

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI
WARSZAWA-MIEDZESZYN

BIULETYN

INFORMACYJNY

10 (284)

1990

BIULETYN INFORMACYJNY

ROK 30

WARSZAWA 1990

NR 10(284)

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI -

Branżowy Ośrodek

Informacji Naukowej, Technicznej i Ekonomicznej

Redakcja Biuletynu Informacyjnego

Redaktor Naczelny - dr inż. Krystyn Plawko
Z-ca Redaktora Naczelnego - doc. dr inż. Stanisław Sońta

Redaktorzy działów:
doc. dr inż. Alina Karwowska-Lamparska
mgr inż. Mirosław Żurawski

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

ISSN 0209-1046

Redaktor: mgr Krystyna Juszkiewicz

Montaż tekstu: Barbara Skwara

Dział Ogólnotechniczny Instytutu Łączności
Format B5. Nakład 625. Wpłynęło do
Działu Ogólnotechnicznego 1990.08.06.
Druk ukończono w listopadzie 1990 r.

Jan Mieszczanek, Jerzy Miłek, Andrzej Nowak,
Tadeusz Zagrobelny, Mirosław Żurawski

KONCEPCJA SYNCHRONICZNEJ HIERARCHII
TELETRANSMISYJNYCH SYSTEMÓW CYFROWYCH
DLA POLSKIEJ SIECI TELEKOMUNIKACYJNEJ

SPIS TREŚCI

| | Str. |
|--|------|
| 1. Wprowadzenie | 1 |
| 2. Struktura istniejącej krajowej sieci telekomunikacyjnej | 4 |
| 2.1. Sieci strefowe | 4 |
| 2.2. Sieć międzymiastowa | 7 |
| 3. Przewidywane przepustowości linii w sieciach międzymiastowych i strefowych dla stanu docelowego w 2010 roku | 8 |
| 3.1. Założenia wstępne | 8 |
| 3.2. Średnie spodziewane pojemności wiązek łączy | 10 |
| 3.3. Średnie spodziewane przepustowości linii | 10 |
| 4. Ogólna charakterystyka synchronicznej hierarchii systemów cyfrowych | 11 |
| 5. Określenie optymalnej dla warunków polskich drogi multipleksacji systemu STM-1 | 18 |
| 6. Aspekty techniczne realizacji systemu STM-1 | 23 |
| 7. Analiza porównawcza kosztów linii telekomunikacyjnych różnych systemów cyfrowych | 25 |
| 7.1. Założenia wstępne | 23 |
| 7.2. Porównanie kosztów linii o różnych długościach i przepustowościach | 26 |
| 7.2.1. Relacje o przepustowości 480 łączy dla odległości 5,15 i 30 km | 27 |
| 7.2.2. Relacje o przepustowości 1920 łączy dla odległości 15; 40 i 100 km | 30 |

| | Str. |
|---|------|
| 7.2.3. Relacje o przepustowości 7680 łączy dla odległości 40, 100 i 300 km | 33 |
| 7.2.4. Relacje o przepustowości 23040 łączy dla odległości 100, 200 i 300 km | 38 |
| 7.3. Zestawienie uzyskanych wyników | 44 |
| 8. Przykład realizacji sieci strefowej za pomocą systemu STM-1 | 46 |
| 9. Wnioski końcowe | 51 |
| Wykaz literatury | 54 |

Jan Mieszczanek, Jerzy Miłek
Andrzej Nowak, Tadeusz Zagrobelny,
Mirosław Żurawski

621.395.452:621.376.56

KONCEPCJA SYNCHRONICZNEJ HIERARCHII TELETRANSMISYJNYCH SYSTEMÓW CYFROWYCH DLA POLSKIEJ SIECI TELEKOMUNIKACYJNEJ

1. WPROWADZENIE

Dominującą tendencją rozwojową telekomunikacji w świecie jest kompleksowa cyfryzacja sieci telekomunikacyjnych, dotycząca zarówno systemów komutacyjnych jak i teletransmisyjnych. Stale wzrasta liczba krajów, które nowe inwestycje telekomunikacyjne realizują wyłącznie opierając się na systemach cyfrowych, przygotowując w ten sposób warunki dla tworzenia w niedalekiej przyszłości sieci zintegrowanych (tzw. sieci ISDN).

W dziedzinie teletransmisji budowa sieci ISDN oznacza konieczność cyfryzacji systemów teletransmisyjnych we wszystkich płaszczyznach sieci, począwszy od łącza abonenckiego do dużych magistralnych linii międzymiastowych i międzynarodowych. Obecnie nie ulega wątpliwości, iż w zakresie teletransmisji techniką przyszłości jest technika światłowodowa. Systemy światłowodowe otworzyły przed techniką transmisyjną zupełnie nowe możliwości, stąd w ostatnich latach ich rozwój jest niezwykle dynamiczny. Postęp dokonuje się zarówno w technologii samych światłowodów i elementów optoelektronicznych, jak i krotności realizowanych systemów teletransmisyjnych. Już obecnie są realizowane linie światłowodowe o przepływności binarnej rzędu Gbit/s z odcinkiem regeneratorskim rzędu kilkudziesięciu km.

Cyfryzacja sieci telekomunikacyjnej, czyli przekształcanie sieci analogowej w sieć cyfrową, jest procesem skomplikowanym,

dlugotrwałym i kosztownym. Różne kraje przyjmują różne strategie w tym zakresie. Niezależnie jednakże od przyjętej strategii wdrażenie systemów cyfrowych do sieci powinno być planowane ze szczególną uwagą. Technika cyfrowa nie jest w sposób bezpośredni kompatybilna z istniejącą techniką analogową i odpowiednie planowanie cyfryzacji pozwala zmniejszyć koszty w dość długim okresie przejściowym.

Na tle tendencji światowych tempo cyfryzacji krajowej sieci telekomunikacyjnej jest wyjątkowo słabe, a sam proces cyfryzacji przebiega w sposób prawie przypadkowy. Obecny stopień cyfryzacji sieci krajowej jest bardzo niewielki, przy czym sieć dalekosiężna jest praktycznie analogowa.

Opracowanie w kraju dalekosiężnego, wysokokrotnego systemu cyfrowego, który umożliwiłby wprowadzenie cyfryzacji sieci w sposób kompleksowy oraz technicznie i ekonomicznie racjonalny jest obecnie, poza rozwojem ilościowym systemów cyfrowych niższej krotności, zadaniem najpilniejszym. Dotychczasowe prace w tym zakresie napotykały na bardzo poważne bariery trudne do przewyciężenia, z których najpoważniejszą jest brak odpowiedniej aparatury pomiarowej i niezbędnych cyfrowych układów scalonych. Krajowy przemysł nie produkuje układów scalonych o wymaganej szybkości działania, a ich import z krajów kapitalistycznych był utrudniony ze względu na znane kłopoty w pozyskaniu dewiz oraz ograniczenia embargowe. W tej dość skomplikowanej sytuacji całkiem nowe możliwości stwarzają najnowsze zalecenia CCITT G.707, G.708 i G.709 przyjęte na IX Plenarnym Zebraniu CCITT (listopad 1988 r.) i dotyczące tzw. synchronicznej hierarchii systemów cyfrowych (ang. Synchronous Digital Hierarchy - SDH).

Ogólną charakterystyką tych zaleceń i synchronicznej hierarchii systemów cyfrowych przedstawiono w pkt. 4.

Na podstawie przeprowadzonej w Instytucie Łączności analizy można stwierdzić, że synchroniczna hierarchia systemów cyfrowych stanowi bezdyskusyjny kierunek rozwoju teletransmisji cyfrowej, a nowoczesna sieć telekomunikacyjna powinna być budowana właściwie tylko z wykorzystaniem syste-

nowe SDH. Systemy te zaprojektowane w końcu lat osiemdziesiątych zostały dostosowane do wymagań perspektywicznej sieci telekomunikacyjnej i umożliwiają ekonomiczną budowę linii teletransmisyjnych, zarówno o dużej jak i małej przepustowości z wykorzystaniem jednorodnego medium transmisyjnego, tj. światłowodowych linii jednorodnych.

Dla sieci krajowej systemy SDH stanowią niepowtarzalną szansę zmniejszenia kilkudziesięcioletniego opóźnienia rozwoju teletransmisji cyfrowej w stosunku do krajów zachodnich pod warunkiem szybkiego i powszechnego ich wdrożenia do eksploatacji. Mały dotychczasowy stopień cyfryzacji sieci krajowej stwarza ponadto dodatkową szansę budowy sieci międzynarodowej, nowocześniejszej niż sieci krajów, które zbudowały sieć cyfrową opartą na klasycznych systemach cyfrowych.

W chwili obecnej systemy SDH nie są jeszcze dostępne na rynku, jednakże wiadomo, iż w laboratoriach czołowych firm trwają intensywne prace w tym zakresie a niektórzy z tych firm (np. ITALTel) oferują system STM-1 już w 1991 r.

Fakt, iż dokonujący się aktualnie przełom w teletransmisji cyfrowej zbliżył się w czasie z przemianami w Polsce i otwarciem polskiej telekomunikacji na świat stwarza niebezpieczeństwo możliwości podjęcia niewłaściwych decyzji strategicznych, zwłaszcza co do zakupów licencyjnych. Dla firm zachodnich jest to dogodny moment do wyprzedzaji licencji na nieperspektywiczne systemy klasyczne i znajdują to potwierdzenie w ofertach składanych pod adresem przemyśle krajowego. Oczywiście do czasu pojawienia się systemów SDH rozbudowa sieci krajowej musi być z konieczności realizowana z wykorzystaniem systemów klasycznych, jednakże prowadzi to do niejednorodności i mniejszej elastyczności sieci. Biorąc pod uwagę okres niezbędny do uruchomienia produkcji w kraju, przedmiotem obecnie negocjowanych kontraktów licencyjnych powinny być systemy SDH.

Inną drogą prowadzącą do tego samego celu jest opracowanie systemów SDH w kraju. Przy znanych trudnościach w pozyskaniu środków na prowadzenie tego typu prac może to

być droga dłuższa, jednakże należy liczyć się z brakiem zainteresowania firm zachodnich sprzedażą najnowszych technologii i w związku z tym może to być droga jedyna. Mając powyższe na uwadze, w Instytucie łączności rozpoczęto prace badawczo-konstrukcyjne w zakresie systemu STM-1 i przewiduje się opracowanie modeli podstawowych bloków funkcjonalnych systemu jeszcze w 1990 roku.

2. STRUKTURA ISTNIEJĄCEJ KRAJOWEJ SIECI TELEKOMUNIKACYJNEJ

Krajowa sieć telekomunikacyjna dzieli się na następujące płaszczyzny:

- sieci strefowe, w skład których wchodzi sieci miejscowe oraz sieci wiążące sieci miejscowe z centralami okręgowymi i centrale okręgowe z centrum stref numeracyjnych (centralą międzymiastową);
- sieć międzymiastowa wiążąca międzymiastowe centrale końcowe z międzymiastowymi centralami tranzytowymi (węzłowymi i zbiorczymi); międzymiastowe centrale zbiorcze z międzymiastowymi centralami węzłowymi; międzymiastowe centrale węzłowe pomiędzy sobą w wieloboku zupełnym; międzymiastowe centrale węzłowe z centralą międzynarodową; centralę międzynarodową z innymi centralami międzynarodowymi obszaru europejskiego i pozaeuropejskiego.

W każdej płaszczyźnie sieci telekomunikacyjnej mogą występować w zależności od zainteresowań ruchowych sieciowe powiązania skrócone, które ze względu na marginalne znaczenie z reguły są pomijane przy rozważaniach strukturalnych.

2.1. Sieci strefowe

a) Sieci miejscowe

Linie telefonicznych sieci miejscowych w zdecydowanej większości są liniami kablowymi. Długość torów kablowych na

koniec 1989 r. wynosiła ok. 96% wszystkich torów w tych sieciach. Przewiduje się, że do końca 1990 r. udział torów kablowych w sieciach miejscowych osiągnie poziom 96,5%. Pozostałe tory są realizowane przy użyciu drutowych linii napowietrznych, z wyjątkiem niektórych powiązań międzycentralowych, gdzie ok. 20% łączny zrealizowanych jest za pomocą systemów cyfrowych 24-, 30- i 120-kanalowych. W sieciach miejscowych dominuje system naturalny. Realizacja uwielokrotnień torów międzycentralowych odbywa się na kablach symetrycznych (o skrócie czwórkowym i pięczkowym), a sporadycznie na kablach światłowodowych (Lublin, Łódź, Poznań, Warszawa). Na koniec 1990 r. przewiduje się wzrost uwielokrotnień linii międzycentralowych do poziomu ok. 25%, głównie przy użyciu kabli światłowodowych.

Aktualny i przewidywany na koniec 1990 r. potencjał sieci miejscowych obrazuje tablica 1.

Tablica 1

| Wyszczególnienie | Jedn. miary | Stan na koniec /szacunkowy/ | |
|-----------------------------|----------------|-----------------------------|---------|
| | | 1989 r. | 1990 r. |
| Linie kablowe symetryczne | tys. km | 113,0 | 118,5 |
| | tys. km żył | 16200,0 | 17000,0 |
| Linie kablowe światłowodowe | km | 65,0 | 130,0 |
| | km wł. światł. | 390,0 | 780,0 |
| Drutowe linie napowietrzne | tys. km | 96,5 | 93,9 |
| | tys. km torów | 326,5 | 308,3 |

b) Międzycentralowe sieci strefowe

Międzycentralowe linie strefowe w większości stanowią drutowe linie napowietrzne (ok. 75% długości wszystkich linii). Pozostałe 25% to głównie linie kablowe symetryczne (typu TKD, TKO i TKM); występuje kilka relacji analogowych linii radiowych 60-, 120- i 300-kanalowych.

Linie kablowe typu TKM są sporadycznie uwielokrotnione cyfrowym systemem 30-kanalowym, natomiast w liniach kablowych typu TKD, TKO dość powszechnie znajduje zastosowanie 12-kanalowy system analogowy a w nielicznych przypadkach systemy cyfrowe 30- i 120-kanalowe. Drutowe linie napowietrzne są powszechnie uwielokrotnione analogowymi systemami 3- i 12-kanalowymi.

Na koniec 1990 r. przewiduje się nieznaczny wzrost udziału kablowych linii symetrycznych (do ok. 26%) oraz znaczący przyrost linii radiowych (ok. 40 relacji cyfrowych 30- i 120-kanalowych), przy równoczesnym zmniejszeniu się udziału drutowych linii napowietrznych (o ok. 2%). Stopień cyfryzacji, wyrażony procentowym udziałem łączy cyfrowych w ogólnej ilości łączy stałowych, osiągnie na koniec 1990 r. poziom ok. 30%, tj. wzrost w stosunku do 1989 r., o 100%.

Obecny i przewidywany na koniec 1990 r. potencjał sieci wewnątrzstrefowych prezentuje tablica 2.

