

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI
WARSZAWA-MIEDZESZYN

BIULETYN

INFORMACYJNY

6 (270)

1989

BIULETYN INFORMACYJNY

OK 29

WARSZAWA 1989

NR 6(270)

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI
Branżowy Ośrodek
Informacji Naukowej, Technicznej i Ekonomicznej

Redakcja Biuletynu Informacyjnego

Redaktor Naczelny - dr inż. Krystyn Plewko
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 Juskiewicz

Montaż tekstu: Barbara Skwara

Dział Wydawniczy Instytutu Łączności
Format B5. Nakład 625. Wpłynęło do
Działu Wydawniczego 1990.02.21.
Druk ukończono w maju 1990 r.

Jerzy Trehciński

RELATYWNY KOSZT URZĄDZEŃ TELEKOMUNIKACYJNYCH
(METODA BADAŃ)

SPIS TREŚCI

	Str.
1. Wprowadzenie	1
2. Matryce komutacyjne	2
3. Układy dwusekcyjne	3
4. Układy trzysekcyjne z kompresją ruchu	6
5. Układy o nieparzystej liczbie sekcji	7
6. Układy komutacyjne oparte o modulację amplitudy impulsu	9
7. Cyfrowe układy komutacyjne typu T	10
8. Cyfrowe układy komutacyjne typu T - S - T	14
9. Stopnie komutacyjne centrów systemu crossbar	16
10. Koszt centrum komutacyjnego systemu crossbar	18
11. Tendencje rozwojowe w technice cyfrowej	19
12. Stopnie komutacyjne centrów elektronicznych	21
13. Koszt centrum komutacyjnego o cyfrowej komutacji	25
14. Telekomunikacyjne łącza cyfrowe	26
15. Opłacalność łączy cyfrowych	29
16. Inne sposoby tworzenia linii telekomunikacyjnych	32
17. Jednostkowy koszt łączy i terminali cyfrowych	32
18. Koszt łącza na abonenta	33
19. Długość łączy abonenckich	34
20. Długość łączy międzycentralowych	35
21. Określanie dokładnej długości łączy	36
22. Koszt abonenta w sieci telekomunikacyjnej	37
23. Porównywanie kosztów inwestycji telekomunikacyjnych	38
Wykaz literatury	40



RELATYWNY KOSZT URZĄDZEŃ TELEKOMUNIKACYJNYCH
(METODA BADAŃ)

1. WPROWADZENIE

Przedstawiona niżej metoda określania kosztu urządzeń telekomunikacyjnych jest oparta na możliwości wykorzystania faktu pewnych stałych proporcji cenowych pomiędzy różnymi elementami, podzespołami i zespołami tych urządzeń. Zwróćmy uwagę, że typowy podzespół składa się z odpowiednich elementów, a typowy zespół - z odpowiednich podzespołów. Spotykamy się również z takimi pojęciami, jak: układ scalony, moduł, i układ funkcjonalny. Dany moduł realizuje się sprzętowo z zastosowaniem odpowiednich układów scalonych i uzyskuje jego właściwe działanie dzięki oprogramowaniu. Układ funkcjonalny z kolei cechuje się budową modułarną z punktu widzenia sprzętu i oprogramowania.

Koszt urządzeń telekomunikacyjnych jest określany, zgodnie z omawianą metodą, relatywnie do przyjętego umownego kosztu jednostkowego i wobec tego wyraża się w postaci właściwej liczby umownych jednostek kosztu. Ten umowny koszt jednostkowy (oznaczony w skrócie u j k) jest kosztem bazowej części urządzenia telekomunikacyjnego. W praktycznym zastosowaniu metody jako u j k może być brany pod uwagę koszt normalnego elektromagnesowego przekaźnika telefonicznego, elektronicznego układu scalonego, elementu pamięci adresowej itp.

Na końcu niniejszego opracowania zestawiono wykaz materiałów źródłowych. W podanych pracach szczegółowo przedstawiono zasady działania omawianych podzespołów i zespołów lub skierowano Czytelnika do odpowiedniej literatury. Tu wybrano tylko te informacje, które uznano za niezbędne do ustalenia danych o relatywnym koszcie omawianych urządzeń telekomunikacyjnych.

2. MATRYCE KOMUTACYJNE

W przypadku klasycznych, elektromechanicznych urządzeń komutacyjnych podstawowym elementem jest przekaźnik elektromagnetyczny. Przyjęcie jako kosztu jednostkowego kosztu tego przekaźnika tworzy podstawę do oceny kosztu szeregu dalszych podzespołów i zespołów w systemach telekomutacyjnych. Omówmy w pierwszej kolejności tzw. matrycę komutacyjną, pozwalającą na realizowanie w danej chwili jednego połączenia pomiędzy dowolnym łączem ze zbioru łączy przyściowych do matrycy i dowolnym łączem ze zbioru łączy wyjściowych z tej matrycy. Używane zwykle matryce mają doprowadzone niewielkie liczby łączy przyściowych i wyjściowych, co nie przeszkadza tworzeniu układów komutacyjnych o potrzebnych większych pojemnościach dzięki zastosowaniu m.in. układów z szeregowym łączeniem matryc elementarnych. W ten sposób realizowane są układy o różnej liczbie sekcji: dwu-, trzy-, cztero-, pięcio- itd. - sekcyjne o odpowiednio rosnących pojemnościach wraz ze wzrostem liczby sekcji.

Do budowy matryc komutacyjnych może być użyty miniaturowy przekaźnik elektromagnetyczny o zestykach hermetyzowanych, którego koszt jest równoważny $0,5$ u j k. Inne z kolei podzespoły mogą być traktowane jako złożone z wielu elementów podstawowych. Przykładem niech będzie tu wybierak krzyżowy o m mostkach oraz d drążkach. Jego koszt w ogólnym ujęciu może zostać określony jako równoważny $m * d$ u j k.

Zajmijmy się teraz kosztem matrycy komutacyjnej, która złożona jest z przekaźników elektromagnetycznych i realizuje bezpośrednio komutowanie łączy do niej doprowadzonych. Jeżeli liczba łączy przyściowych jest n i łączy wyjściowych jest m , to liczba oddzielnych zespołów zestyków komutujących musi wynosić $m * n$, co jest realizowane z zastosowaniem $m * n$ przekaźników elektromagnetycznych. Stosując przekaźniki miniaturowe koszt matrycy wynosi: $0,5 * m * n$ u j k. Przykładowo koszt matrycy $4 * 4$ może być określony jako równoważny 8 , a matrycy $16 * 4$ - jako równoważny 32 u j k. Matrycę komutacyjną można też zbudować przy użyciu wybieraka krzyżowego o m

mostkach oraz o n wyjściach z każdego mostka. Znałe są przy tym odpowiednie zależności między liczbą drążków d i liczbą wyjść n z każdego mostka. Liczba zespołów zestyków mostka wynosi: $2 * d$ i w najprostszym przypadku $n = 2 * d$. W każdym zespole mamy więcej zestyków i niejednokrotnie tyle, że zespół ten umożliwia komutowanie więcej niż jednej drogi połączeniowej. Zespoły zestyków dzieli się wtedy na tzw. robocze i przełączające.

Zanotować można przy tym następujące zależności:

