje mniej kolejnych elementów o wartości zero niż cztery, wówczas zamiana kodu na kod liniowy jest taka sama, jak

^{x/} Rysunki zamieszczono na końcu artykułu.

dla kodu AMI. Oznacza to, że elementy zerowe w kodzie binarnym występują w kodzie liniowym również jako elementy o wartości zero. Natomiast elementy o wartości 1 zamienione są w kodzie liniowym na elementy występujące na przemian jako +1 lub -1; przyjmują one postać impulsów o wypełnieniu 50% o polaryzacji dodatniej lub ujemnej i są one oznaczane jako B.

Jeżeli w kodzie binarnym występują cztery kolejne elementy o wartości zero, wówczas w kodzie liniowym zamiast zer wprowadza się jedną z następujących sekwencji 000V lub B00V, gdzie V oznacza impuls o takiej samej polaryzacji, co polaryzacja impulsu poprzedzającego.

Wybór jednej z dwóch podanych sekwencji jest tak dokonywany, aby każdy kolejny impuls V miał przeciwną polaryzację w stosunku do poprzedniego impulsu V. Tym sposobem kod HDB-3 nie zawiera składowej stałej.

Stwierdziwszy wystąpienie impulsu V w urządzeniu odbiorczym przy zamianie kodu liniowego na binarny zamiast wprowadzonych sekwencji wprowadza się cztery zera. W ten sposób nie ma żadnego ograniczenia dotyczącego liczby elementów zerowych w kodzie binarnym podczas transmisji sygnałów cyfrowych, a co przy kodzie AMI ma miejsce.

Przyjmując w punkcie styku tego rodzaju kod liniowy można utworzyć połączenia jednotorowe dla każdego kierunku transmisji bez potrzeby przesyłania odrębnym torem sygnału taktowania, gdyż sygnał ten można zawsze wydzielić z sygnału informacyjnego nawet przy przesyłaniu samych elementów zerowych w sygnale binarnym. Dzięki wspomnianej własności kod HDB-3 ułatwia konstrukcję regeneratorów, gdzie również zachodzi potrzeba wydzielenia sygnału taktowania.

Inną korzystną cechą kodu HDB-3 /a również kodu AMI/ jest skupienie widma energetycznego P_w/f sygnału cyfrowego w otoczeniu połowy częstotliwości repetycji elementów sygnału liniowego $f_r = 8448$ kHz, co można zaobserwować na rys. 3. Dzięki temu sygnał pokonuje tłumienność toru kablowego występującą przy częstotliwości $f_r/2 = 4224$ kHz, a więc o mniejszej wartości. Z tego też względu również zakłócenia powstałe wskutek przeników są najgroźniejsze wokół tej częstotliwości.

Punkt styku traktu liniowego posiada następujące parametry:

Wejście i wyjście współosiowe o impedancji	75 Ω
Napięcie impulsów sygnału cyfrowego na wyjściu	2,37 V
Czas trwania elementu sygnału cyfrowego	118 ns
Czas trwania impulsów sygnału cyfrowego	59 ns

Kształt impulsów sygnału cyfrowego powinien mieścić się w gabarycie przedstawionym na rys. 4.

Połączenia stacyjne mogą wprowadzać dla częstotliwości $f_p/2$ tłumienność do 6 dB. Tak stłumiony sygnał jest regenerowany w tzw. regeneratory 6 dB.

2.3. Łącze odniesienia

Długość traktu liniowego pomiędzy urządzeniami końcowymi traktu liniowego ograniczona jest zasięgiem zasilania zdalnego. Transmisja sygnału cyfrowego może być przedłużana przez szeregowe łączenie traktów liniowych za pośrednictwem punktów styku urządzeń końcowych traktu liniowego.

Dla dróg cyfrowych systemów o przepływności 8448 kbit/s zalecane jest /G.721/ łącze odniesienia przedstawione na rys. 5. Długość jego wynosi 500 km i zawiera 4 odcinki o długości 125 km z trzema punktami retransmisyjnymi przez połączenia o przepływności 64 kbit/s. Transmisja sygnału powinna odbywać się z taką jakością, aby dla podanego łącza odniesienia długoterminowa elementowa stopa błędów nie przekraczała wartości $5 \cdot 10^{-8}$, co wynika ze wstępnie proponowanego na terenie CCITT warunku na stopę błędów $2,5 \cdot 10^{-6}$ dla łącza o długości 25000 km. Ponieważ przekłamania podczas transmisji mogą występować jedynie w regeneratorach, gdyż tylko na ich wejściu poziom sygnału zbliża się do poziomu szumów, cały więc przydział dopuszczalnej stopy błędów przeznaczają się na trakt liniowy. Wynika z tego, że na 1 km traktu liniowego dopuszcza się stopę nie większą niż 10^{-10} .

Zalecenia na chwilową wartość stopy błędów również nie są jeszcze określone. W tej chwili proponuje się, aby jakość traktu liniowego określać również przez podanie procentu czasu, podczas którego stopa błędów nie przekracza określonej wartości, co jest uzasadnione zważywszy, że taki parametr jak stopa błędów ma charakter bardzo zmienny, zwłaszcza przy oddziaływaniu przypadkowych zakłóceń.

Trwają również próby określenia wartości stopy błędów, przy której trakt należy uznać za nie nadający się do transmisji sygnału cyfrowego. Określenie tych wartości wiąże się z pewnymi trudnościami, różna bowiem jest wrażliwość poszczególnych usług na stopę błędów. Szczególnie wrażliwe na przekłamania są te usługi, których sygnały podczas przetwarzania na sygnał cyfrowy podlegają redukcji nadmiarowości. Z powyższych względów

przyjęto zasadę, że przekroczenie określonych, dopuszczalnych dla poszczególnych usług, wartości stopy błędów są alarmowane w urządzeniach końcowych tych usług. Natomiast w urządzeniu końcowym traktu liniowego powstaje alarm niepilny, jeżeli stopa błędów osiąga wartość dopuszczalną dla usługi najmniej wrażliwej na błędy $/10^{-5}/$ oraz alarm pilny, gdy stopa błędów osiąga wartość 10^{-3} i trwa dłuższy czas /parę sekund/. W tej ostatniej sytuacji transmisja zostaje przerywana, a w urządzeniu końcowym traktu liniowego, w którym to zostaje stwierdzone, wytwarza się i przesyła dalej sygnał SIA /Sygnał Informacji Alarmowej/, zawierający wyłącznie elementy o wartości 1. Wykrycie tego sygnału przez następne urządzenie daje informację o uszkodzeniach w urządzeniach poprzedzających. Podobnie przesyłane są informacje o złej pracy innych urządzeń, np. krotnic.

Badanie jakości transmisji odbywa się drogą wykrywania nieprawidłowych sekwencji w kodzie liniowym. Najprostsze dla kodu HDB-3 jest wykrywanie nieprawidłowości w przemienności polaryzacji kolejnych impulsów V. Jeżeli podczas transmisji występuje przekłamanie elementów kodu liniowego, wówczas pojawiają się zaburzenia w wystąpieniu przemienności tych impulsów. Jest to najprostszy sposób wykrywania błędów bez znajomości przesyłanej informacji.

Innym parametrem charakteryzującym trakt liniowy są fluktuacje fazowe sygnału cyfrowego, powstające podczas transmisji. Ogólnie uważa się, że parametr ten powinien być normowany, lecz do chwili obecnej nie ma żadnych wymagań na wartości tego parametru, których nie powinno się przekraczać. Szkodliwość fluktuacji fazowych nie zawsze się ujawnia, zwłaszcza gdy zegar i sygnał są obciążone tymi samymi zniekształceniami dotyczącymi fazy momentów znamiennych. Fluktuacje fazowe mogą prowadzić natomiast do znacznych błędów, jeżeli sygnał cyfrowy nimi obciążony podlega detekcji za pomocą zegara bez fluktuacji. Jeżeli w takim przypadku fluktuacje fazowe przekraczają wartość $\pm \pi$, wówczas transmisja jest obciążona dużą stopą błędów i aby ich uniknąć, należy zastosować tłumiki fluktuacji fazowych. W praktyce takie przypadki mogą wystąpić dla bardzo długich traktów liniowych zawierających znaczną liczbę regeneratorów.

