

**INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI**  
WARSAWA-MIEDZESZYN

**BIULETYN**

**INFORMACYJNY**

**4 (204)**

**1981**



MINISTERSTWO ŁĄCZNOŚCI

---

# BIULETYN INFORMACYJNY

ROK 21

WARSZAWA 1981

NR 4/204/

---

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI  
Branżowy Ośrodek  
Informacji Naukowej, Technicznej i Ekonomicznej

Redakcja Biuletynu Informacyjnego

---

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

Redaktorzy działów:

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

Adres Redakcji:

Instytut Łączności

Branżowy Ośrodek

Informacji Naukowej, Technicznej i Ekonomicznej

Warszawa - Miedzeszyn, ul. Szachowa 1

NA PRAWACH RĘKOPISU - DO UŻYTKU SŁUŻBOWEGO

Redaktor: mgr K. Juszkiewicz

Montaż tekstu: B. Drabik

---

Dział Wydawniczy Instytutu Łączności  
Format B5. Nakład 625. Wpłynęło do  
Działu Wydawniczego 6.VIII.1981 r.  
Druk ukończono we wrześniu 1981 r.

Mirosław Żurawski  
Marek Oczkowski  
Jan Mieszczanek

## KROTNICE CYFROWE DRUGIEGO RZĘDU Z RAMKĄ UNIWERSALNĄ

### SPIS TREŚCI

	Str.
1. Wprowadzenie	1
2. Tendencje w zakresie rozwoju sieci cyfrowej	2
2.1. Cyfryzacja sieci telekomunikacyjnej	2
2.2. Ogólna charakterystyka i tendencje rozwojowe teletransmisyjnych systemów cyfrowych	3
2.3. Ogólna charakterystyka i tendencje rozwojowe systemów komutacji cyfrowej	6
2.4. Synchronizacja sieci	9
3. Ogólna charakterystyka techniki zwielokrotnienia cyfrowego	10
3.1. Wstęp	10
3.2. Dopełnianie impulsowe	12
3.3. Porównanie metod dopełniania impulsowego	14
3.3.1. Możliwość przejścia od pracy asynchronicznej do pracy synchronicznej	15
3.3.2. Możliwość korekcji przekłamań komend dopełniania	15
3.3.3. Odporność na powielanie utraty fazowania ramki	17
3.3.4. Fluktuacje fazy sygnału	17
4. System cyfrowy drugiego rzędu z ramką uniwersalną	19
4.1. Wstęp	19
4.2. Struktura ramki uniwersalnej 8448 kbit/s	19
4.3. Realizacja krotnic cyfrowych 4x2048 kbit/s z ramką uniwersalną	22
5. Analiza możliwości i zakresu zastosowania systemu cyfrowego drugiego rzędu z ramką uniwersalną w sieci krajowej	23
5.1. Model przyszłościowej sieci cyfrowej	23
5.2. Możliwości realizacji pola komutacyjnego dla traktów cyfrowych 8 Mbit/s	24

	Str.
5.3. Etapy cyfryzacji sieci krajowej	26
5.4. Wykorzystanie systemu cyfrowego drugiego rzędu w sieci krajowej w zależności od cyfryzacji węzłów komutacyjnych	26
5.5. Współpraca w sieci międzynarodowej	28
6. Podsumowanie	29
Wykaz literatury	30

Mirosław Żurawski  
Marek Oczkowski  
Jan Mieszczanek

621.395.452:621.376.56

## KROTNICE CYFROWE DRUGIEGO RZĘDU Z RAMKĄ UNIWERSALNĄ

### 1. WPROWADZENIE

Niniejsze opracowanie poświęcone jest analizie zakresu zastosowania w krajowej sieci telekomunikacyjnej krotnic cyfrowych drugiego rzędu z ramką uniwersalną. Jak wiadomo, w kraju został opracowany i wdrożony do produkcji system cyfrowy drugiego rzędu TCC-120. Krotnice cyfrowe 2/8 Mbit/s wchodzące w skład tego systemu zrealizowane zostały na podstawie zalecenia CCITT o symbolu G.742, tzn. na zasadzie asynchronicznego zwielokrotnienia cyfrowego z dopełnianiem dodatnim. Równocześnie decyzją Stałej Komisji Łączności RWPG przyjęta została jednolita metoda zwielokrotnienia cyfrowego dla systemów drugiego i wyższych rzędów, polegająca na zastosowaniu dopełniania dodatnio-ujemnego. W szczególności dla systemów cyfrowych drugiego rzędu przyjęta została przez SKŁ tzw. ramka uniwersalna 8 Mbit/s. Ustalenia SKŁ dotyczą przede wszystkim sieci WAKSS, ale również w znacznym stopniu sieci krajowych.

W aktualnej sytuacji istnieje więc pilna potrzeba określenia zakresu zastosowania w sieci krajowej zarówno opracowanego systemu TCC-120 z dopełnianiem dodatnim, jak i systemu drugiego rzędu z ramką uniwersalną z uwzględnieniem: tendencji w zakresie ewolucji sieci telekomunikacyjnej, rozwoju techniki transmisji i komutacji, konieczności współpracy z krajami stosującymi dopełnianie dodatnie i dopełnianie dodatnio-ujemne, wymagań abonentów specjalnych, łatwości nadzoru i utrzymania sieci, konieczności amortyzacji nakładów poniesionych na opracowanie i wdrożenie do produkcji systemu TCC-120 itp.

Właściwa analiza zakresu zastosowania obu powyższych systemów w sieci krajowej poprzedzona jest w tym opracowaniu ogólną charakterystyką tendencji rozwojowych w zakresie teletransmisji i komutacji cyfrowej, charakterystyką stosowanych metod zwielokrotnienia cyfrowego oraz charakterystyką systemu drugiego rzędu z ramką uniwersalną.

## 2. TENDENCJE W ZAKRESIE ROZWOJU SIECI CYFROWEJ

### 2.1. Cyfryzacja sieci telekomunikacyjnej

Zalety techniki cyfrowej w zastosowaniu do techniki teletransmisji i techniki komutacji, a zwłaszcza przy integracji obu tych technik, zadecydowały, iż obecnie cyfryzacja sieci telekomunikacyjnej jako docelowy kierunek ewolucji sieci nie budzi żadnych zastrzeżeń.

W dotychczasowej sieci telekomunikacyjnej stosowane są dwa rodzaje technik dotyczących teletransmisji i komutacji - analogowa i cyfrowa. Za pomocą tych technik możliwa jest realizacja łącza telekomunikacyjnego w sposób czysto analogowy, czysto cyfrowy lub w sposób mieszany (rys. 1/). Technika cyfrowa, zastosowana tylko w jednej z powyższych dziedzin nie zapewnia takich korzyści, jakie daje pełna cyfrowa integracja obu technik, przy której wymagana liczba sprzętu jest minimalna. Prócz niewątpliwych korzyści ekonomicznych, czysto cyfrowa sieć telekomunikacyjna zapewnia szereg innych zalet natury technicznej. Z teletransmisyjnych zalet cyfrowej sieci zintegrowanej wymienić należy przede wszystkim:

- stałą i niezależną od długości łącza i liczby stopni komutacji tłumienność wynikową łącza, która może być ponadto bliska optymalnej wartości wynoszącej ok. 9 dB;
- brak kłopotliwego w sieci analogowej zjawiska echa;
- lepszą jakość transmisji niż w przypadku sieci analogowej, wynikającą z lepszych parametrów transmisyjnych systemów cyfrowych, zwłaszcza w zakresie szumów, przeników zrozumiałych, zniekształceń tłumieniowych i opóźnień.

W zakresie komutacji zintegrowana sieć cyfrowa zapewnia m.in. następujące korzyści:

- możliwość marszrutowania ruchu w każdej centrali elektronicznej;
- krótszy czas zestawiania połączeń;
- możliwość docelowej realizacji integracji usług.

Przejęcie od istniejącej sieci analogowej do zintegrowanej technicznie sieci cyfrowej będzie się dokonywać stopniowo, w ciągu stosunkowo długie-



go czasu. Strategia cyfryzacji sieci, poza względami ekonomicznymi, uwzględnić musi warunek, ażeby w najmniej korzystnym etapie przejściowym jakość transmisji pozostawała w dopuszczalnych granicach. Pod tym względem w okresie przejściowym najmniej korzystnym przypadkiem jest etap, w którym występuje komutacja cyfrowa i transmisja analogowa, ponieważ jak to wynika z rys. 1/liczba sprzętu, a tym samym liczba przemienników A/C i C/A, jest wtedy największa.

Przy 8-bitowym kodowaniu sygnału telefonicznego dopuszcza się dla jednego łącza 14 szeregowych przemian A/C - C/A. Należy przy tym podkreślić, że zwiększenie liczby przemian o dalsze 8 powoduje zwiększenie szumów kwantyzacji tylko o 2 dB, co tylko nieznacznie wpływa na jakość transmisji.

Strategia cyfryzacji sieci powinna być zatem podyktowana przede wszystkim względami ekonomicznymi, a m.in. powinny być przestrzegane następujące zasady:

- rozbudowa lub wymiana central komutacyjnych albo systemów teletransmisyjnych wykorzystywanych do uwielokrotnienia łączy międzycentralowych powinna być dokonywana za pomocą urządzeń cyfrowych;
- należy cyfryzację wprowadzać jednocześnie do obu technik, tworząc w ten sposób wyspy cyfrowe /cyfryzacja komutacji i teletransmisji może być dokonywana niezależnie od siebie, jednakże rozwiązania mieszane wymagają większej liczby sprzętu/.

## 2.2. Ogólna charakterystyka i tendencje rozwojowe teletransmisyjnych systemów cyfrowych

Stan zaawansowania techniki w zakresie teletransmisyjnych systemów cyfrowych jest różny w różnych krajach. W większości wysoko i średnio uprzemysłowionych krajów produkowany jest na dużą skalę system PCM pierwszego rzędu o krotności 30 /Europa/ lub 24 /Ameryka i Japonia/.

W Polsce produkowany jest seryjnie system TCK-30, wykorzystywany w sieciach miejscowych, głównie do współpracy z centralami elektronicznymi E-10. Dalszy rozwój w zakresie teletransmisyjnych systemów cyfrowych ukierunkowany jest na świećcie na opracowanie oraz wdrożenie do produkcji i eksploatacji systemów cyfrowych o średniej i dużej krotności oraz na cyfryzację łącza abonenckiego. W krajach europejskich przyjęta została jednolita hierarchia systemów cyfrowych, zgodnie z którą dla poszczególnych systemów

cyfrowych ustalono następujące przepływności binarne sygnału liniowego:

- 2048 kbit/s - dla systemu cyfrowego pierwszego rzędu /PCM-30/;
- 8448 kbit/s - dla systemu cyfrowego drugiego rzędu;
- 34368 kbit/s - dla systemu cyfrowego trzeciego rzędu;
- 139264 kbit/s - dla systemu cyfrowego czwartego rzędu.

Dla każdej z powyższych przepływności opracowane zostały lub są w trakcie opracowania urządzenia traktów liniowych, które mają charakter uniwersalny z punktu widzenia struktury binarnej przesyłanego sygnału cyfrowego. Na obu końcach traktu liniowego określone zostały ściśle parametry punktów styku, dzięki czemu urządzenia traktów liniowych mogą współpracować z dowolnymi urządzeniami końcowymi /źródłami sygnału cyfrowego/ o danej przepływności binarnej. Trakty liniowe systemów cyfrowych mogą być realizowane jako trakty kablowe, radiojiniowe, światłowodowe lub satelitarne. W zależności od rodzaju traktu liniowego i przepływności binarnej mogą być stosowane różnego rodzaju kody liniowe, optymalne pod względem parametrów transmisyjnych /np. kody wielopoziomowe/. W rezultacie szybkość transmisji w linii może się różnić od przepływności podanych powyżej, jednakże każdorazowo przepływność binarna wejściowa i wyjściowa jest ściśle określona ze względu na normalizację parametrów punktów styku. Trakt liniowy, składający się z dwóch urządzeń końcowych traktu liniowego oraz linii transmisyjnej wraz ze stacjami regeneracyjnymi obsługiwany i nieobsługiwany, stanowi odrębną całość i z punktu widzenia przesyłanych sygnałów powinien być przezroczysty.