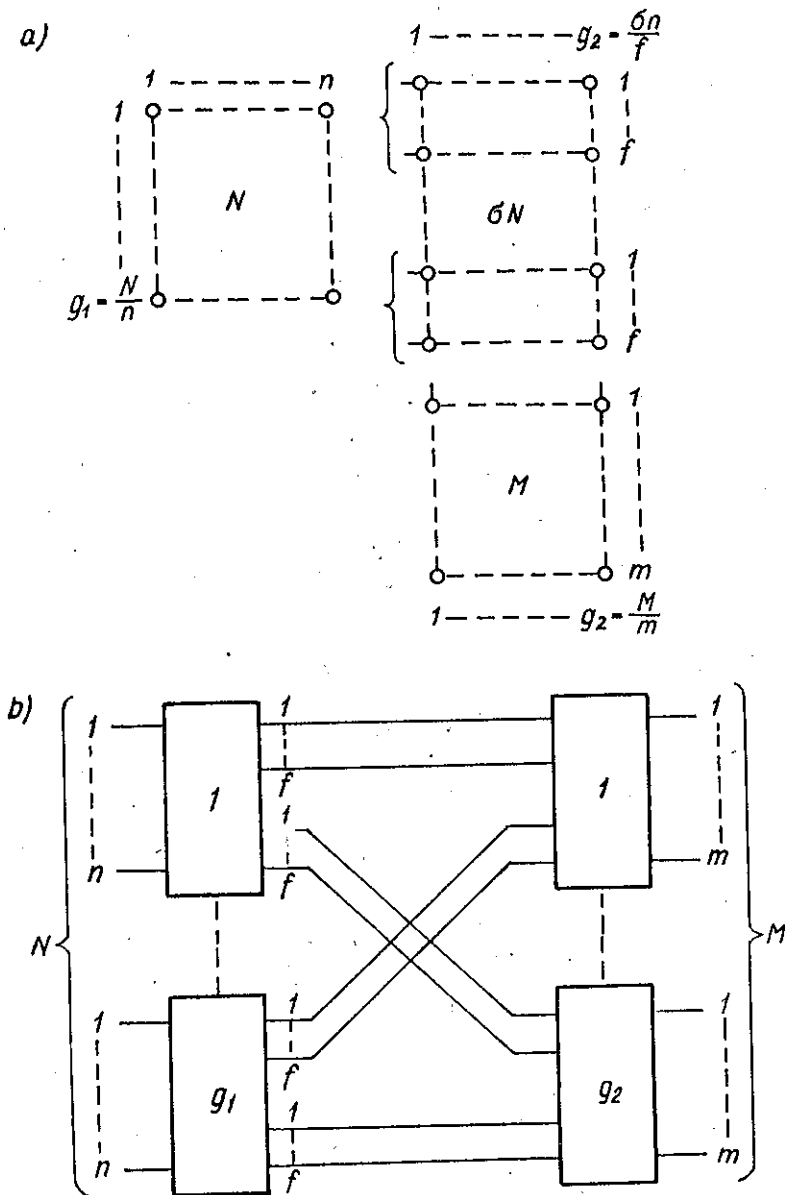
- w przypadku komutowania przez każdy roboczy zespół zestyków dwóch dróg połączeniowych $n = 2 * (2*d - 2)$
- w przypadku komutowania przez każdy roboczy zespół zestyków trzech dróg połączeniowych $n = 3 * (2*d - 4) + 2$
- w przypadku komutowania przez każdy roboczy zespół zestyków czterech dróg połączeniowych $n = 4 * (2*d - 4)$.

Jako przykładowe mogą być wzięte wybieraki o 6 drążkach i 10 mostkach oraz wybieraki o 14 drążkach i 22 mostkach. Koszt pierwszego równoważny jest 120, a drugiego - 616 u j k. W pierwszym przypadku uzyskuje się matryce o tym samym koszcie, lecz o różnej liczbie komutowanych przewodów: 10 * 12 lub 10 * 20 lub 10 * 26 lub też 10 * 32, a w drugim - 22 * 14 lub 22 * 52 lub też 22 * 74.

3. UKŁADY DWUSEKCYJNE

Omawiane układy mogą być budowane zarówno przy użyciu pojedynczych elementów komutujących, jak i takich układów złożonych jak np. wybierak krzyżowy. Układ dwusekcyjny (rys. 1) tworzy się z zastosowaniem kaskadowego połączenia odpowiednich matryc komutacyjnych. Może on być rozwiązany bądź jako układ z koncentracją ruchu, w którym $N > M$, bądź też jako układ z ekspansją ruchu, w którym $N \leq M$. We wszystkich układach dwusekcyjnych omawianego typu spełniona jest zależność:

$$6 * n / f = M / m$$



Rys. 1. Układ dwusekcyjny $N * M$
 a) wersja rysunkowa z symbolami kółkowymi; b) wersja rysunkowa z matrycami komutacyjnymi

n - elementarna wiązka po stronie wejścia, σ - współczynnik kompresji (ekspansji), f - liczba wiązek podstawowych w elementarnej wiązce łączy pośrednich, m - elementarna wiązka po stronie wyjścia

a jednocześnie liczba pojedynczych elementów komutacyjnych wyraża się zależnością:

$$P = \sigma * N * (n + m)$$

Oznaczenia użytych symboli są podane na rys. 1.

Najmniejszą wartość P uzyskuje się, gdy $n_0 = m_0 = \sqrt{M * f / \sigma}$ i wtedy równoważnik kosztu optymalnego układu zbudowanego z przekaźników miniaturowych o zestykach hermetyzowanych na jedno wejście takiego układu komutacyjnego, wyraża się następującą zależnością:

$$k_0 = \sigma * n_0$$

Jeżeli przykładowo rozpatrzmy układy o liczbie wejść $N = 512$ oraz odpowiednio o liczbie wyjść $M_1 = 64$, $f = 1$ i $\sigma = 0,25$ oraz $M_2 = 128$, $f = 1$ i $\sigma = 0,5$, określimy dla obydwu przypadków: $n_0 = m_0 = 16$ oraz koszt odpowiednio: 4 i 8 u j k.

W typowym układzie z kompresją, zrealizowanym przy użyciu wybieraków krzyżowych, liczba mostków wyraża się:

$$L_1 = M + \sigma * N$$

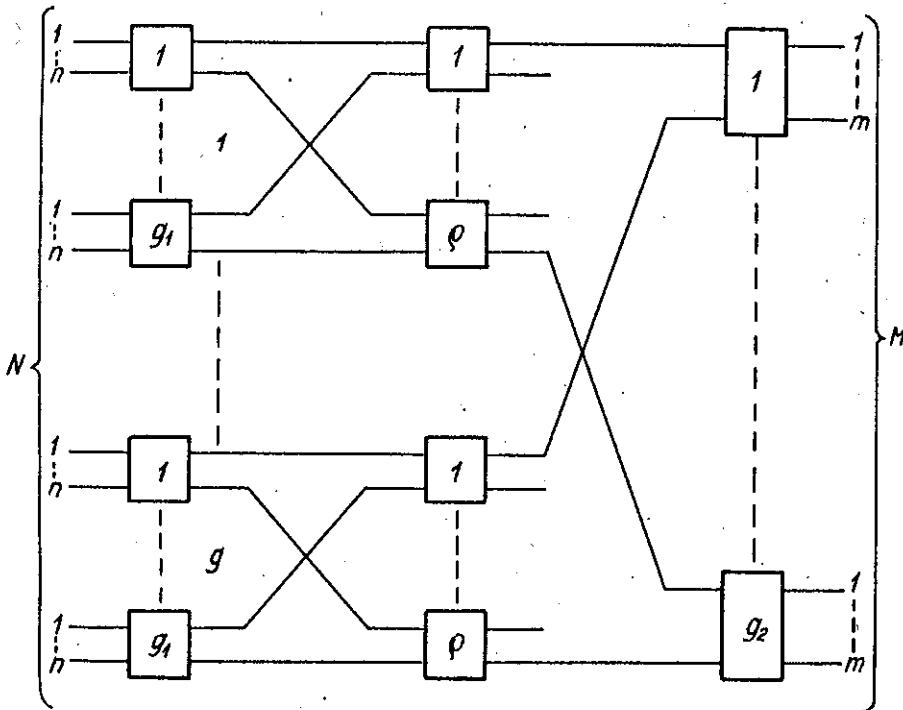
a w typowym układzie z ekspansją:

$$L_2 = N + \sigma * N$$

Można podać dla przykładu, że dwusekcyjny stopień abonencki o pojemności liniowej 1036 może zostać zbudowany z zastosowaniem 14 wybieraków o 12 mostkach i 14 drążkach w sekcji A oraz 6 wybieraków o 22 mostkach i 14 drążkach w sekcji B. Od strony stacyjnej do tego stopnia może być podłączonych 54 łączy wyjściowych i 66 łączy przyściowych. Koszt omawianego stopnia abonenckiego jest równoważny 4,4 u j k na łączy abonenckie i jest około dwa razy mniejszy, niż koszt podobnego układu złożonego z przekaźników.

4. UKŁADY TRZYSEKCYJNE Z KOMPRESJĄ RUCHU

Celem uzyskania ekonomicznie uzasadnionych układów komutujących z kompresją ruchu, zbudowanych przy użyciu przekaźników miniaturowych o zestykach hermetyzowanych, stosuje się układy trzysekcyjne (rys. 2), których równoważnik kosztu jest rzędu dwa razy mniejszy niż układów dwusekcyjnych. Przykładowy układ o $N = 512$ łączach abonenckich po jednej jego stronie, 256 łączach między sekcją pierwszą i drugą, 128 łączach między sekcją drugą i trzecią oraz o $M = 64$ łączach po jego drugiej stronie, może być zbudowany przy użyciu 3584 przekaźników miniaturowych o zestykach hermetyzowanych i jego koszt jest równoważny 3,6 u j k na abonenta.