Wielkość fluktuacji fazowych jest uzależniona w traktach liniowych od układów wydzielenia sygnału taktowania.

2.4. Tory kablowe wykorzystywane do transmisji sygnałów o przepływności 8448 kbit/s

W traktach liniowych systemu 8448 kbit/s są wykorzystywane w różnych krajach następujące tory kablowe:

- kable z torami symetrycznymi o ekranowanych pęczkach,
- kable z torami współosiłowymi mikrowymiarowymi,
- kable z torami symetrycznymi wykorzystywane do tej pory dla systemów analogowych, w liniach dwukablowych z oddzielnym kablem dla każdego kierunku transmisji.

Kable z torami symetrycznymi i o ekranowanych pęczkach są wykorzystywane we Francji i RFN.

W Polsce przewiduje się również zastosowanie kabli pęczkowych o konstrukcji zastosowanej we Francji. W kablu tym są zastosowane tory symetryczne o średnicy 0,8 mm. 6 par znajdujących się w jednym ekranowanym pęczku wykorzystuje się do przesyłania sygnałów dla jednego kierunku transmisji. Przewiduje się kable zawierające od 4 do 14 pęczków. Ponadto w kablu między pęczkami znajdują się tory służbowe do utworzenia łączności służbowej, kontroli regeneratorów oraz kontroli ciśnieniowej.

Tłumienność jednostkowa toru dla 10°C i dla częstotliwości 4,2 MHz, przy której gromadzi się maksimum energii widma przesyłanego sygnału cyfrowego z kodem HDB-3, wynosi około 14 dB/km. Charakterystykę tłumienności jednostkowej przedstawiono w tabelicy 1.

T a b l i c a 1

Częstotliwość [MHz]	0,01	0,02	0,05	0,1	0,3	0,5	1	2	4	4,2	8	8,4	17
Tłumienność jednostkowa [dB/km]	1,6	1,8	2,06	2,54	4,1	5,1	7,1	9,8	13,7	14,1	19,3	19,8	28,3

Warunki na przeniki zbliżone i zdalne w odcinkach fabrykacyjnych pozwalają na uzyskanie maksymalnej długości odcinka regeneratorskiego 4,4 km.

Warunek na średnią energię dla odstępu zdaloprzenikowego dla tej dłu-

gości przy częstotliwości 4,2 MHz wynosi 49 dB, zaś warunek na średnią tłumienność przeniku zbliżonego - 120 dB.

Przyjęta maksymalna długość odcinka regeneratorowego daje w efekcie, z uwzględnieniem rozrzutów produkcyjnych i zmian temperatury, tłumienność 67 dB. W praktyce więc przyjmuje się, że nominalna długość odcinka regeneratorowego wynosi 4 km z możliwością odchyłek do ± 400 m. Wtedy zmiany tłumienności będą się zawierały w granicach od 47 do 67 dB z wartością nominalną 57 dB.

3. REGENERATOR PRZELOTOWY

3.1. Podstawowe bloki funkcjonalne regeneratora

Zadaniem regeneratora przelotowego jest odtworzenie sygnału wprowadzonego na tor, z jak najmniejszymi przekłamaniami i zniekształceniami dotyczącymi amplitudy i kształtu zregenerowanych impulsów oraz czasu ich tworzenia i położenia w odniesieniu do położenia nominalnych.

Spełnienie tych funkcji zapewniają następujące bloki funkcjonalne regeneratora:

- przedwzmacniacz,
- układ korekcji automatycznej,
- układ wydzielenia sygnału taktującego,
- układ detekcyjny wraz z układem kształtowania impulsów wyjściowych.

Ponadto w regeneratorze znajdują się następujące bloki pomocnicze:

- układ zasilania zdalnego,
- układ zdalnej kontroli regeneratorów,
- układy zabezpieczeń przepięciowych.

Wyżej wymienione bloki będą szerzej omówione w następnych punktach.

3.2. Przedwzmacniacz

Zadaniem przedwzmacniacza jest wzmocnienie i właściwe ukształtowanie zniekształconych przez tor kablowy impulsów sygnału cyfrowego.

Przedwzmacniacz powinien mieć taką charakterystykę P/f/ przenoszenia, aby impulsy wyjściowe Sp/t/ nie występowały w momentach pojawienia się elementów sąsiednich. Jednocześnie pasmo przedwzmacniacza powinno być jak

największe, aby ograniczać widmo zakłóceń oraz szumów występujących na wejściu i dzięki temu zmniejszać ich wpływ na proces detekcji w układzie decyzyjnym.

Stopa błędów powstających w przedwzmacniaczu może być oceniona ze współczynnika q stosunku sygnału do szumów zdefiniowanego jako:

$$q = \frac{\Delta H}{2\sigma_p}$$

gdzie: ΔH - rozwarcie oka,

σ_p - skuteczna wartość szumów na wyjściu przedwzmacniacza /w punkcie decyzyjnym/.

Rozwarcie oka jest na ogół mniejsze od amplitudy H impulsu wyjściowego przedwzmacniacza o kształcie $s_p(t)$ i o widnie $S_p(f)$.

Moc szumów na wyjściu przedwzmacniacza wynosi

$$\sigma_p^2 = \int_{-\infty}^{\infty} n_{szwe}(f) \cdot P^2(f) df$$

gdzie: $n_{szwe}(f)$ jest mocą szumów występujących na wejściu przedwzmacniacza.

W regeneratorach dla sygnałów o przepływności 8448 kbit/s współpracujących z kablami o parach symetrycznych główną rolę odgrywają przeniki zdalne /o transmitancji $A_{zd}(f)$ i zbliżne /o transmitancji $A_{zb}(f)$ przechodzące z torów sąsiednich, powodujące pogorszenie odstępu sygnału do szumu, co zmusza do ograniczenia wzmocnienia przedwzmacniacza, a zatem i długości odcinka regeneratorowego do 4,4 km.

W torach współosiowych mikrowymiarowych główną rolę odgrywają szумы termiczne o znacznie niższych poziomach i w związku z tym wzmocnienie przedwzmacniacza może być większe.

W liniach z kabli symetrycznych bez ekranowanych pęczków, w których dla każdego kierunku jest wykorzystywany odrębny kabel przeniki zbliżne między różnymi kierunkami transmisji są pomijalne, natomiast przeniki zdalne mogą być znacznie większe bowiem pochodzą ze wszystkich torów znajdujących się w kablu, a ponadto ich konstrukcja nie jest przewidziana do pracy w tak szerokim pasmie.

W kablu o konstrukcji pęczkowej szумы na wejściu regeneratora będą zatem wyrażały się następującą zależnością:

$$n_{szwe} = \left[A_{zd}^2/f/ \cdot T^2/f/ + A_{zb}^2/f/ \right] P_w/f/$$

gdzie: $T/f/$ - transmitancja toru,

$P_w/f/$ - widmo energetyczne zbiorczego sygnału cyfrowego wprowadzonego na tor /uwzględniające zastosowanie kodu HDB-3 oraz impulsów o kształcie prostokątnym i o wypełnieniu 50%/ przedstawione na rys. 3.