W zakresie urządzeń końcowych /krotnic/ systemów cyfrowych, w zależności od przepływności binarnej stosowane są lub przewidywane do stosowania następujące rodzaje urządzeń.

a. Dla przepływności 2048 kbit/s:

- krotnice PCM-30, dokonujące przetworzenia 30 analogowych sygnałów telefonicznych w sygnał cyfrowy 2048 kbit/s z wykorzystaniem modulacji impulsowo-kodowej i odwrotnie; z krotnicą PCM-30 mogą współpracować urządzenia cyfrowe o przepływności binarnej 64 kbit/s lub  $n \times 64$  kbit/s, np. urządzenia zwielokrotnienia sygnalizacji lub urządzenia transmisji danych;
- transkrotnica FDM-60 /  $2 \times$ PCM-30, realizująca przetworzenie analogo-

wej 60-kanalowej grupy wtórnej w dwa sygnały cyfrowe każdy o przepływności 2048 kbit/s oraz ramce odpowiadającej krotnicy PCM-30 i odwrotnie;

- urządzenia transmisji danych o przepływności 2048 kbit/s.

b. Dla przepływności 8448 kbit/s:

- krotnica cyfrowa 4x2048 kbit/s, realizująca zwielokrotnienie czterech sygnałów cyfrowych 2048 kbit/s w jeden sygnał cyfrowy 8448 kbit/s i odwrotnie; w zależności od metody zwielokrotnienia /synchroniczna lub asynchroniczna/ może występować w sieci kilka rodzajów tego typu krotnic;

- krotnica PCM-128 /PCM-120/, realizująca przetworzenie 128 /120/ analogowych sygnałów telefonicznych w sygnał cyfrowy 8448 kbit/s i odwrotnie; krotnica tego typu realizowana jest na tej samej zasadzie co krotnica PCM-30, tzn. z wykorzystaniem modulacji impulsowo-kodowej;

- kodek FDM-60, realizujący przetworzenie analogowej 60-kanalowej grupy wtórnej w sygnał cyfrowy 8448 kbit/s i odwrotnie; ze względu na pewną nadmiarowość przepływności 8448 kbit/s dla tego celu, możliwa jest realizacja kodeka, w którym 60-kanalowa grupa FDM uzupełniana jest sygnałem cyfrowym 2048 kbit/s;

- kodek sygnału wizjofonicznego, realizujący przetworzenia sygnału wizjofonicznego na sygnał cyfrowy 8448 kbit/s i odwrotnie;

- urządzenia transmisji danych o przepływności 8448 kbit/s.

c. Dla przepływności 34368 kbit/s:

- krotnica cyfrowa 4x8448 kbit/s, realizująca zwielokrotnienie czterech sygnałów cyfrowych 8448 kbit/s w jeden sygnał cyfrowy 34368 kbit/s i odwrotnie;

- inne źródła i odbiorniki informacji cyfrowej o przepływności binarnej 34368 kbit/s.

d. Dla przepływności 139264 kbit/s:

- krotnica cyfrowa 4x34368 kbit/s, realizująca zwielokrotnienie czterech sygnałów 34368 kbit/s w jeden sygnał cyfrowy 139264 kbit/s i odwrotnie;

- kodeki sygnałów szerokopasmowych /telewizyjnych, grup FDM/ o przepływności binarnej 139264 kbit/s.

Dodatkowo, z punktu widzenia urządzeń traktu liniowego, źródłem lub odbiornikiem informacji cyfrowej jest również centrala komutująca sygnały cyfrowe i wówczas trakt liniowy współpracuje bezpośrednio z tą centralą. W chwili obecnej stosowane są centrale elektroniczne o wyjściowej przepływności binarnej 2048 kbit/s, jednakże w przyszłości mogą być stosowane również dla przepływności 8448 i 34368 kbit/s.

### 2.3. Ogólna charakterystyka i tendencje rozwojowe systemów komutacji cyfrowej

Komutacja sygnałów cyfrowych dokonywana jest w układzie dwutorowym, tzn. do realizacji połączenia niezbędna jest komutacja dwóch kanałów odpowiadających obu kierunkom transmisji. W technice komutacji cyfrowej wykorzystywane są dwa rodzaje urządzeń komutacyjnych /pól komutacyjnych/: z czasowym i przestrzennym rozdziałem kanałów.

Pola komutacyjne z podziałem przestrzennym, w których łącza przychodzące i wychodzące z centrali łączone są ze sobą w sposób trwały na cały czas trwania połączenia, realizowane są za pomocą elementów elektromechanicznych /matryc przekaźnikowych lub miniaturowych wybieraków krzyżowych/. Natomiast pola komutacyjne z podziałem czasowym realizowane są za pomocą kanałów czasowych tworzonych na czas trwania połączenia. Możliwe jest również tworzenie mieszanych struktur pól komutacyjnych na zasadzie kombinacji stopni czasowych i przestrzennych, np. pól czasowo-przestrzenno-czasowych lub przestrzenno-czasowo-przestrzennych.

W systemach komutacji cyfrowej komutowane są zwykle sygnały o modulacji impulsowo-kodowej doprowadzane do układu komutacyjnego poprzez szereg traktów liniowych systemów PCM. Stosowane są przy tym następujące zasady:

- centrale cyfrowe łączone są między sobą traktami PCM, krotnice PCM nie są wówczas wykorzystywane;
- przy połączeniu centrali cyfrowej z centralą elektromechaniczną traktem cyfrowym krotnice PCM znajdują się po stronie centrali elektromechanicznej, a przy połączeniu traktem analogowym - po stronie centrali cyfrowej;

- abonenci dołączeni są do centrali cyfrowej poprzez koncentrator /odległy lub bliski/ zawierający krotnice PCM.

Uproszczony schemat blokowy centrali cyfrowej zrealizowanej według powyższych zasad przedstawiony jest na rys. 2.

Komutacja z rozdziałem czasowym polega na zestawianiu dróg transmisji wielu informacji w kolejno po sobie następujących kanałach czasowych, realizowanych na jednej fizycznie drodze transmisyjnej, zwanej telestradą. Każda komutowana para łączy przyłączana jest do telestrady na okres trwania kanału czasowego przydzielonego dla tego połączenia. W ogólnym przypadku gdy do układu komutacyjnego doprowadzone są trakty PCM, komutacja z rozdziałem czasowym polega na przekazywaniu  $\delta$ -bitowych słów kodowych z odpowiedniej szczeliny czasowej przyściowego traktu PCM do odpowiedniej szczeliny czasowej traktu wyjściowego. Zwykle kanał przyściowy zajmuje inną pozycję w ramce niż kanał wyjściowy. Oznacza to, że informacja z kanału czasowego przyściowego musi w urządzeniu komutacyjnym przeczekać /być opóźniona/ do pozycji czasowej kanału wyjściowego i wtedy może być do niego transmitowana. Takie przeczekanie realizowane jest za pomocą pamięci buforowej, do której wpisuje się informację w okresie trwania kanału przyściowego, a odczytuje w okresie trwania kanału wyjściowego. Mamy tu więc do czynienia z dwoma układami komutacji: między traktami przyściowymi i komórkami pamięci oraz między komórkami pamięci i traktami wyjściowymi. Sterowanie zapisem i odczytem informacji pamięci buforowej realizowane jest za pomocą dodatkowej pamięci sterowania.

Rozróżnia się przy tym dwa rodzaje sterowania procesem komutacji. W pierwszym przypadku układ komutacji sterowany jest na wejściu, tzn. słowa pamięci buforowej związane są z kanałami czasowymi telestrady i zapamiętywane są w pamięci w kolejności numerów kanałów na łączy wyjściowym. Zapis pamięci odbywa się pod nadzorem pamięci sterowania, natomiast odczyt realizowany jest cyklicznie słowo po słowie. W drugim przypadku słowa pamięci buforowej związane są z kanałami traktu wejściowego. Zapis pamięci dokonywany jest więc cyklicznie, natomiast odczyt odbywa się pod nadzorem pamięci sterowania.

W ogólnym przypadku gdy do układu komutacji doprowadzonych jest  $t$  traktów PCM o liczbie kanałów  $k$ , układ komutacyjny powinien zestawiać  $t \cdot k$  połączeń jednokierunkowych. Oznacza to, że przy bezpośrednim komutowaniu telestrada /łącze wielokrotne/ powinna dysponować  $t \cdot k$  kanałami czasowymi.

Przy polach o dużej pojemności prowadzi to do zbyt dużej przepływności sygnału cyfrowego w łączy wielokrotnym i dlatego w układach komutacyjnych stosowana jest komutacja słów kodowych w kodzie równoległym. W takim przypadku jedna telestrada zastępowana jest telestradą 8-przewodową z oddzielnymi przewodami dla każdego z 8 bitów słowa kodowego, dzięki czemu uzyskuje się 8-krotne obniżenie szybkości transmisji w łączy wielokrotnym. Przykładowo, w podstawowym bloku pola komutacyjnego w systemie E-10, przystosowanym do komutacji 32 traktów PCM-30, telestrada wymaga 1024 kanałów czasowych, co przy komutacji w kodzie szeregowym wymagałoby szybkości transmisji w łączy wielokrotnym  $1024 \times 64$  kbit/s, tj. 65,536 Mbit/s, podczas gdy z zastosowaniem komutacji w kodzie równoległym szybkość ta wynosi 8192 kbit/s.

Oddzielnym zagadnieniem w przypadku komutacji cyfrowej jest zagadnienie synchronizacji. Organizacja pola komutacyjnego centrali wymaga, aby faza sygnału wprowadzanego do tego pola była zgodna z fazą taktu lokalnego występującego w danej centrali. W rzeczywistości fazy sygnałów przychodzących różnią się od fazy taktu lokalnego i to z kilku powodów. W sieci synchronicznej, mimo iż występuje jednolity sygnał taktowania w całej sieci, fazy sygnałów przychodzących do centrali są zmienne w czasie, z uwagi na zmienny /zależny od temperatury, wilgotności itp./ czas propagacji sygnału przez trakty liniowe. W sieci asynchronicznej ze względu na różne, niezależne sygnały taktowania w poszczególnych centralach, dodatkowo występuje efekt zmian fazy sygnałów przychodzących spowodowany różnicą częstotliwości. Z powyższych względów każdy trakt PCM przychodzący do centrali cyfrowej wyposażony jest w indywidualne urządzenie synchronizacyjne, którego zadaniem jest przywrócenie odległej podstawy czasu oraz zapewnienie tzw. resynchronizacji /wyrównanie wahań fazy sygnału wejściowego w odniesieniu do fazy taktu lokalnego z dokładnością do ramki lub kanału/. Należy podkreślić, że tego typu urządzenia synchronizacyjne w przypadku sieci asynchronicznej nie zapewniają w pełni prawidłowej komutacji. Ze względu na różnicę częstotliwości odległej podstawy czasu i częstotliwości taktu lokalnego, w czasie określonym przez zegar lokalny jako czas trwania ramki, z traktu PCM odebrana zostaje tylko część bitów danej ramki /przy mniejszej częstotliwości taktu odległego/ lub cała ramka i część ramki następnej /przy większej częstotliwości taktu odległego/. Powoduje to tzw. poślizgi, to znaczy powtórzenia lub stratę pojedynczych próbek sygnału. W przypadku telefonii tego typu zniekształcenia nie są groźne /przy stałości częstotliwości zegarów  $1 \times 10^{-8}$

poślizgi występują średnio co 3,5 godz./, natomiast przy transmisji danych są one niedopuszczalne. W przypadku sieci synchronicznej zjawisko poślizgów nie występuje /porównaj pkt 2.4/.

Główną tendencją rozwoju systemów komutacji cyfrowej jest dążenie do zwiększenia zakresu usług i udogodnień dla abonenta. Podstawową przesłanką przemawiającą za integracją usług, jako następnego etapu integracji sieci telekomunikacyjnej, jest możliwość unifikacji systemów telekomunikacyjnych. Ma to niezwykle istotne znaczenie przy produkcji urządzeń, budowie, eksploatacji i utrzymaniu sieci. Ważne znaczenie ma również możliwość zwiększenia asortymentu udogodnień dla abonentów przez zapewnienie dostępu do różnorodnych usług. Integracja usług wymagać będzie komutowania kanałów obsługujących różne rodzaje usług. Przewiduje się, iż podstawowym rodzajem usługi pozostanie telefonia, jednakże wystąpi także potrzeba komutowania kanałów o dużej przepływności binarnej /np. kanały wizjofoniczne/ oraz kanałów o mniejszej od 64 kbit/s przepływności binarnej /kanały telegraficzne i tele-dacyjne/. W zakresie sterowania przewiduje się powrót do struktury komutacyjnej, polegającej na zastosowaniu szeregu powtarzalnych układów komutacyjnych z programami zawartymi w pamięciach półprzewodnikowych typu REPRM, wyposażonych we własne układy kontroli i realizujących określone funkcje w procesie zestawiania połączenia.