Tablica 2

| Wyszczególnienie | Jedn. miary | Stan na koniec (szacunkowy) | |
|--|---|-----------------------------|-----------------------|
| | | 1989 | 1990 |
| Linie kablowe symetryczne typu TKD i TKO | $\frac{\text{tys. km}}{\text{tys.km żył}}$ | $\frac{10,0}{1250,0}$ | $\frac{10,9}{1342,8}$ |
| Linie kablowe symetryczne typu TKM | $\frac{\text{km}}{\text{tys.km żył}}$ | $\frac{555}{105,0}$ | $\frac{562}{120,0}$ |
| Linie kablowe światłowodowe | $\frac{\text{km}}{\text{km wł.światł.}}$ | $\frac{-}{-}$ | $\frac{30,0}{180,0}$ |
| Drutowe linie napowietrzne | $\frac{\text{tys. km}}{\text{tys.km tor.}}$ | $\frac{32,0}{175,0}$ | $\frac{31,5}{169,7}$ |
| Linie radiowe | km kan. | 120,0 | 500,0 |
| Łącza telefoniczne w tym: | tys.szt. | 68,5 | 77,8 |
| - naturalne | tys.szt | 46,5 | 46,0 |
| - nośne | tys.szt. | 22,0 | 31,8 |

2.2. Sieć międzymiastowa

Telefoniczna sieć międzymiastowa składa się z następujących mediów transmisyjnych:

- linii kabli symetrycznych uwielokrotnionych systemami analogowymi 12-, 24-, 60- i 120-kanalowymi;
- linii kabli współosiowych uwielokrotnionych systemami analogowymi 300-, 960-, 1800- i 2700-kanalowymi;
- analogowych linii radiowych uwielokrotnianych systemami 300-, 960- i 1800-kanalowymi;
- 1-cyfrowej linii radiowej uwielokrotnionej systemem 240-kanalowym (Legnica - Lubin).

Rozwiązania międzynarodowe realizowane są w sposób następujący:

- z NRD: 1 linią radiową analogową 960-kanalową, 1 linią kablową współosiową pracującą w systemie 1800-kanalowym, czterema liniami symetrycznymi pracującymi w systemie 12-kanalowym;
- z CSRS: 1 linią radiową analogową 960-kanalową, 1 linią współosiową pracującą w systemie 2700-kanalowym, 1 linią współosiową pracującą w systemie 1800-kanalowym i 1 linią współosiową pracującą w systemie 960-kanalowym;
- z ZSRR: 1 linią radiową analogową pracującą w systemie 960-kanalowym (600 kanałów), 1 linią radiową analogową pracującą w systemie 1800-kanalowym, 1 linią współosiową pracującą w systemie 1920-kanalowym, 1 linią współosiową pracującą w systemie 960-kanalowym i trzema liniami symetrycznymi pracującymi w systemach 12- i 24-kanalowych;
- z Danią: 1 linią współosiową pracującą w systemie 60-kanalowym (1 kanał).

Obecny i przewidywany na koniec 1990 r. potencjał sieci międzymiastowej ilustruje tablica 3.

Tablica 3

| Wyszczególnienie | Jedn.miary | Stan na koniec (przewidywany) | | Uwagi |
|---------------------------------|--|----------------------------------|-----------------------|----------------------|
| | | 1989 | 1990 | |
| Linie kablowe symetryczne | $\frac{\text{tys.km}}{\text{tys.km żył}}$ | $\frac{21,8}{2200,0}$ | $\frac{21,7}{2100,0}$ | |
| Linie kablowe współosiowe | $\frac{\text{tys.km}}{\text{tys.km par}}$ | $\frac{4,1}{17,5}$ | $\frac{4,8}{18,5}$ | |
| Linie światłowodowe | $\frac{\text{km}}{\text{km wł.światł.}}$ | - | $\frac{30,0}{90,0}$ | Koszalin Bornholm |
| Analogowe linie radiowe | km kan. | 6500 | 7000 | |
| Cyfrowe linie radiowe | km kan. | 50 | 50 | |
| Drutowe linie napowietrzne | $\frac{\text{tys.km}}{\text{tys.km toru}}$ | $\frac{12,0}{36,5}$ | $\frac{11,5}{35,0}$ | |
| Łącza telefoniczne w tym: nośne | $\frac{\text{tys.szt}}{\text{tys.szt.}}$ | $\frac{48,2}{43,4}$ | $\frac{55,0}{50,4}$ | |

3. PRZEWIDYWANE PRZEPUSTOWOŚCI LINII W SIECIACH MIĘDZYMIASTOWYCH I STREFOWYCH DLA STANU DOCELOWEGO W 2010 ROKU

3.1. Założenia wstępne

Przyjęto następujące wskaźniki rozwoju wynikające z prognozy Centrum Badawczo-Rozwojowego PPTiT (CBR) - wariant przyspieszony - dotyczące rozwoju telefonii do 2010 roku (tabl. 4).

Tablica 4

| Rok | Liczba abonentów telefonicznych [w tys.] | Gęstość telefoniczna [ab/100 mieszkańców] |
|------|--|---|
| 1990 | 3230,0 | 8,3 |
| 1995 | 5230,0 | 13,2 |
| 2000 | 8500,0 | 20,9 |
| 2005 | 13900,0 | 33,6 |
| 2010 | 22200,0 | 52,0 |

Do obliczenia spodziewanych w 2010 roku wartości średnich strumieni ruchu telefonicznego przyjęto podany niżej model rozpięty tych strumieni:

- w sieciach miejscowych: 0,08 Erl/Ab;
- w relacjach sieć miejscowa - centrala okręgowa: 0,04 Erl/Ab sieci miejscowej;
- w relacjach sieć okręgowa - centrala strefowa: 0,02 Erl/Ab sieci okręgowej;
- w relacjach sieć strefowa - centrala tranzytowa: 0,01 Erl/Ab sieci strefowej;
- w relacjach sieć tranzytowa - reszta sieci tranzytowych: 0,008 Erl/Ab sieci tranzytowej;
- w relacjach sieć tranzytowa - centrala międzynarodowa: 0,002 Erl/Ab sieci tranzytowej;

Zgodnie z projektem planu numeracji PNK87 przewiduje się w stanie docelowym 109 stref numeracyjnych, które będą zawierały około 379 okręgów telefonicznych. W roku 2010 będzie zatem przypadało średnio 203,672 tys. abonentów na strefę numeracyjną oraz 58.576 tys. abonentów na okręg telefoniczny.

Proponuje się 25 central tranzytowych oraz 3 centrale międzynarodowe trzeciego stopnia.

Do przeliczenia ruchu w erlangach na liczby łączy przyjmuje się przelicznik 0,8 Erl/łącze.

3.2. Średnie spodziewane pojemności wiązek łączy

Przyjmując powyższe dane można oszacować średnie spodziewane pojemności wiązek łączy w relacjach "zbiór sieci obsługiwanych do centrali obsługującej":

| | |
|---|--------------|
| - sieci miejscowe do centrali okręgowej | 2929 łączy, |
| - sieci okręgowe do centrali strefowej | 5092 łączy, |
| - sieć strefowa do centrali tranzytowej | 11101 łączy, |
| - sieć tranzytowa do centrali tranzytowej | 8881 łączy, |
| - sieć tranzytowa do centrali międzynarodowej | 18501 łączy. |

Można również oszacować średnie spodziewane pojemności wiązek łączy w relacjach "centrala danej płaszczyzny do centrali nadrzędnej":

| | |
|---|-------------|
| - centrala okręgowa do centrali strefowej | 1465 łączy, |
| - centrala strefowa do centrali tranzytowej | 2546 łączy, |
| - centrala tranzytowa do centrali międzynarodowej | 2221 łączy. |

Można także oszacować średnie spodziewane pojemności wiązek łączy w relacjach "centrala danej płaszczyzny do reszty central tej płaszczyzny":

| | |
|---|--------------|
| - centrala tranzytowa do pozostałych central płaszczyzny central tranzytowych | 8881 łączy, |
| - centrala międzynarodowa do sieci międzynarodowej | 18501 łączy. |

3.3. Średnie spodziewane przepustowości linii

a) Średnie spodziewane przepustowości linii od central miejscowych do central okręgowych przedstawiają się następująco:

| Liczba łączy: | Procent przypadków: |
|------------------|---------------------|
| do - 900 | 61,4 |
| 901 - 1500 | 24,7 |
| 1501 - 2100 | 9,6 |
| 2101 - 3300 | 1,6 |
| ponad 3300 łączy | 2,7 |
| Razem: | <u>100,0%</u> |

b) Średnie spodziewane przepustowości linii od central okręgowych do central strefowych nie będą mniejsze od 1465 łączy.

c) Średnie spodziewane przepustowości linii od central strefowych do central tranzytowych nie będą mniejsze od 2546 łączy.

d) Średnie spodziewane przepustowości linii między centralami tranzytowymi przy ich obciążeniu zarówno ruchem międzytranzytowym, jak i ruchem międzynarodowym z obszarów obsługi central tranzytowych do central międzynarodowych (dla każdej centrali tranzytovej przewidziano wiązki bezpośrednie do każdej z trzech central międzynarodowych) przedstawiają się następująco:

| Liczba łączy: | Procent przypadków: |
|---------------|---------------------|
| do - 10000 | 15,2 |
| 10001 - 15000 | 33,3 |
| 15001 - 20000 | 30,3 |
| 20001 - 25000 | 9,1 |
| 30001 - 35000 | 9,1 |
| 35001 - 40000 | 3,0 |
| Razem: | <u>100,0%</u> |

4. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA SYNCHRONICZNEJ HIERARCHII SYSTEMÓW CYFROWYCH

W zaleceniu CCITT G.702 zostały znormalizowane dotychczas dwie hierarchie systemów cyfrowych, oparte na dwóch podstawowych systemach PCM o przepływnościach 1544 i 2048 kbit/s (por. tabl. 5).

Tablica 5

| Poziom systemu | Przepływność systemu [kbit/s] | |
|----------------|-------------------------------|--------|
| 1 | 1544 | 2048 |
| 2 | 6312 | 8448 |
| 3 | 44736 | 34368 |
| 4 | | 139264 |

Obie te hierarchie są zrealizowane na zasadzie asynchronicznego zwielokrotnienia cyfrowego z dopełnianiem impulsowym, przy czym w ramach hierarchii opartej na systemie 2048 kbit/s ("europejskiej") wyodrębniły się dwie rodziny systemów: bazujące na metodzie dopełniania dodatnio-ujemnego (kraje RWPG) i na metodzie dopełniania dodatniego (pozostałe kraje). W zakresie systemów piątego i wyższych rzędów brak było dotychczas normalizacji w ramach CCITT. W krajach wysoko rozwiniętych prowadzone były prace nad takimi systemami (w Europie głównie nad systemami 4x140 Mbit/s i 16x140 Mbit/s), realizowanymi na zasadzie zwielokrotnienia asynchronicznego, jednakże wraz ze wzrostem przepływności pojawiały się coraz większe trudności technologiczne. Problemy te oraz zarysowujące się trudności w organizacji współpracy międzynarodowej, wynikające ze stosowania dwóch różnych hierarchii systemów cyfrowych, stanowiły główną przesłankę do opracowania koncepcji synchronicznej hierarchii systemów cyfrowych SDH. Synchroniczna hierarchia systemów cyfrowych określona została w końcu 1988 r. w następujących zaleceniach CCITT:

G.707 - przepływności binarne w SDH,

G.708 - sieciowe punkty styku w SDH,

G.709 - struktura zwielokrotnienia synchronicznego.

Przyjęcie powyższych zaleceń zapoczątkowało niezwykle aktywną działalność XV i XVIII Komisji Studiów CCITT, które w przyspieszonym trybie rozpoczęły przygotowywanie projektów całego pakietu bardziej szczegółowych zaleceń dotyczących SDH.

Przewiduje się, iż wszystkie te projekty zostaną przyjęte jako obowiązujące zalecenia CCITT w połowie roku 1990. Dotychczas opracowano następujące projekty zaleceń:

- G.smux-1 - struktura zaleceń dot. urządzeń wielokrotniających w SDH,
- G.smux-2 - ogólne charakterystyki urządzeń wielokrotniających w SDH,
- G.smux-3 - transmisyjne punkty styku i nagłówki,
- G.smux-4 - utrzymanie systemów SDH,
- G.opt - optyczne punkty styków urządzeń i systemów w SDH,
- G.sls - cyfrowe światłowodowe trakty liniowe w SDH,
- G.dxc-1 - ogólne charakterystyki przełącznic transferowych DXC (ang. Digital Cross Connect Equipment),
- G.dxc-2 - punkty styku i nagłówki w DXC,
- G.dxc-3 - funkcje nadzoru i utrzymania urządzeń DXC.

W synchronicznej hierarchii systemów cyfrowych jako podstawową grupę cyfrową przyjęto tzw. synchroniczny moduł transmisyjny STM-1 (ang. Synchronous Transport Module level 1) o przepływności 155 520 kbit/s. Systemy o wyższej przepływności tworzone będą na zasadzie wyłącznie synchronicznego zwielokrotnienia grup STM-1. W zaleceniach CCITT znormalizowano dotychczas systemy:

| | |
|--------|-------------------|
| STM-1 | 155 520 kbit/s, |
| STM-4 | 622 080 kbit/s, |
| STM-16 | 2 488 320 kbit/s. |

Podstawowy system STM-1, mimo nieco większej przepływności, jest z punktu widzenia liczby kanałów 64 kbit/s odpowiednikiem systemu 140 Mbit/s, jednakże struktura ramki i metoda zwielokrotnienia pomyślana są w całkowicie odmienny sposób od dotychczas stosowanych. Przyjęta struktura ramki jest bardzo elastyczna i umożliwia utworzenie grupy STM-1 na zasadzie synchronicznego zwielokrotnienia grup cyfrowych niższego rzędu, ale jednocześnie pozwala na asynchroniczne wprowadzanie do ramki STM-1 wszystkich dotychczas znormalizowanych sygnałów cyfrowych od 1544 kbit/s do 140 Mbit/s. Pełną gamę wariantów tworzenia grupy STM-1 przedstawiono na rys. 1.

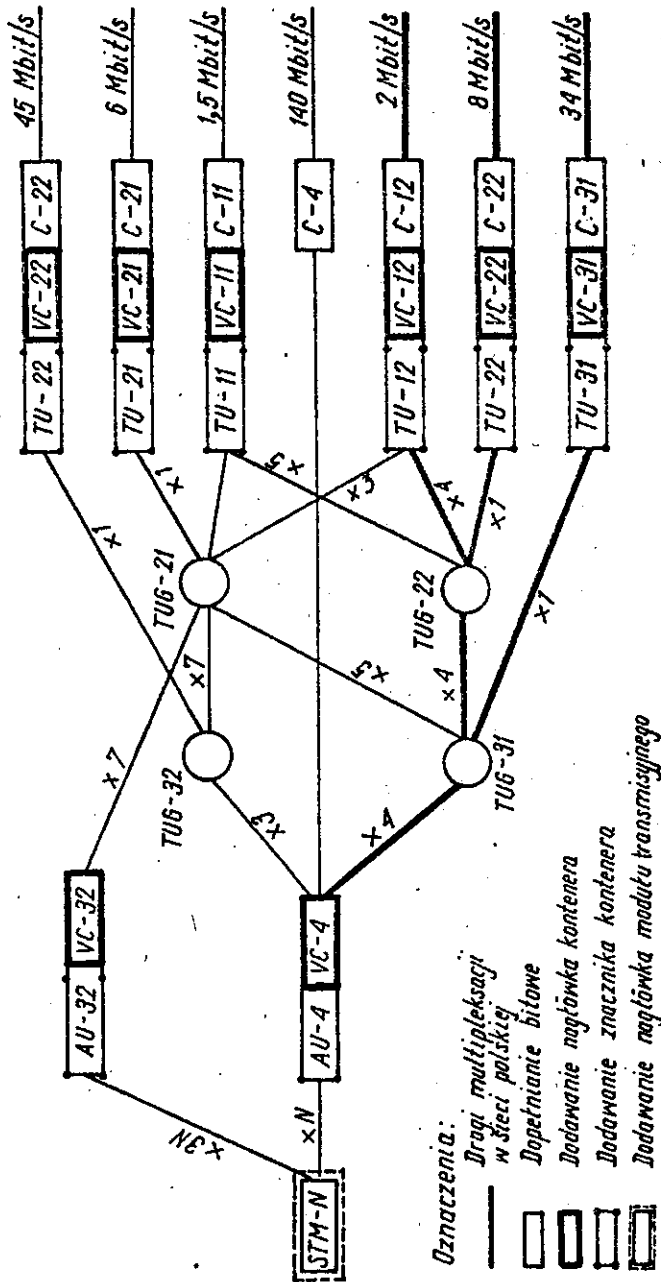
Dla wyjaśnienia przyjętej zasady zwielokrotnienia niezbędne jest zdefiniowanie pewnych używanych określeń:

Kontener C_n (n=1÷4). Określenie to oznacza sygnał cyfrowy o tak dobrej przepływności, ażeby umożliwiała ona przesłanie w nim jednego z cyfrowych sygnałów zdefiniowanych w zaleceniu CCITT G.702. Uwaga: W oznaczeniu kontenerów C_{nm} - "m" określa niższą (m=1) lub wyższą (m=2) przepływność na n-tym poziomie hierarchii wg G.702, np. kontener C₁₁ przeznaczony jest dla sygnału 1544 kbit/s, a C₁₂ - dla sygnału 2048 kbit/s.