Rys. 2. Układ trzysekcyjny z kompresją ruchu $N * M$

g - liczba grup po stronie wejścia; g_1 - liczba matryc w każdej grupie; g_2 - liczba matryc po stronie wyjścia; p - liczba matryc w grupie sekcji drugiej

5. UKŁADY O NIEPARZYSTEJ LICZBIE SEKCJI

Układy z ekspansją ruchu, złożone z pojedynczych elementów komutujących lub scalonych modułów matrycowych, buduje się jako minimalne układy o nieparzystej liczbie sekcji. Układ trzysekcyjny pokazano na rys. 3. Równoważnik kosztu tego typu układów zbudowanych z przekaźników miniaturowych wyraża się zależnością:

$$k_m = 0,5 * [s * (1 + M / N) * n + M / n^s]$$

gdzie: w przypadku układu 3 - sekcyjnego $s = 1$

5 - sekcyjnego $s = 2$

7 - sekcyjnego $s = 3$

itd.

Podajmy przykładowo, że koszty równoważne k_m układów tej rodziny (przy $n = 4$) kształtują się następująco:

układ 3 - sekcyjny: $12 \leq N < 44$ koszt 5,5 do 9,5 u j k,

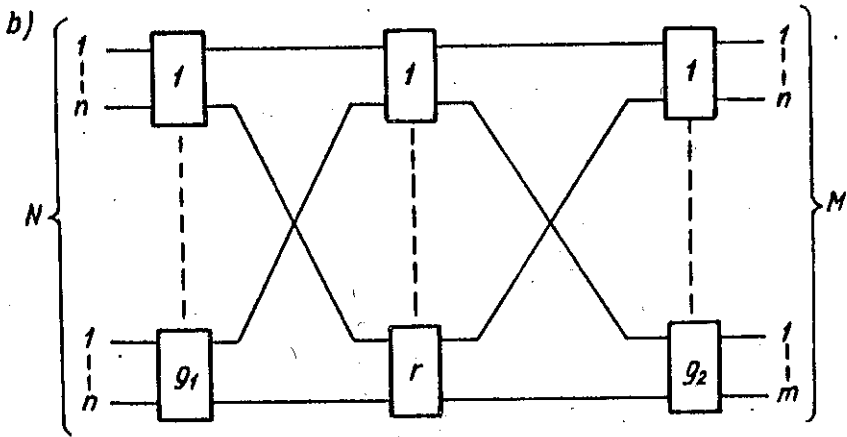
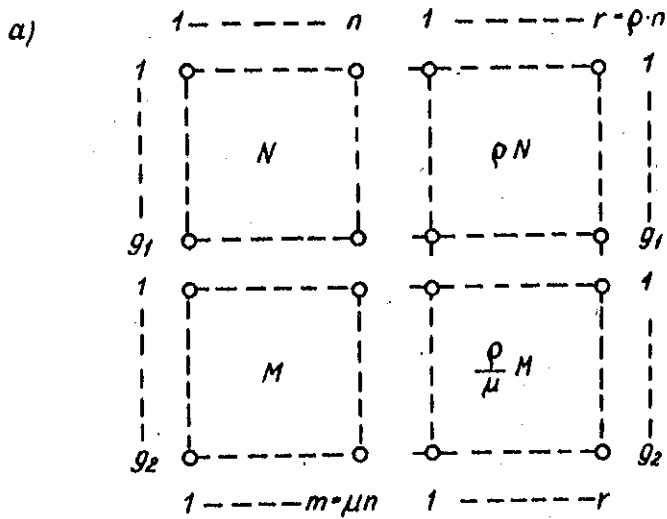
układ 5 - sekcyjny: $44 \leq N < 172$ koszt 9,4 do 13,4 u j k,

układ 7 - sekcyjny: $172 \leq N < 684$ koszt 13,35 do 17,35 u j k,

układ 9 - sekcyjny: $684 \leq N < 2732$ koszt 17,34 do 21,34 u j k,

układ 11 - sekcyjny: $2732 \leq N < 12300$ koszt 21,33 do 25,5 u j k,

Powyższe koszty są w zasadzie tego samego rzędu, co koszty układów komutujących budowanych przy użyciu wybieraków krzyżowych.

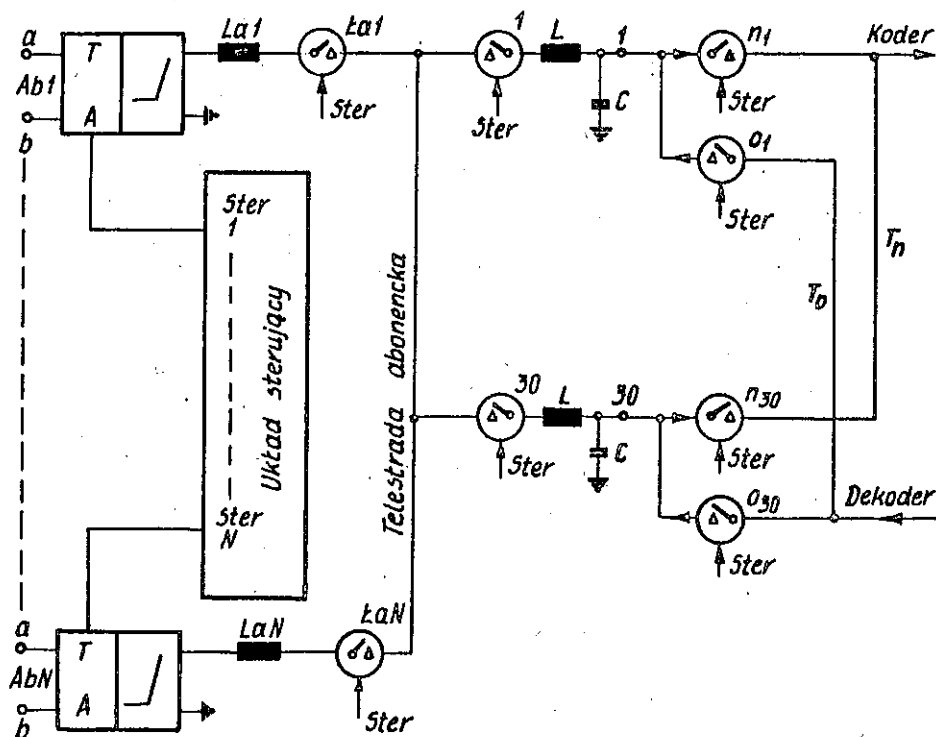


Rys. 3. Układ trzysekccyjny $N * M$ bez blokady wewnętrznej
 a) wersja rysunkowa z symbolami kółkowymi; b) wersja rysunkowa z matrycami komutacyjnymi

n , r , m - elementarne wiązki łączy po stronie przyściowej, w układach pośrednich oraz po stronie wyjściowej

6. UKŁADY KOMUTACYJNE OPARTE O MODULACJĘ AMPLITUDY IMPULSU

Omówimy z kolei układ komutujący (rys. 4), do którego z jednej strony doprowadza się N łączy abonenckich ($N > 30$), a z drugiej strony trakt 30-kanalowej cyfrowej telefonii wielokrotnej. W prezentowanym układzie następuje najpierw komutacja (z wykorzystaniem telestrady nazwanej abonencką) pomiędzy N wyposażeniami liniowymi łączy abonenckich i wyposażeniami wejścia/wyjścia 30-kanalowego systemu telefonii wielokrotnej. Komutacja ta obejmuje do 30 jednoczesnych połączeń i jest realizowana z zastosowaniem tzw. modulacji amplitudy impulsu, oznaczanej w skrócie PAM.



Rys. 4. Komutacja w rozdziale czasowym i wejście/wyjście PCM

W praktycznych rozwiązaniach komutacji z wykorzystaniem PAM mogą występować w bardziej złożonych układach większe liczby abonentów i większe liczby kanałów cyfrowych.

Koszt układu komutującego 500 abonentów z wiązką 60 kanałów cyfrowych, zrealizowanego z zastosowaniem komutacji przestrzennej za pomocą przekaźników miniaturowych z zestykami hermetyzowanymi oraz koszt układu z komutacją z wykorzystaniem PAM, oceniono w 1970 r. na ten sam rząd wielkości.