Ważnym problemem występującym w zintegrowanej sieci cyfrowej i wymagającym pilnego rozwiązania jest synchronizacja sieci. Istotne jest to z uwagi na konieczność eliminacji poślizgów, które występują w sieci asynchronicznej a także ze względów ekonomicznych.

#### 2.4. Synchronizacja sieci

Jedynym sposobem na uniknięcie poślizgów występujących w procesie komutacji w sieci asynchronicznej jest zsynchronizowanie sieci, tj. zapewnienie tej samej częstotliwości sygnału taktowania we wszystkich węzłach komutacyjnych tej sieci. Znanych jest kilka metod realizacji synchronizacji sieci. Metoda synchronizacji typu "zegar główny - zegary podporządkowane" polega na zastosowaniu w sieci zegara głównego zlokalizowanego w centrali głównej, który jest jedynym i niezależnym źródłem sygnałów taktowania. Wszystkie inne zegary znajdujące się w pozostałych centralach są synchronizowane przez zegar główny.

W sieci o strukturze wielobocznej może być stosowana metoda hierarchicznego systemu zegarów głównych i podporządkowanych, w którym wszystkie zegary węzłów komutacyjnych uszeregowane są hierarchicznie. W przypadku uszkodzenia zegara zajmującego najwyższe miejsce w hierarchii, jego funkcję przejmuje zegar zajmujący następne miejsce w hierarchii. Inną metodą synchronizacji jest metoda synchronizacji wzajemnej, w której częstotliwość zegara danej centrali jest sprowadzana do wartości średniej częstotliwości wszystkich sygnałów taktowania odtwarzanych z sygnałów wejściowych do danej centrali.

Powyższe metody synchronizacji sieci zapewniają pełny synchronizm i w rezultacie zapobiegają poślizgom w procesie komutacji. Metody te przewidziane są do stosowania w sieciach krajowych. W sieci międzynarodowej przewiduje się współpracę plezjochroniczną, przy której sygnały taktowania w poszczególnych krajach są niezależne, ale wymaga się od nich dużej dokładności i stabilności. Zgodnie z zaleceniem CCITT G.811 przy takiej współpracy stałość częstotliwości zegarów powinna wynosić  $1 \times 10^{-11}$ . W tym przypadku poślizgi występują z częstotliwością raz na 70 dni.

### 3. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA TECHNIKI ZWIELOKROTNIENIA CYFROWEGO

#### 3.1. Wstęp

W systemach cyfrowych wyższej krotności mogą być stosowane dwie metody tworzenia grup wyższego rzędu:

- bezpośrednie kodowanie sygnałów analogowych, przy czym mogą to być sygnały szerokopasmowe bądź sygnały rozmówne pochodzące z odpowiednio większej liczby kanałów telefonicznych;
- zwielokrotnienie cyfrowe, polegające na utworzeniu zbiorczego sygnału cyfrowego grupy wyższego rzędu poprzez zwielokrotnienie sygnałów cyfrowych pochodzących z kilku grup niższego rzędu.

Urządzenia pierwszego typu stosujące bezpośrednie kodowanie, zawierają wprawdzie jeden przemiennik A-C, jednakże z uwagi na większą liczbę kanałów wymagania dotyczące dokładności i szybkości jego pracy są bardzo wysokie. Trudności techniczne związane z realizacją tego typu urządzeń, jak również mała elastyczność systemów wykorzystujących kodowanie bezpośred-



nie, decydują o tym, że praktycznie pod uwagę bierze się tylko systemy drugiego rzędu. Oczywiście w przypadku sygnałów szerokopasmowych /wizjofonia, telewizja, grupy FDM/ stosowanie przemienników A-C o dużej szybkości pracy jest konieczne.

Bardziej elastyczne wykorzystanie w sieci zapewniają systemy zrealizowane według drugiej metody, tzn. oparte na zasadzie zwielokrotnienia cyfrowego. Krotnice cyfrowe różnią się tym od krotnic PCM, że nie zawierają przetwornika A-C. Sygnały wejściowe są już w postaci cyfrowej, a zadaniem urządzenia zwielokrotniającego jest połączenie tych sygnałów w jeden sygnał cyfrowy o odpowiednio większej przepływności binarnej.

Sygnały cyfrowe mogą być zwielokrotniane w sposób synchroniczny lub asynchroniczny. W pierwszym przypadku sygnały zwielokrotniane są zsynchronizowane, a w drugim - nie zsynchronizowane z sygnałem grupy wyższego rzędu. Zwielokrotnienie cyfrowe ściśle synchronicznych sygnałów jest zupełnie proste, w każdym razie pod względem zasady działania. Próbkki pobierane z "n" sygnałów wejściowych układane są szeregowo, tworząc sygnał o przepływności "n" razy większej. W rzeczywistości realizacja zwielokrotnienia synchronicznego jest nieco bardziej skomplikowana ze względu na konieczność wprowadzenia do zbiorczego sygnału cyfrowego dodatkowych bitów /dla celów fazowania ramki, służbowych, itp./ oraz z uwagi na konieczność eliminacji fluktuacji fazy sygnałów wejściowych przed właściwym zwielokrotnieniem. Wymaga to zastosowania dla każdego z sygnałów wejściowych odpowiedniej elastycznej pamięci /rys. 3/.

Główne zalety metody synchronicznego zwielokrotnienia, jako perspektywicznej metody stosowanej w synchronicznej sieci cyfrowej, to:

- prosta realizacja techniczna;
- możliwość bezpośredniej komutacji sygnałów grupy wyższego rzędu bez przechodzenia do poziomu 2 Mbit/s oraz w przypadku krotnicy drugiego rzędu możliwość bezpośredniej współpracy z krotnicą PCM-128 /PCM-120/ na poziomie grupy wtórnej /z wykorzystaniem w obu urządzeniach jednakowej ramki 8 Mbit/s/;
- brak fluktuacji fazy sygnału na wyjściu krotnicy odbiorczej, które występują przy zwielokrotnieniu asynchronicznym.

Zalety metody synchronicznej są szczególnie istotne w przypadku pełnej synchronizacji sieci. Stosowanie systemu synchronicznego w istniejącej sie-

ci asynchronicznej jest w pewnym sensie ograniczone, ponieważ dla kompensacji zmian czasu propagacji sygnału wymagane są pamięci o dość dużej pojemności, proporcjonalnej do długości linii. Należy podkreślić, że uwzględniając postęp w zakresie technologii układów scalonych nie jest to wada szczególnie istotna.

### 3.2. Dopełnianie impulsowe

Dopełnianiem impulsowym nazywana jest metoda wyrównywania zmiennej wartości przepływności sygnału cyfrowego do pewnej wartości przepływności odniesienia, którą w przypadku zwielokrotnienia cyfrowego jest wartość przepływności grupy wyższego rzędu w przeliczeniu na jedną grupę niższego rzędu. W przeliczeniu tym uwzględnia się tylko bity informacyjne grupy wyższego rzędu, tzn. pomija się bity dla celów fazowania ramki, bity służbowe, rezerwowe itp. Wyrównywanie przepływności odbywa się na drodze wprowadzania do sygnału cyfrowego dodatkowych bitów /tzw. bitów dopełniających/ lub też wymazywania z sygnału cyfrowego pewnych bitów informacyjnych i przesyłania ich w dodatkowym kanale służbowym. Ażeby w odbiorniku można było przywrócić pierwotną postać sygnału cyfrowego o każdej operacji przeprowadzonej w nadajniku, przesyła się dodatkową informację /komendę dopełniania/ do odbiornika, w którym przeprowadza się operacje odwrotne. W systemach z dopełnianiem impulsowym, z uwagi na konieczność przesyłania komend dopełniania, wykorzystanie przepływności binarnej grupy wyższego rzędu jest mniejsze. Częstotliwość operacji dopełniania, która wynika z niestabilności sygnałów taktowania grup niższego i wyższego rzędu jest zwykle niewielka, dzięki czemu nadmiar przeznaczony dla celów przesyłania komend dopełniania nie jest duży i wynosi ok. 1% przepływności binarnej grupy wyższego rzędu.

Dopełnianie impulsowe umożliwia zwielokrotnienie cyfrowe asynchronicznych sygnałów cyfrowych. W praktyce stosowane są dwie metody dopełniania impulsowego: dopełnianie dodatnie oraz dopełnianie dodatnio-ujemne. Sposób realizacji obu metod przedstawiony jest na rys. 3a i 3b.

Przy dopełnianiu dodatnim zakłada się, że maksymalne przepływności sygnałów wejściowych  $f_1$  /z uwzględnieniem odchyłek od wartości nominalnej/ są mniejsze od przepływności  $f_k$ , jaka jest przewidziana do transmisji tych sygnałów w sygnale zbiorczym o przepływności  $f_2$ . W części nadawczej Informa-

cja wejściowa wpisywana jest do odpowiedniej pamięci elastycznej w takt zegara o częstotliwości  $f_1$ , odpowiadającej przepływności sygnału wejściowego. Odczyt z pamięci dokonywany jest z częstotliwością  $f_k$ , synchroniczną z zegarem  $f_2$ . Sygnały zapisu i odczytu podawane są do komparatora fazy, w którym kontroluje się ich wzajemne położenie czasowe. Ponieważ z założenia  $f_k > f_1$ , zatem odstęp czasowy między momentem zapisu i odczytu ma tendencję do stałego zmniejszania się. Po przekroczeniu pewnego progowego, minimalnego odstępu, następuje powstrzymanie jednego odczytu, dzięki czemu odstęp zwiększa się skokowo o okres zegara  $f_k$ . Powstrzymanie odczytu oznacza, że w informacji wyjściowej z pamięci ostatni bit zostaje powtórzony, czyli zostaje dodany bit, którego nie było w sygnale wejściowym /bit dopełniający/. Powstrzymanie odczytu, czyli operacja dodatniego dopełniania impulsowego dokonywana jest w ściśle określonym miejscu ramki sygnału  $f_2$ , natomiast przekroczenie wartości progowej odstępu między zapisem i odczytem może nastąpić w dowolnym miejscu ramki. Oznacza to, że układ po stwierdzeniu konieczności przeprowadzenia operacji dopełniania musi przeczekać do najbliższej okazji, kiedy taka operacja jest możliwa do przeprowadzenia. Wywołuje to efekt tzw. fluktuacji fazy sygnału wynikających z czasu oczekiwania /ang. waiting time jitter/. Z uwagi na ściśle określone miejsce bitu dopełniającego w ramce, do urządzenia odbiorczego wystarczy przesłać informację /komendę dopełniania/, że w danej ramce nastąpiło dopełnianie. Po stronie odbiorczej bit dopełniający usuwany jest z ciągu informacyjnego, przez powstrzymanie zapisu do pamięci odbiorczej na czas trwania tego bitu. Sygnał do odczytu pamięci odbiorczej uzyskiwany jest za pomocą fazowej pętli przestrajanania częstotliwości, zawierającej komparator fazy, filtr dolnoprzepustowy i generator sterowany napięciowo /VCO<sup>x/</sup>. Układ komparatora fazy porównuje fazę zegara zapisu z fazą zegara odczytu otrzymywanego z VCO, dostarczając napięcia proporcjonalnego do różnicy fazy między nimi. Napięcie to po odfiltrowaniu, steruje generator VCO, którego częstotliwość podąża za zmianami częstotliwości sygnału wejściowego w krotnicy nadawczej.