Kontener wirtualny VC_n. Rozróżnia się dwa rodzaje kontenerów wirtualnych:

- podstawowy kontener wirtualny VC_n (n=1,2); określenie to oznacza pojedynczy kontener C_n (n=1,2) uzupełniony nagłówkiem POH (ang. path overhead) właściwym dla tego poziomu;
- kontener wirtualny wyższego rzędu VC_n (n=3,4); określenie to oznacza pojedynczy kontener C_n (n=3,4), zespół jednostek podstawowych TU3 lub zespół grup jednostek podstawowych TUG2 uzupełniony nagłówkiem POH właściwym dla tego poziomu.

Jednostka podstawowa TUn (n=1÷3). Określenie to oznacza kontener wirtualny VC_n uzupełniony znacznikiem (ang. pointer). Znacznik ten zawiera informacje o odstępie czasowym pomiędzy



Rys. 1. Struktura zwielokrotnienia w SDH

pierwszym bajtem danego kontenera wirtualnego i nagłówkiem kontenera wirtualnego wyższego rzędu, w którym jest przesyłany.

Grupa jednostek podatawowych TUG_n (n=2,3). Zespół ten oznacza grupę jednakowych jednostek podstawowych TUn.

Jednostka administracyjna AUn (n=3,4). Określenie to oznacza kontener wirtualny VCh (n=3,4) uzupełniony znacznikiem jednostki administracyjnej (ang. pointer). Znacznik ten umieszczony jest w stałym miejscu ramki STM-1 i wskazuje miejsce w ramce, od którego zaczyna się dany kontener wirtualny.

Synchroniczny moduł transmisyjny poziomu 1: STM-1. Moduł ten oznacza podstawową grupę cyfrową przy tworzeniu SDH i zawiera jedną jednostkę administracyjną AU4 lub trzy jednostki AU32 oraz nagłówek dotyczący sekcji cyfrowej SOH (ang. section overhead).

Synchroniczny moduł transmisyjny poziomu N: STM-N. Moduł ten oznacza grupę cyfrową N-tego rzędu w SDH i zawiera N grup STM-1 zwielokrotnionych w sposób synchroniczny.

Ramka STM-1 o długości 125 μs składa się z 2430 bajtów (8-bitowych słów), z których 72 przeznaczają się na nagłówek SOH oraz 31 na znaczniki jednostek administracyjnych AU. Pozostałe bajty są przeznaczone do przesyłania jednego kontenera VC4 lub trzech kontenerów VC32.

W nagłówku SOH, oprócz sygnału fazowania ramki, przesyła się cały szereg dodatkowych informacji m.in. informacje o strukturze przesyłanej grupy STM-1, informacje dla celów scentralizowanego systemu nadzoru, utrzymania i zarządzania siecią, informacje dotyczące jakości transmisji, itp.

Znaczniki jednostek administracyjnych, których miejsce jest w ramce ustalone, wskazują numer bajtu od którego zaczyna się dany VC przesyłany w tej jednostce AU. Natomiast kontenery VC nie mają ustalonej fazy i mogą "pływać" w ramce STM-1. Zmiany fazy kontenera VC w stosunku do ramki STM-1 są nadzorowane przez proces dopełniania dodatnio-ujemnego,

przy czym dopełnianie to jest wykonywane o bajt lub kilka bajtów z jednoczesną zmianą znacznika dotyczącego danego VC. Oznacza to, że wprowadzanie kontenera wirtualnego do ramki STM-1 może odbywać się w sposób synchroniczny lub asynchroniczny.

Zawartość kontenerów wirtualnych VC4 i VC32 może być różna w zależności od tego, jakie jednostki podstawowe TU lub grupy jednostek TUG zostały w nich umieszczone. Przykładowo w kontenerze VC4 może być umieszczony:

- jeden kontener C4 zawierający sygnał cyfrowy 140 Mbit/s,
- trzy grupy TUG32,
- cztery grupy TUG31,
- 21 grup TUG21,
- 16 grup TUG22.

Grupy jednostek TUG składają się z określonej liczby jednostek podstawowych TU, które z kolei składają się z podstawowych kontenerów wirtualnych VC1 lub VC2 uzupełnionych znacznikiem jednostki podstawowej TU PTR. "Ładowanie" kontenerów VC1 lub VC2 do kontenerów wyższego rzędu może odbywać się w sposób synchroniczny lub asynchroniczny z dopełnianiem dodatnio-ujemnym. Proces dopełniania jest sterowany za pomocą znacznika jednostki podstawowej tworzonej z danego kontenera VC1 lub VC2. Znacznik ten w sposób dynamiczny określa moment czasowy, od którego rozpoczyna się kontener VC1 lub VC2 w ramce kontenera wyższego rzędu.

Przy tworzeniu w powyższy sposób ramki STM-1, w przypadku pracy asynchronicznej jest stosowane dopełnianie dodatnio-ujemne. Wyjątek stanowi przypadek ładowania kontenera C4 (140 Mbit/s) do kontenera wirtualnego VC4, kiedy jest stosowane dopełnianie dodatnie. Zaletą dopełniania dodatnio-ujemnego stanowi możliwość łatwego automatycznego przejścia od pracy asynchronicznej do synchronicznej i odwrotnie. Możliwy jest również kombinowany sposób tworzenia ramki STM-1, tzn. pewne grupy mogą być wprowadzane synchronicznie, a inne asynchronicznie.

Przedstawiony sposób zwielokrotnienia, a zwłaszcza przyjęty system znaczników, umożliwia odszukanie w ramce STM-1 i wydzielenie każdego pojedynczego sygnału cyfrowego (np. 2048 kbit/s) bez konieczności demultipleksacji sygnału zbiorczego. Jest to bardzo poważne zaleta systemów SDH, pozwalająca na łatwe dokonywanie transferów grup cyfrowych. W ramach SDH przewiduje się stosowanie urządzeń przełącznic transferowych DXC (ang. Digital Cross Connect), umożliwiających automatyczną komutację grup cyfrowych na stacjach węzłowych.

Do innych zalet synchronicznej hierarchii systemów cyfrowych zaliczyć należy:

- uproszczenie metody zwielokrotnienia cyfrowego,
- znaczne ułatwienie technologii systemów o bardzo dużej przepływności (STM-n),
- łatwość organizacji współpracy w sieci międzynarodowej,
- dodatkowe ułatwienia w zakresie utrzymania, nadzoru i zarządzania siecią cyfrową.

5. OKREŚLENIE OPTYMALNEJ DLA WARUNKÓW POLSKICH DROGI MULTIPLEKSACJI SYSTEMU STM-1

Multipleksacja sygnałów w urządzeniach SDH opiera się, jak już wspomniano, na koncepcji ładowania informacji do kontenerów i modułów transmisyjnych; przy czym kontenery niższych rzędów mogą być zawarte w kontenerach wyższych rzędów, a te z kolei w modułach transmisyjnych. Metoda ta jest bardzo elastyczna - te same sygnały mogą być umieszczone w modułach transmisyjnych na wiele różnych sposobów; wszystkie dopuszczone przez CCITT drogi zwielokrotnienia pokazano na rys. 1. Jak wynika z tego rysunku, liczba możliwych struktur modułu STM-1 (odpowiadająca liczbie możliwych dróg multipleksacji) jest bardzo duża.

Ponieważ produkcja krotnic uniwersalnych, mogących odbierać sygnały o dowolnej dopuszczalnej strukturze nie ma uzasadnienia ekonomicznego, powstaje problem wyboru ograniczonej liczby dróg multipleksacji. Wstępna analiza doprowadziła do wniosku, że dla sieci polskiej optymalne będą drogi zwielokrotnienia zaznaczone na rys. 1 - linią grubą.

Drogi te nie uwzględniają możliwości przesyłania sygnałów używanych w USA i Japonii (1,5; 6 i 45 Mbit/s). W przypadku bezpośredniej transmisji sygnałów opartych na systemie 1,5 Mbit/s (np. przez satelitę) trzeba będzie albo uzgodnić z drugą stroną przesyłanie sygnału o odpowiadającej nam strukturze, albo zakupić odpowiednie urządzenia transformujące. Ze względu na to, że tego typu punktów styku z innymi sieciami będzie bardzo mało - produkcja specjalnych urządzeń nie wydaje się celowa.

Należy też zwrócić uwagę, że z poziomu modułu transmisyjnego jest bezpośredni dostęp tylko do tych sygnałów, które zostały doprowadzone do wejścia krotnicy. Biorąc to pod uwagę można stwierdzić, że najszersze zastosowanie znajdują krotnice 2/155 Mbit/s, zapewniające dostęp do wszystkich strumieni 2 Mbit/s, a w przypadku pracy synchronicznej - nawet do kanałów 64 kbit/s.

Proces zwielokrotnienia 2/155 Mbit/s, tj. łączenia 64 sygnałów o przepływności 2048 kbit/s w jeden sygnał zbiorczy o przepływności 155 Mbit/s, można podzielić na trzy etapy.

W pierwszym etapie procesu zwielokrotnienia są tworzone kontenery VC12, przeznaczone do przesyłania poszczególnych sygnałów 2048 kbit/s. Sygnały te mogą być wprowadzane w sposób synchroniczny (z synchronizacją bitową lub bajtową) lub asynchroniczny. W niniejszym opisie ograniczymy się do trybu asynchronicznego, w którym dla uzyskania synchronizmu wprowadzanego sygnału 2048 kbit/s z kontenerem VC12 tworzona jest wieloramka kontenera VC12 o długości 500 μ s (por. rys.2). Przepływność sygnału wejściowego 2048 kbit/s jest dostosowywana do przepływności wymaganej przez kontener VC12 za pomocą dopełniania dodatnio-ujemnego. Sterowanie procesem dopeł-

| | | | | |
|-------|--------------------|--------------------|------------|-------|
| V5 | 8XR | | (32 x 8) I | 8 x R |
| 8 x R | C1 C2 0 0 0 0 R R | | (32 x 8) I | 8 x R |
| 8 x R | C1 C2 0 0 0 0 R R | | (32 x 8) I | 8 x R |
| 8 x R | C1 C2 0 0 0 0 R S1 | S2 I I I I I I I I | (31 x 8) I | 8 x R |

Oznaczenia:

V5 - bajt nagłówka (POH),

R - state dopełnianie,

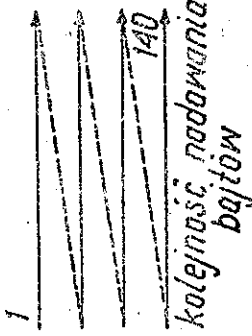
C1, C2 - bity komendy,

S1 - bit dopełniania ujemnego

S2 - bit dopełniania dodatniego

I - informacja

0 - bity podmiarowe

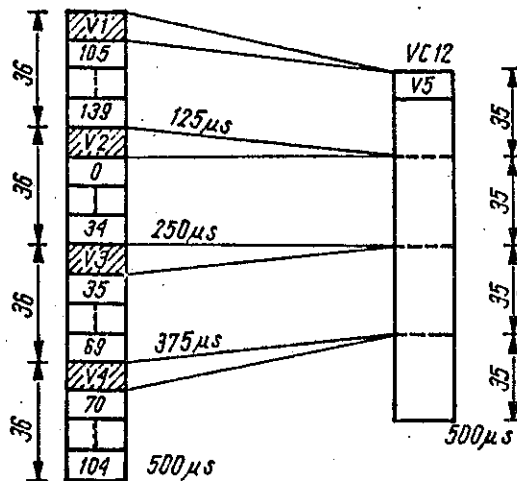


Rys. 2. Struktura wieloramki kontenera VC 12

niania odbywa się za pomocą komend dopełniania (dwa zestawy bitów C1 i C2) sterujących bitami dopełniającymi S1 (dopełnianie ujemne) i S2 (dopełnianie dodatnie). Pierwszy bajt kontenera VC12 (bajt V5) jest nagłówkiem kontenera służącym do przesyłania informacji o stanie i jakości transmisji tego kontenera.

Przez przyporządkowanie kontenerowi VC12 czterech bajtów od V1 do V4, jest tworzona wieloramka jednostki podstawowej TU12. Bajt V4 jest bajtem rezerwowym, natomiast bajty V1 + V3 stanowią znacznik jednostki podstawowej TU12, zawierający informację o przesunięciu fazy kontenera VC12 wewnątrz kontenera wyższego rzędu, tj. w tym przypadku, kontenera VCA.

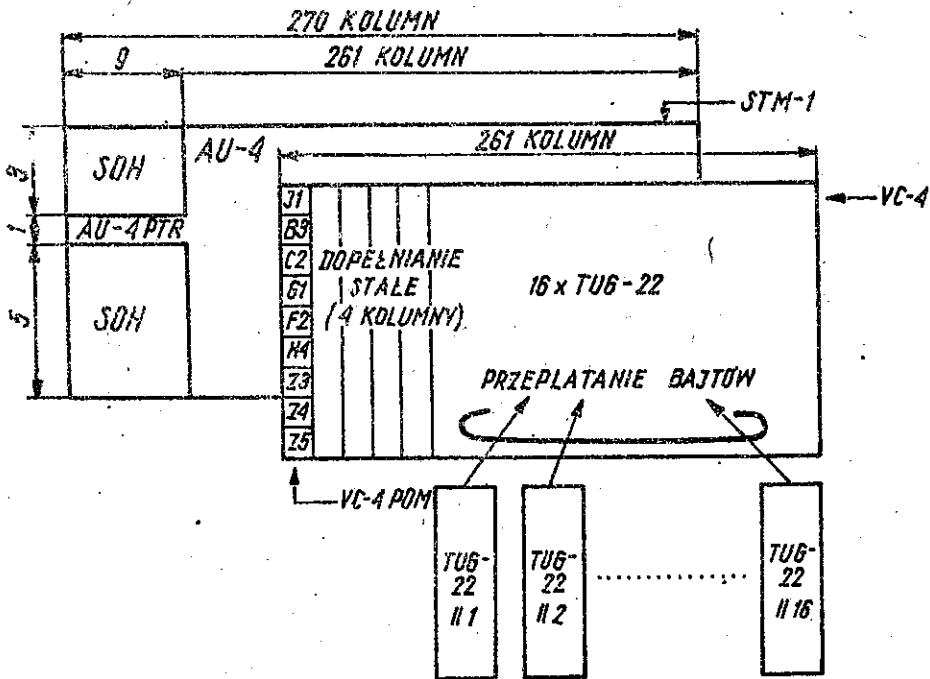
Format wieloramki kontenera VC12 i jednostki podstawowej TU12 przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Rozmiar i format wieloramki kontenera VC12 i jednostki podstawowej TU12

Oznaczenia: V1 ... V3 - bajty znacznika TU12, V4 - bajt rezerwowym.