Szumy te są wzmacnione przez przedwzmacniacz o wzmacnieniu $P/f/$, określonym przez widmo $S_p/f/$ impulsu na wyjściu przedwzmacniacza o pożądanym kształcie i o najmniejszych przenikach międzyelementowych oraz widmo $S_1/f/$ impulsu wprowadzanego na tor i przez transmitancję toru $T/f/$ powiązanych ze sobą w sposób następujący:

$$S_p/f/ = S_1/f/ \cdot T/f/ \cdot P/f/$$

Wynika stąd, że charakterystyka

$$T/f/ \cdot P/f/ = W/f/$$

musi być tak dobrana, aby z widma $S_1/f/$ uzyskać widmo $S_p/f/$ impulsu $s_p/t/$ o najmniejszych przenikach międzyelementowych oraz takie, aby pasmo przedwzmacniacza o charakterystyce

$$P/f/ = \frac{W/f/}{T/f/}$$

było jak najwęższe, żeby jak najmniej wzmacniać zakłócenia n_{szwe} . Dzięki temu osiągnąć można największy współczynnik stosunku sygnału od szumu q .

Przedwzmacniacz jest zbudowany z kilku układów scalonych, tranzystora oraz elementów korekcyjnych RC. Schemat blokowy przedwzmacniacza przedstawiono na rys. 6. Blok W1 jest wtórnikiem emiterowym, zapewniającym dużą oporność obciążenia regulowanej linii wydłużającej RLW, zaś bloki K1 i K2 są dwójnikami korekcyjnymi zbudowanymi z elementów RC. Wzmacniacze W2 i W3 stanowią I i II część układu scalonego UL 1211. Na wyjściu bloku W3 sygnał jest już właściwie skorygowany częstotliwościowo i posiada kształt przedstawiony na rys. 7a i 8a. Przebieg z rys. 7a wskazuje wszystkie możliwe kombinacje zer i jedynek nałożone na siebie. Obraz taki u-

zyskuje się na oscyloskopie z zastosowaniem wyzwalania oscyloskopu sygnałem taktowania. Wzmacniacz W4 /III część UL 1211/ wzmacnia impulsy dodatnie i dostosowuje składową stałą do poziomu decyzji układu regeneracyjnego. Analogiczny wzmacniacz W6 wzmacnia impulsy ujemne po odwróceniu fazy sygnału przez blok W5 /I część UL 1211/. Sygnały na wyjściu bloku W4 i W6 pokazano na rys. 7b, 8b i 8c.

3.3. Automatyczna korekcja

Odcinek regeneracyjny projektuje się na długość nominalną 4 km, ale wymagane jest, aby regenerator pracował poprawnie przy długościach odcinka $3,6 \pm 4,4$ km. Ponadto, należy liczyć się ze zmianami tłumienności skutecznej toru kablowego od temperatury i pewnych tolerancji tłumienności wynikającej z niedokładności wykonania kabla. Dlatego niezbędne jest, aby regenerator mógł pracować przy tłumienności toru od 47 do 67 dB przy częstotliwości 4,224 MHz. W tym celu stosuje się układ automatycznej korekcji, pokazany na rys. 6, który składa się z regulowanej linii wydłużającej RLW, układu UC wytwarzającego proporcjonalne do amplitudy impulsów wyjściowych przedwzmacniacza napięcie stałe oraz komparatora K porównującego to napięcie z napięciem odniesienia. Różnica tych napięć po wzmożeniu steruje linią wydłużającą. Kryterium zmiany tłumienności linii wydłużającej jest wielkość amplitudy impulsów na wyjściu przedwzmacniacza. Wzrost amplitudy powinien powodować wzrost tłumienności linii RLW. Uzyskuje się w ten sposób stabilizację amplitudy impulsów wyjściowych przedwzmacniacza w zakresie zmian tłumienności toru 57 dB ± 10 dB.

3.4. Układ taktowania

Układ taktowania ma za zadanie wydzielić z kodu pojawiającego się na wyjściu przedwzmacniacza sygnał taktowania o częstotliwości 8,448 MHz, a następnie wzmożyć go i zamienić na przebieg prostokątny o możliwie stromych zboczach dopasowanych w czasie do momentu największego rozwarcia oka. Fluktuacje fazowe zboczy impulsów /tzw. jitter/ powinny być odpowiednio małe.

Układ taktowania składa się z układu wydzielenia sygnału taktowania UW i układu kształtowania UKZ. Układ wydzielenia jest zbudowany z obwodu rezonansowego pobudzanego do drgań jedynkami transmitowanego kodu.

Dobroć obwodu rezonansowego LC wynosi od 50 ± 100 . Przyjęcie takiej dobroci wynika z kompromisu pomiędzy wielkością fluktuacji fazowych, a możliwością wykonania obwodu rezonansowego o dużej stałości jego częstotliwości rezonansowej w czasie. Zwiększenie dobroci obwodu wpływa na zmniejszenie fluktuacji fazowych sygnału taktowania przy założeniu idealnego dostrojenia częstotliwości rezonansowej. Jeżeli natomiast założymy, że dostrojenie obwodu rezonansowego nie jest idealne, to wówczas wystąpi minimum fluktuacji fazowych przy obniżonej dobroci. Wypływa z tego wniosek, że przy określonej stałości długookresowej częstotliwości rezonansowej obwodu LC nie można stosować dowolnie dużych wartości dobroci Q . W układzie wydzielania częstotliwości taktowania z rezonatorem kwarcowym mogą być stosowane bez obawy znacznie większe dobroci, rzędu 1000, ponieważ stabilność rezonatora kwarcowego jest znacznie większa niż układu LC. Zastosowanie takiego rozwiązania umożliwia osiągnięcie mniejszych fluktuacji fazowych, ale koszt rezonatora kwarcowego jest większy niż układu LC. W regeneratorach zastosowano układ wydzielania zbudowany z elementów LC. Skorygowany sygnał z obu wyjść przedwzmacniacza /wyjścia W_4 i W_6 rys. 6/ jest sumowany i podany na wejście wzmacniacza rezonansowego UW z równoległym obwodem rezonansowym, umieszczonym w kolektorze. Obwód rezonansowy powinien być możliwie dokładnie skompensowany termicznie poprzez dobór kondensatorów o odpowiednim współczynniku temperaturowym. Do wzmocnienia wykorzystano II część układu scalonego UL 1211. Rys. 8d przedstawia sygnał po zsumowaniu jedynek dodatnich i ujemnych, a rys. 7c - sygnał na obwodzie rezonansowym.

Zadaniem układu kształtowania sygnału taktowania UKZ jest zamiana przebiegu sinusoidalnego o częstotliwości 8448 kHz na przebieg prostokątny o wypełnieniu około 50% i odpowiednim usytuowaniu zbocza tak, aby układ regeneracyjny zapewniał maksymalną odporność na zakłócenia. Uzyskuje się to przez zsynchronizowanie narastania zbocza sygnału taktowania z największym rozwarciem tzw. "oka" /rys. 7/. Funkcje kształtowania sygnału taktowania spełniają IV część układu scalonego UL 1211 i jeden z tranzystorów układu scalonego UL 1111. Sygnał na wyjściu tego układu ma kształt zbliżony do prostokątnego /rys. 7d i 8e/, a narastające zbocza służą do wpisywania jedynek i zer do przerzutników w układzie regeneracyjnym. Opadające zbocza tego sygnału po różniczkowaniu /układ UR/ określają czas trwania jedynek po regeneracji, który wynosi 50% czasu przeznaczzonego na jeden element kodu.