Przy dopełnianiu dodatnio-ujemnym zakłada się, że nominalne wartości przepływności  $f_k$  i  $f_1$  są równe / $f_{k,nom} = f_{1,nom}$ /. Przy uwzględnieniu niestabilności obu częstotliwości, chwilowa wartość częstotliwości  $f_k$  może być większa lub mniejsza od  $f_1$ . Przy  $f_k > f_1$  mamy do czynienia z dopełnianiem

<sup>x/</sup>VCO -- ang Voltage Controlled Oscillator.

dodatnim, które realizowane jest w sposób opisany powyżej. Przy  $f_k < f_1$  realizowane jest dopełnianie ujemne /por. rys. 3c/. W takim przypadku w pamięci wejściowej odstęp czasowy między momentem zapisu i odczytu ma tendencję do stałego zwiększania się. Po przekroczeniu pewnego progowego, maksymalnego odstępu /kontrolowanego za pomocą komparatora fazy/, następuje dodatkowy odczyt jednego bitu, dzięki czemu odstęp zmniejsza się skokowo o okres zegara  $f_k$ . Dodatkowy odczyt dokonywany jest w ściśle określonym miejscu ramki  $f_2$ , w którym występuje wolny bit nadmiarowy, przewidziany do tego celu. Przy  $f_k = f_1$  operacje dopełniania nie są przeprowadzane i układ pracuje jak przy zwielokrotnieniu synchronicznym.

Pod względem układowym metoda dopełniania dodatnio-ujemnego różni się tym od dopełniania dodatniego, że układ komparatora fazy w pamięci nadawczej musi być dwuprogowy oraz nadajniki i odbiorniki komend dopełniania muszą być przystosowane do nadawania i odbioru trzech rodzajów komend: "brak dopełniania", "dopełnianie dodatnie" i "dopełnianie ujemne". Zwiększenie przesyłanej informacji /w stosunku do dopełniania dodatniego, w którym przesyła się tylko dwie komendy/ wymaga zwiększenia liczby bitów nadmiarowych w ramce, przeznaczonych do tego celu. Przy dopełnianiu dodatnim, do zabezpieczenia komend przed błędem pojedynczym, wystarczają komendy trzybitowe, natomiast przy przesyłaniu trzech komend warunek ten można spełnić przy komendach pięciobitowych.

Zmniejszenie liczby bitów w komendzie możliwe jest przy pewnej modyfikacji dopełniania dodatnio-ujemnego. Modyfikacja ta polega na tym, że przy komendzie pasywnej /brak dopełniania/ przesyłane są naprzemienne komendy "+" i "-", natomiast w momencie kiedy operacja dopełniania jest dokonywana, wysyłane są podwójne komendy "++" lub "--". Metoda ta, zwana metodą dwukomendową, pozwala na zmniejszenie liczby bitów w komendzie, a ponadto umożliwia prostą realizację korekcji przekłamań komend dopełniania.

### 3.3. Porównanie metod dopełniania impulsowego

Porównanie metod asynchronicznego zwielokrotnienia z dopełnianiem impulsowym przeprowadzono poniżej na zasadzie porównania podstawowych parametrów technicznych.

### 3.3.1. Możliwość przejścia od pracy asynchronicznej do pracy synchronicznej

W asynchronicznej krotnicy cyfrowej z dopełnianiem dodatnim nie ma możliwości przejścia od pracy asynchronicznej do pracy czysto synchronicznej. Z uwagi na to, że z założenia przepływność  $f_k$  jest wyższa od przepływności  $f_1$ , to mimo zsynchronizowania zegarów grup niższego i wyższego rzędu proces dopełniania występuje nadal, przy czym ma on charakter dopełniania systematycznego. Jest to tzw. praca quasisynchroniczna, która charakteryzuje się mniejszymi fluktuacjami fazy na wyjściu krotnicy odbiorczej. Jednakże z racji przesyłania komend dopełniania istnieje określone prawdopodobieństwo ich przekłamania i w rezultacie fałszywej korekcji długości ramki systemu niższego rzędu /pozostawienie w ramce bitu dopełniającego lub usunięcie z ramki bitu informacyjnego, traktowanego przy przekłamaniu komendy jako bit dopełniający/. Prowadzi to do utraty fazowania ramki w systemach niższego rzędu.

W systemie z dopełnianiem dodatnio-ujemnym istnieje możliwość przejścia do pracy synchronicznej z wyłączonym procesem dopełniania. Przy odpowiedniej konstrukcji krotnicy możliwe jest też usunięcie zespołów potrzebnych tylko przy pracy asynchronicznej /np. nadajniki i odbiorniki komend/, jednakże z praktycznego punktu widzenia bardziej celowe jest pozostawienie tych zespołów na wypadek awarii systemu synchronizacji i konieczności ponownego przejścia do pracy asynchronicznej. W krotnicy z dopełnianiem dodatnio-ujemnym możliwy jest również mieszany rodzaj pracy, w którym część sygnałów zwielokrotnianych jest w sposób asynchroniczny a pozostałe w sposób synchroniczny.

### 3.3.2. Możliwość korekcji przekłamań komend dopełniania

W systemach asynchronicznego zwielokrotnienia z dopełnianiem impulsowym, przekłamanie komendy dopełniania w systemie  $n$ -tego rzędu powoduje utratę fazowania ramki w systemie  $n-1$  rzędu. Komendy dopełniania w systemach drugiego i trzeciego rzędu są 3-bitowe /111 lub 000/ i w związku z tym zabezpieczone są przed przekłamaniami jednego bitu. Częstość przekłamań komend dopełniania zależy od elementowej stopy błędów w trakcie liniowym grupy wyższego rzędu. W tabelicy 1 przedstawiony jest średni czas między dwoma przekłamaniami 3-bitowych komend przy założonej długości ramki rów-

nej 1000 bitów w systemach drugiego i trzeciego rzędu w funkcji elementarnej stopy błędów.

T a b l i c a 1

Średni czas między dwoma przekłamaniami 3-bitowych komend przy założonej długości ramki równej 1000 bitów

Stopa błędów	$10^{-3}$	$10^{-4}$	$10^{-5}$	$10^{-6}$
Przeptywność	-	-	-	-
8448 kbit/s	40 sek.	1 godz.	5 dni	1 rok
34368 kbit/s	10 sek.	17 min	28 godz.	3 m-ce

Jak z tego wynika, przy stopie błędów  $10^{-6}$  wymaganej dla systemu drugiego rzędu, przekłamania komend dopełniania występują tak rzadko, że z praktycznego punktu widzenia nie ma to istotnego wpływu na jakość transmisji. W przypadku łączy cyfrowych złej jakości lub krótkotrwałego wzrostu stopy błędów /np. w łączach radioliniowych lub satelitarnych/ efekt niedostatecznej jakości transmisji, wynikającej z dużej stopy błędów, jest potęgowany przez częste utraty fazowania ramki w grupach niższego rzędu.

W systemie dwukomendowego dopełniania dodatnio-ujemnego, w którym przy braku dopełniania przesyłane są na przemian komendy "+--+-" i, a przy dopełnianiu komendy "++" lub "--", istnieje możliwość prostej korekcji przekłamanych komend. Przekłamanie komend pasywnej powoduje pojawienie się trzech komend tego samego znaku, co może być wykryte i skorygowane. Przekłamanie jednej z podwójnych komend aktywnych powoduje pojawienie się podwójnej komendy przeciwnego znaku. Przekłamanie takie może być również skorygowane, jeżeli w dodatkowym kanale /np. w kanale przeznaczonym do przesyłania bitu dopełniania ujemnego, którego wykorzystanie jest bardzo małe/ przesyła się informację o znaku dopełniania.

W systemie z dopełnianiem dodatnim teoretycznie istnieje możliwość korekcji niektórych przekłamań komend, jednakże z uwagi na bardzo skomplikowany sposób realizacji korekcja tych przekłamań nie jest stosowana.

### 3.3.3. Odporność na powielanie utraty fazowania ramki

Przy utracie fazowania ramki w systemie  $n$ -tego rzędu następuje utrata fazowania ramki w systemach  $n-1$  rzędu. Zabezpieczenie przed tym efektem może być realizowane w różny sposób w zależności od metody zwielokrotnienia. Przy zwielokrotnieniu synchronicznym wystarczy przyjąć warunek, iż czas odzyskiwania fazowania ramki w systemie  $n$ -tego rzędu jest mniejszy niż czas trzymywania<sup>x/</sup> fazowania ramki w systemie  $n-1$  rzędu.

Przy zwielokrotnieniu asynchronicznym warunek ten nie jest wystarczający, ponieważ w czasie utraty fazowania ramki na wejście odbiorników komend dopełnienia trafiają przypadkowe sekwencje bitów, które mogą powodować fałszywą korekcję długości ramki /tak jak przy przekłamaniu komendy/. W efekcie prowadzi to do utraty fazowania ramki. W systemie z dopełnianiem dodatnio-ujemnym, ze względu na bardzo małą częstotliwość komend aktywnych, można na czas utraty fazowania ramki zablokować odbiorniki komend. Istnieje małe prawdopodobieństwo, że w tym czasie wystąpi komenda aktywna, a nawet jeżeli wystąpi, to co najwyżej jedna. Przy dwukomendowym dopełnianiu dodatnio-ujemnym możliwe jest wykrycie tej pojedynczej komendy i przeprowadzenie korekcji, ponieważ po każdej komendzie aktywnej następuje zmiana zasady przemienności komend "1" i "0".

Przy dopełnianiu dodatnim operacja dopełniania dokonywana jest z dużą częstotliwością /co dwie, trzy ramki/. Umożliwia to blokadę odbiorników komend w czasie utraty fazowania ramki w systemie  $n$ -tego rzędu.

### 3.3.4. Fluktuacje fazy sygnału

Nieodłącznym zjawiskiem, jakie towarzyszy procesowi asynchronicznego zwielokrotnienia cyfrowego jest występowanie fluktuacji fazy sygnału. W urządzeniu odbiorczym, po rozdzieleniu sygnału zbiorczego na sygnały składowe i usunięciu bitów nadmiarowych /tj. bitów sygnału fazowania ramki, bitów komend dopełniania i bitów dopełniających/, sygnały składowe występują w postaci nie izochronicznych /zawierających luki po usuniętych bitach/ ciągów binarnych. Tego typu sygnały zawierają więc fluktuacje fazy, wynikające ze struktury ramki sygnału zbiorczego. Fluktuacje te mają charakter sy-

<sup>x/</sup> Czas, w którym układ fazowania ramki upewnia się czy nastąpiła rzeczywista utrata fazowania ramki.

systematyczny i stosunkowo wysoką częstotliwość, dzięki czemu mogą być łatwo wytłumione. Jednakże, oprócz powyższych systematycznych fluktuacji fazy, odtwarzane sygnały zawierają niskoczęstotliwościowe fluktuacje fazy o charakterze niesystematycznym. Przy dopełnianiu dodatnim głównym źródłem tych fluktuacji fazy są fluktuacje czasu oczekiwania, natomiast przy dopełnianiu dodatnio-ujemnym różnica częstotliwości zapisu i odczytu pamięci  $f_1$  i  $f_k$ . Fluktuacje te są trudne do wytłumienia z uwagi na ich małą częstotliwość. Pasma przepustowe filtra dolnoprzepustowego w pętli fazowej VCO nie może być nieskończenie małe ze względu na konieczność odtwarzania przepływności sygnału wejściowego, która może mieć krótkookresową niestabilność oraz z uwagi na to, iż pasmo niezbędne do synchronizacji pętli fazowej powinno być większe od maksymalnej różnicy częstotliwości sygnału wejściowego i generatora VCO. Przy stosowaniu prostego filtra RC wartość szczytowa fluktuacji fazy wynosi przy dopełnianiu dodatnio-ujemnym 100%, natomiast przy dopełnianiu dodatnim ok. 15% elementu binarnego.

Znane są metody redukcji fluktuacji fazy, które jednakże wymagają dodatkowej komplikacji urządzeń. Jedną z metod polega na kompensacji składowych małej częstotliwości w sygnale sterującym generator VCO. Sygnał kompensujący wytwarzany jest na podstawie ciągu impulsów odpowiadających momentom wprowadzania dopełniania. Z zastosowaniem idealnego integratora sygnał kompensujący zawierałby nie tylko wszystkie składowe małej częstotliwości, ale również składową stałą, co przy kompensacji powodowałoby niedopuszczalne wytłumienie użytecznej składowej stałej. W praktyce więc kompensacja nie może być pełna i w sygnale wyjściowym pozostają fluktuacje fazy o bardzo małej częstotliwości i amplitudzie takiej jak bez kompensacji. Przy dopełnianiu dodatnio-ujemnym fluktuacje te występują przy częstotliwości nominalnej, natomiast przy dopełnianiu dodatnim przy takich częstotliwościach  $f_1$  i  $f_2$ , przy których stopa dopełniania<sup>x/</sup> jest równa stosunkowi liczb całkowitych.