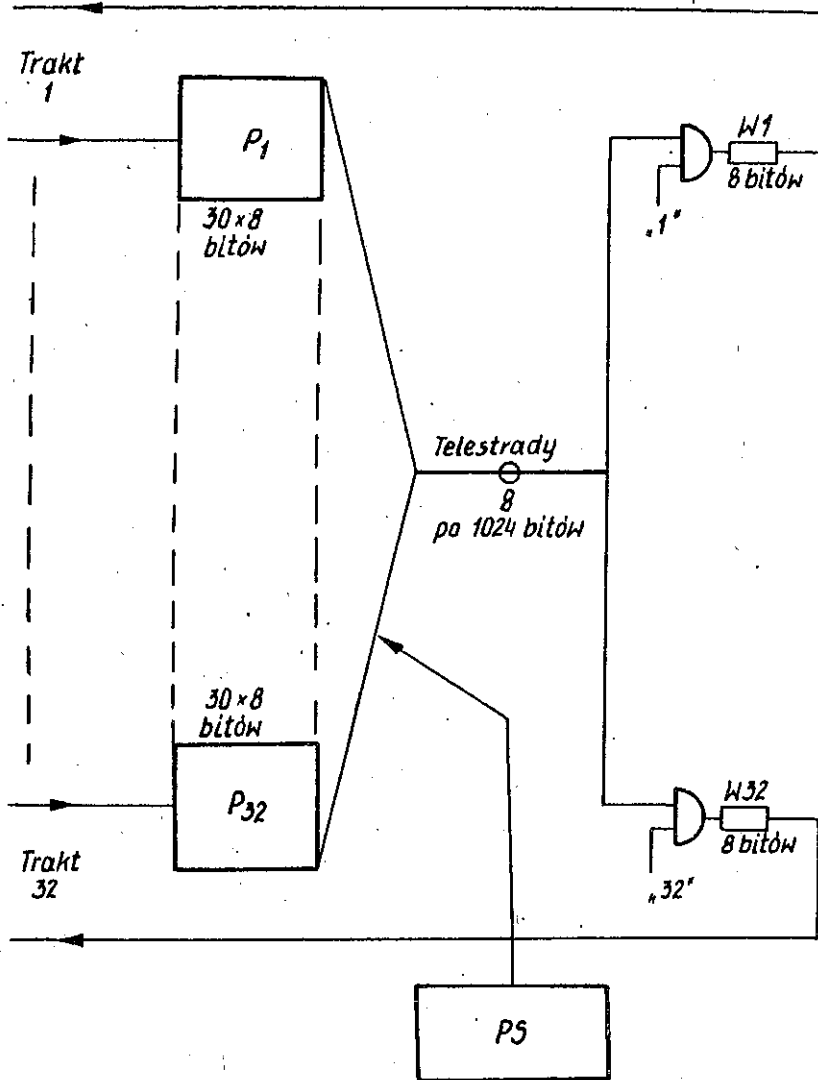
7. CYFROWE UKŁADY KOMUTACYJNE TYPU T

Komutacja elektroniczna, o rozdziale czasowym, wiąże się z transmitowaniem w kolejnych szczelinach czasowych informacji pomiędzy odpowiednimi parami kanałów rozmównych. Kanały te są "ustawione" w określonych pozycjach czasowych w swoich traktach cyfrowej telefonii wielokrotnej. Jeżeli do układu komutacyjnego doprowadzony jest tylko jeden trakt telefonii wielokrotnej, wtedy każdy kanał ma inną pozycję czasową. Ich komutowanie wiąże się więc z transmisją informacji pomiędzy różnymi kanałami, np. dzięki przesunięciu w czasie informacji występującej w pozycji czasowej kanału przyściowego do pozycji czasowej kanału wyjściowego i nadaniu jej wtedy w ten kanał. Żądane działanie można uzyskać przez zastosowanie odpowiedniej pamięci buforowej, do której wpisuje się informacje napływające z traktu cyfrowego w różnych kanałowych szczelinach czasowych. Informacje z pamięci buforowej odczytuje się z kolei w pozycjach czasowych, odpowiadających żądanym kanałom wyjściowym. Czas pozostawiania poszczególnej informacji we wspomnianej pamięci jest mniejszy od okresu powtarzania, nazwanego w systemie cyfrowej telefonii wielokrotnej - ramką.

W przypadku komutowania szeregu traktów cyfrowej telefonii wielokrotnej proces komutacji jest nieco bardziej złożony, bo odpowiadające sobie kanały czasowe w różnych traktach występują w tych samych momentach czasu. W takich układach stosuje się oddzielne pamięci buforowe dla poszczególnych traktów tak,

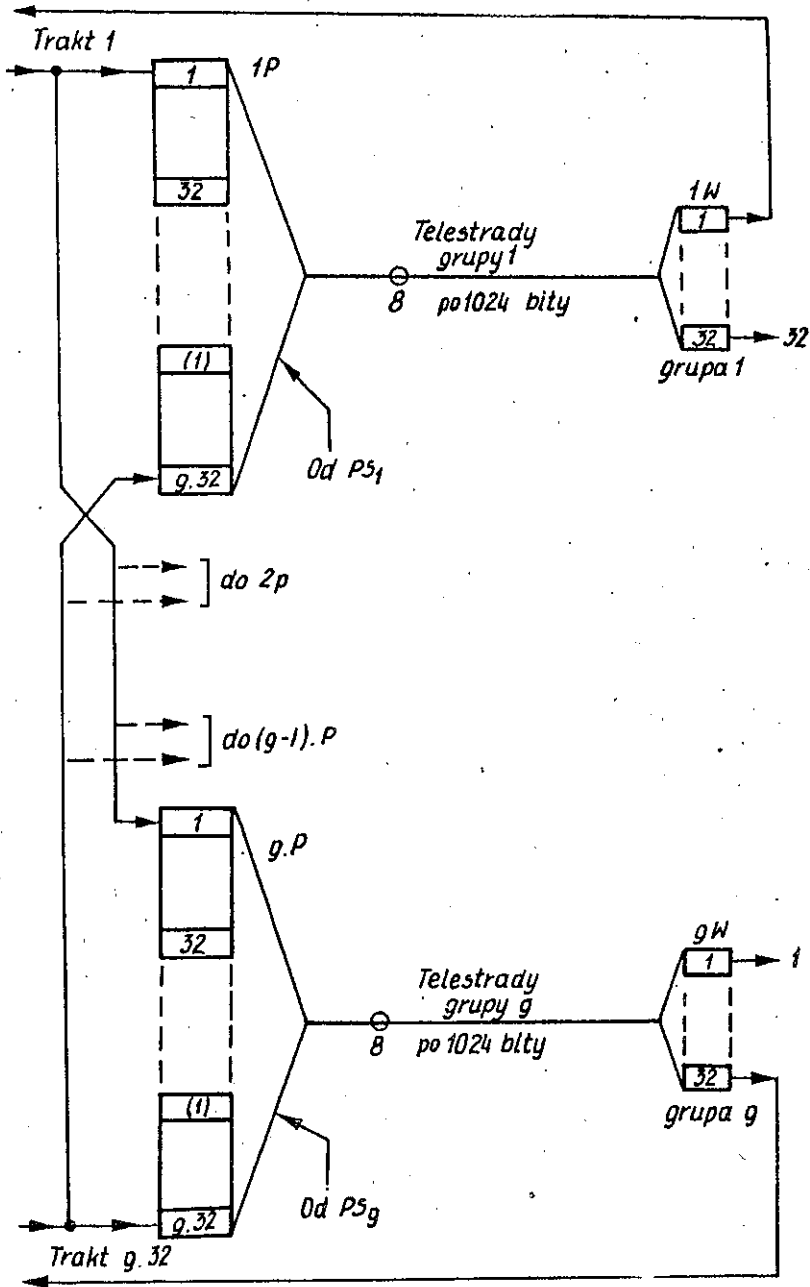
ze liczba "komórek" pamięci wyraża się iloczynem liczby kanałów w trakcie i liczby traktów. Jeżeli w układzie komutacyjnym występuje przesuwanie informacji przyjsciowej jedynie w czasie przed odczytem jej do traktu wyjściowego, to taki układ komutacyjny nazywamy **układem typu I**. Transmisja informacji pomiędzy pamięciami buforowymi po stronie przyjsciowej układu i pamięciami chwilowymi traktów po stronie wyjściowej odbywa się poprzez właściwy zbiór telestrad. Ten zbiór telestrad obejmować musi łącznie liczbę kanałów czasowych co najmniej równą liczbie wszystkich komutowanych kanałów i wtedy układ pracuje bez blokady wewnętrznej. W omawianej sytuacji do komutacji wielu traktów cyfrowej telefonii wielokrotnej stosuje się zwykle rozwiązania z telestradami o większej liczbie kanałów czasowych niż w typowym trakcie liniowym telefonii wielokrotnej. Wspomnijmy tu o układzie z typowymi telestradami, które mogą transmitować w jednej podstawowej ramce 1024 bity (trakt liniowy systemu PCM 30/32 : 256 bitów) i wtedy zbiór równoległych ośmiu telestrad może być użyty do transmitowania 1024 kanałów czasowych o ośmiobitowych słowach kodowych (rys. 5). Stosowane obecnie pamięci buforowe i chwilowe są pamięciami o adresowym zapisie i odczycie. W tym samym czasie może występować w nich tylko jeden przebieg: wpisu bądź odczytu informacji. W tej sytuacji w czasie typowej ramki, - 125 μ s - obok 1024 szczelin czasowych dla transmisji informacji przez telestrady konieczne są 32 szczeliny dla wpisu informacji do pamięci buforowych i 32 szczeliny dla transmisji informacji do członu liniowego pamięci chwilowej w trakcie wyjściowym. Przy podanych parametrach omawiany układ komutacyjny może zostać zrealizowany przy użyciu elementów o szybkości przełączania rzędu 10 Mbit/s.