W drugim etapie jest tworzony kontener VCA i jednostka administracyjna AU4 (por. rys. 4) zawierające 64 jednostki podstawowe TU12. Przy tworzeniu kontenera VCA bajty poszcze-



Rys. 4. Ilustracja tworzenia kontenera VC4 i jednostki administracyjnej AU4 z grup jednostek podstawowych TUG22

gólnych jednostek podstawowych są ze sobą odpowiednio przeplatane i grupowane. W procesie ładowania jednostek TUG22 do kontenera VC4 mogą być one grupowane po 4 (z przeplataniem bajtów) w grupy TUG22.

Kontener VC4 można przedstawić w postaci macierzy o 9 wierszach i 261 kolumnach bajtów. Pierwszą kolumnę stanowią bajty nagłówka VC4 - POH, w którym są przesyłane informacje o zawartości tego kontenera oraz informacje o stanie i jakości transmisji tak utworzonego sygnału zbiorczego. Następnie 4 kolumny bajtów zawierają bity stałego dopełniania (niezmienne). W pozostałych 256 kolumnach są rozmieszczone na przemian kolumny bajtów 16 grup jednostek podstawowych TUG22.

Jednostka AU4 zostaje utworzona przez przyporządkowanie kontenerowi VC4 znacznika AU4-PTR. Znacznik ten (jak już wspomniano wcześniej) wskazuje numer bajtu, od którego zaczyna się kontener VC4, ponieważ nie ma on ustalonej fazy i może pływać w ramce modułu STM-1.

W trzecim etapie tworzony jest moduł STM-1, a więc formowany jest końcowy sygnał zbiorczy o przepływności 155 520 kbit/s. Moduł STM-1 powstaje przez dodanie do kontenera VC4, a właściwie do jednostki administracyjnej AU4, nagłówka SOH, który zawiera informacje o przesunięciu fazy VC4, a także informacje o stanie i jakości transmisji oraz inne. Po dodaniu nagłówka moduł STM-1, poza pierwszymi 9 bajtami, jest skramblowany i w takiej postaci zostaje wysłany do przeciwległej stacji lub do krotnicy wyższego rzędu. W przypadku transmisji na małe odległości (w obrębie stacji) można dopuścić stosowanie kabla współosiowego. W innych przypadkach należy stosować wyłącznie kable światłowodowe.

6. ASPEKTY TECHNICZNE REALIZACJI SYSTEMU STM-1

Wstępna analiza struktur krotnic systemu STM-1 wskazuje na to, że realizacja krotnic 2/155 Mbit/s i 8/155 Mbit/s będzie łatwiejsza pod względem technicznym i technologicznym niż realizacja krotnic 34/140 Mbit/s. Ze względu na bajtową strukturę ramki STM-1, większość operacji zwielokrotnienia może być dokonywana w kodzie równoległym, co umożliwia 8-krotne obniżenie szybkości pracy układów. Według wstępnych szacunków krotnica 2/155 Mbit/s miałyby wymiary 440x120 mm i pobierałyby moc ok. 20 W. Oznacza to, że w jednym stojaku o szerokości 120 mm mogłyby zmieścić się 4 takie krotnice. Krotnice wprowadzając jeden kontener VC4 (zawierający 64 kontenery VC12 lub 16 kontenerów VC22)

w moduł STM-1 są o wiele prostsze od krotnic realizujących inne struktury.

Sposób realizacji traktu liniowego o przepływności 155 Mbit/s jest zasadniczo różny od traktu liniowego klasycznego systemu o przepływności 140 Mbit/s. W systemie STM-1 brak tradycyjnego podziału na urządzenia traktu UKTL i krotnicę. Do urządzeń traktu zalicza się kabel światłowodowy i stacje regeneracyjne. Punkt styku z kodem CMI, który łączył krotnicę z urządzeniem końcowym traktu, został zastąpiony przez optyczny punkt styku na wyjściu nadajnika i wejściu odbiornika optycznego.

Przy takiej konfiguracji urządzeń nie stosuje się regeneratorów sygnałów o kodzie CMI ani też koderów i dekoderów kodu CMI. Skrambler, który w systemie 140 Mbit/s był stosowany w urządzeniu końcowym traktu liniowego (UKT), jest umieszczony w krotnicy. Krotnica przejmuje także funkcję nadzoru traktu, tzn. śledzenie stopy błędów, zbieranie informacji o stanie pracy regeneratorów, wyławianie bitów przeznaczonych dla łączności służbowej itp. Kod liniowy w systemie 140 Mb jest najczęściej kodem 5B6B o szybkości modulacji około 170 MBd (przy przepływności liniowej 140 Mbit/s). W systemie STM-1 wystarcza kod liniowy typu NRZ o szybkości modulacji 155 MBd. Można zatem dopuścić w tym systemie nieco większą tłumienność odcinka regeneracyjnego, a tym samym większą jego długość.

Umieszczanie skramblera w krotnicy systemu STM-1 umożliwia zastosowanie skramblera z zerowaniem. Skrambler tego typu ma trzykrotnie mniejszy współczynnik powielania błędów niż skrambler bez zerowania, stosowany z konieczności w systemach 140 Mb. Regeneratory traktu liniowego STM-1 są bardziej złożone ze względu na konieczność deszyfrowania sygnałów nadzoru oraz innych sygnałów, które są umieszczone w ramce razem z impulsami informacyjnymi. Pozostałe elementy traktu, jak światłowody, elementy optoelektroniczne są w obu systemach identyczne.

7. ANALIZA PORÓWNAWCZA KOSZTÓW LINII TELEKOMUNIKACYJNYCH RÓŻNYCH SYSTEMÓW CYFROWYCH

7.1. Założenia wstępne

Dla porównania kosztów teletransmisyjnych systemów cyfrowych przyjęto jednostkę umowną "j" jako równoważną kosztowi 1 km jednomodowego kabla światłowodowego o czterech włóknach

W tabl. 6+9 zestawiono szacunkowe koszty jednostkowe poszczególnych typów krotnic cyfrowych, urządzeń traktu liniowego oraz kabla określone na podstawie cen rzeczywistych urządzeń różnych firm (HASLER, SIEMENS, ERICSSON, ALCATEL).

W tabl. 6 podano koszty 1 km kabla światłowodowego o różnej liczbie włókien.

Tablica 6

| | | | | |
|------------|------------|------------|------------|------------|
| 4 włókna | 6 włókien | 8 włókien | 10 włókien | 12 włókien |
| 1 j | 1,2 j | 1,4 j | 1,6 j | 1,8 j |
| 14 włókien | 16 włókien | 18 włókien | 20 włókien | 22 włókna |
| 2 j | 2,2 j | 2,4 j | 2,6 j | 2,8 j |

W tabl. 7 zaprezentowano koszty klasycznych krotnic cyfrowych.

Tablica 7

| | | |
|-----------------|------------------|---------------------|
| 4x2/8 (120k) | 4x8/34 (480k) | 4x34/140 (1920k) |
| 0,55 j | 0,75 j | 1,4 j |

W tabl. 8 przedstawiono koszty krotnic systemu STM-1 (155 Mbit/s).

Tablica 8

| Typ krotnicy | 4x2/155 ¹⁾ (120k) | 8/155 ¹⁾ (120k) | 34/155 ¹⁾ (480k) | 4x155 (7680k) |
|--|---------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|------------------|
| układy kanałowe | 0,4 j | 0,35 j | 0,3 j | - |
| układy grupowe dla całej krotnicy | 0,35 j | 0,35 j | 0,35 j | 0,7 j |
| 1) Krotnice z niepełnym wyposażeniem kanałowym, tj. odpowiednio dla 4 sygnałów 2 Mbit/s, 1 sygnału 8 Mbit/s i 1 sygnału 34 Mbit/s. | | | | |

W tablicy 9 zawarto koszty urządzeń traktu liniowego.

Tablica 9

| Systemy | 8 Mbit/s | 34 Mbit/s | 140 Mbit/s | 155 Mbit/s |
|--|----------|-----------|------------|------------|
| Urządzenia końcowe UKTL ^y | 0,6 j | 0,8 j | 1,6 j | 0,85 j |
| Regeneratory przelotowy | 2 j | 2 j | 2 j | 2 j |
| ^y Pod pojęciem UKTL w przypadku systemu 155 Mbit/s należy rozumieć optyczny punkt styku na wyjściu i wejściu urządzenia końcowego dla sygnału zbiorczego. | | | | |

7.2. Porównanie kosztów linii o różnych długościach i przepustowościach

Biorąc pod uwagę stan obecny i przewidywany rozwój polskiej sieci telekomunikacyjnej (patrz p.3), można uznać, że celowe jest rozważenie zakresów stosowania określonych systemów w następujących przedziałach długości relacji:

- wiązka 480 kanałów dla odległości 5 km 10 km i 15 km,
- wiązka 1920 kanałów dla odległości 15 km, 40 km i 100 km,
- wiązka 7680 kanałów dla odległości 40 km 100 km i 300 km,
- wiązka 3x7680 kanałów dla odległości 100 km 200 km i 300 km,

Analiza porównawcza przeprowadzona dla różnych systemów dotychczas produkowanych i nowej synchronicznej hierarchii opartej na przepływności 155 Mbit/s pozwala stwierdzić, które z nich dadzą bardziej ekonomiczne rozwiązanie. Ponieważ na terenie CCITT przewiduje się, że zwielokrotnienie systemów o przepływności 140 Mbit/s będzie tworzone poprzez uprzednie jego przetworzenie do przepływności 155 Mbit/s, więc porównanie systemów kończy się na wiązce $3 \times 7680 = 23020$.

Przy analizie kosztów dla każdej relacji przyjęto dwa dodatkowe tory rezerwowe.

7.2.1. Relacje o przepustowości 480 łączy dla odległości 5,15 i 30 km

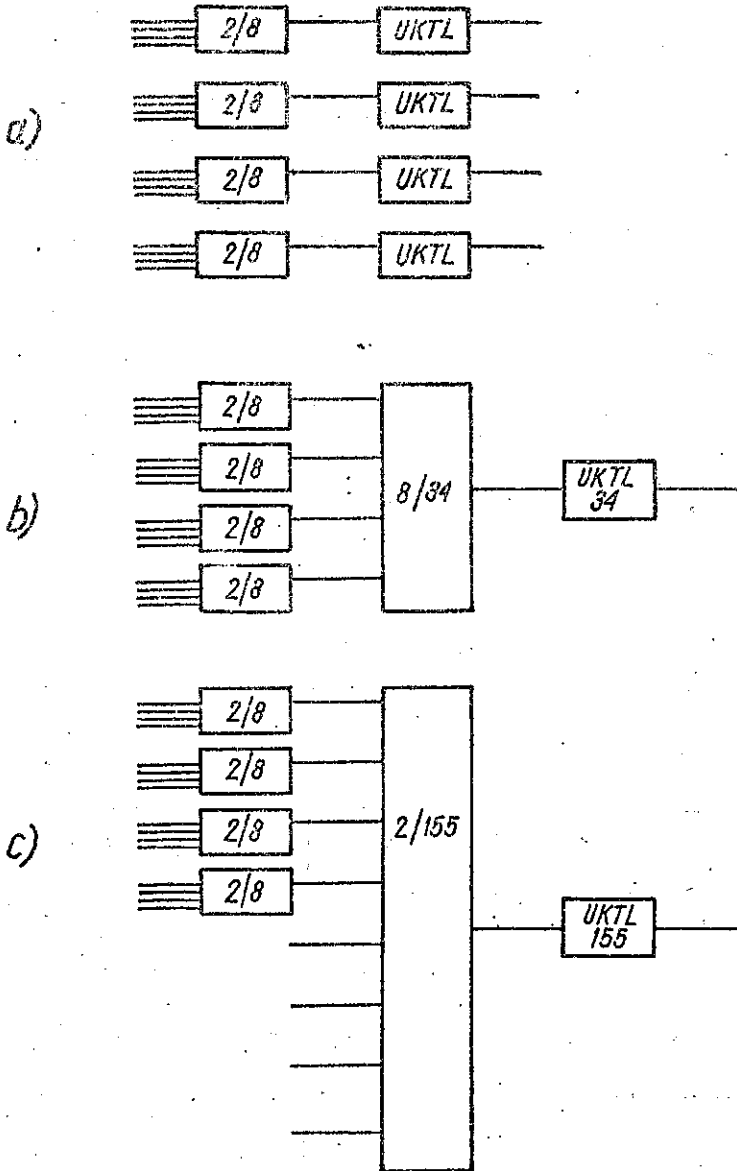
Relacje dla 480 łączy można zrealizować kilkoma następującymi sposobami.

Wariant I

Koszty linii z czterema zestrojami o przepływności 8 Mbit/s i dziesięcioma torami światłowodowymi (rys. 5a) zestawiono w tabl. 10.

Tablica 10

| Koszt linii \ Długość linii | 5 km | 15 km | 30 km ... |
|--|---|---------------|---------------|
| 1. Koszt urządzeń końcowych a) krotnice cyfrowe 4x2/8 Mbit/s b) urządzenie końcowe traktu UKTL/8 | $2 \times 4 \times (4 \times 2 / 8) \Rightarrow 8 \times 0,55 \text{ j} = 4,4 \text{ j};$ $2 \times 4 \times (\text{UKTL} / 8) \Rightarrow 8 \times 0,6 \text{ j} = 4,8 \text{ j};$ razem: 9,2 j. | | |
| 2. Koszt linii Kabel 10-torowy - 1x(10 t./km) | 5x1,6 j=8 j | 15x1,6 j=24 j | 30x1,6 j=48 j |
| 3. Łączny koszt urządzeń końcowych i linii | 17,2 j | 33,2 j | 57,2 j |



Rys. 5. Relacje o przepustowości 480 łączy.
 Warianty: a) Wariant I - linie z czterema zestrojami o przepływności 8 Mbit/s; b) Wariant II - linie z jednym zestrojem o przepływności 34 Mbit/s; c) Wariant III - linie z jednym zestrojem o przepływności 155 Mbit/s.

Wariant II

Koszty linii z jednym zestrojem o przepływności 34 Mbit/s i czterema torami światłowodowymi (rys. 5b) zaprezentowano w tabl. 11.