Inna z metod redukcji fluktuacji fazy polega na przesyłaniu do urządzenia odbiorczego, w przedziale czasu między dwoma kolejnymi dopełnieniami, dodatkowej informacji o małych zmianach odstępu między momentem zapisu i odczytu pamięci wejściowej. W urządzeniu odbiorczym z informacji tej odtwarzany jest dodatkowy sygnał sterujący generator VCO. W ten sposób skok fazy

<sup>x/</sup> Stopa dopełniania - stosunek chwilowej częstotliwości dopełniania do maksymalnej częstotliwości dopełniania, równej częstotliwości ramki sygnału zbiorczego.



odtworzanego zegara odbiorczego /o amplitudzie jednego bitu/, jaki występuje w momencie dopełniania, może być rozłożony równomiernie na cały okres między dwoma dopełnieniami. Przy przesyłaniu informacji o "n" wartościach pośrednich uzyskuje się n-krotne zmniejszenie amplitudy fluktuacji fazy. Efektywne wykorzystanie tej metody możliwe jest jednak tylko przy małej częstotliwości dopełniania, tzn. przy dopełnianiu dodatnio-ujemnym.

#### 4. SYSTEM CYFROWY DRUGIEGO RZĘDU Z RAMKĄ UNIWERSALNĄ

##### 4.1. Wstęp

W systemach cyfrowych drugiego rzędu wyróżnić można trzy rodzaje urządzeń, które powinny ze sobą współpracować bez dodatkowych przetworników sygnału cyfrowego. Są to:

- urządzenia bezpośredniego kodowania PCM-128 /PCM-120/, w których za pomocą jednego przetwornika A-C zamienia się 128 /120/ sygnałów telefonicznych w jeden sygnał cyfrowy o przepływności 8448 kbit/s i odwrotnie;
- urządzenia zwielokrotnienia cyfrowego 4x2048 kbit/s, dokonujące zwielokrotnienia czterech sygnałów 2048 kbit/s w jeden sygnał cyfrowy 8448 kbit/s i odwrotnie; w zależności od metody zwielokrotnienia mogą to być urządzenia trojakiemu typu: synchroniczne, asynchroniczne z dopełnianiem dodatnim i asynchroniczne z dopełnianiem dodatnio-ujemnym;
- urządzenia komutacji z polem komutacyjnym dla traktów cyfrowych 8448 kbit/s.

Dotychczasowe zalecenia CCITT dotyczące tych urządzeń przewidują różne struktury ramek, powstała zatem potrzeba opracowania ramki uniwersalnej, która umożliwiałaby współpracę tych urządzeń między sobą. Jedną z propozycji takiej ramki uniwersalnej jest ramka uzgodniona przez kraje członkowskie RWPG i zgłoszona jako projekt zalecenia do CCITT. Ramka ta umożliwia bezpośrednią współpracę wszystkich powyższych urządzeń z wyjątkiem krotnic cyfrowych z dopełnianiem dodatnim.

##### 4.2. Struktura ramki uniwersalnej 8448 kbit/s

Struktura ramki uniwersalnej 8448 kbit/s przedstawiona jest w tablicy 2. Cechą charakterystyczną tej ramki jest to, że przy zwielokrotnieniu cyfro-

## Struktura ramki uniwersalnej 8448 kbit/s

Nr szczeliny kanałowej w ramce	Nr bitu w ramce	Rodzaj przesyłanej informacji	
		Przy pracy synchronicznej	Przy pracy asynchronicznej
0	1÷8	Sygnał fazowania ramki 111001100 /I cz./	
1÷4	9÷40	Sygnały fazowania ramki grup pierwot.	Sygnały grup pierwotnych
5÷32	41÷264	Sygnały informacyjne grup pierwotnych	
33	265÷268	Bity rezerwowe	$C_{1j}^{x/}$
	269÷272	Bity dla celów służbowych	
34÷65	273÷528	Sygnały informacyjne grup pierwotnych	Sygnały grup pierwotnych
66	529÷532	Sygnał fazowania ramki 100000 /II cz./	$C_{2j}^{x/}$
	533÷534		Nie wykorzystane
	535	Bit alarmu zwrotnego	
	536	Bit służbowy dla celów krajowych	
67÷70	537÷568	Kanały sygnalizacyjne grup pierwotnych	Sygnały grup pierwotnych
71÷98	569÷792	Sygnały informacyjne grup pierwotnych	
99	793÷796	Nie wykorzystane	$C_{3j}^{x/}$
	797÷800		Bity dla dopełniania ujemnego
100÷131	801÷1056	Sygnały informacyjne grup pierwotnych	Sygnały grup pierwotnych
	801,809; 817,825		Bity dla dopełniania dodatniego

$x/C_{ij}$  - bit komendy dopełniania /i-ty bit, j-tej grupy pierwotnej/.

wym czterech sygnałów 2048 kbit/s wykorzystuje się przeplatanie 8-bitowych słów kodowych /oktetów/. Jej uniwersalność polega na tym, że niezależnie od tego czy zwielokrotnienie jest synchroniczne, czy asynchroniczne długość ramki oraz liczba 8-bitowych szczelin czasowych pozostaje ta sama. Wykorzystanie poszczególnych szczelin czasowych jest oczywiście w obu przypadkach różne. Przy zwielokrotnieniu synchronicznym 8-bitowe słowa kodowe odpowiadają poszczególnym kanałom telefonicznym, natomiast przy zwielokrotnieniu asynchronicznym są to przypadkowe 8-bitowe sekwencje sygnału 2048 kbit/s utworzone, np. z części bitów jednego kanału i pozostałych bitów z następnego kanału. Oznacza to, że bezpośrednia współpraca krotnicy cyfrowej 4x2048 kbit/s z innymi urządzeniami /wymienionymi w pkt. 4.1/ możliwa jest tylko przy synchronicznej pracy tej krotnicy. Przy pracy asynchronicznej ramka uniwersalna zrozumiała jest tylko dla tego samego typu krotnicy cyfrowej pracującej asynchronicznie.

Długość ramki wynika z częstotliwości próbkowania /8 kHz/ sygnału analogowego w urządzeniu bezpośredniego kodowania i wynosi 125  $\mu$ sek. Przy 8-bitowym kodowaniu i przepływności sygnału zbiorczego 8448 kbit/s liczba kanałowych szczelin czasowych w ramce wynosi 132. W zaleceniach CCITT G.744 /dot. systemu drugiego rzędu z bezpośrednim kodowaniem/ i G.746 /dot. ramki 8 Mbit/s dla urządzeń komutacji/ przewiduje się dwojakie wykorzystanie tych szczelin. W wariantcie pierwszym 120 szczelin czasowych /5 ÷ 32, 34 ÷ 65, 71 ÷ 98, 100 ÷ 131/ przeznaczają się dla kanałów telefonicznych, cztery szczeliny /67 ÷ 70/ dla indywidualnych kanałów sygnalizacyjnych, dwie szczeliny /0 i 66/ dla celów fazowania ramki i służbowych oraz sześć szczelin /1 ÷ 4, 33 i 99/ pozostaje wolnych do ewentualnego wykorzystania dla celów krajowych. Wariant drugi różni się tym, że szczeliny 67 ÷ 70 przeznaczone są do utworzenia wspólnego kanału sygnalizacyjnego, natomiast szczeliny 1 ÷ 4 do utworzenia dodatkowych kanałów telefonicznych.

Przy tworzeniu ramki uniwersalnej uwzględniono oczywiście tylko wariant pierwszy, ponieważ przy zwielokrotnieniu czterech sygnałów 2048 kbit/s systemu PCM-30 możliwe jest utworzenie w sygnale zbiorczym tylko 120 kanałów telefonicznych. Szczeliny czasowe 1 ÷ 4, które w zaleceniach CCITT G.744 i G.746 są wolne, przeznaczają się do przesyłania czterech sygnałów fazowania ramki grup pierwotnych. Wymaga to przy zwielokrotnieniu cyfrowym sfazowania sygnałów grup pierwotnych z dokładnością do ramki, tzn. zastosowania na wejściu krotnicy cyfrowej czterech układów fazowania ramki grup pierwotnych.

i czterech pamięci o pojemności ramki systemu PCM-30, tj. 256 bitów. Sygnały informacyjne grup pierwotnych umieszczane są w kolejnych szczelinach czasowych ramki uniwersalnej na zasadzie przeplatania kanałów /8-bitowych słów kodowych/. Zastosowanie tej samej zasady do szesnastej szczeliny ramki PCM-30 /szczelina kanałów sygnalizacyjnych/ prowadzi do rozbieżności z zaleceniami CCITT G.744 i G.746, bowiem wg tych zaleceń w 67 szczelinie czasowej ramki grupy wtórnej umieszczane są kanały sygnalizacyjne związane z kanałami telefonicznymi 1 + 30 /wg kolejnej numeracji szczelin czasowych w ramce/, w szczelinie 68 - odpowiednio 31 + 60 itd. Ponadto zalecenia powyższe przewidują dla celów sygnalizacji utworzenie 16-ramkowej wieloramki, natomiast w ramce uniwersalnej nie precyzuje się zawartości szczelin sygnalizacyjnych 67 + 70. Oznacza to, że zapewnienie pełnej zgodności ramki uniwersalnej z zaleceniami CCITT G.744 i G.746 wymaga zastosowania na wejściu krotnicy cyfrowej 4x2048 kbit/s czterech pamięci o pojemności wieloramki systemu PCM-30, tj. 4096 bitów. Przy odpowiednim sterowaniu pamięci możliwe jest zmniejszenie ich pojemności do 128 bitów przez zapamiętywanie tylko bitów sygnalizacyjnych. Należy przy tym podkreślić, że pamięci te nie byłyby potrzebne gdyby dokonać niewielkiej, nie istotnej z technicznego punktu widzenia, modyfikacji w zaleceniach G.744 i G.746. Modyfikacja ta polega na innym przyporządkowaniu kanałów sygnalizacyjnych tworzonych w szczelinach czasowych 67 + 70 kanałom telefonicznym. Propozycja takiej modyfikacji zostanie w najbliższym czasie zgłoszona do CCITT przez Administrację Łączności ZSRR.

#### 4.3. Realizacja krotnic cyfrowych 4x2048 kbit/s z ramką uniwersalną

Krotnice cyfrowe z ramką uniwersalną mogą być realizowane w dwojaki sposób:

- a/ z wykorzystaniem krotnic cyfrowych zrealizowanych wg zalecenia CCITT G.745, tj. z dopełnianiem dodatnio-ujemnym i przeplataniem bitów,
- b/ jako nowe urządzenie pracujące zawsze z ramką uniwersalną.

Sposób pierwszy polega na dodaniu dodatkowego wyposażenia do krotnic zrealizowanych wg zalecenia CCITT G.745, a mianowicie:

= przetworników bit/oktet i oktet/bit na wyjściu i wejściu krotnicy cyfrowej,

- przy pracy synchronicznej - układów fazowania ramki grup pierwotnych oraz 256-bitowych pamięci na czterech wejściach 2 Mbit/s krotnicy.

Uzasadnieniem dla takiego sposobu realizacji może być to, że tam gdzie stosowanie ramki uniwersalnej nie jest konieczne, daje on możliwość wykorzystania krotnic tańszych bez dodatkowego wyposażenia. Krotnice takie mogą być również wykorzystane w pierwszym etapie cyfryzacji sieci, kiedy nie wystąpi jeszcze potrzeba stosowania ramki uniwersalnej.

Sposób drugi wymaga w każdym przypadku /z uwagi na pracę synchroniczną/ zastosowania układów fazowania ramki oraz 256-bitowych pamięci na wejściach 2 Mbit/s krotnicy. Przeplatanie oktettów może być zrealizowane w samym procesie zwielokrotnienia i w związku z tym dodatkowe przetworniki bit/oktet i oktet/bit nie są potrzebne.

W obu wariantach zakłada się, że w zaleceniach CCITT G.744 i G.746 dokonane zostaną modyfikacje, o których mowa w pkt. 4.2 i w związku z tym stosowanie pamięci dla celów sygnalizacji nie będzie konieczne.