3.5. Układ regeneracyjny

Układ regeneracyjny składa się z układów decyzyjnych dla jedynek dodatnich RD oraz ujemnych RU, układu kształtowania i łączenia jedynek dodatnich KJD oraz ujemnych KJU. Układy decyzyjne /rys. 6/ zbudowane są z przerzutników UCY 5474. Skorygowany sygnał z wyjść przedwzmacniacza doprowadza się do wejść "D", a narastające zbocze sygnału taktowania wpisuje "I" na wyjście Q, o ile napięcie na wejściu "D" jest mniejsze od około 1,25 V. Przy napięciach większych niż 1,25 V przerzutnik nie zmienia stanu, tzn. pozostaje w stanie "0" na wyjściu Q. Po wpisaniu każdej "1" następuje zerowanie wyjścia Q przez podanie zera na wejście "S". Impulsy zerujące uzyskuje się poprzez różniczkowanie sygnału taktowania. Zregenerowane jedynki dodatnie i ujemne, pojawiające się na zanegowanych wyjściach przerzutników, są wzmacniane w układach jednotranzystorowych KJD i KJU, a następnie łączone są w transformatorze wyjściowym TWY w celu wytworzenia kodu dwubiegunowego. Wzmacniacze wyjściowe zapewniają odpowiednią amplitudę i kształt jedynek impulsów reprezentujących jedynki kodu przy obciążeniu linią o oporności falowej 160Ω , a transformator umożliwia tworzenie dwubiegunowych impulsów, zapewnia symetrię wyjściową oraz umożliwia zdalne doprowadzenie zasilania do regeneratorów poprzez utworzenie toru pochodnego. Kształt przebiegów w różnych punktach układu regeneratora przedstawiono na rys. 7 i 8.

3.6. Układ zasilania

Regeneratory przelotowe są zasilane zdalnie z urządzeń końcowych traktu liniowego poprzez tory pochodne. Napięcie zdalnego zasilania wynosi ± 250 V. Regeneratory są zasilane szeregowo. Wewnątrz regeneratora dwie diody Zenera o napięciu około 5 V łączą środki liniowej strony uzwojeń transformatorów wyjściowych /rys. 9/. Napięcie występujące na każdej z diod jest źródłem zasilania dla regeneratora jednego kierunku transmisji. W celu zamknięcia obwodu zasilania zdalnego środki uzwojeń transformatorów wejściowych są zwarte. Prąd zdalnego zasilania wynosi około 90 mA.

3.7. Zabezpieczenie przepięciowe

Regeneratory przelotowe, umieszczone w studzienkach kablowych poza miastem są narażone na stosunkowo duże przepięcia indukowane w torach kablowych na skutek wyładowań atmosferycznych. Według norm regeneratory powinny wytrzymywać przepięcia impulsowe 1,5 kV o czasie trwania 700 μ s i maksymalnym prądzie około 40 A. Impulsy te przykłada się na wejścia i wyjścia oraz pomiędzy zwartymi wejściami i wyjściami. W celu zabezpieczenia regeneratora przed zniszczeniem wprowadzono różne układy. Na wejściu zastosowano dwie diody o dużej wytrzymałości na impulsowe przeciążenia prądowe /blok ZWE, rys. 6/, zaś na wyjściu - układ z oporników, diod Zenera i diod o małej pojemności /blok ZWY/. Układ zmniejsza przepięcie do kilku woltów. Do zabezpieczenia układu zasilania użyto diodę Zenera dużej mocy, na której przy impulsowym przeciążeniu prądem 40 A napięcie wzrasta do kilkunastu woltów. Napięcie to nie powoduje zniszczenia układów regeneratora /blok ZZ, rys. 9/.

4. URZĄDZENIA KOŃCOWE TRAKTU LINIOWEGO

4.1. Regenerator odbiorczy

Regenerator odbiorczy różni się znacznie od części regeneratora przelotowego, przeznaczonego do regeneracji sygnałów dla jednego kierunku transmisji. Różnice występują w układzie wyjściowym, który w regeneratorze odbiorczym współpracuje ze stacyjnym kablem o impedancji falowej 75 Ω . W celu umożliwienia dowolnego skrócenia odcinka regeneratorskiego, istnieje możliwość włączenia od strony wejścia na tor, dla obu kierunków transmisji, linii wydłużającej tor o 7,5 dB, 15 dB, 30 dB oraz sumy tych tłumień. Ponadto, regenerator odbiorczy wyposażony jest w układ do wprowadzenia na wyjście kodu charakterystycznego "111...", tzw. kodu SIA, w przypadku stwierdzenia przekroczenia stopy błędów wykrywanego w detektorze badającym podwójne zaburzenia biegunowości impulsów odbieranego sygnału cyfrowego.

4.2. Regenerator nadawczy

Regenerator nadawczy służy do regeneracji sygnału przesyłanego z krotkicy poprzez współosiowy kabel stacyjny o impedancji falowej 75 Ω do sto-

jaka urządzeń końcowych traktu liniowego. Maksymalna tłumienność kabla stacyjnego przy częstotliwości 4224 kHz wynosi 6 dB. Regenerator nadawczy jest bardzo uproszczony. Składa się głównie z układu wydzielenia sygnału taktowania, układów decyzyjnych oraz układu wyjściowego.

4.3. Zdalna lokalizacja uszkodzeń regeneratorów

Urządzenia zdalnej kontroli traktu liniowego składają się z testera traktu i układów zamykania pętli, umieszczonych w nieobstugiwanych stacjach regeneracyjnych. W przypadku uszkodzenia traktu liniowego istnieje możliwość zdalnej lokalizacji tego uszkodzenia. W tym celu z testera traktu po dodatkowej parze przewodów kabla nadaje się sygnał impulsowy /modulowany, sygnał sinusoidalny/, który w zależności od ilości nadanych impulsów przygotowuje regeneratory poszczególnych stacji regeneracyjnych - za pośrednictwem specjalnego układu w każdym pojemniku, wspólnym dla wszystkich regeneratorów - do zamknięcia pętli. Drugim kryterium zamknięcia pętli pomiędzy wyjściem i wejściem określonego regeneratora jest krótka przerwa w transmisji w danym trakcie liniowym. Zamykając kolejno pętle w regeneracjach poszczególnych stacji przelotowych i sprawdzając zgodność kodu nadawanego z przychodzącym można zlokalizować uszkodzony regenerator. Układy stosowane do zdalnej lokalizacji uszkodzonego regeneratora przedstawiono na rys. 9.

5. BADANIA REGENERATORA

W celu sprawdzenia własności regeneratorów systemu TCC120 poddano badaniom jego współpracę z odcinkiem kabla o ekranowanych pęczkach, znajdującego się na bębnach w Instytucie Łączności. Układ pomiarowy przedstawiony na rys. 11 pozwala na zbadanie odporności regeneratora na zakłócenia, reprezentowane przez generator szumów GS. Widmo szumów jest odpowiednio ukształtowane przez korektor K o charakterystyce tak dobranej, aby widmo na wyjściu odpowiadało widmu sygnału cyfrowego z kodem HDB-3 wychodzącego z regeneratora i przechodzącego przez uśrednioną częstotliwościową charakterystykę przeników zbliżonych i zdalnych występujących w kablu pęczkowym. Moc widma N mierzonego w pasmie 3,1 kHz dla częstotliwości $f_r/2$ na wejściu regeneratora reprezentuje sygnały przenikowe dla najbardziej niekorzystnego przypadku, tj. dla kabla o największej liczbie par /84.pary/, lecz spełniającego warunki techniczne. W takim kablu przenik zbliżony pochodzi

z połowy par, tzn. z 42 par różnych pęczków, zaś przenik zdalny - z pięciu par tego samego pęczka, w którym znajduje się zakłócana para. Podczas badania mierzona jest stopa błędów, wynikająca z oddziaływania zakłóceń na przesyłany sygnał cyfrowy.