Prezentowany układ komutacyjny zbudowany jest głównie z elementów pamięciowych i wobec tego jego efektywny koszt można określać, biorąc pod uwagę liczbę bitów pamięci na jedno łącze przyjsciowe. Uwzględniając istnienie ośmiobitowej pamięci na każdy komutowany kanał czasowy w układzie resynchronizacji



Rys. 5. Cyfrowy układ komutacyjny dla 960 łączy PCM

oraz ośmiobitowej w pamięci buforowej i dziesięciobitowej w pamięci sterowania, omawiany układ typu I dla komutacji 960 kanałów cyfrowych charakteryzuje się liczbą 26 elementarnych "komórek" pamięci na jedno wejście.



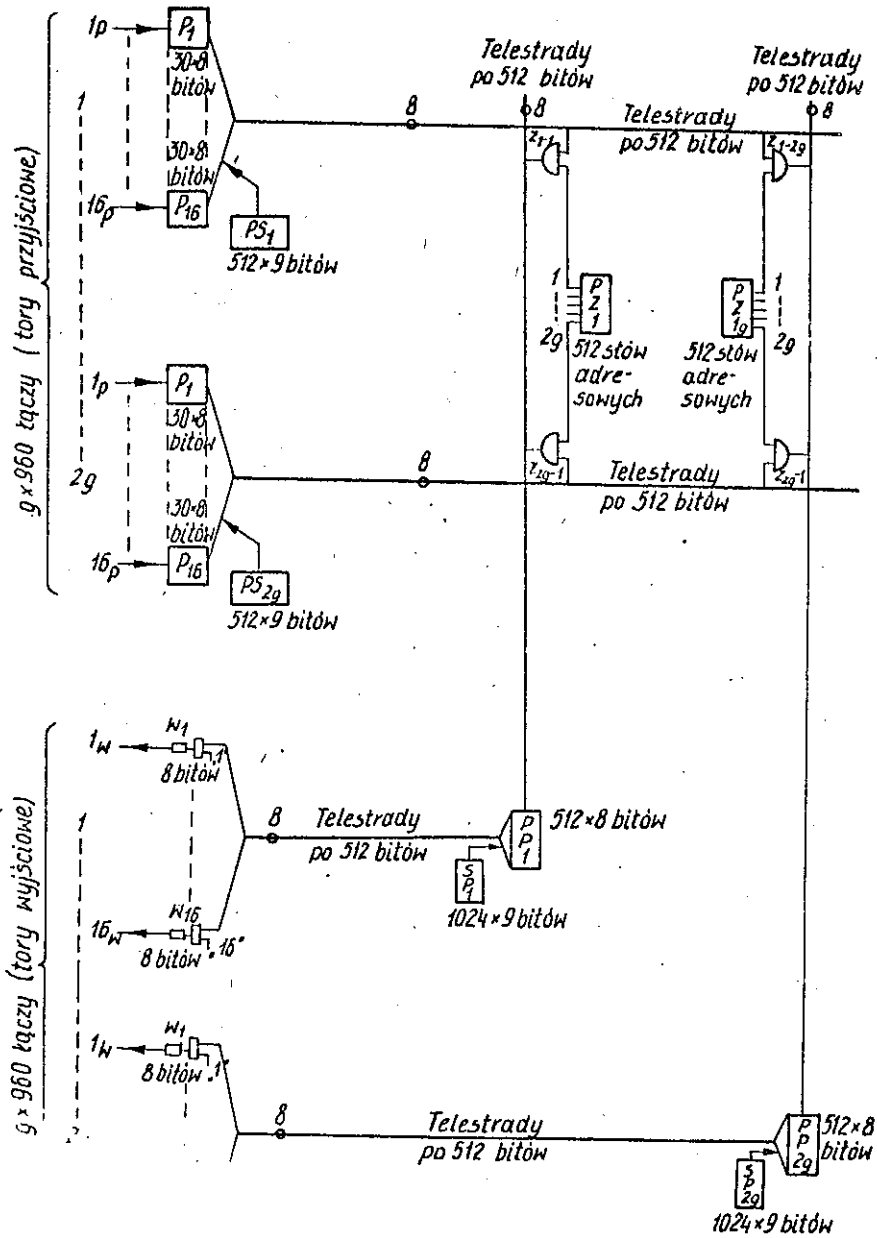
Rys. 6. Cyfrowy układ komutacyjny dla $g \times 32$ traktów PCM

Powiększenie pojemności układu komutacyjnego w ramach tej samej zasady komutacji można uzyskać przez zwiększenie liczby telestrad i zastosowanie odpowiedniego podziału na grupy. Taki układ w ogólnej postaci z podziałem na g grup po 960 kanałów może być zbudowany z zastosowaniem w nim $g * g * 32 * 30$ ośmiobitowych słów w pamięci buforowej oraz $g * 8$ telestrad po 1024 kanałów czasowych w każdej (rys. 6). Informacja przyjsciowa jest wpisywana jednocześnie do pamięci buforowych we wszystkich grupach i odczytywana efektywnie tylko w tej grupie, gdzie jest kanał wyjściowy.

Biorąc pod uwagę odpowiednio 2 lub 4 lub 8 razy większą liczbę słów pamięci buforowej na kanał wejściowy oraz odpowiednio 11 lub 12 lub 13 - bitowe słowo w pamięci sterowania, równowaznik kosztu układu komutującego 1920 kanałów czasowych wynosi: 35, komutującego 3840 kanałów: 52 oraz komutującego 7680 kanałów: 85 elementarnych "komórek" pamięci na jedno wejście do tego układu.

8. CYFROWE UKŁADY KOMUTACYJNE TYPU T - S - T

Zajmijmy się z kolei układami komutującymi przestrzenno-czasowymi oznaczanymi T - S - T, które są podobne do układów trzysekcyjnych o przestrzennej komutacji. Minimalny układ komutacyjny typu T - S - T (rys. 7) może być zrealizowany przy doprowadzeniu do niego $2 * g$ grup po 16 traktów PCM 30. Komutacja odbywa się z zastosowaniem po stronie przyjsciowej pamięci buforowych P, matrycy komutacyjnej złożonej z dynamicznych zestyków elektronicznych Z, pamięci pośrednich PP oraz po stronie wyjściowej pamięci chwilowych W. Elementy te powiązane są telestradami o 512 kanałach czasowych każda. Zwróćmy uwagę na pamięci PP o pojemności $512 * 8$ bitów, do adresowania których trzeba mieć łącznie do zapisu i odczytu 1024 adresów, nadawanych przez pamięć połączenia SP o pojemności $1024 * 9$ bitów. Spośród 1024 kanałów czasowych, np. nieparzyste mogą służyć do wpisu informacji, a parzyste - do odczytu.



rys. 7. Układ minimalny T - S - T

Omawiany tu układ minimalny w przypadku niestosowania przestrajanania pracuje z blokadą wewnętrzną, przy czym prawdopodobieństwo natłoku w tym cyfrowym stopniu grupowym wynosi ok. 10^{-6} przy średnim obciążeniu 0,8 erl. na komutowane łącze. Uwzględniając istnienie osmiobitowej pamięci na każdy komutowany kanał czasowy w układzie resynchronizacji oraz osmiobitowej pamięci buforowej i dziewięciobitowej pamięci sterowania, a także osmiobitowej pamięci pośredniej i dwa razy dziewięciobitowej pamięci sterowania przy niej, omawiany układ typu T - S - T dla komutacji $4 * 960 = 3840$ kanałów cyfrowych charakteryzuje się liczbą 54 elementarnych "komórek" pamięci oraz 0,008 dynamicznego zestyku elektronicznego na jedno wejście. Biorąc pod uwagę odpowiednio większą liczbę zestyków w macierzy komutacyjnej i większą liczbę bitów w ich pamięciach sterowania, otrzymujemy odpowiednio równoważniki kosztu układów komutujących: 7680, 15360, 30720 oraz dla 61440 kanałów czasowych: 55, 56, 57 i 58 elementarnych "komórek" pamięci oraz 0,015, 0,031, 0,063 i 0,125 dynamicznego zestyku elektronicznego na jedno wejście.