Tablica 11

| Długość linii Koszt linii | 5 km | 15 km | 30 km |
|---|--|-------------|-------------|
| 1. Koszt urządzeń końcowych a) krotnice cyfrowe 4x2/8 Mbit/s b) krotnice cyfrowe 4x8/34 Mbit/s c) Urządzenie końcowe traktu UKTL/34 Mbit/s. | $2 \times 4 \times (4 \times 2 / 8) \Rightarrow 8 \times 0,55 \text{ j} = 4,4 \text{ j};$ $2 \times 4 (4 \times 8 / 34) \Rightarrow 2 \times 0,75 \text{ j} = 1,5 \text{ j};$ $2 \times (\text{UKTL} / 34) \Rightarrow 2 \times 0,8 \text{ j} = 1,6 \text{ j};$ razem: 7,5 j. | | |
| 2. Koszt linii Kabel 4-torowy - - 1x(4 t./km) | 5x1 j=5 j | 15x1 j=15 j | 30x1 j=30 j |
| 3. Łączny koszt urządzeń końcowych i linii | 12,5 j | 22,5 j | 37,5 j |

Wariant III

Koszty linii z jednym zestrojem o przepływności 155 Mbit/s i czterema torami światłowodowymi (rys. 5c) podano w tabl.12.

Tablica 12

| Długość linii Koszt linii | 5 km | 15 km | 30 km |
|--|--|-------------|-------------|
| 1. Koszt urządzeń końcowych a) układy kanałowe 4x2/155 Mbit/s b) układy grupowe UG-155 Mbit/s c) urządzenie końcowe traktu UKTL/155 Mbit/s | $2 \times 4 \times (4 \times 2 / 155) \Rightarrow 8 \times 0,40 \text{ j} = 3,2 \text{ j};$ $2 \times (\text{UG}-155) \Rightarrow 2 \times 0,35 \text{ j} = 0,7 \text{ j};$ $2 \times (\text{UKTL} / 155) \Rightarrow 2 \times 0,85 \text{ j} = 1,7 \text{ j};$ razem: 5,6 j. | | |
| 2. Koszt linii Kabel 4-torowy - - 1x(4 t./km) | 5x1 j=5 j | 15x1 j=15 j | 30x1 j=30 j |
| 3. Łączny koszt urządzeń końcowych i linii | 10,6 j | 20,6 j | 35,6 j |

7.2.2. Relacje o przepustowości 1920 łączy dla odległości 15; 40 i 100 km

Relacje dla 1920 łączy można zrealizować również kilkoma sposobami.

Wariant I

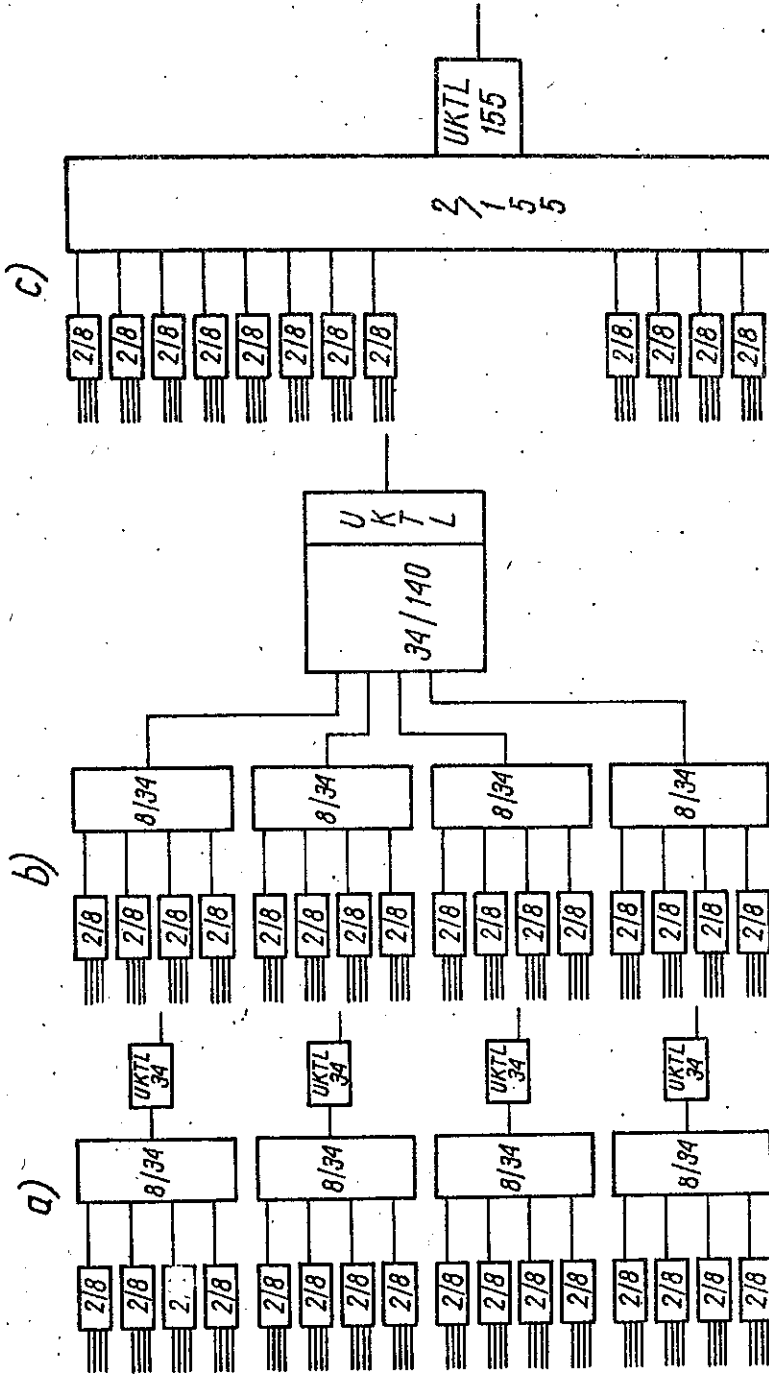
Koszty linii z czterema zestrojami o przepływności 34 Mbit/s i dziesięcioma torami światłowodowymi (rys. 6a) przedstawiono w tabl. 13.

Tablica 13

| Długość linii Koszt linii | 15 km | 40 km | 100 km |
|--|---|---------------|-----------------|
| 1. Koszt urządzeń końcowych | | | |
| a) krotnice cyfrowe 4x2/8 Mbit/s | 2x16x(4x2/8) ⇒ 32x0,55 j=17,6 j; | | |
| b) krotnice cyfrowe 4x8/34 Mbit/s | 2x4x(4x8/34) ⇒ 8x0,75 j= 6,0 j; | | |
| c) urządzenie końcowe traktu UKTL/34 Mbit/s | 2x4x(UKTL/34) ⇒ 8x0,8 j= 6,4 j; razem: 30,0 j. | | |
| 2. Koszt linii | | | |
| kabel 10-torowy - 1x(10 t./km) | 15x1,6 j=24 j | 40x1,6 j=64 j | 100x1,6 j=160 j |
| regeneratory co 40 km | - | - | 4x2 j= 8 j |
| razem: | 24 j | 64 j | 168 j |
| 3. Łączny koszt urządzeń końcowych i linii | 54 j | 94 j | 198 j |

Wariant II

Koszty linii z jednym zestawem o przepływności 140 Mbit/s i czterema torami światłowodowymi (rys. 6b) ujęto w tabl. 14.



Rys. 6. Relacje o przepustowości 1920 łączy. Warianty: a) Wariant I - linie z czterema zestrojami o przepływności 34 Mbit/s; b) Wariant II - linie z jednym zestrojem o przepływności 140 Mbit/s; c) Wariant III - linie z jednym zestrojem o przepływności 155 Mbit/s.

Tablica 14

| Koszt linii | Długość linii | | |
|---|--|--------------------------|--------------------------------------|
| | 15 km | 40 km | 100 km |
| 1. Koszt urządzeń końcowych a) krotnice cyfrowe 4x2/8 Mbit/s b) krotnice cyfrowe 4x8/34 Mbit/s c) krotnice cyfrowe 4x34/140 Mbit/s d) Urządzenie końcowe traktu UKTL/140 Mbit/s | $2 \times 16 \times (4 \times 2 / 8) \Rightarrow 32 \times 0,55 \text{ j} = 17,6 \text{ j};$ $2 \times 4 \times (4 \times 8 / 34) \Rightarrow 8 \times 0,75 \text{ j} = 6,0 \text{ j};$ $2 \times (4 \times 34 / 140) \Rightarrow 2 \times 1,4 \text{ j} = 2,8 \text{ j};$ $2 \times (\text{UKTL} / 140) \Rightarrow 2 \times 1,6 \text{ j} = 3,2 \text{ j};$ razem: 29,6 j. | | |
| 2. Koszt linii kabel 4-torowy - - 1x4(4 t./km) regeneratory co 40 km razem: | 15x1 j=15 j - 15 j | 40x1 j=40 j - 40 j | 100x1 j=100 j 1x2 j= 2 j 102 j |
| 3. Łączny koszt urządzeń końcowych i linii | 44,6 j | 69,6 j | 131,6 j |

Wariant III

Koszty linii z jednym zestrojem o przepływności 155 Mbit/s i czterema torami światłowodowymi (rys.6c) zilustrowano w tabl. 15

Tablica 15

| Koszt linii | Długość linii | | |
|--|--|--------------------------|--------------------------------------|
| | 15 km | 40 km | 100 km |
| 1. Koszt urządzeń końcowych a) układy kanałowe 4x2/155 Mbit/s b) układy grupowe UG-155 Mbit/s c) urządzenie końcowe traktu UKTL/155 Mbit/s | $2 \times 16 \times (4 \times 2 / 155) \Rightarrow 32 \times 0,40 \text{ j} = 12,8 \text{ j};$ $2 \times (\text{UG}-155) \Rightarrow 2 \times 0,35 \text{ j} = 0,7 \text{ j};$ $2 \times (\text{UKTL} / 155) \Rightarrow 2 \times 0,85 \text{ j} = 1,7 \text{ j};$ razem: 15,2 j. | | |
| 2. Koszt linii kabel 4-torowy - 1x(4 t./km) regeneratory co 40 km razem | 15x1 j=15 j - 15 j | 40x1 j=15 j - 40 j | 100x1 j=100 j 1x2 j= 2 j 102 j |
| 3. Łączny koszt urządzeń końcowych i linii | 30,2 j | 55,2 j | 117,2 j |

7.2.3. Relacje o przepustowości 7680 łączy dla odległości 40, 100 i 300 km

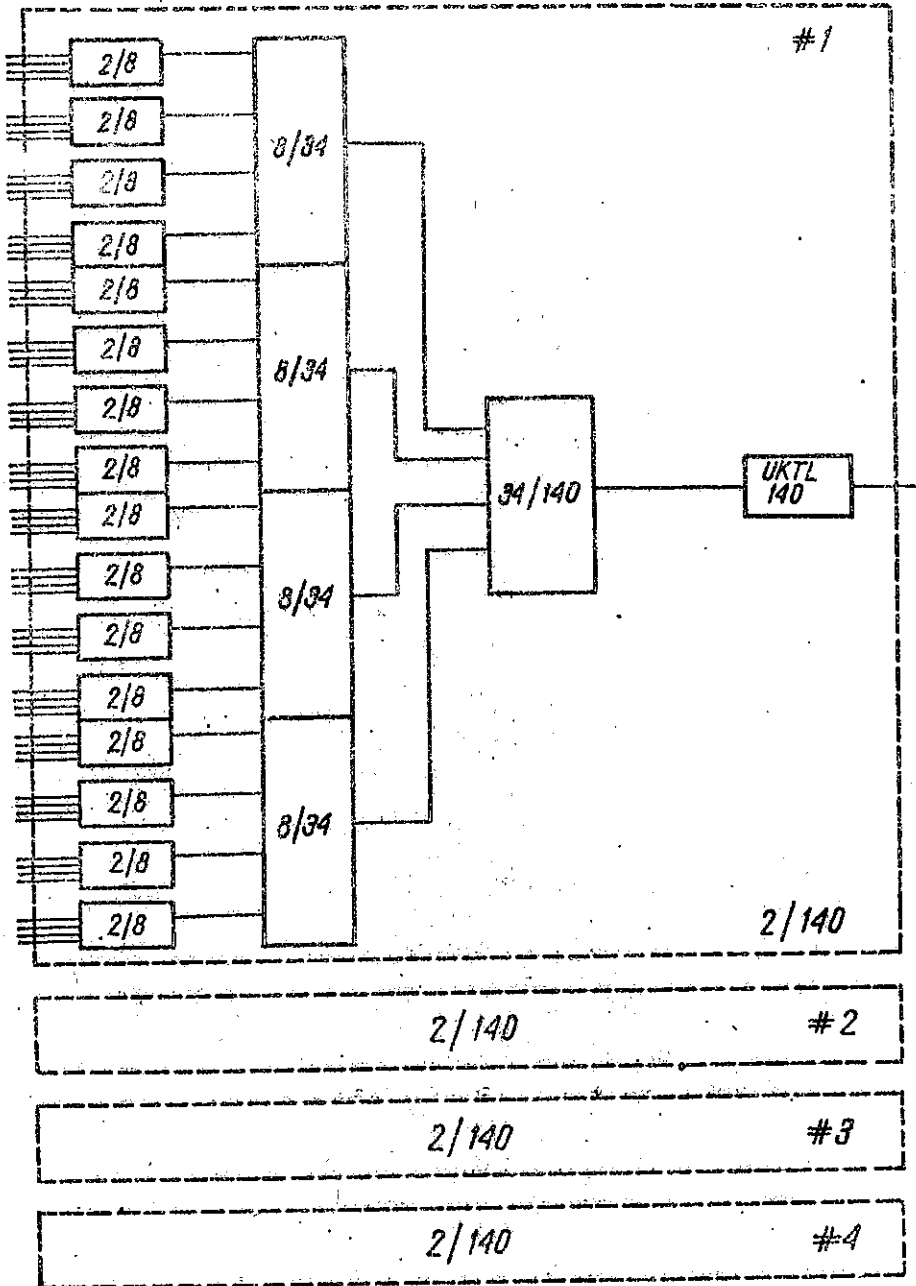
Relacje dla 7680 łączy można zrealizować jednym z trzech następujących sposobów.

Wariant I

Koszty linii z czterema zestrojami o przepływności 140 Mbit/s i dziesięcioma torami światłowodowymi (rys. 7a), zawarto w tabl. 16.