Na rysunku 10 przedstawiono stopę błędów w zależności od poziomu zakłóceń. Punkt N odpowiada największemu poziomowi mocy zakłóceń, jaki może występować w najdłuższym odcinku regeneratorskim o maksymalnej tłumienności 67 dB, w kablu spełniającym warunki techniczne. Punkt P odpowiada dopuszczalnej stopie błędów na jeden odcinek regeneratorski, tzn. $4 \cdot 10^{-10}$. Na rys. 10 podano wyniki badań przeprowadzonych dla przypadkowego sygnału cyfrowego reprezentowanego kodem generowanym z rejestrem o 15 ogniwach, zalecanym do takich badań. Z pomiaru wynika, że dla poziomu N zakłóceń stopa błędów jest bardzo mała /wartość niemierzalna/. Aby osiągnąć stopę błędów $P = 4 \cdot 10^{-9}$ konieczne jest podniesienie poziomu zakłóceń o $M = 8$ dB, a zatem wartość M można uznać za margines zabezpieczający uzyskanie wymaganych parametrów odcinka regeneratorskiego mimo pewnych rozrzutów produkcyjnych, zarówno dla kabla jak i dla regeneratora.

Wśród torów kabla będącego do dyspozycji podczas badań znajdowały się również tory o dużych niejednorodnościach powodujących znaczne zafalowanie charakterystyki tłumieniowej /3 dB w zakresie częstotliwości ok. 5 MHz/. Dla takich torów, w wyniku znacznego wzrostu przeników między elementami sygnału cyfrowego, odporność regeneratora na zakłócenia znacznie zmalała i warunki nie mogły być spełnione. Obserwacja ta skłoniła do przeprowadzenia wrywkowych badań obecnie produkowanych kabli. Badania wykazały, że nie występują w nich takie niejednorodności. Można zatem przypuszczać, że praca regeneratorów podczas eksploatacji będzie poprawna i zgodna z wynikami badań dla torów o prawidłowej charakterystyce tłumieniowej.

6. ZAKOŃCZENIE

Podczas opracowania regeneratorów dla systemu TCC 120 napotkano na trudności wynikające z braku odpowiednich krajowych układów scalonych, przewidywanych specjalnie do wzmacniania sygnałów szerokopasmowych. Problem ten rozwiązano wykorzystując układy scalone stosowane w odbiornikach radiowych. Dzięki temu ograniczono znacznie import układów scalonych w porównaniu z liczbą importowanych układów dla wcześniej opracowanych re-

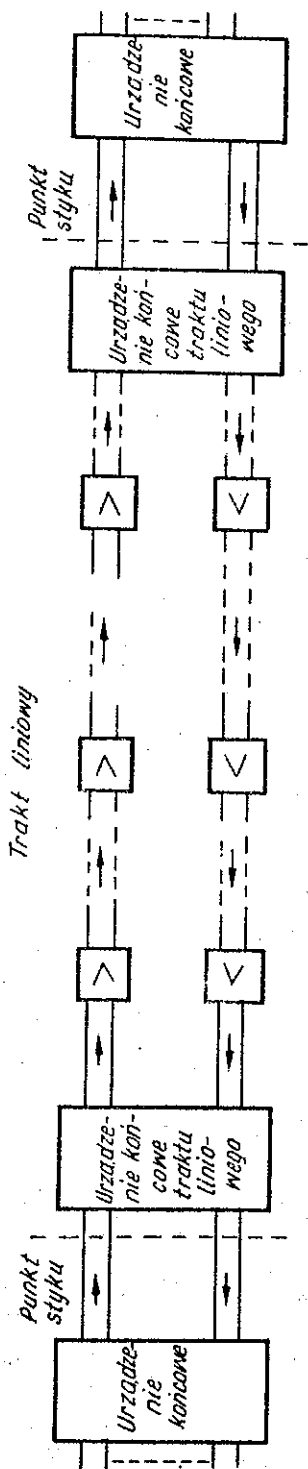
generatorów systemu TCK-30. Parametry opracowywanych regeneratorów są porównywalne z regeneratorami opracowanymi dla kabla pęczkowego za granicą.

W celu wykorzystania urządzeń systemu TCC 120 na symetrycznych torach istniejących linii dwukablowych z systemami TN60 zostaną podjęte badania transmisyjnych własności tych torów dla sygnału cyfrowego 8 Mbit/s. W NRD, podobnie jak i w ZSRR, system 8 Mbit/s przewiduje się stosować głównie właśnie na takich kablach.

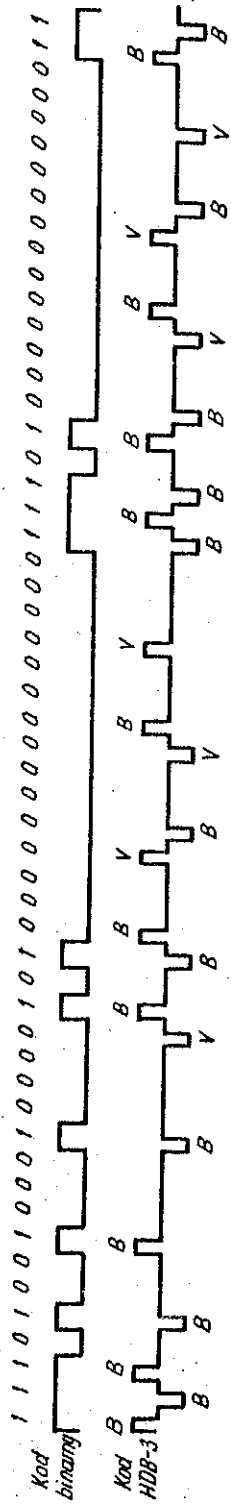
W krajach wykorzystujących dla systemów cyfrowych specjalne kable symetryczne przewiduje się stosowanie w nich również systemu 34 Mbit/s. Badania krajowego kabla, prowadzone z tego punktu widzenia są obiecujące, a zatem pęczkowy kabel wykorzystywany początkowo dla systemu 8 Mbit/s z odcinkiem 4 km mógłby być w przyszłości wykorzystany dla systemu 34 Mbit/s /systemu TCC 480/ /przynajmniej niektórych par z pęczka/ z odcinkiem 2 km, gdy zwielokrotnienie systemu 8 Mbit/s stanie się już niewystarczające.

W innych krajach, jak np. we Włoszech, Holandii /Philips/ rozwój systemów cyfrowych średniej krotności dokonywany jest za pomocą kabla współosiowego mikrowymiarowego 0,7/2,9 mm. Kabel ten zezwala na uzyskanie takich samych odcinków regeneratorowych, jak na pęczkowym kablu symetrycznym, jednak przy znacznie większej tłumienności rzędu 85 dB. Stwarza to niewątpliwie znaczne trudności technologiczne przy produkcji regeneratorów, co pociąga za sobą większe koszty.