Pierwszy wniosek, który warto wyciągnąć na podstawie przytoczonych tu równoważników kosztu, to celowość stosowania dla różnych pojemności cyfrowych centrów komutacyjnych układów typu T albo typu T - S - T.

Do pojemności $4 * 960 = 3840$ komutowanych łączy najbardziej interesujące są układy typu T, a z kolei dla większych pojemności, począwszy od $8 * 960 = 7680$ komutowanych łączy, bardziej interesujące są układy typu T - S - T.

W związku z tym w sieciach telekomunikacyjnych o przewadze mniejszych centrów komutacyjnych, a nielicznych dużych centrach można stosować grupowe stopnie komutacyjne typu T lub stopnie składane z modułów tego typu. Z kolei przy przewadze większych centrów komutacyjnych - układy typu T - S - T.

9. STOPNIE KOMUTACYJNE CENTRÓW SYSTEMU CROSSBAR

Pierwszym typowym stopniem komutacyjnym jest stopień abonencki, który służy do koncentracji ruchu ze słabo wykorzystanych

łączy abonenckich na łączy do stopni grupowych centrum komutacyjnego. Dla drugiego kierunku ruchu stopień abonencki służy do ekspansji ruchu ze stopni grupowych na łączy abonenckie. Przypomnijmy tu, że średnie wykorzystanie ruchowe łączy abonenckiego w centrach publicznej sieci telefonicznej wynosi zwykle od 0,06 do 0,18 erl., a łączy do central abonenckich: 0,4 do 0,6 erl. Z kolei łączy do stopnia grupowego obciążane jest, zależnie od wielkości wiązek od stopni abonenckich, ruchem od 0,5 do 0,8 erl.

Interesujące stopnie abonenckie mogą mieć pojemności liniowe 200 lub 1000 i ich równoważny koszt można ocenić na 3 do 7 u j k na jednego abonenta.

Stopnie komutacyjne central cząstkowych i satelitowych kosztują zwykle rzędu 4 do 5 u j k na abonenta.

Do powyżej podanych kosztów można doliczyć koszt sterowania stopniowego, który zwykle stanowi do 30% kosztu pola komutacyjnego, oraz koszt abonenckich przekaźników liniowych. W przypadku centrali cząstkowej dochodzi jeszcze koszt translacji do nadrzędnego centrum komutacyjnego. W tej sytuacji łączny równoważny koszt stopni abonenckich może być określony na 6 do 11 u j k na abonenta, a central cząstkowych i satelitowych oraz central wiejskich, na rzędu 10 do 12 u j k na abonenta.

Centrale cząstkowe, satelitowe i wiejskie są droższe od stopni abonenckich centrów miejskich, ale ich stosowanie powoduje istotne skrócenie łączy abonentów oddalonych od ich centrów macierzystych. Liczba łączy pomiędzy głównym i satelitowym centrum komutacyjnym jest ok. 8 razy mniejsza niż liczba abonentów dołączonych do centrum satelitowego, a pomiędzy centrum głównym (lub okręgowym) i centrum wiejskim w przypadku zamykania ruchu wewnętrznego w tym centrum: do 12 razy mniejsza. Długość wspomnianych łączy międzycentralowych jest zwykle taka sama, jak średnia długość łączy abonenckich w tym obszarze obsługi w przypadku dołączenia wszystkich abonentów do głównego centrum komutacyjnego.

Liczba łączy pomiędzy stopniem abonenckim i grupowym w głównym centrum komutacyjnym jest, zależnie od jednostkowego ruchu na abonenta, od ok. 4 do 8 razy mniejsza niż pojemność liniowa stopnia abonenckiego, przy czym zwykle nieco mniej niż połowa tych łączy wykorzystywana jest do załatwiania ruchu

wychodzącego od abonentów, a pozostałe - ruchu przychodzącego do abonentów.

Stopnie grupowe w głównych i okręgowych centrach komutacyjnych są zwykle dwusekcyjne, ale w większych centrach z małymi wybierakami krzyżowymi mogą być też stopnie trzysekcyjne. W większych centrach niejednokrotnie połączenie musi przebiegać poprzez dwa posobnie połączone stopnie grupowe. W stopniach grupowych stosuje się zwykle ekspansję między pierwszą i drugą sekcją, wewnętrzne przelewy ruchu itp., co ma na celu zmniejszenie blokady wewnętrznej, a tym samym zwiększenie wykorzystania łączy w sieci międzycentralowej. W praktycznie spotykanych rozwiązaniach równoważnik kosztu pola komutacyjnego stopnia grupowego wynosi od ok. 15 do 40, u j k, a po doliczeniu kosztu sterowania stopniowego równoważnik kosztu stopnia grupowego wynosi 20 do 50 u j k na jedno wejście do tego stopnia. Do wejścia do stopnia grupowego dołącza się na czas zestawiania połączenia odpowiedni rejestr wyjściowy lub przyjsiowy. Liczba rejestrów wyjściowych, załatwiających ruch od abonentów, jest zwykle 4 do 6 razy mniejsza niż liczba wejść do pierwszego stopnia grupowego. Również 4 do 6 razy mniejsza niż wejść do stopnia grupowego jest liczba rejestrów przyjsiowych, gdy odbierają one informacje impulsami dekadowymi od współpracujących centrów komutacyjnych. Rejestrów przyjsiowych, odbierających informacje wybiercze szybkim kodem, stosuje się normalnie dwa razy mniej, tzn. od 8 do 12 razy mniej niż wejść do stopnia grupowego. Wobec tego równoważnik kosztu rejestru abonenckiego i rejestru przyjsiowego z wybieraniem dekadowym wynosi 15 do 25 u j k, a rejestru z wybieraniem kodowym: 10 do 15 u j k na jedno wejście do stopnia grupowego.

10. KOSZT CENTRUM KOMUTACYJNEGO SYSTEMU CROSSBAR

Przy ustalaniu równoważnika kosztu centrum komutacyjnego trzeba uwzględnić jeszcze koszt przekaźników sznurowych przy połączeniu do własnego abonenta lub koszt translacji przy

połączeniu do i od innego współpracującego centrum komutacyjnego. Równoważnik kosztu wyposażenia liniowego wynosi rzędu 15 u j k .

Łączne koszty podstawowego sprzętu głównego lub okręgowego centrum komutacyjnego lub też jednostki centralowej w sieci strefowej mogą być orientacyjnie określane w umownych jednostkach kosztu na abonenta w przypadku centrów crossbar z małymi wybierakami krzyżowymi na 12 do 27, a centrów z dużymi wybierakami na 16 do 33 u j k .

Równoważniki kosztu centrów tranzytujących o jednotorowej komutacji wyrażone w u j k na jedno wejście do tego centrum mogą być orientacyjnie określone na 43 do 90, w przypadku centrów mniejszej pojemności, oraz 61 do 140, w przypadku centrów o większej pojemności. Z kolei centra tranzytujące o dwutorowej komutacji muszą być ocenione jako droższe o ok. 50%, tzn. równoważniki kosztu ich sprzętu podstawowego wynoszą orientacyjnie od 100 do 200 u j k na jedno łącze przyściowe.