Tablica 16

| Długość linii Koszt linii | 40 km | 100 km | 300 km |
|--|--|--|---|
| 1. Koszt urządzeń końcowych | | | |
| a) krotnice cyfrowe 4x2/8 Mbit/s | | $2 \times 64 \times (4 \times 2 / 8) \Rightarrow 128 \times 0,55 \text{ j} = 70,4 \text{ j}$; | |
| b) krotnice cyfrowe 4x8/34 Mbit/s | | $2 \times 16 \times (4 \times 8 / 34) \Rightarrow 32 \times 0,75 \text{ j} = 24,0 \text{ j}$; | |
| c) krotnice cyfrowe 4x34/140 Mbit/s | | $2 \times 4 \times (4 \times 34 / 140) \Rightarrow 8 \times 1,4 \text{ j} = 11,2 \text{ j}$; | |
| d) urządzenie końcowe traktu UKTL/140 Mbit/s | | $2 \times 4 \times (UKTL / 140) \Rightarrow 8 \times 1,6 \text{ j} = 12,8 \text{ j}$; | |
| | | razem: 118,4 j. | |
| 2. Koszt linii | | | |
| kabel 10-torowy - 1x(10 t./km) | $40 \times 1,6 \text{ j} = 64 \text{ j}$ | $100 \times 1,6 \text{ j} = 160 \text{ j}$ | $300 \times 1,6 \text{ j} = 480 \text{ j}$ |
| regeneratory co 40 km | - | $4 \times 2 \times 2 \text{ j} = 16 \text{ j}$ | $4 \times 7 \times 2 \times 2 \text{ j} = 56 \text{ j}$ |
| razem: | 64 j | 176 j | 536 j |
| 3. Łączny koszt urządzeń końcowych i linii | 182,4 j | 294,4 j | 654,4 j |



Rys. 7a. Relacja o przepustowości 7680 łączy.
 Wariant I - linia z czterema zestrojami
 o przepływności 140 Mbit/s

Wariant II

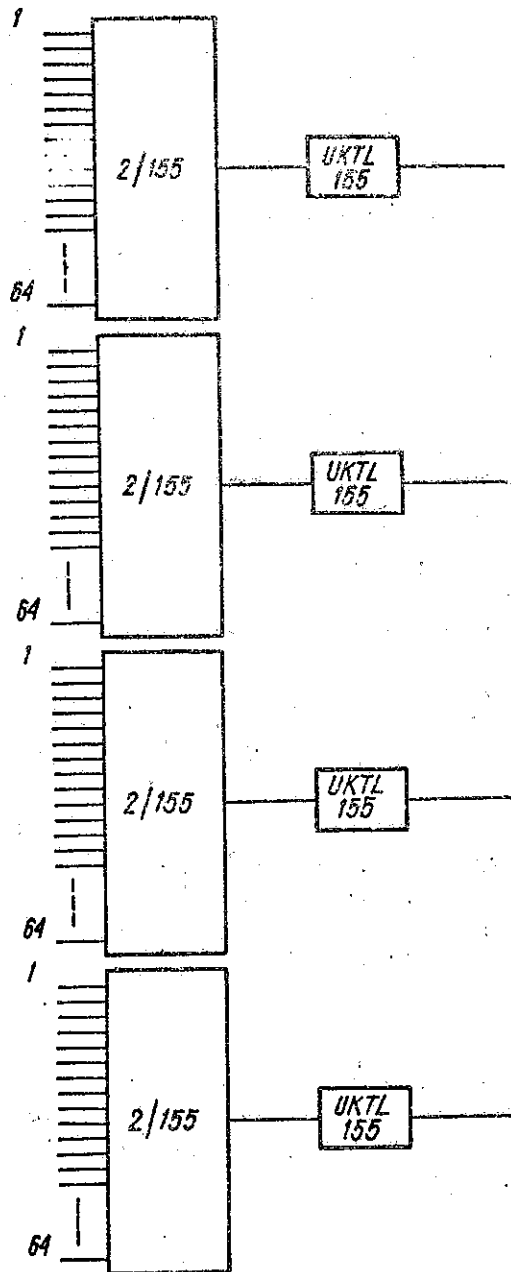
Koszty linii z czterema zestrojami o przepływności 155 Mbit/s i dziesięcioma torami światłowodowymi (rys. 7b) zaprezentowano w tabl. 17.

Tablica 17

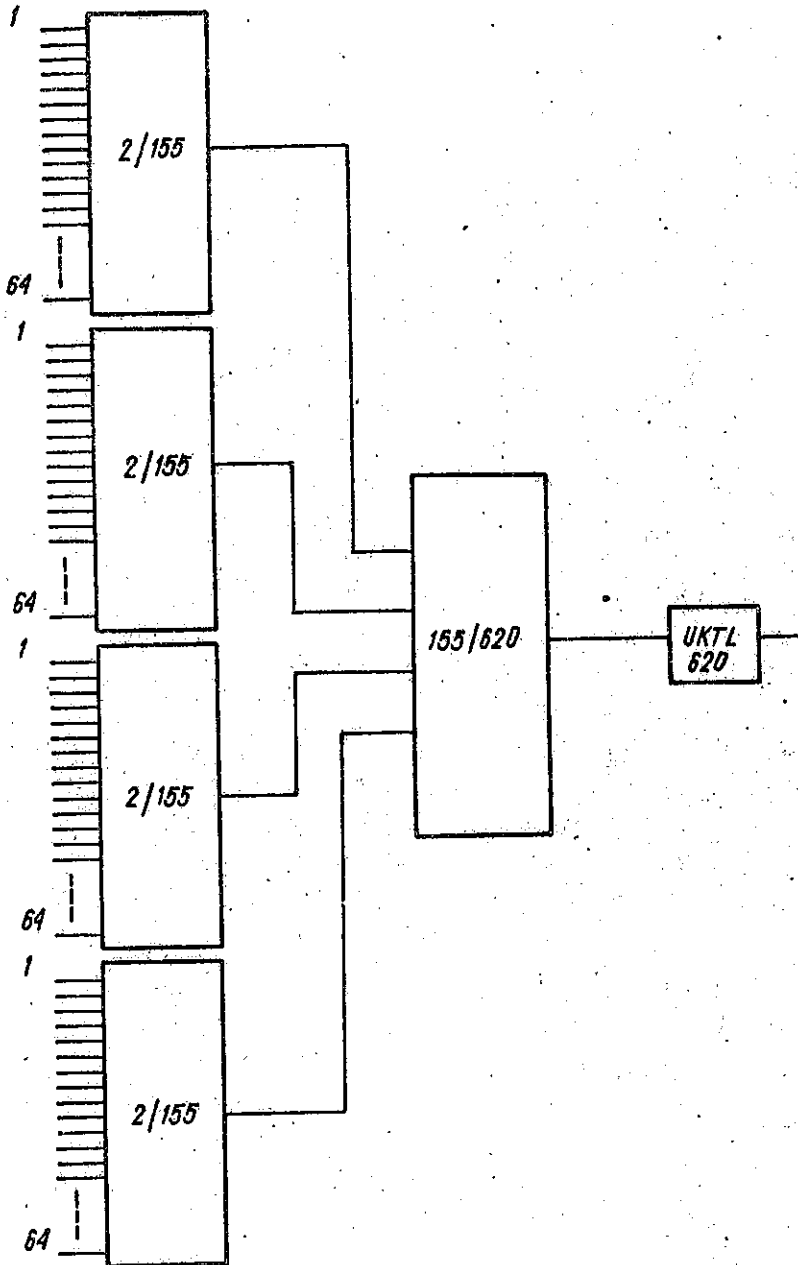
| Długość linii Koszt linii | 40 km | 100 km | 300 km |
|---|---|--|--|
| 1. Koszt urządzeń końcowych a) Układy kanałowe 4x2/155 Mbit/s b) układy grupowe UG-155 Mbit/s c) urządzenie końcowe traktu UKTL/155 Mbit/s | $2 \times 64 \times (4 \times 2 / 155) \Rightarrow 128 \times 0,40 \text{ j} = 51,2 \text{ j};$ $2 \times 4 \times (UG-155) \Rightarrow 8 \times 0,35 \text{ j} = 2,8 \text{ j};$ $2 \times 4 \times (UKTL / 155) \Rightarrow 8 \times 0,85 \text{ j} = 6,8 \text{ j};$ razem: 60,8 j. | | |
| 2. Koszt linii kabel 10-torowy - 1x(4 t./km) regeneratory co 40 km razem: | 40x1,6 j=64 j - 64 j | 100x1,6 j=160 j 4x2x2 j=16 j 176 j | 300x1,6 j=480 j 4x7x2 j=56 j 536 j |
| 3. Łączny koszt urządzeń końcowych i linii | 124,8 j | 236,8 j | 596,8 j |

Wariant III

Koszty linii z jednym zestrojem systemu o przepływności 4x155 Mbit/s i z czterema torami światłowodowymi (rys. 7c) zestawiono w tabl. 18



Rys. 7b. Relacja o przepustowości 7680 łączy.
Wariant II - linia z czterema zestrojami
o przepływności 155 Mbit/s



Rys. 7c. Relacja o przepustowości 7630 łączy.
Wariant III - linia z jednym zestawem
o przepustowości 4x155 Mbit/s

Wariant III

Koszty linii z jednym zestrojem systemu o przepływności 4x155 Mbit/s i z czterema torami światłowodowymi (rys. 7c) zestawiono w tabl. 18

Tablica 18

| Długość linii Koszt linii | 40 km | 100 km | 300 km |
|---|---|--|---|
| 1. Koszt urządzeń końcowych a) układy kanałowe 4x2/155 Mbit/s b) układy grupowe UG-155 Mbit/s c) układy grupowe UG-4x155 Mbit/s d) urządzenie końcowe traktu UKTL/(4x155) Mbit/s | $2 \times 64 \times (4 \times 2 / 155) \Rightarrow 128 \times 0,40 \text{ j} = 51,2 \text{ j}$ $2 \times 4 \times (UG-155) \Rightarrow 8 \times 0,35 \text{ j} = 2,8 \text{ j}$ $2 \times (UG-4 \times 155) \Rightarrow 2 \times 0,7 \text{ j} = 1,4 \text{ j}$ $2 \times (UKTL / (4 \times 155)) \Rightarrow 2 \times 1,7 \text{ j} = 3,4 \text{ j}$ razem: 58,8 j. | | |
| 2. Koszt linii kabel 4-torowy-1x(4 t./km) regeneratory co 40 km razem: | 40x1 j=40 j - 40 j | 100x1 j=100 j 1x2x2 j=4 j 104 j | 300x1 j=300 j 1x7x2 j=14 j 314 j |
| 3. Łączny koszt urządzeń końcowych i linii | 98,8 j | 162,8 j | 372,8 j |

7.2.4. Relacje o przepustowości 23040 łączy dla odległości 100, 200 i 300 km

Relacje dla 23040 łączy można zrealizować następującymi trzema sposobami:

Wariant I

Koszty linii z dwunastoma zestrojami o przepływności 140 Mbit/s i dwudziestoma sześcioma torami światłowodowymi (rys. 8a) podano w tabl. 19.

Tablica 19

| Długość linii Koszt linii | 100 km | 200 km | 300 km |
|---|---|--|--|
| 1. Koszt urządzeń końcowych a) krotnice cyfrowe 4x2/8 Mbit/s b) krotnice cyfrowe 4x8/34 Mbit/s c) krotnice cyfrowe 4x34/140 Mbit/s d) urządzenia końcowe traktu UKTL/140 Mbit/s | $2 \times 192 \times (4 \times 2 / 8) \Rightarrow 384 \times 0,55 \text{ j} = 211,2 \text{ j};$ $2 \times 48 \times (4 \times 8 / 34) \Rightarrow 96 \times 0,75 \text{ j} = 72,0 \text{ j};$ $2 \times 12 \times (4 \times 34 / 140) \Rightarrow 24 \times 1,4 \text{ j} = 33,4 \text{ j};$ $2 \times 12 \times (\text{UKTL} / 140) \Rightarrow 24 \times 1,6 \text{ j} = 38,4 \text{ j};$ razem: 355,2 j. | | |
| 2. Koszt linii kabel 26-torowy 1x26 t./km regeneratory co 40 km razem | $100 \times 3,2 \text{ j} = 320 \text{ j}$ $12 \times 2 \times 2 \text{ j} = 48 \text{ j}$ 368 j | $200 \times 3,2 \text{ j} = 640 \text{ j}$ $12 \times 4 \times 2 \text{ j} = 96 \text{ j}$ 736 j | $300 \times 3,2 \text{ j} = 960 \text{ j}$ $12 \times 7 \times 2 \text{ j} = 168 \text{ j}$ 1128 j |
| 3. łączny koszt urządzeń końcowych i linii | 723,2 j | 1091,2 j | 1483,2 j |

Wariant II

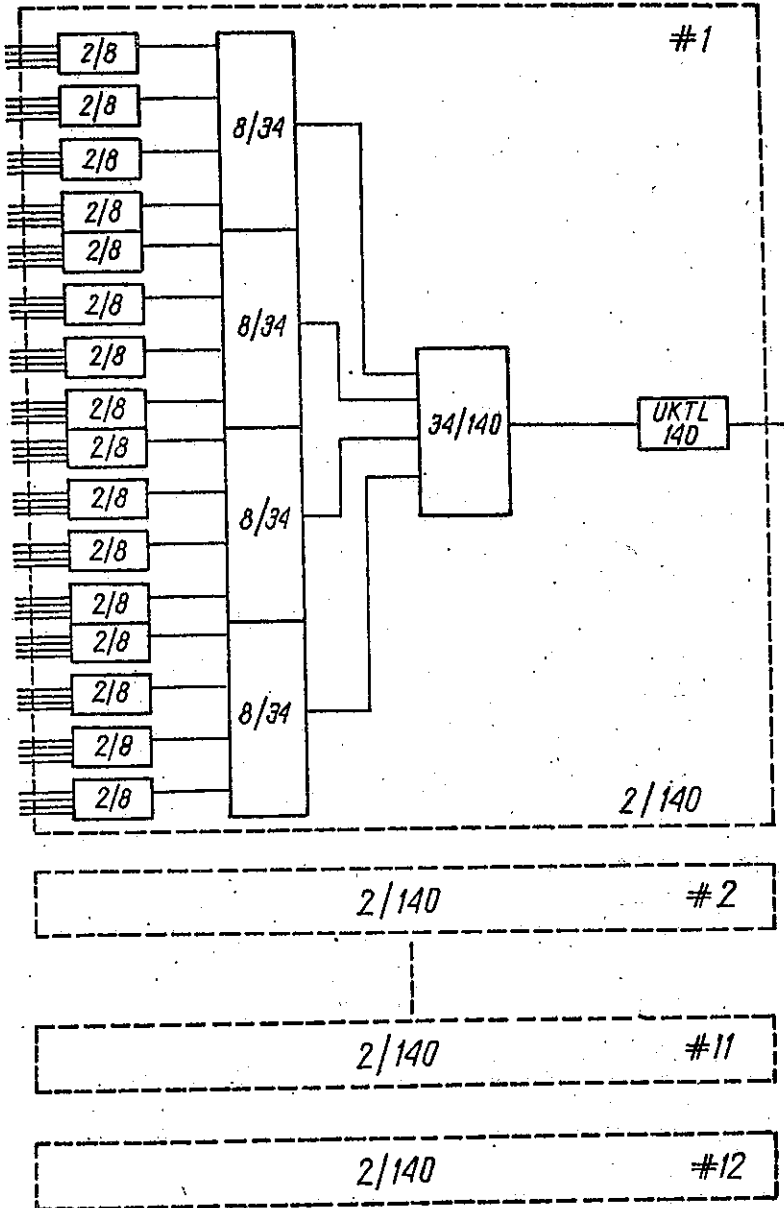
Koszty linii z dwunastoma zestrojami o przepływności 155 Mbit/s i dwudziestoma sześcioma torami światłowodowymi (rys. 8b) przedstawiono w tabl. 20.