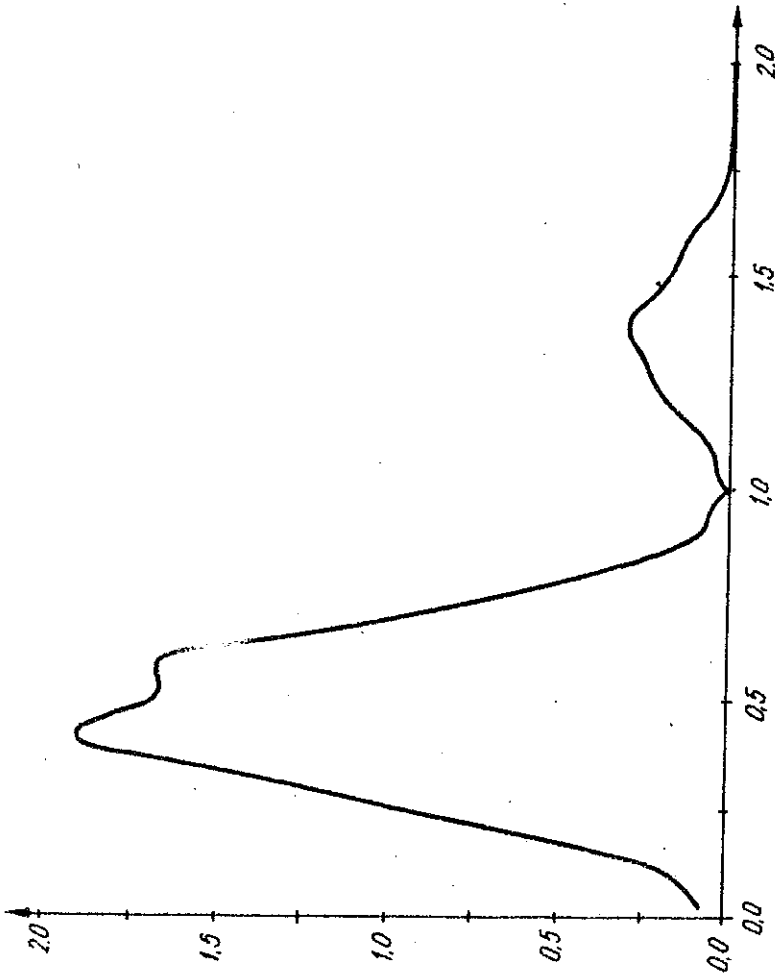
Obecne prace w kraju nad systemami cyfrowymi dotyczą systemu TCC 480, który współpracować będzie z torami współosiowymi małowymiarowymi z odcinkiem regeneratorowym o długości 4 km. W dalszej przyszłości przy dwukrotnym skróceniu odcinka regeneratorowego będzie można wprowadzić system TCC 1920.



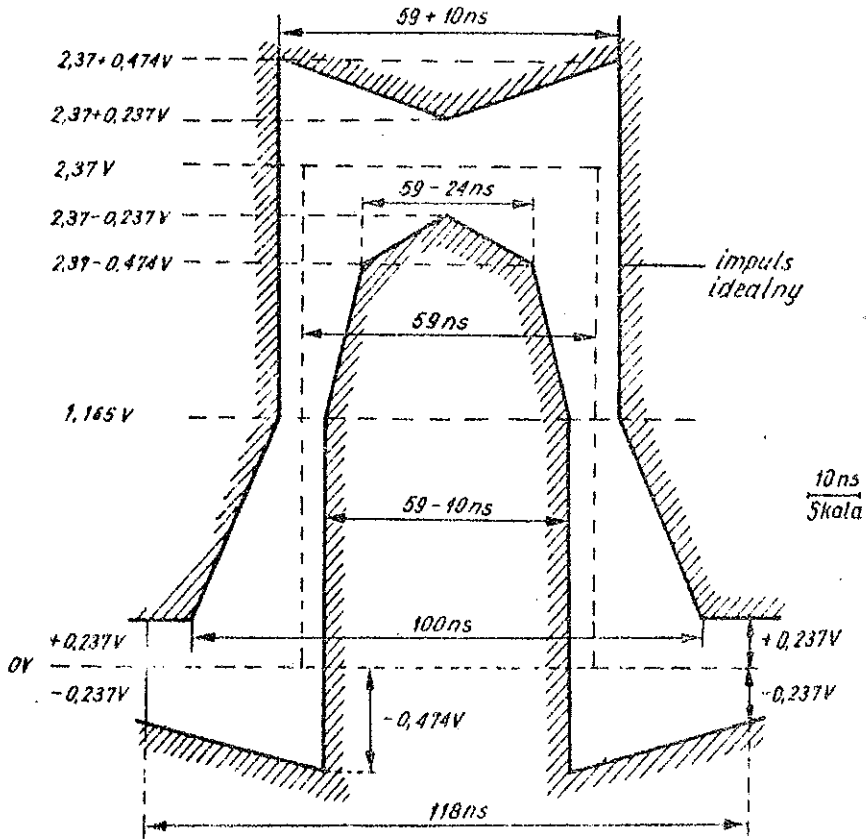
Rys. 1. Struktura traktu liniowego



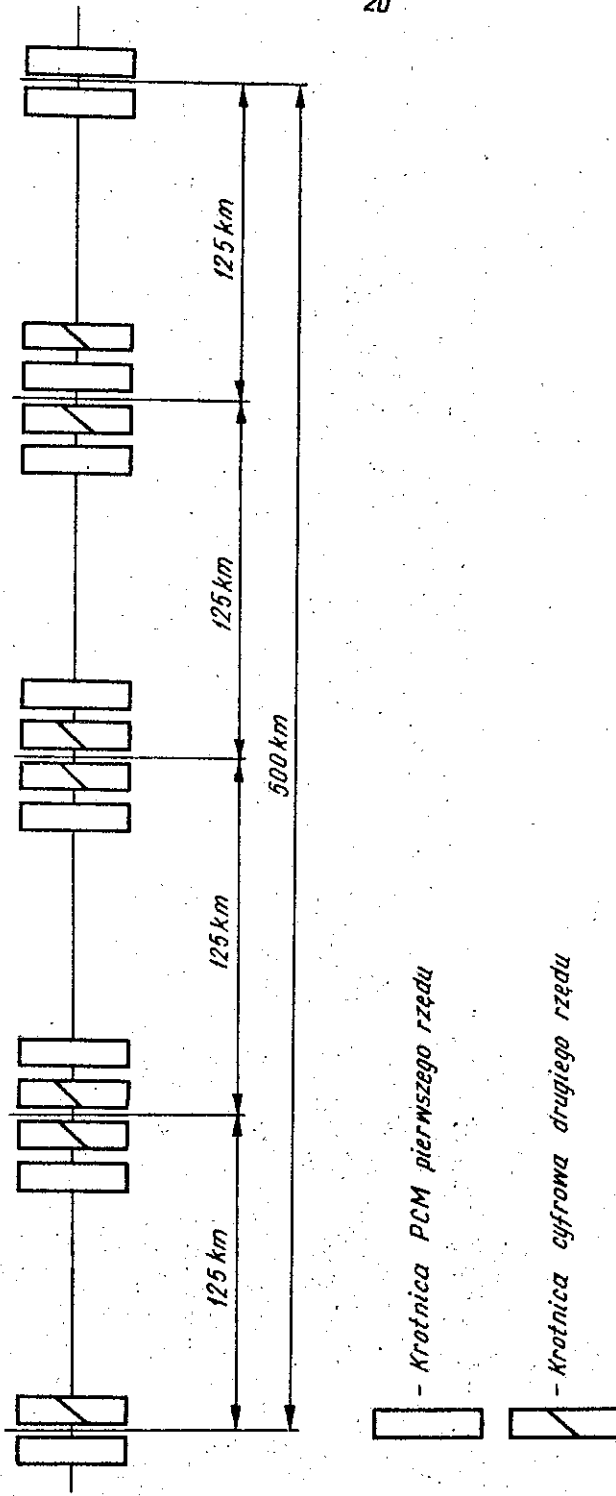
Rys. 2. Przykład przetworzenia kodu binarnego na kod HDB-3