Jak z powyższego widać, krotnica cyfrowa z ramką uniwersalną w stosunku do krotnic z dopełnianiem dodatnim i krotnic z dopełnianiem dodatnio-ujemnym ale bez ramki uniwersalnej, wymagają najbogatszego wyposażenia, a w związku z tym stanowią rozwiązanie najdroższe. Jest to cena, jaką płaci się za ich uniwersalność i udogodnienia eksploatacyjne. Należy przy tym podkreślić, że koszt krotnic cyfrowych stanowi tylko niewielki procent kosztów całego systemu. Główny koszt stanowią przetworniki A-C /krotnice PCM/ oraz trakt liniowy. Wynika stąd, że wzrost kosztów krotnic cyfrowych nawet o 10 ÷ 20% tylko w nieznacznym stopniu wpływa na koszt systemu w przeliczeniu na jeden kanał.

## 5. ANALIZA MOŻLIWOŚCI I ZAKRESU ZASTOSOWANIA SYSTEMU CYFROWEGO DRUGIEGO RZĘDU Z RAMKĄ UNIWERSALNĄ W SIECI KRAJOWEJ

### 5.1. Model przyszłościowej sieci cyfrowej

W poprzednich rozdziałach przedstawiono stan dotychczasowy i perspektywy rozwoju poszczególnych elementów sieci cyfrowej. Nie ulega wątpliwości, że przyszłościowa zintegrowana sieć cyfrowa realizowana będzie jako sieć synchroniczna, przynajmniej w pewnych obszarach synchronicznych z plejochroniczną współpracą między tymi obszarami. Uwzględniając przewidywany po-

stęp w zakresie technologii układów scalonych w zakresie skali integracji i szybkości pracy oraz potrzeby innych usług poza telefonią, nie można wykluczyć w takiej przyszłościowej sieci cyfrowej węzłów komutacyjnych przystosowanych do komutacji traktów cyfrowych o większej przepływności niż 2 Mbit/s, tzn. 8 Mbit/s a także 34 Mbit/s.

Tendencje rozwoju sieci cyfrowej w kierunku jej synchronizacji wynikają z potrzeb dotyczących jakości transmisji /eliminacja poślizgów/, a także ze względów ekonomicznych. Korzyści wynikające z cyfryzacji sieci są szczególnie wyraźne w przypadku sieci synchronicznej. W takiej sieci, zwłaszcza przy uzgodnieniu ramek systemów cyfrowych na poszczególnych szczeblach hierarchii, korzystnych dla teletransmisji i komutacji, znaczna część urządzeń teletransmisyjnych /krotnic/ nie jest potrzebna. Model takiej przyszłościowej synchronicznej sieci cyfrowej przedstawiony jest na rys. 4. W modelu tym uwzględniono również centrale elektromechaniczne, które instalowane obecnie będą występowały w sieci jeszcze przez długi czas. Do utworzenia takiej sieci niezbędna jest realizacja pól komutacyjnych przystosowanych do komutacji traktów cyfrowych 8 Mbit/s i 34 Mbit/s.

## 5.2. Możliwości realizacji pola komutacyjnego dla traktów cyfrowych 8 Mbit/s

Podstawowy blok pola komutacyjnego w centrali cyfrowej E-10 przystosowany jest do komutacji 32 traktów cyfrowych 2 Mbit/s. Jak to zostało omówione w pkt. 2.3., komutacja bez blokady wewnętrznej wymaga w tym przypadku telestrady o 1024 kanałach czasowych, co /przy komutacji w kodzie szeregowym/ odpowiada szybkości transmisji w telestradzie 65,536 Mbit/s. Dla obniżenia tej szybkości w systemie E-10 zastosowano telestradę 8-przewodową i komutację w kodzie równoległym, dzięki czemu szybkość transmisji w telestradzie wynosi tylko 8,192 Mbit/s.

Poważnie utarł się błędny termin dotyczący szybkości komutacji centrali cyfrowej. O centrali E-10 mówi się, że jest to centrala o szybkości komutacji 2 Mbit/s, ponieważ przychodzące i wychodzące trakty cyfrowe mają przepływność 2 Mbit/s. W rzeczywistości komutowane są kanały 64 kbit/s, a szybkość transmisji w łańcuchu wielokrotnym /telestradzie/ pola komutacyjnego wynosi nie 2 a 8 Mbit/s. Taka struktura pola komutacyjnego w centrali E-10 podyktowana była pewnymi założeniami odnośnie struktury sieci i trzeba przy-

znać, że nie w każdym przypadku jest ona optymalna. Zwróćmy uwagę, że pole komutacyjne będzie miało tę samą szybkość transmisji w telestradzie i tę samą liczbę komutowanych kanałów 64 kbit/s, jeżeli do tego pola dołączonych zostanie nie 32 trakty 2 Mbit/s, lecz 8 traktów 8 Mbit/s. Liczba komórek pamięci niezbędnych w trakcie komutacji będzie również dokładnie taka sama, ponieważ każdy bit słowa kodowego każdego kanału musi być zapamiętywany w oddzielnej komórce pamięci. Zysk jaki daje pole komutacyjne dla traktów 8 Mbit/s, w stosunku do pola dla traktów 2 Mbit/s, polega na 4-krotnie mniejszej liczbie zespołów resynchronizacji. Jak wiadomo, każdy trakt przychodzący do centrali cyfrowej wyposażony jest w taki zespół resynchronizacji i przy mniejszej liczbie traktów mniejsza jest również liczba zespołów resynchronizacji. Reasumując, pole komutacyjne dla traktów 8 Mbit/s, przy zachowaniu tej samej liczby komutowanych kanałów 64 kbit/s, nie wymaga elementów o większej szybkości działania, natomiast przynosi znaczny efekt w postaci redukcji liczby zespołów resynchronizacji.

Oczywiście taka struktura pola komutacyjnego korzystna jest wówczas, gdy do centrali doprowadzone są duże wiązki kanałów z niewielkiej liczby kierunków. Z przypadkiem takim mamy do czynienia w centralach tranzytowych, spełniających powyższy warunek, dlatego pole komutacyjne dla traktów 8 Mbit/s byłoby w tych centralach bardziej optymalne. Zwiększenie pojemności pola może być realizowane w ten sam sposób co w centrali E-10, t.j. przez tworzenie struktur przestrzenno-czasowych.

Dodatkowy zysk, jaki daje pole komutacyjne dla traktów 8 Mbit/s, polega na możliwości bezpośredniej współpracy centrali cyfrowej z cyfrowym traktem liniowym z pominięciem krotnic cyfrowych. Ażeby taka bezpośrednia współpraca była możliwa, ramka przychodzącego sygnału 8 Mbit/s musi być zrozumiała dla centrali, tzn. nie może zawierać bitów dopełniających i powinna być tworzona na zasadzie przeplatania szczelin kanałowych /choć przy przeplataniu bitów komutacja jest również możliwa/. Warunek ten spełnia np. ramka uniwersalna przy pracy synchronicznej krotnic. Nie może to być natomiast ramka utworzona w wyniku asynchronicznego zwielokrotnienia cyfrowego z dopełnianiem impulsowym.

### 5.3. Etapy cyfryzacji sieci krajowej

Aktualnie sieć krajową znajduje się w początkowym stadium cyfryzacji. Instalowane centrale E-10 stanowią małe, odosobnione wysępkły sieci analogowej. Za względów ekonomicznych, celowe jest ukierunkowanie dalszej cyfryzacji na rozbudowę tych wysp cyfrowych, przy czym wskazane jest /por. pkt 2.1/ jednoczesne wprowadzanie w danym rejonie komutacji i teletransmisji cyfrowej. W kolejnym etapie cyfryzacja sieci wymagać będzie połączeń stref cyfrowych między sobą i to na dość znaczne odległości. Połączenia te powinny być realizowane za pomocą teletransmisyjnych systemów cyfrowych, ponieważ wykorzystanie do tego celu systemów analogowych jest niekorzystne, zarówno pod względem technicznym jak i ekonomicznym.

Synchronizacja sieci może być wprowadzana już na etapie tworzenia stref cyfrowych. Powstanie wówczas potrzeba stosowania krotńc cyfrowych pracujących synchronicznie. Zainstalowane wcześniej krotńce pracujące asynchronicznie będą mogły pozostać w sieci, jednakże razem z nimi pozostaną pewne wady: wielokrotnienia asynchronicznego /fluktuacje fazy sygnału na wyjściu krotńc odbiorczych, możliwość utraty fazowania ramki w wyniku przekłamania komend dopełniania, itp./, a także nie zostanie w pełni wykorzystany zysk, jaki daje synchronizacja sieci /eliminacja niektórych krotńc cyfrowych/.

Równoległe, z racji rozszerzania zakresu usług telekomunikacyjnych powstanie potrzeba opracowania i stosowania w sieci pól komutacyjnych dla strumieni cyfrowych o większej przepływności. Zdaniem autorów, wprowadzenie pól komutacyjnych dla traktów cyfrowych 8 Mbit/s celowe jest już na wcześniejszym etapie ze względu na ich niewątpliwe zalety w przypadku central transzutowych.

Teletransmisyjne systemy cyfrowe wdrażane będą do sieci razem z komutacją cyfrową, jak również niezależnie od niej, ponieważ wykorzystywane samodzielnie także przynoszą znaczne efekty techniczne i ekonomiczne.

### 5.4. Wykorzystanie systemu cyfrowego drugiego rzędu w sieci krajowej w zależności od cyfryzacji węzłów komutacyjnych

System cyfrowy drugiego rzędu przewidziany jest przede wszystkim do wielokrotnienia łączy międzycentralowych. Analiza możliwości i zakresu zastosowania tego systemu przeprowadzona zostanie w zależności od cyfryzacji



węzłów komutacyjnych. Rozważania ograniczone zostaną do łącza między dwiema centralami, ponieważ zagadnienie wykorzystania systemu teletransmisyjnego w najbardziej rozbudowanej sieci można sprowadzić do tego podstawowego przypadku. W kolejnych etapach cyfryzacji sieci mogą wystąpić następujące kombinacje układu dwóch central:

- A. Obie centrale typu elektromechanicznego.
- B. Jedna centrala elektromechaniczna, a druga centrala cyfrowa z polem komutacyjnym dla traktów 2 Mbit/s.
- C. Obie centrale cyfrowe z polem komutacyjnym dla traktów 2 Mbit/s, wzajemnie niesynchronizowane.
- D. Obie centrale jak w pkt. C. ale zsynchronizowane.
- E. Dwie zsynchronizowane centrale cyfrowe, przy czym jedna z polem komutacyjnym dla traktów 2 Mbit/s, a druga dla traktów 8 Mbit/s.
- F. Obie centrale cyfrowe z polem komutacyjnym dla traktów 8 Mbit/s, wzajemnie zsynchronizowane.

Możliwości wykorzystania systemu cyfrowego drugiego rzędu z dopełnianiem dodatnim oraz systemu z ramką uniwersalną, w kolejnych etapach cyfryzacji sieci przedstawione są na rys. 5. Jak z tego widać, w pierwszych trzech etapach wykorzystanie obu systemów jest jednakowo możliwe i oba systemy są praktycznie równoważne. Pierwsza istotna różnica pomiędzy tymi systemami pojawia się w etapie D tj. po zsynchronizowaniu dwóch central między sobą. System z ramką uniwersalną może wówczas być przełączony na pracę synchroniczną i w wyniku tego na wyjściu krotnicy odbiorczej nie występują fluktuacje fazy sygnału oraz w trakcie liniowym nie są przesyłane komendy dopełniania. Dzięki temu nie mogą występować utraty fazowania ramek spowodowane przekłamaniami tych komend. System z dopełnianiem dodatnim może w takim przypadku pracować w sposób quasisynchroniczny, tzn. mimo iż sygnały wielokrotniane są synchroniczne w stosunku do zegara krotnicy, krotnica dalej pracuje w sposób asynchroniczny z dopełnianiem impulsowym, które ma charakter systematyczny. Fluktuacje fazy są w takim przypadku dużo mniejsze, ale występują. Możliwe są również przekłamania komend dopełniania i w efekcie utraty fazowania ramek w grupach pierwotnych 2 Mbit/s.