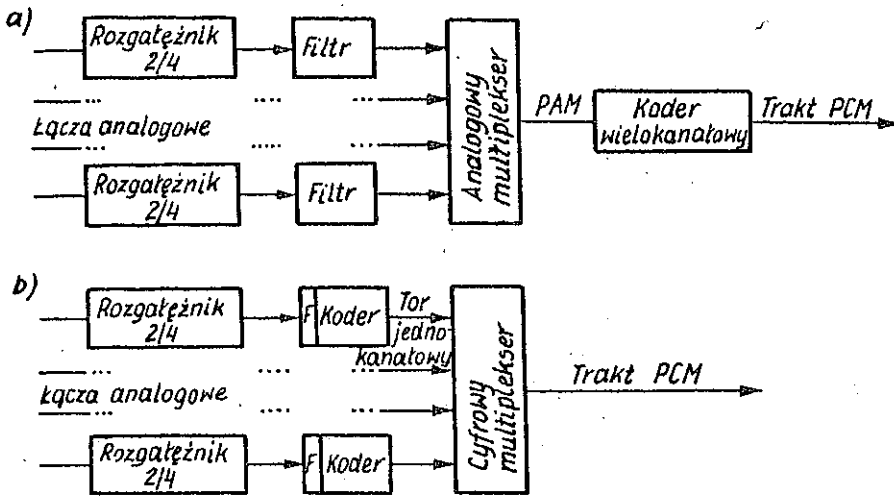
11. TENDENCJE ROZWOJOWE W TECHNICIE CYFROWEJ

Nowoczesne systemy o komutacji cyfrowej to systemy, w których nie ma różnicy w transmisji oraz komutacji sygnałów mowy i danych. W tych systemach w jednej zintegrowanej sieci telekomunikacyjnej są obsługiwane służby tzw. foniczne, służby tekstowe, faksymilograficzne i transmisji danych. Techniczne i ekonomiczne parametry omawianych systemów cyfrowych są uzależnione od zastosowanych do ich budowy elementów mikroelektronicznych wysokiej i bardzo wysokiej skali integracji, a przede wszystkim nowoczesnych modułów pamięci, mikroprocesorów, kodeków i filtrów. Jako bardzo znaczący podzespół należy potraktować mikroprocesor, który chociaż jest podzespołem standardowym produkowanym masowo, może dzięki odpowiedniemu oprogramowaniu być przystosowany do spełniania bardzo różnych funkcji, a każdorazowa zmiana funkcji wiąże się jedynie z niekłopotliwą zmianą oprogramowania.

Bardzo korzystnie może on być stosowany w rozmaitych układach sterowania i jest przy tym przystosowany do współpracy z potrzebnymi modułami peryferyjnymi techniki obliczeniowej. Współczesne mikroprocesory są podstawowymi blokami komputerów personalnych, terminali teletekstowych, telefaksowych, transmisji danych itp. Dodajmy, że układy rozproszonego programowanego sterowania są zbudowane przy użyciu współpracujących ze sobą mikroprocesorów.

Kodek kanałowy PCM jest to 8-bitowy skompandowany przetwornik analogowo-cyfrowy i cyfrowo-analogowy, wytwarzany najczęściej jako pojedynczy układ scalony, przeznaczony do cyfrowego kodowania i dekodowania sygnałów analogowych. Część nadawcza, czyli koder, dokonuje próbkowania sygnału wejściowego z częstotliwością ramki PCM oraz konwersji A/C na 8-bitowe ciągi sygnałów cyfrowych. Część odbiorcza, czyli dekodery, dokonuje przemiany C/A i pozwala na uzyskanie sygnału wyjściowego. Kodeki obejmują układy logiczne sterujące pracą kodera i dekodera. Filtry dolnoprzepustowe, niezbędne do odtworzenia sygnału wejściowego przy zadanej częstotliwości ramki PCM, wytwarzane są obecnie najczęściej na wspólnej płytce z układem scalonym kodeka kanałowego. Kodeki można programować na nadawanie i odbiór w tej samej szczelinie czasowej, jak również na nadawanie i odbiór w różnych szczelinach czasowych. Po zaprogramowaniu kodeki "utrzymują" przydzielone im kanały czasowe bez dalszych interwencji zewnętrznego układu sterującego aż do końca trwania połączenia, kiedy to automatycznie (programowo) przechodzą w stan spoczynku.

Dzięki zastosowaniu jednokanałowych kodeków PCM możliwa stała się również praktyczna realizacja innej struktury urządzeń końcowych PCM 30/32. Wykorzystano przy tym osobne kodeki jednokanałowe w każdym zakończeniu łącza i wtedy zadanie multipleksowania i demultipleksowania przeniosło się z części analogowej do części cyfrowej systemu zwielokrotnienia czasowego (rys. 8). Jak widać, opisywane nowe rozwiązanie oparte jest na równoległym przetwarzaniu sygnałów i wymaga zastosowania tylu kodeków kanałowych, ile jest łączy wejściowych.



Rys. 8. Uproszczony schemat blokowy krotnicy PCM

a/ z kodekiem wielokanałowym; b/ z kodekami jednokanałowymi.

Uwaga: przy przeciwnym zwrocie strzałek schemat reprezentuje układ demodulacji i rozdziału kanałów.

Zwiększa to koszt krotnicy, ale eliminuje większość błędów analogowych systemu, pochodzących od analogowego multiplexera i demultiplexera oraz od układów próbkująco-pamiętających. Taka konfiguracja krotnic pozwala na użycie wolniejszych, a więc tańszych, przetworników A/C i C/A; co powoduje zmniejszenie kosztu kodeków jednokanałowych. Wprowadzenie kodeków jednokanałowych pociągnęło za sobą dalsze prace rozwojowe nad scalonymi kodekami wielokanałowymi, co obniżyło koszty konwersji A/C i C/A oraz poprawiło jakość tego typu krotnic PCM 30. Jednocześnie kodeki jednokanałowe okazały się bardzo korzystne w takich urządzeniach telekomunikacyjnych, jak np.: cyfrowe aparaty telefoniczne i cyfrowe abonenckie stopnie komutacyjne.

12. STOPNIE KOMUTACYJNE CENTRÓW ELEKTRONICZNYCH

Abonenckie stopnie komutacyjne systemu E10 A zrealizowane w założeniu przyłączania do nich tradycyjnych aparatów telefonicznych poprzez zwykłe łącza analogowe. Konwersja na system

cyfrowy następuje tu po komutacji w układzie przestrzennym i prądy rozmówne w postaci cyfrowej są transmitowane w całej sieci zintegrowanej. W torze transmisyjnym do abonenta konwersja na system analogowy następuje przed stopniem abonenckim i po komutacji przestrzennej w łączu abonenckim prądy rozmówne występują w postaci analogowej. Dla doprowadzenia do możliwie małych kosztów, pole komutacyjne jest trzysekcyjne i złożone z przekaźników miniaturowych z zestykami hermetyzowanymi. Między pole komutacyjne i łącza międzostopniowe są wprowadzone, obok zespołów sznurowych, typowe krotnice PCM 30/32.

Koszt równoważny omawianego stopnia abonenckiego wyrażony w u j k na abonenta może być przedstawiony, jak następuje:

abonenckie zespoły liniowe	1,
trzysekcyjne pole komutacyjne	4,
zespoły sznurowe	1,
przetworniki A/C i C/A	2,
zespół sterujący	1,
stojak	1,
dotychczasowe wyposażenie w CSAD	1.

Razem:	CSAL	u j k;	10	u j k ;
	CSAD	u j k.	11	u j k .

Jeżeli zachować tę samą strukturę stopnia abonenckiego z zastosowaniem jednak bardziej nowoczesnych elementów zrealizowanych w technice LSI, można uzyskać pewne zmniejszenie kosztu. Pole komutacyjne mianowicie może być zbudowane, np. przy użyciu scalonych matryc 4×4 i do budowy przetwornika PCM mogą być użyte scalone przetworniki 32-kanalowe. Dzięki temu koszt pola komutacji przestrzennej może wynieść rzędu 1,5 i koszt przetworników również rzędu 1,5 u j k na abonenta. Łączny więc koszt stopnia abonenckiego w takim wykonaniu oszacować można w przypadku CSAL na 7 i w przypadku CSAD na 8 u j k na abonenta. Tego samego rzędu koszt stopnia abonen-

kiego może być uzyskany, gdy zostanie on zrealizowany z zastosowaniem jednokanałowego kodeka kanałowego w wyposażeniu liniowym każdego abonenta i nie będzie już obejmował komutacji przestrzennej oraz przetworników PCM 30.