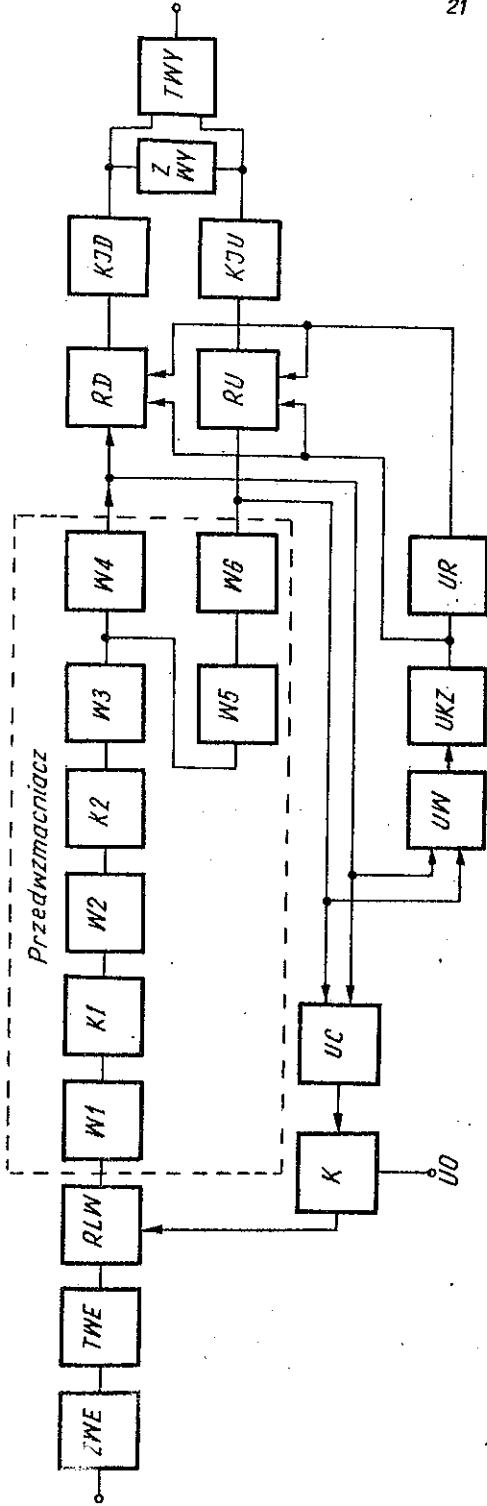
Rys. 3. Rozkład widma energetycznego zbiorczego sygnału cyfrowego z kodem HDB-3 i z impulsami sygnału wprowadzanego na tor o kształcie prostokątnym, z 50% wypełnieniem



Rys. 4. Gabaryt dla impulsów w punkcie styku z traktem liniowym dla sygnałów o przepływności binarnej 8448 kbit/s

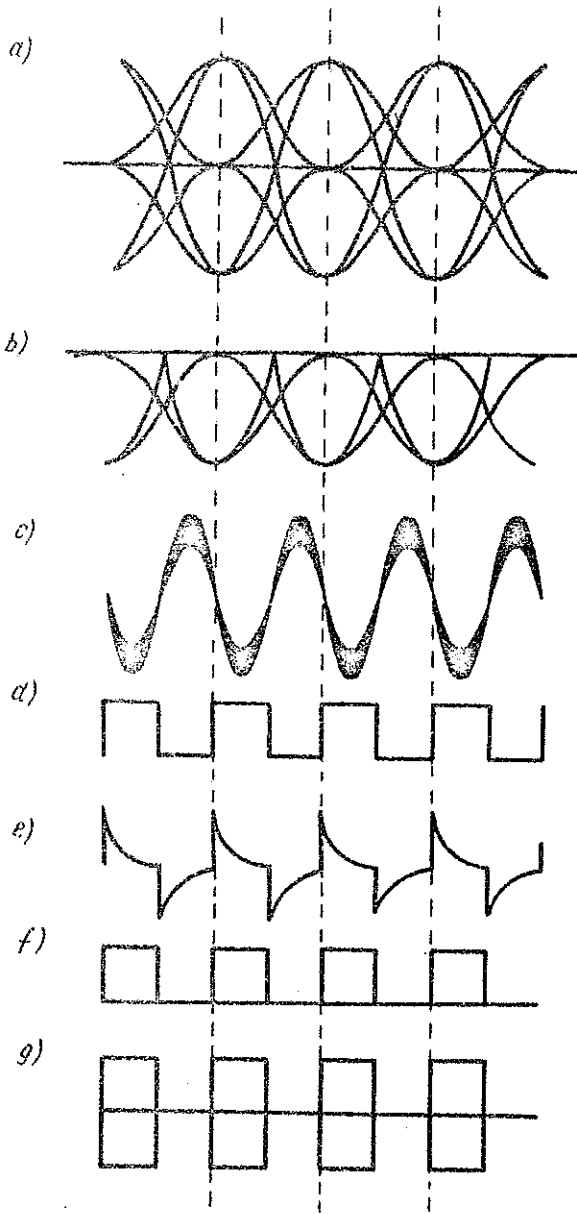


Rys. 5. Łącze odniesienia dla systemu o przepływności binarnej 8448 kbit/s



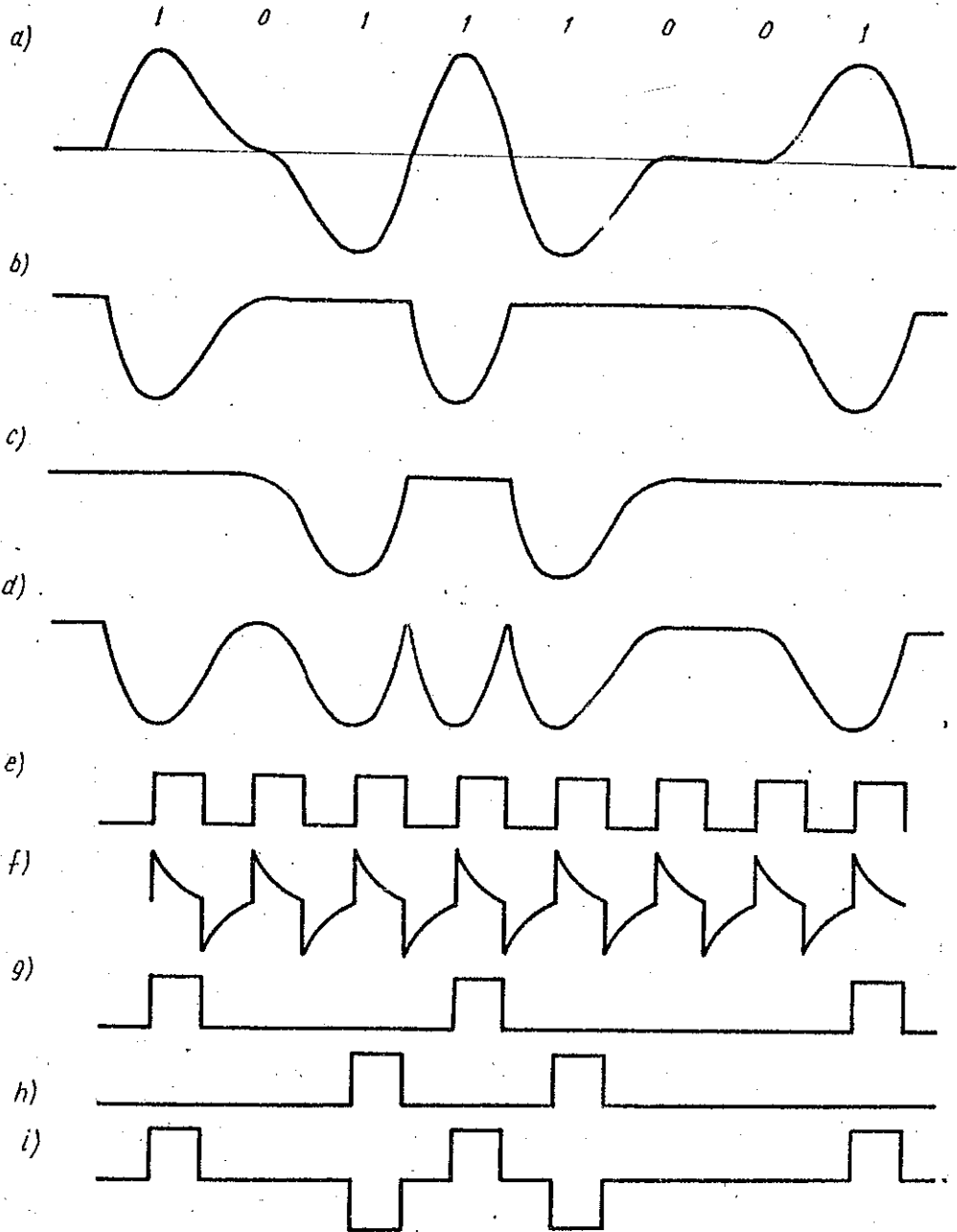
Rys. 6. Schemat blokowy regeneratora przelotowego dla jednego kierunku transmisji