Najbardziej istotna różnica występuje w etapie E, kiedy w sieci pojawiają się centrale cyfrowe z polem komutacyjnym dla traktów cyfrowych 8 Mbit/s.

W przypadku krotnic cyfrowych z ramką uniwersalną krotnica od strony centrali 8 Mbit/s jest niepotrzebna, bowiem centrala współpracuje bezpośrednio z traktem liniowym. W przypadku krotnic z dopełnianiem dodatnim możliwe są dwa wyjścia:

- wymiana krotnic na krotnice pracujące synchronicznie,
- pozostawienie obu krotnic pracujących quasisynchronicznie oraz od strony centrali 8 Mbit/s dodanie krotnicy synchronicznej.

Oczywiście oba rozwiązania są kłopotliwe w praktyce. Bardziej właściwe wydaje się rozwiązanie pierwsze. Wycofanie krotnic z dopełnianiem dodatnim można w takim przypadku wykorzystać w innych relacjach.

W etapie F, kiedy obie centrale są przystosowane do bezpośredniej współpracy z traktem liniowym 8 Mbit/s, krotnice cyfrowe nie są potrzebne.

#### 5.5. Współpraca w sieci międzynarodowej

Przy współpracy w sieci międzynarodowej mogą wystąpić dwa przypadki:

- tranzyt grupy cyfrowej między dwoma krajami przez sieć trzeciego kraju,
- bezpośrednia współpraca sieci dwóch krajów.

Tranzyt grupy cyfrowej między krajami A i B, stosującymi ten sam rodzaj dopełniania przez terytorium kraju C nie stanowi większego problemu, niezależnie od tego jaki rodzaj dopełniania stosowany jest w kraju C. Wynika to z tego, że grupa cyfrowa utworzona na zasadzie dopełniania dodatniego może być bez problemu przesłana przez system wyższego rzędu z dopełnianiem dodatnio-ujemnym i odwrotnie.

Przy współpracy sieci dwóch krajów stosujących ten sam rodzaj dopełniania współpraca taka odbywa się bezproblemowo. W przypadku różnych systemów dopełniania bezpośrednia współpraca na poziomie grupy wtórnej i wyższym nie jest możliwa. W takim przypadku niezbędne jest rozdzielenie grupy wyższego rzędu na pojedyncze sygnały 2 Mbit/s i wówczas współpraca odbywa się na poziomie grup pierwotnych. Wymaga to oczywiście zastosowania w jednym z krajów krotnic cyfrowych nietypowych dla sieci tego kraju. Przykładowo: jeżeli współpraca odbywa się na poziomie grupy czwórnjej, wówczas w jednym z krajów we wszystkich punktach sieci, gdzie tworzona jest grupa czwórna oraz wchodzące w jej skład grupy trójne i wtórne, muszą być zastosowane tego samego ty-

pu krotnice co w kraju drugim. Ze względu na to, że takich punktów sieci może być dużo, a ponadto mogą być rozmieszczone dowolnie w zależności od potrzeb ruchu, rozwiązanie takie byłoby bardzo kłopotliwe w praktyce. Bardziej właściwym rozwiązaniem jest w tym przypadku wyposażenie stacji węzłowej - na styku dwóch sieci - w dodatkowy komplet krotnic cyfrowych z jednym i drugim dopełnianiem. Przykład takiego rozwiązania, przy współpracy na poziomie grupy czwórnjej, przedstawiony jest na rys. 6.

## 6. PODSUMOWANIE

Podsumowaniem powyższej analizy powinna być odpowiedź na pytanie: czy w aktualnej sytuacji, kiedy:

- mamy w kraju opracowany system cyfrowy drugiego rzędu z dopełnianiem dodatkim, który praktycznie nie został jeszcze wdrożony do eksploatacji,
- dla krajów członków RWPG przyjęty został jednolity system cyfrowy drugiego rzędu z ramką uniwersalną,

należy w Polsce wdrażać do eksploatacji oba systemy, czy też ograniczyć się do opracowania i wdrożenia do eksploatacji tylko systemu z ramką uniwersalną.

Z punktu widzenia sieci krajowej oba systemy mogą znaleźć zastosowanie i praktycznie do czasu pojawienia się central cyfrowych z polem komutacyjnym dla traktów cyfrowych 8 Mbit/s oba systemy są równoważne. Zalety systemu z ramką uniwersalną ujawniają się w przypadku synchronizacji sieci, a zwłaszcza w momencie wdrożenia do sieci central cyfrowych dla traktów 8 Mbit/s, gdyż wówczas krotnice od strony centrali 8 Mbit/s nie będą potrzebne.

Z drugiej jednak strony, równoległe wdrażanie do sieci obu systemów mogłoby w przyszłości spowodować znaczne utrudnienia eksploatacyjne i ograniczenie elastyczności sieci z uwagi na brak możliwości bezpośredniej współpracy obu systemów. Istotną sprawą jest również wielkość wyposażenia instalowanego w przewoźnych środkach łączności, wykorzystywanych do wydzielania strumieni cyfrowych /głównie grup pierwotnych/ na obsługiwanych stacjach regeneracyjnych /OSR/ systemów wyższej krotności. Dla realizacji takiego wydzielania niezbędne jest wyposażenie w dwa komplety krotnic cyfrowych /por. rys. 7/. W przypadku istnienia w sieci dwóch rodzajów systemów cyfro-

wych wyposażenie to musiałyby być dwukrotnie większe.

Uwzględniając powyższe aspekty, wydaje się, że wdrażanie do sieci tylko jednego systemu z ramką uniwersalną jest rozwiązaniem bardziej właściwym. Biorąc jednak pod uwagę konieczność amortyzacji nakładów poniesionych na opracowanie i wdrożenie do produkcji systemu z dopełnieniem dodatnim, celowe jest podjęcie produkcji tego systemu przez okres rzędu 5 ÷ 10 lat. Przy racjonalnie prowadzonej cyfryzacji sieci krajowej, tzn. przez tworzenie stref cyfrowych i ich stopniowe rozbudowywanie, powinny być ponadto przestrzegane następujące zasady:

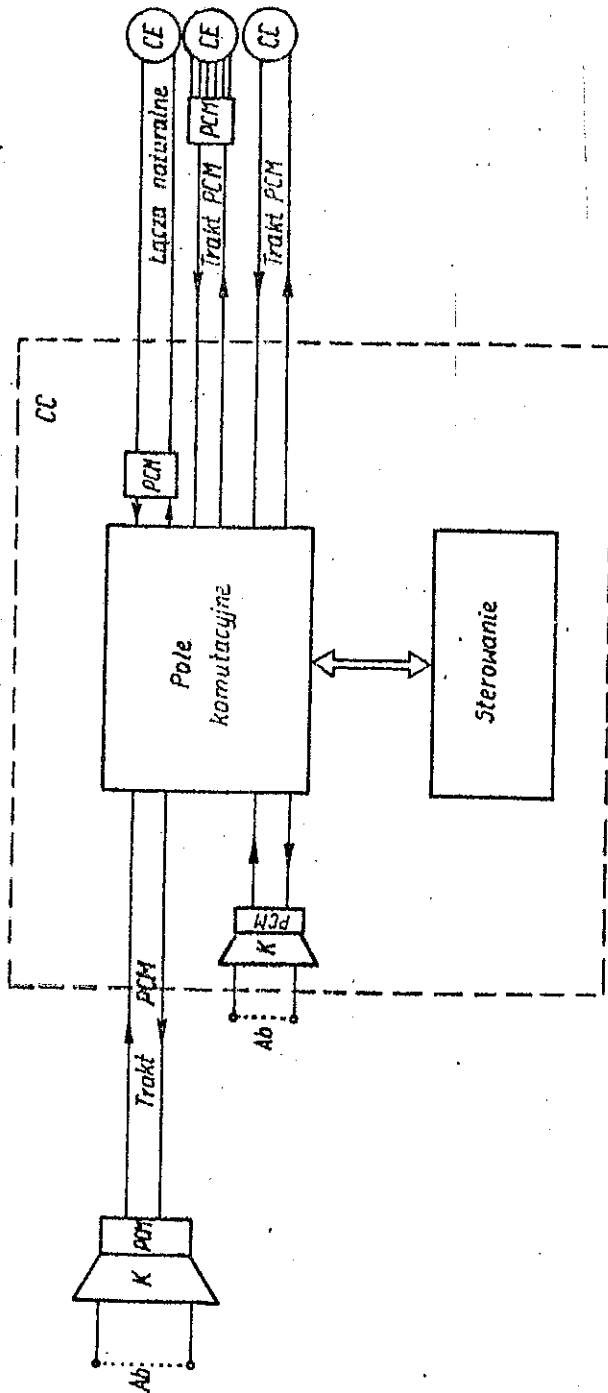
- w obrębie stref cyfrowych należy wykorzystywać system cyfrowy drugiego rzędu z ramką uniwersalną,
- system cyfrowy drugiego rzędu z dopełnieniem dodatnim przez okres jego produkcji powinien być wykorzystywany jako samodzielny system teletransmisyjny w relacjach między centralami elektromechanicznymi i rejonach, w których pełna cyfryzacja przewidziana jest w późniejszym okresie.

#### WYKAZ LITERATURY

1. Abmus U., Bartel W.: Digitale Multiplexverfahren und ihre Bedeutung für ein digitales Netz. Elektronik, 1978, No 6, s. 78-83.
2. Bartel W.: Zum Entwicklungsstand der digitalen Fernsprechtechnik. NTZ, 1979, No 9, s. 598 ÷ 601.
3. Bauer H.: Schrittweise Digitalisierung von Fernsprechnetzen. TEKADE Techn. Mitt., 1980, s. 33 ÷ 42.
4. CCITT, Księga Pomarańczowa, Zalecenia: G.741, G.742, G.744, G.745, G.746, G.811.
5. Duttweiler D.L.: Waiting Time Jitter. Bell. Syst. Tech. J., 1972, vol. 51, No 1, s. 165 ÷ 207.
6. Ivanov J.P., Levin L.S., Oficerov W.G.: Universalnyj cikl pieredači dlia vtorichykh cifrovych sistem svlazi. Elektrosviaż, 1977, No 9, s. 20 ÷ 24.
7. Krockner E.: Entwicklungstendenzen der leitungsgebundenen Nachrichtentechnik. Fernmelde-technik, 1979, No 4, s. 126 ÷ 131.