Tablica 20

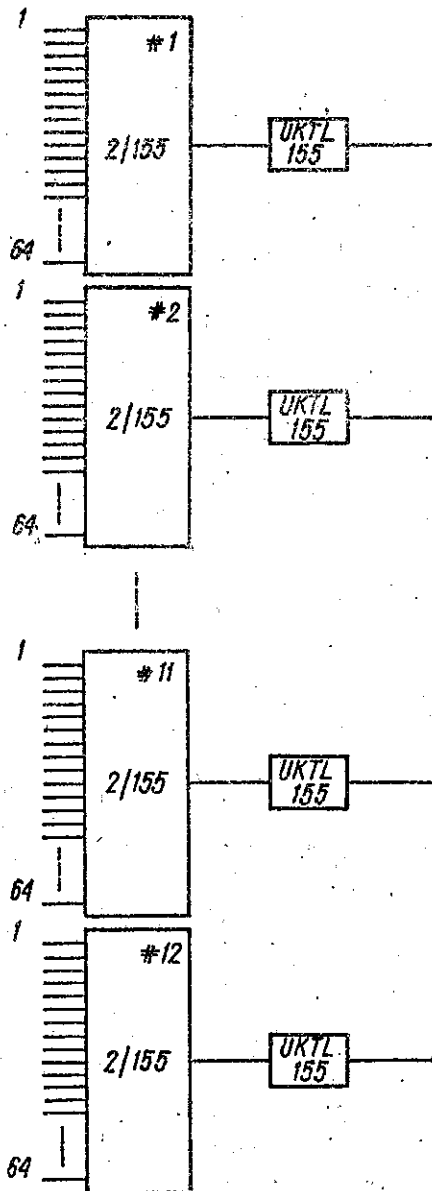
| Długość linii Koszt linii | 100 km | 200 km | 300 km |
|---|---|--|---|
| 1. Koszt urządzeń końcowych a) układy kanałowe 4x2/155 Mbit/s b) układy grupowe UG-155 Mbit/s c) urządzenia końcowe traktu UKTL/155 Mbit/s | $2 \times 192 \times (4 \times 2 / 155) \Rightarrow 384 \times 0,40 \text{ j} = 153,6 \text{ j};$ $2 \times 12 \times (UG-155) \Rightarrow 24 \times 0,35 \text{ j} = 8,4 \text{ j};$ $2 \times 12 \times (UKTL/155) \Rightarrow 24 \times 0,85 \text{ j} = 20,4 \text{ j};$ razem: 182,4 j. | | |
| 2. Koszt linii kabel 26-torowy - 1x(26 t./km) regeneratory co 40 km razem: | $100 \times 3,2 \text{ j} = 320 \text{ j}$ $12 \times 2 \times 2 \text{ j} = 48 \text{ j}$ 368 j | $200 \times 3,2 \text{ j} = 640 \text{ j}$ $12 \times 4 \times 2 \text{ j} = 96 \text{ j}$ 736 j | $300 \times 3,2 \text{ j} = 960 \text{ j}$ $12 \times 7 \times 2 \text{ j} = 56 \text{ j}$ 1128 j |
| 3. Łączny koszt urządzeń końcowych i linii | 550,4 j | 918,4 j | 1310,4 j |

Wariant III

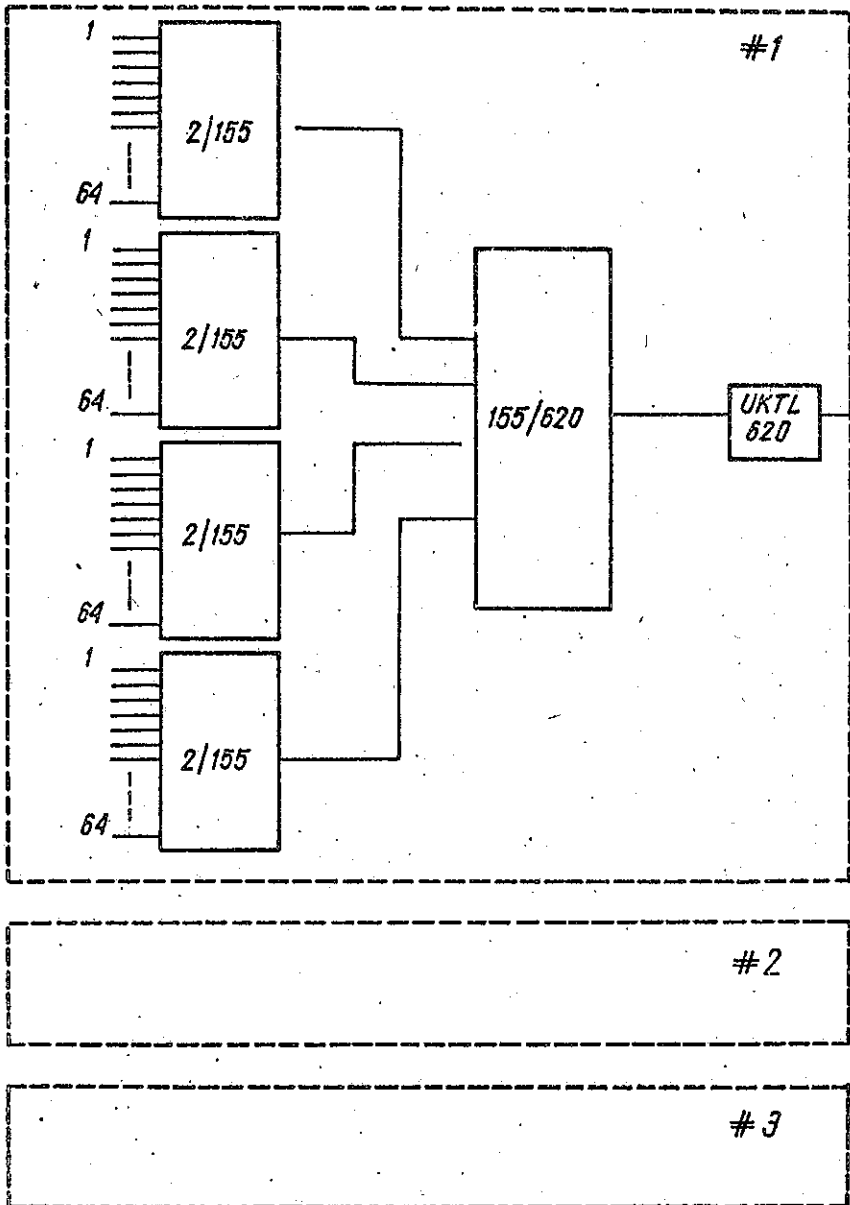
Koszty linii z trzema zestrojami systemu o przepływności 4x155 Mbit/s i z ośmioma torami światłowodowymi (rys. 8c) ujęto w tabl. 21.



Rys. 8a. Relacje o przepustowości 23040 łączy.
 Wariant I - linia z dwunastoma zestojami
 o przepływności 140 Mbit/s



Rys. 8b. Relacja o przepustowości 23040 łączy.
 Wariant II - linia z dwunastoma zestrojami
 o przepływności 155 Mbit/s



Rys. 8c. Relacje o przepustowości 23040 łączy.
 Wariant III - linia z trzema zestrojami systemu
 o przepływności 4x155 Mbit/s

Tablica 21

| Długość linii Koszt linii | 100 km | 200 km | 300 km |
|---|--|---|---|
| 1. Koszt urządzeń końcowych a) układy kanałowe 4x2/155 Mbit/s b) układy grupowe UG-155 Mbit/s c) układy grupowe UG-4x155 Mbit/s d) urządzenie końcowe traktu UKTL/(4x155) | $2 \times 192 \times (4 \times 2 / 155) \quad 384 \times 0,40 \quad j = 153,6 \quad j;$ $2 \times 12 \times (UG - 155) \quad 24 \times 0,35 \quad j = 8,4 \quad j;$ $2 \times 3 \times (UG - 4 \times 155) \quad 6 \times 0,7 \quad j = 4,2 \quad j;$ $2 \times 3 \times (UKTL / (4 \times 155)) \quad 6 \times 1,7 \quad j = 5,1 \quad j;$ razem: $171,3 \quad j$ | | |
| 2. Koszt linii kabel 4-torowy 1x(4 t./km) regeneratory co 40 km razem: | $100 \times 1,4 \quad j = 140 \quad j$ $3 \times 2 \times 2 \quad j = 12 \quad j$ $152 \quad j$ | $200 \times 1,4 \quad j = 280 \quad j$ $3 \times 4 \times 2 \quad j = 24 \quad j$ $314 \quad j$ | $300 \times 1,4 \quad j = 420 \quad j$ $3 \times 7 \times 2 \quad j = 42 \quad j$ $462 \quad j$ |
| 3. Łączny koszt urządzeń końcowych i linii | 323,3 j | 485,3 j | 633,3 j |

7.3. Zestawienie uzyskanych wyników

Wyniki analizy zaprezentowano w tabl. 22.

Uzyskane wyniki wskazują, że systemy o hierarchii opartej na przepływności 155 Mbit/s zawsze dają najniższe koszty. Wynik ten jest zrozumiały, jeżeli się zważy, że przy takich samych kosztach traktów o wyniku decyduje koszt urządzeń końcowych, który w nowo proponowanej hierarchii jest szczególnie niski, dzięki zastosowaniu taniej techniki zwielokrotnienia.

Tablica 22

| Liczba łączy | Systemy | Koszty w jednostkach umownych (j) | | | | | | | | | |
|-----------------|------------------|-----------------------------------|---------------------------------|------|-------|-------|-----|-----|-------|--------|--------|
| | | Urządze- nia kor- cowe | całkowite linie o długości [km] | | | | | | | | |
| | | | 5 | 15 | 30 | 40 | 100 | 200 | 300 | | |
| 480 | 4x8 Mbit/s | 9,2 | 33,2 | 57,2 | - | - | - | - | - | - | - |
| | 1x34 Mbit/s | 7,5 | 22,5 | 37,5 | - | - | - | - | - | - | - |
| | 1x155 Mbit/s | 5,6 | 20,6 | 35,6 | - | - | - | - | - | - | - |
| 1920 | 4x34 Mbit/s | 30,0 | 54 | - | 94,0 | 198,0 | - | - | - | - | - |
| | 1x140 Mbit/s | 29,6 | 44,6 | - | 69,6 | 131,6 | - | - | - | - | - |
| | 1x155 Mbit/s | 15,2 | 30,2 | - | 55,2 | 117,2 | - | - | - | - | - |
| 7680 | 4x140 Mbit/s | 118,4 | - | - | 182,4 | 294,4 | - | - | - | - | 654,4 |
| | 4x155 Mbit/s | 60,8 | - | - | 124,8 | 236,8 | - | - | - | - | 596,8 |
| | 1x(4x155) Mbit/s | 58,8 | - | - | 98,8 | 162,8 | - | - | - | - | 372,8 |
| 23020 | 12x140 Mbit/s | 355,2 | - | - | - | - | - | - | 723,2 | 1091,2 | 1483,2 |
| | 12x155 Mbit/s | 182,2 | - | - | - | - | - | - | 550,4 | 550,4 | 1310,4 |
| | 3x(4x155) Mbit/s | 171,3 | - | - | - | - | - | - | 323,3 | 485,3 | 633,3 |

8. PRZYKŁAD REALIZACJI SIECI STREFOWEJ ZA POMOCĄ SYSTEMU STM-1

Na rys. 9 podano przykład sieci strefowej, do realizacji której zastosowano system o przepływności 155 Mbit/s (STM-1). Zaznaczona na tym rysunku grubą kreską linia teletransmisyjna zapewnia połączenie dwóch central okręgowych (CO) jednej centrali miejskiej głównej CMG i dwóch wiejskich central końcowych CWK z ich nadrzędną centralą strefową CS, a także połączenia CO - CO oraz CO - CMG. W skład tej linii wchodzi dwie stacje końcowe SK1 i SK2 oraz 3 stacje transferowe ST1, ST2 i ST3 (wszystkie systemu STM-1). Ostatni odcinek omawianej linii zrealizowano w systemie klasycznym 8 Mbitowym. Na rysunku tym określono również wymagane wiązki łączy telefonicznych i odległości między centralami, które są ze sobą połączone. Niżej oszacowano koszty (w jednostkach umownych) urządzeń teletransmisyjnych i kabla, które są potrzebne do realizacji wymaganych łączy. Dla przeprowadzenia analizy porównawczej kosztów realizacji rozpatrzono również warianty realizacji tej nowej sieci za pomocą systemów klasycznych (warianty 2, 3 i 4).

Wariant 1. Realizacja połączeń przedstawionych na rys. 9a za pomocą systemu 155 Mbit/s (STM-1)

- 1) Koszty urządzeń końcowych: 27,1 j;
- stacja SK1 - krotka zawierająca: 16 kompletów kanałowych 4x2/155 Mb, 1 urządzenie grupowe i zakończenie optyczne traktu - 7,6 j;
 - stacja ST1 - urządzenia transferowe zawierające: 1 komplet kanałowy 4x2/155 Mb, 2 urządzenia grupowe UG-155, 2 zakończenia optyczne traktu - 2,8 j;

- stacja ST2 - urządzenia transferowe zawierające:
20+4 komplety kanałowe 4x2/155 Mb,
2 urządzenia grupowe UG 155 Mb, 2 zakończenia optyczne traktu - 4,8 j;
- stacja ST3 - urządzenie transferowe zawierające:
5+2 komplety kanałowe 4x2/155 Mb,
2 urządzenia grupowe UG 155 Mb, 2 zakończenia optyczne traktu ZOT - 5,2 j;
- stacja SK2 - krotnica zawierająca:
1+5+2 komplety kanałowe 4x2/155 Mb,
urządzenie grupowe UG 155 Mb, zakończenie optyczne traktu oraz krotnica 4x2/8 Mb i urządzenie końcowe traktu liniowego 8 Mb - 5,55 j;
- stacja SK3 - krotnica 4x2/8 Mb
urządzenie końcowe traktu liniowego 1,15 j.

2) Koszty kabla z czterema torami światłowodowymi o łącznej długości 55 km - 55 j.

Całkowite koszty linii wg wariantu 1 (uwzględniając tylko urządzenia wielokrotne i kabel) wynoszą - 82,1.

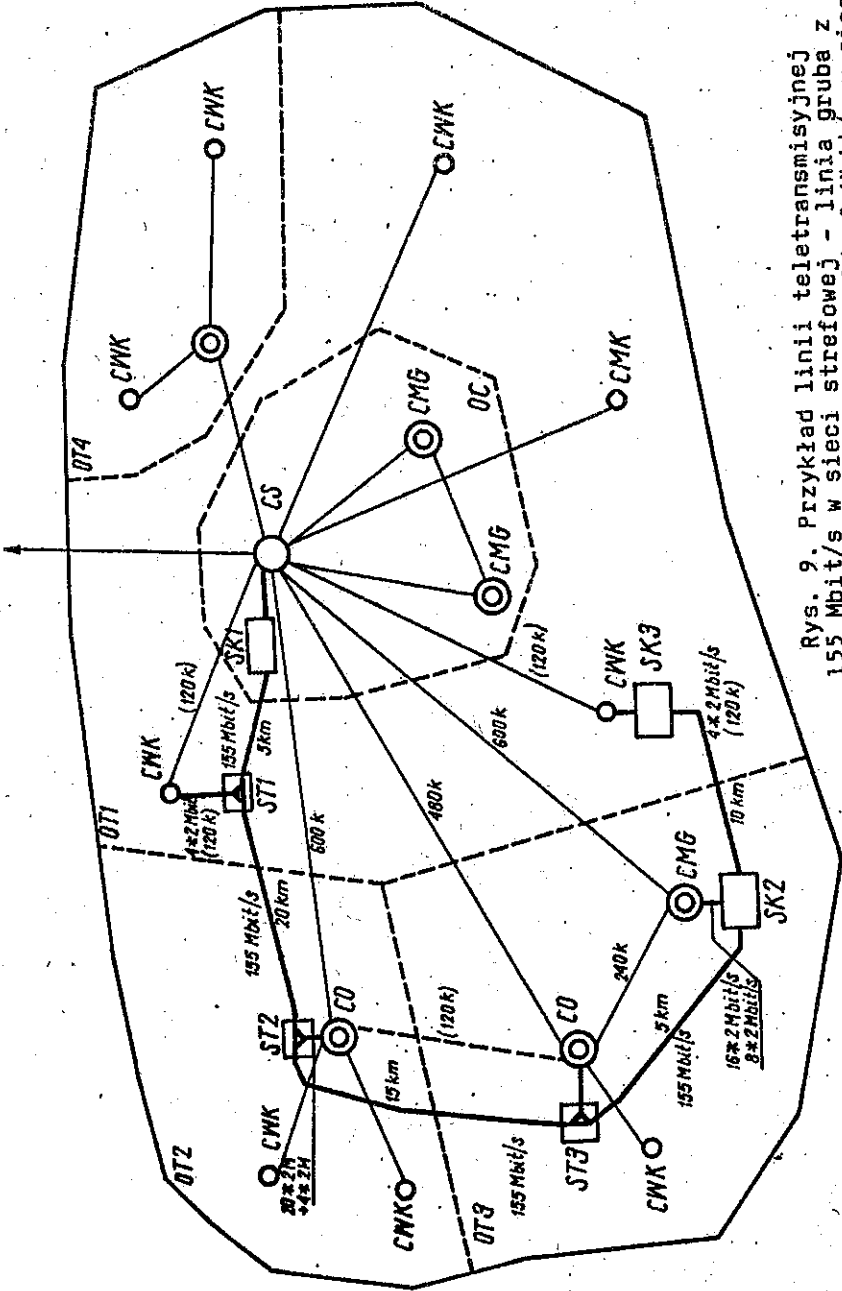
Struktura tej linii przedstawiona została na rys. 10.