TWE i TWY - transformator wejściowy i wyjściowy,
 RLW - automatycznie regulowana linia wydłużająca,
 W1+W6 - wzmacniacze
 K1 i K2 - układy korekcyjne
 RD i RU - generator impulsów dodatnich i ujemnych,
 KJD i KJU - kształtowanie impulsów dodatnich i ujemnych,
 UW - układ wydzielenia sygnału taktowania,
 UKZ - układ kształtowania,
 UR - układ różniczkujący,
 UC - układ prostujący i całkujący,
 K - komparator,
 UO - napięcie odniesienia,
 ZWE, ZWY - zabezpieczenie przepięciowe wejścia i wyjścia



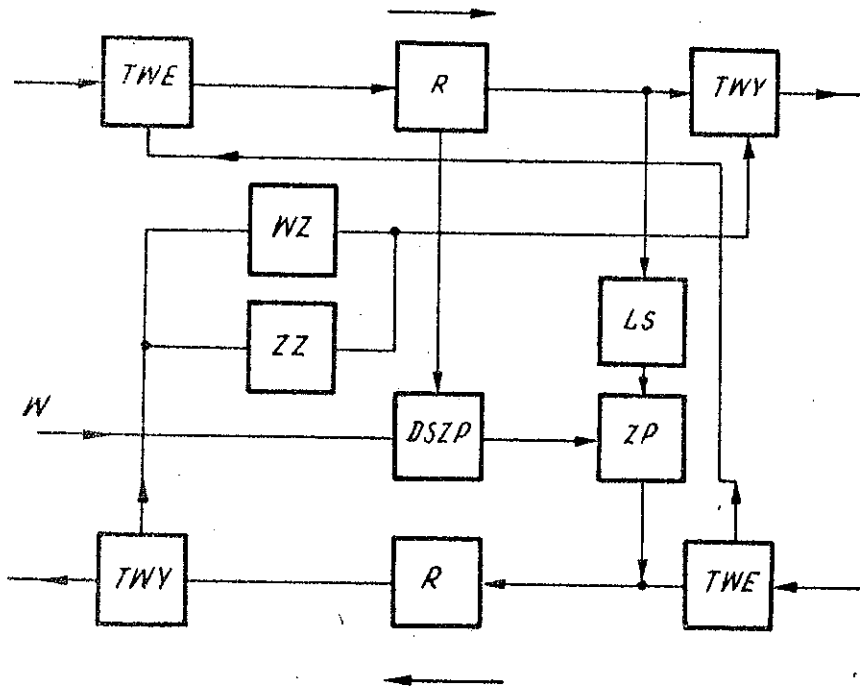
Rys. 7. Oscylogramy przebiegów w różnych punktach regeneratora, przy wyzwaniu oscyloskopu sygnałem taktowania

a - wyjście W3; b - wyjście W4 i W6, c - wyjście UW;
 d - wyjście UKZ; e - wyjście UR; f - wyjście R;
 g - wyjście TWY



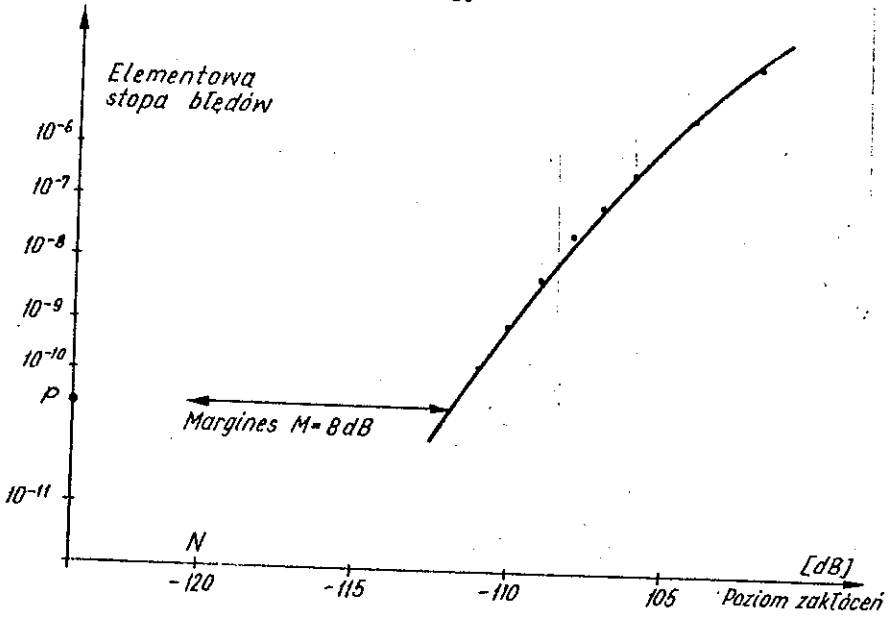
Rys. 8. Oscylogramy przebiegów w różnych punktach regeneratora

a - wyjście W3; b - wyjście W4; c - wyjście W6,
d - wejście UW; e - wyjście UKZ; f - wyjście UR;
g - wyjście RD; h - wyjście RU; i - wyjście TWY

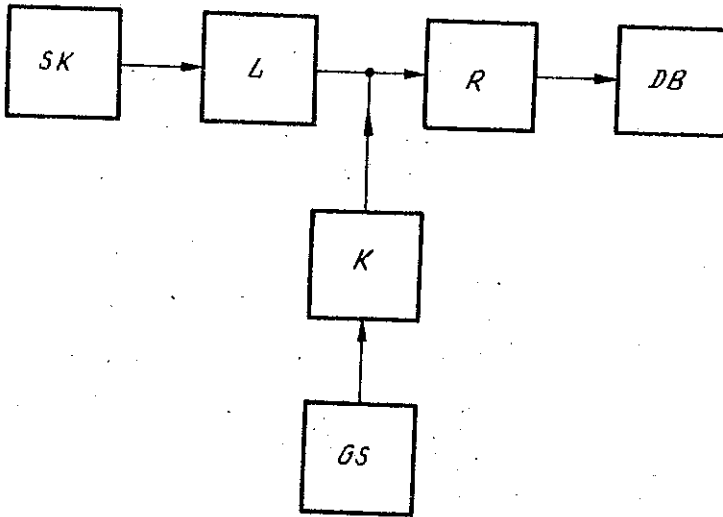


Rys. 9. Schemat blokowy regeneratora przelotowego

- TWE - transformator wejściowy,
- TWY - transformator wyjściowy,
- R - regenerator jednego kierunku transmisji,
- WZ - wydzielanie zasilania regeneratora,
- ZZ - zabezpieczenie przeplęciowe układów zasilania,
- LS - linia sztuczna,
- ZP - przetącnik zamykania pętli,
- DSZP - detektor sygnału zamykania pętli,
- W - sygnał ze wspólnego dla całego pojemnika odbiornika sygnału zamknięcia pętli



Rys. 10. Zależność stopy błędów od poziomu zakłóceń



Rys. 11. Układ do badania odporności regeneratora na zakłócenia przenikowe

- SK - symulator kodu,
- L - odcinek toru kablowego o tłumienności 67 dB przy częstotliwości $f = 4,224 \text{ MHz}$,
- R - regenerators,
- DB - miernik stopy błędów,
- K - korektor,
- GS - generator szumu