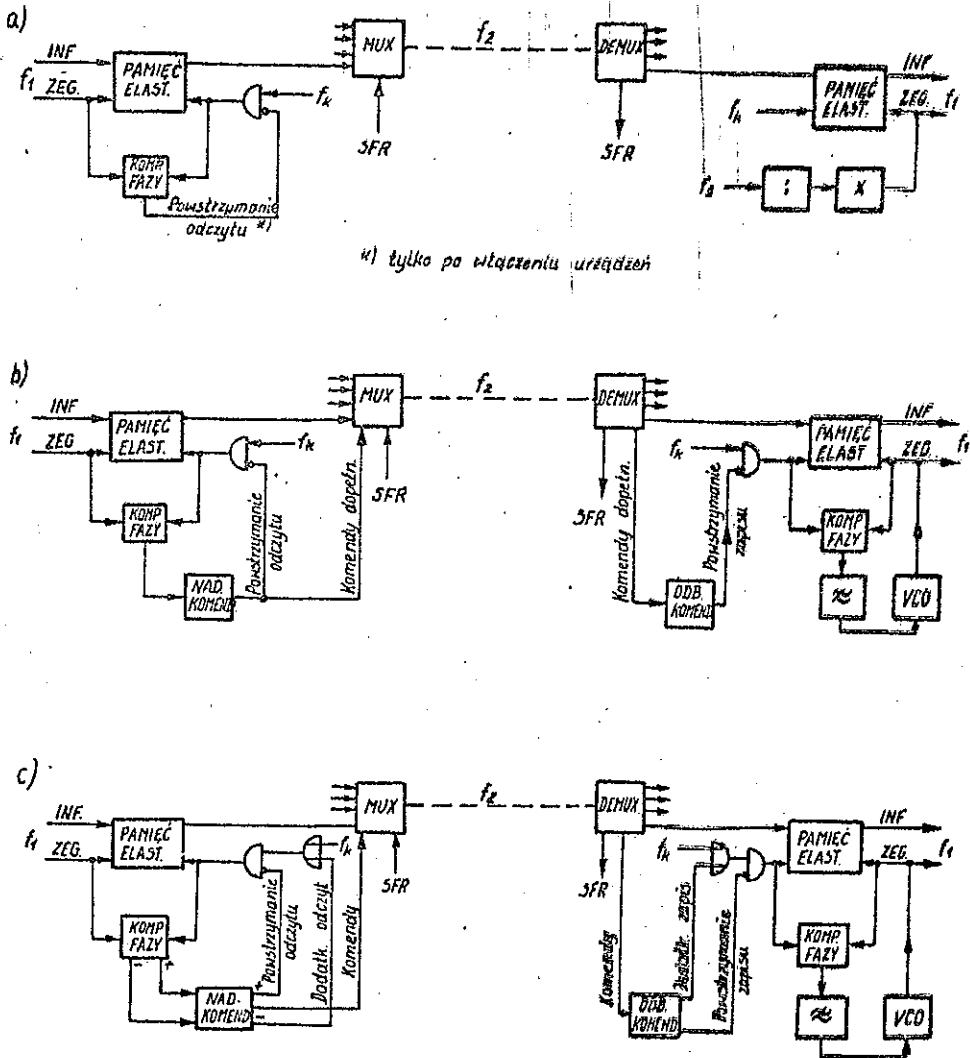
8. Levin L.S., Płotkin M.A.: Osnovy postrojenia cifrowych sistem pieredači. Moskwa, Sviaż 1975.
9. Meyer S., Chomette A., Portejoie J.F.: La gigue dans les equipement de multiplexage demultiplexage numeriques. Cables et Transmission, 1979, No 1, s. 3 + 29.
10. Praca zbiorowa: Wstępna koncepcja zintegrowanego systemu telekomunikacyjnego. Biuletyn Informacyjny It, 1980, Nr 6 /196/.
11. Suter W.: Principes fondamentaux du système de télécommunication intégré. PTT Tech. Mitt., 1977, No 9, s. 398 + 410.
12. Teletransmisyjne systemy cyfrowe. Warszawa, WKiŁ 1976.
13. Żurawski M., Juszkwiewicz E.: Asynchroniczna krotnica cyfrowa 2-8 Mbit/s. Biuletyn Informacyjny It, 1978, Nr 1 /167/.





Rys. 2. Uproszczony schemat blokowy centrali cyfrowej

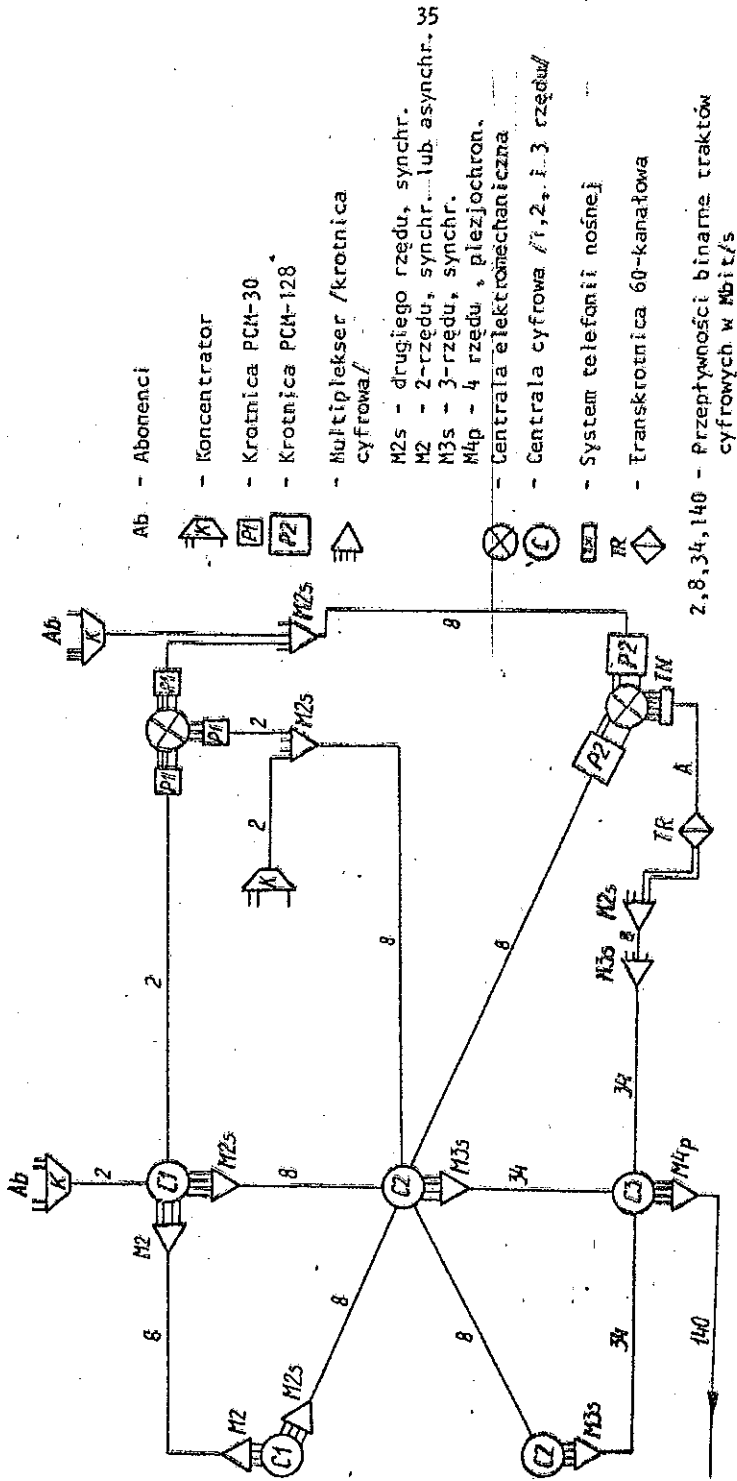
K - koncentrator, PCM - krotnica PCM, CE - centrala elektromechaniczna, CC - centrala cyfrowa



Rys. 3. Metody zwielokrotnienia cyfrowego: a/ zwielokrotnienie synchroniczne /  $f_k = f_1$  /, b/ zwielokrotnienie asynchroniczne z dopełnianiem dodatnim /  $f_k > f_1$  /, c/ zwielokrotnienie asynchroniczne z dopełnianiem dodatnio-ujemnym /  $f_{knom} = f_{inom}$  /

SFR - sygnał fazowania ramki

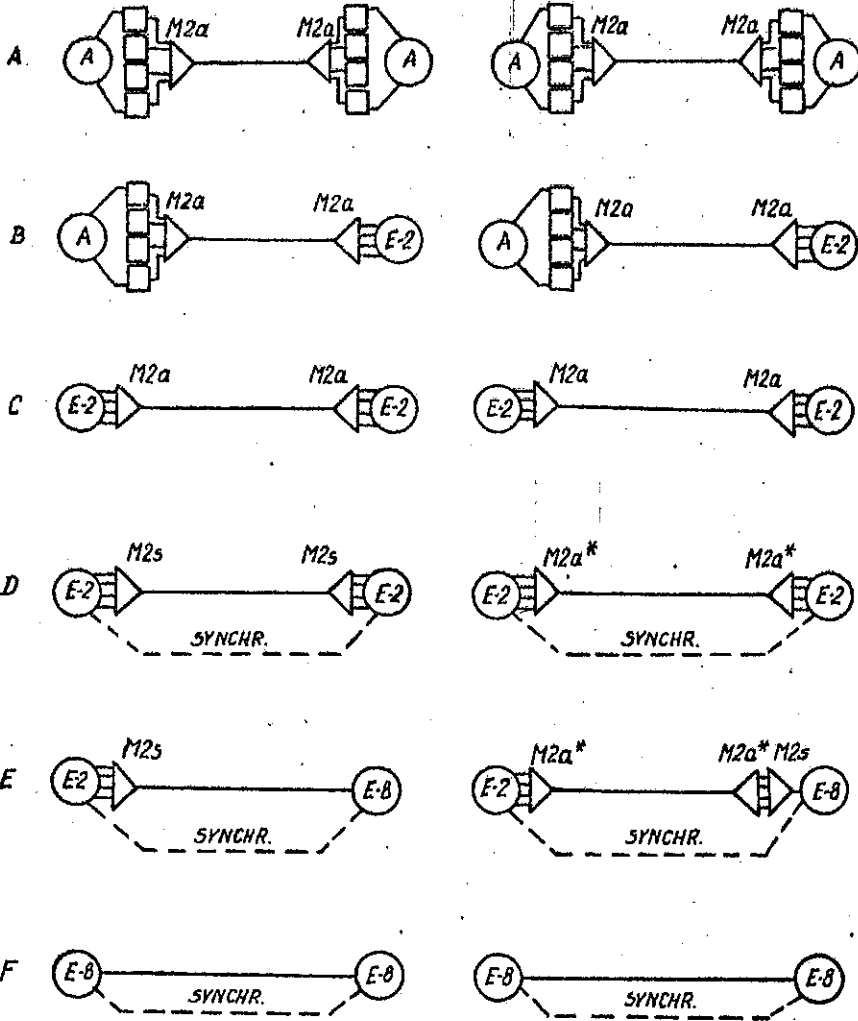




Rys. 4. Model przyszłościowej sieci synchronicznej

## System z ramką uniwersalną

## System z dopełnianiem dodatnim



□ - krotnica PCM-30

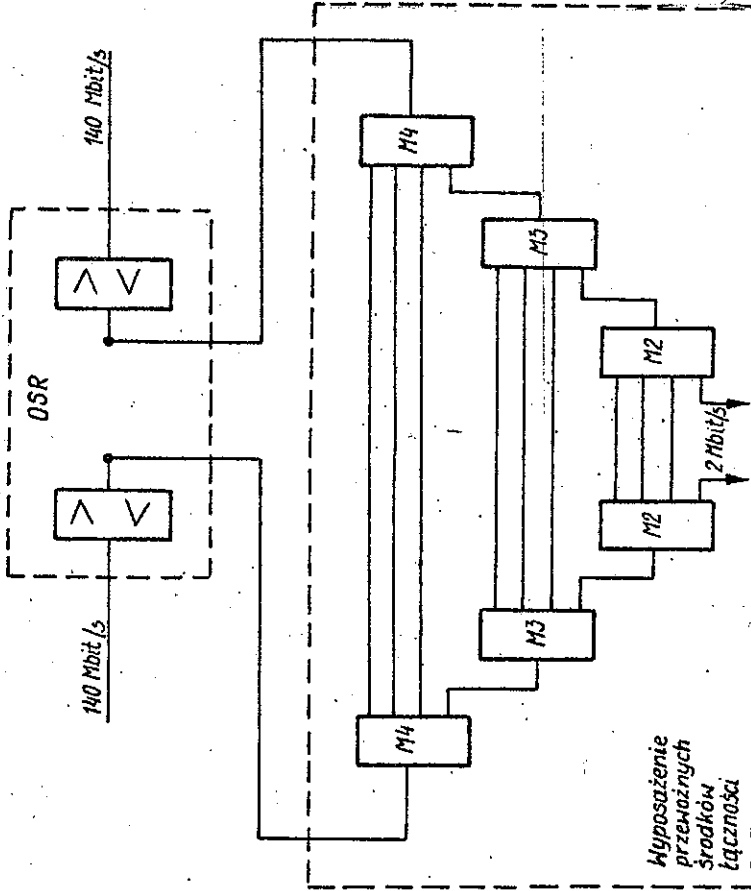
➡ - multiplifikser 2 rzędu /a - asynchroniczny, s - synchroniczny, a\* - quasisynchroniczny/

(A) - centrala analogowa, (E2) - centrala cyfrowa dla traktów 2 Mbit/s.

(E8) - centrala cyfrowa dla traktów 8 Mbit/s

Rys. 5. Wykorzystanie systemu cyfrowego drugiego rzędu w sieci krajowej w zależności od cyfryzacji węzłów komutacyjnych





Rys. 7. Wydzielanie grupy pierwotnej 2 Mbit/s na OSR systemie 1440 Mbit/s z wykorzystaniem przewodzących środków łączności

OSR - Obsługiwana Stacja Regeneratorowa, M2, M3, M4 - krotności cyfrowa 2, 3 i 4 rzędu