Wariant 2. Realizacja linii z rys. 9a za pomocą systemów klasycznych

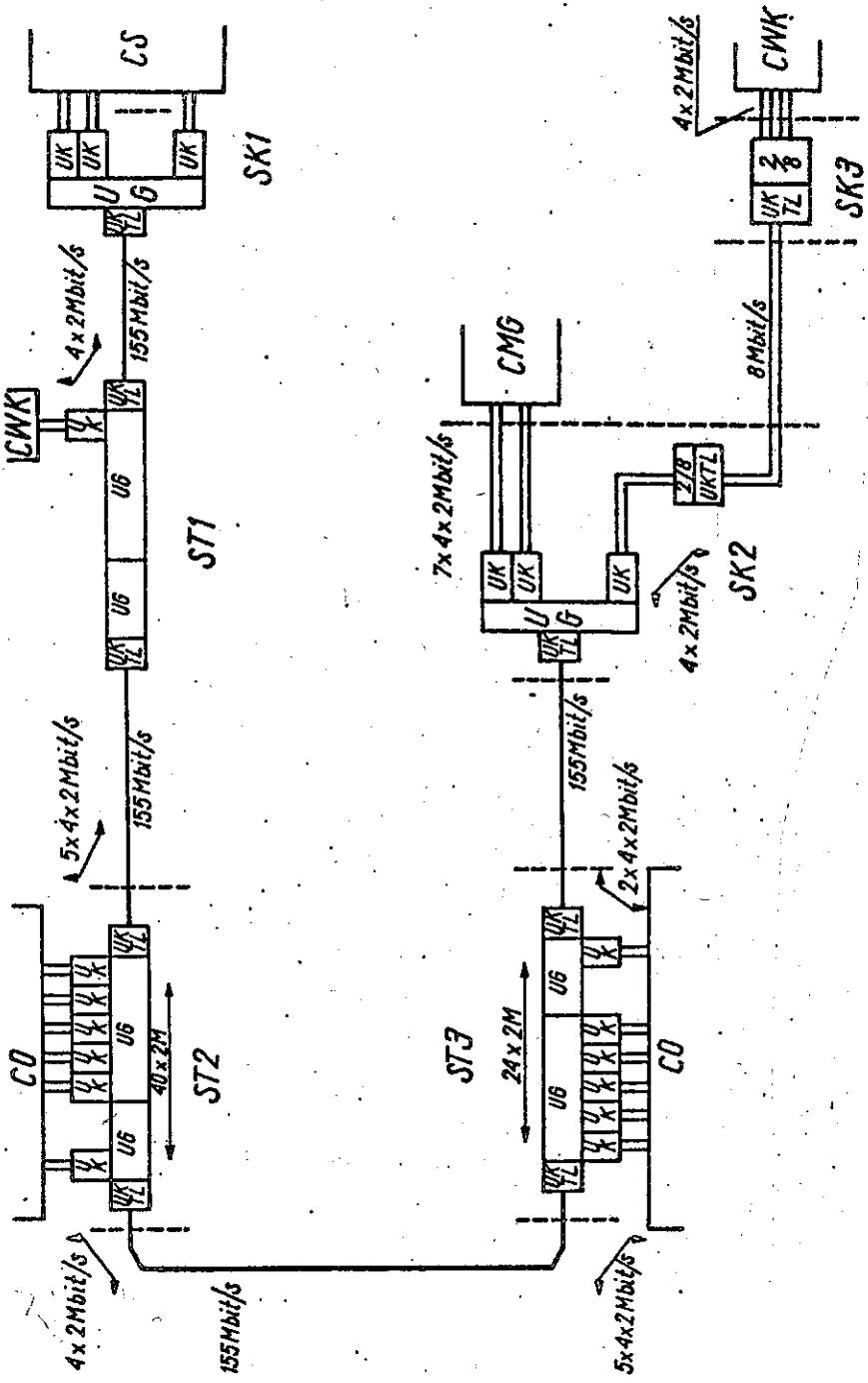
Stacje SK1 - ST1, SK2 - SK3 połączono systemem 8 Mbit/s.
Stacje SK1 - ST2, ST2 - ST3, ST3 - SK2, połączono systemem 140 Mbit/s.

1) Koszt urządzeń końcowych:

- stacja SK1: 16 krotnic 4x2/8, 4 krotnice 4x8/34 krotnica 4x34/140, UKTL 140 i UKTL8 - koszt 15,4 j.
- stacja ST1: krotnica 4x2/8 i UKTL8 - koszt 1,15 j.
- stacja ST2: 2 UKTL140, 2 krotnice 4x2/8 szt. 6, 4x8/34 szt. 3; 4x34/140 szt. 2 - koszt 11,55 j.



Rys. 9. Przykład linii teletransmisyjnej 155 Mbit/s w sieci strefowej - linia gruba z transferem bezpośrednim sygnałów 2 Mbit/s w sieci wewnętrzzstrefowej. Oznaczenia:
 CS - centrala strefowa, CO - centrala okręgowa, CMG - centrala miejska główna, CWK - centrala wiejska końcowa, SK - stacja końcowa, ST - stacja transferowa



Rys. 10 Struktura linii 155 Mbit/s + 8 Mbit/s

- stacja ST3: UKTL 140 szt. 2, krotnice 4x2/8 szt. 7, 4x8/34 szt. 3, 4x34/140 szt. - 2 koszt 12,1 j.
 - stacja SK2: UKTL 140 szt. 1 UKTL 8 szt. 1 krotnice 4x2/8 szt. 7, 4x8/34 szt. 2, 4x34/140 szt. 1 - koszt 8,15 j.
 - stacja SK3: UKTL8 i krotnica 4x2/8 - koszt 1,35 j.
- Przybliżony koszt urządzeń końcowych - 50 j.

2) Koszt kabla światłowodowego:

- 4 włókna 45 km - koszt jednostkowy 1;
- 6 włókien 5 km - koszt jednostkowy 1,2

Koszt całkowity kabla - 51 j.

Wariant 3. Realizacja linii z rys. 9 za pomocą systemów klasycznych w strukturze promieniowej z minimalizacją torów światłowodowych

Stacje SK1 - ST1, SK1 - SK3, ST2 - ST3 połączono systemem 8 Mbit/s.

Stacje SK1 - ST3, ST3 - SK2 połączono systemem 34 Mbit/s.

Stacje SK1 - ST2, SK1 - SK2 połączono systemem 140 Mbit/s. Koszt urządzeń końcowych - 40 j. Koszt kabla światłowodowego o długości 95 km - 95 j.

Wariant 4. Realizacja linii z rys. 9 za pomocą systemów klasycznych w strukturze promieniowej z minimalizacją kosztu urządzeń końcowych

Stacje SK1 - ST1, ST2 - ST3, SK1 - SK3, ST3 - SK2, SK1 - ST2, SK1 - SK2, połączono systemem 8 Mbit/s.

Stacje SK1 - ST2, SK1 - ST3, SK1 - SK2 połączono systemem 34 Mbit/s.

Koszt urządzeń końcowych - 19 j.

Koszt kabla światłowodowego - 104 j.

Zestawienie kosztów przedstawiono w tablicy 23

Tablica 23

| Sposób realizacji | Koszt urządzeń końcowych [j] | Koszt kabla [j] | Koszt całkowity [j] |
|--|------------------------------|-----------------|---------------------|
| Wariant 1: System STM-1 155 Mbit/s - 8 Mbit/s | 25,45 | 55 | 80,45 |
| Wariant 2: Systemy klasyczne (linia jak na rys. 9) | 50 | 51 | 101 |
| Wariant 3: Systemy klasyczne (minimum kosztu światłowodów) | 40 | 95 | 135 |
| Wariant 4: Systemy klasyczne (minimum kosztu krotnic) | 19 | 104 | 123 |

9. WNIOSKI KOŃCOWE

1. Z przewidywanego rozwoju sieci telefonicznej w Polsce do 2010 r. (zakładany na 2010 r. stopień telefonizacji 52 ab/100 mieszkańców) wynika, że pożądana przepustowość linii dalekosiężnych w sieci międzymiastowej będzie się zawierała w większości przypadków w granicach 7000 - 40000 łączy (patrz pkt. 3.3). Prowadzi to do wniosku, że w sieci tej powinno się stosować systemy o krotnościach większych od 1920, a więc systemy SDH, ponieważ powyżej krotności 1920 CCITT zaleca stosowanie tylko synchronicz-

nej hierarchii SDH, której podstawowym ogniwem jest system o przepływności 155 Mbit/s (STM-1).

2. W przeciwieństwie do klasycznych systemów cyfrowych, których przepływności znormalizowane w latach siedemdziesiątych dostosowane zostały do ówczesnych mediów transmisyjnych (kable metalowe symetryczne i współosiowe) systemy SDH przewidziane zostały do perspektywicznego medium transmisyjnego, tj. światłowodowych kabli jednomodowych.
3. Z porównawczej analizy ekonomiczno-technicznej przeprowadzonej w pkt. 7 wynika, że stosowanie systemów STM-1 o przepływności 155 Mbit/s jest bardziej opłacalne od stosowania klasycznych systemów cyfrowych (8, 34 i 140 Mbit/s) na liniach o przepustowości równej lub większej od 480 kanałów i o długości powyżej 5 km. Oznacza to, że może być ekonomicznie uzasadnione stosowanie systemu STM-1 we wszystkich płaszczyznach sieci, w tym również w sieciach strefowych - poczynając od linii międzycentralowych (CK - CO) wzwyż. Dla linii dalekosiężnych o przepustowościach dużo większych od 1920 kanałów bardziej ekonomicznymi będą systemy o wyższych krotnościach, tj. STM-4 (4x155 Mbit/s) i STM-16 (16x155 Mbit/s) ze względu na to, że na długich liniach o ich kosztach całkowitych decydują tory światłowodowe.
4. Systemy SDH nadają się zwłaszcza do budowy ekonomicznych sieci o strukturze wielobocznej z dużą liczbą central tranzytowych. Systemy te umożliwiają tworzenie linii o konfiguracji pętlowej obejmujących swym zasięgiem wiele central. Zapewnia to dużą niezawodność sieci dzięki istnieniu wielu dróg obejściowych, co ma też duże znaczenie strategiczne.
5. Cechą charakterystyczną systemu STM-1 jest możliwość bezpośredniego wydzielenia z sygnału zbiorczego 155 Mbit/s grup cyfrowych niższego rzędu, z których został on utwo-

rzony. Ponieważ współpraca z centralami elektronicznymi odbywa się na poziomie 2 Mbit/s, system STM-1 powinien zapewniać możliwość wydzielania grup 2 Mbit/s, a stąd wniosek, że krotnice tego systemu powinny być realizowane na drodze zwielokrotnienia 2/155 Mbit/s. Potrzeba realizacji i stosowania innych wariantów zwielokrotnienia typu 8/155, 34/155 i 140/155 Mbit/s uzależniona jest od zapotrzebowania na transfer grup cyfrowych na poziomie wyższym niż 2 Mbit/s. Potrzeba taka może wystąpić w przypadku transmisji sygnałów szerokopasmowych, np. sygnałów telewizyjnych przesyłanych w grupie cyfrowej 34 Mbit/s.

6. Systemy SDH ze względu na łatwość wydzielania z sygnału zbiorczego grup cyfrowych niższego rzędu umożliwiają stosowanie w sieci urządzeń do automatycznej komutacji grup cyfrowych zapewniających dużą elastyczność sieci (możliwość rekonfiguracji sieci, tworzenie dróg obejściowych itp.) a także niezbędnych w przyszłościowej szerokopasmowej sieci ISDN.
7. Z uwagi na przyjętą dużą nadmiarowość przepływności 155 Mbit/s i system nagłóweków, w których przesyłane są informacje o stanie i jakości transmisji kontenerów (grup cyfrowych), systemy SDH z założenia zostały dostosowane do wymogów nowoczesnych scentralizowanych systemów nadzoru i utrzymania sieci telekomunikacyjnych.
8. Pod względem technologicznym realizacja urządzeń zwielokrotnienia 2/155 Mbit/s w systemie STM-1 jest prostsza od realizacji klasycznej asynchronicznej krotnicy 34/140 Mbit/s, ponieważ bajtowa struktura ramki STM-1 umożliwia przeprowadzenie większości operacji zwielokrotnienia w kodzie równoległym co zapewnia - 8-krotne zmniejszenie szybkości działania układów elektronicznych.

WYKAZ LITERATURY

1. CCITT: Doc. AP-IX-142-E, Rec G.707 - Synchronous digital hierarchy bit rates.
2. CCITT: Doc. AP-IX-142-E, Rec. G.708 - Network node interface for the synchronous digital hierarchy.
3. CCITT: Doc. AP-JX-142-E, Rec. G.709 - Synchronous multiplexing structure.
4. CCITT: COM. XV-R28-E, Draft Rec. G. smux-1 - Structure of Recommendation on multiplexing equipment for the synchronous digital hierarchy.
5. CCITT: COM. XV-R28-E, Draft Rec. G.smux-2 - General characteristics of SDH multiplexing equipment types.
6. CCITT: COM. XV-R-28-E, Draft Rec. G.smux-3 - Characteristics of SDH equipment functional blocs.
7. CCITT: COM. XV-R-28-E, Draft Rec. G.smux-4 - SDH management.
8. Miura H.: New synchronous transmission network design philosophy. NTT Review, Vol. 1, No 3, 1989.
9. Maki K.: Synchronous digital transmission systems with NNI. NTT Review, Vol. 1, No 3, 1989.

W rozdziałach 2 i 3 wykorzystano nie publikowane materiały opracowane przez mgr inż. E. Kubasa i mgr inż. A. Boglewskiego.

ISSN 0209-1046