Zwróćmy uwagę na możliwości dołączania, w sposób ekonomicznie uzasadniony, abonentów na obszarach obsługi o większej powierzchni i mniejszej gęstości abonentów. Typowe rozwiązanie z naturalnymi łączami abonenckimi jest - przy większych odległościach - bardzo kosztowne, gdyż wymaga stosowania przewodów o dużej średnicy i to tym większych, im dłuższe jest łącze abonenckie. Jednym z rozwiązań proponowanych w systemach elektronicznych jest stosowanie tzw. łączy okrężnych. Jeden lub dwa trakty cyfrowe zostają wyprowadzone w tereny, przebiegają w pobliżu różnych skupisk abonentów w tym terenie i są zakończone z drugiej strony ponownie w tym samym centrum komutacyjnym. W ten sposób tworzy się w danym obszarze obsługi zamknięta pętla traktów cyfrowych, do których mogą być dołączane w dowolnych miejscach grupy abonentów. Moduły przyłączeniowe dla omawianych abonentów zawierają odpowiednią liczbę abonenckich wyposażań liniowych z indywidualnymi kodekami. W ten sposób abonenci, za pomocą krótkich łączy naturalnych, zostają dołączeni do najbliższych modułów przyłączeniowych. Te łącza abonenckie mogą zostać zrealizowane za pomocą przewodów o małej średnicy, gdyż cyfrowe łącza okrężne wnoszą tylko niewielką stałą tłumienność.

Innym rozwiązaniem pozwalającym na przyłączanie odległych abonentów, bez stosowania na całej długości trasy łączy naturalnych, może być zastosowanie systemu cyfrowej telefonii wielokrotnej w tych łączach. System np. PCM 30 przy zakończeniu go z obu stron translacjami typu TKA wykorzystuje się do dołączania zbioru 30 oddalonych od centrum komutacyjnego abonentów m.in. w terenie wiejskim. Do liniowych translacji TKA przyłącza się naturalne łącza abonenckie, które w tym przypadku mogą być stosunkowo krótkie. Można też tym systemem przyłączać również centralę abonencką wiejskiej organizacji

gospodarczej oraz na pozostałych łączach abonentów bezpośrednich tej organizacji i innych abonentów sieci publicznej. Dodajmy, że koszt łączy cyfrowych jest w zasadzie stały i przy większych odległościach będzie on mniejszy niż koszt naturalnego łącza abonenckiego o tej samej długości, przy zachowaniu właściwych parametrów teletransmisyjnych.

Znane jest też w technice analogowej rozwiązanie z koncentratorami, inaczej nazywanymi reduktorami łączy abonenckich. W tym rozwiązaniu między modułem stacyjnym i liniowym reduktora była głównie prowadzona odpowiednia wiązka łączy naturalnych. Taki system reduktorowy był, z zastosowaniem redukcji łączy rzędu 1 : 8, zwykle tańszy przy przekroczeniu 3 do 5 km długości łącza abonenckiego. Istnieją również systemy reduktorowe z wykorzystaniem telefonii nośnej i ten system telefonii nośnej może być (przy użyciu odpowiednich translacji) zastąpiony przez system PCM. Można też myśleć o zastosowaniu systemu PCM z translacjami typu TKA i przyłączaniu części abonentów poprzez reduktor i części bezpośrednio do macierzystego centrum komutacyjnego. Wspomniane rozwiązanie może pozwolić na włączanie stosunkowo niedużym kosztem nieraz bardzo odległych abonentów w terenie wiejskim.

Cyfrowe pole komutacyjne, jak podano wyżej, jest wykonane z zastosowaniem pamięci półprzewodnikowych. Liczba bitów w tych pamięciach, przypadających na pojedynczy kanał, wynosi kilkadziesiąt. Jeśli przeprowadzić odpowiednie przeliczenia, np. na rejestry 128-bitowe z adresowym zapisem i odczytem, to można się liczyć z jednym takim rejestrem na łącze przyściowe do układu komutacyjnego. Równoważnik kosztu omawianego rejestru, określony stosunkowo wysoko jak na ceny światowe, wynosi około 0,5 u j k . Równoważnik kosztu elementów pamięciowych stanowiących wyposażenie stojaka cyfrowego pola komutacyjnego dla ok. 1000 łączy powinien wynosić około 500 u j k . Licząc z kolei, że element "okablowany" w stojaku kosztuje przeciętnie 4 razy więcej niż element zakupiony do montażu, można w omawianym przypadku mówić o równoważniku kosztu bloku pola komutacyjnego dla 1000 łączy około 2000, tzn. 2 u j k na łącze przyściowe do układu komutacyjnego.

W wielu centrach komutacyjnych, systemów elektronicznych obok głównego pola komutacyjnego, występuje multiprocesorowy układ scentralizowanego sterowania. Spełnia on bardzo podobne funkcje, jak takie same układy w centrach systemu crossbar. Koszty poszczególnych modułów układu sterującego centrów elektronicznych, zbudowanych z wykorzystaniem techniki małej skali integracji, niewiele się różnią od kosztów układów stosowanych w systemie crossbar. W tej sytuacji koszt układów miniprocesorowych spełniających funkcje cechownikowe może zostać oszacowany na około 5 u j k na jedno łącze przyściowe do układu komutacyjnego. W zasadzie ten sam koszt mogą mieć układy miniprocesorowe spełniające funkcje: przeliczające, taryfikacyjne oraz nadzorcze, kontrolne i badawczo-pomiarowe. Koszty układów miniprocesorowych, spełniających funkcje rejestrów (bardziej obciążonych załatwianym ruchem) mogą, zależnie od systemu przekazywania informacji, wnosić od 10 do 20 u j k na łącze przyściowe do głównego układu komutacyjnego. Sumując koszt poszczególnych modułów scentralizowanego sterowania elektronicznego układu komutacyjnego otrzymujemy wielkość 30 u j k na łącze przyściowe do tego układu.

Obecnie realizacja podobnych modułów urządzeń sterujących może być oparta na technice LSI i może być przyjęty równoważny koszt od 2 do 4 razy mniejszy. Biorąc przy tym pod uwagę średnie wykorzystanie łącza koszt urządzeń sterujących, odniesionych na jeden erlang załatwianego ruchu; może zostać określony na 10 do 20 u j k. Przykładowo koszt scentralizowanych urządzeń sterujących w centrum komutującym ruch wielkości 1500 erl. może być określony na 15000 do 30000 u j k.

13. KOSZT CENTRUM KOMUTACYJNEGO O CYFROWEJ KOMUTACJI

Wyposażenie liniowe, do współpracy z innymi centrami komutacyjnymi w sieci telekomunikacyjnej, może być w zasadzie dwóch rodzajów ze względu na typ komutacji we współpracującym

centrum. Gdy centrum to realizuje również komutację cyfrową i do powiązania z nim użyte są łącza cyfrowe, wtedy stosuje się tylko właściwe wyposażenie liniowe po każdej stronie zbioru łączy międzycentralowych. Natomiast gdy współpracujące centrum realizuje komutację przestrzenną jest konieczne, oprócz wyposażenia liniowego jeszcze przetwarzanie analogowo-cyfrowe, przy czym różna jest lokalizacja przetworników w zależności od rodzaju łączy międzycentralowych. Jeżeli są to łącza cyfrowe, wtedy przetworniki analogowo-cyfrowe i odpowiednie translacje zostają ulokowane we współpracującym centrum. Jeżeli jednak są to łącza analogowe (co nie jest zalecane), translacje i przetworniki analogowo-cyfrowe lokuje się w centrum o komutacji cyfrowej.

Koszt wspomnianego wyposażenia liniowego może być oszacowany na około 8, a koszt translacji i przetworników na około 20 u j k na łącze międzycentralowe, a więc odpowiednio 10 i 25 u j k na jeden erlang załatwianego ruchu.

Łączny koszt podstawowego wyposażenia elektronicznych centrów komutacyjnych, stosowanych w sieciach strefowych, oceniony być może na 13 do 31 u j k na abonenta. Te liczby mówią o takim samym rzędzie wielkości jak w przypadku centrów systemu crossbar. Rozwój elektroniki w latach osiemdziesiątych daje podstawy do przyjęcia niższych kosztów, nawet gdy zakłada się jednoczesne komutowanie dla innych służb.

Centra tandemowe i tranzytowe, obejmujące tylko sprzęt komutacyjny i liniowy łączy międzycentralowych, mogą być ocenione, w zależności od udziału łączy cyfrowych, na 50 do 150 u j k na łącze przyjsciowe. Centra tranzytowe, pracujące w pełnym "otoczeniu" analogowym, mogą zostać oszacowane na 100 do 200 u j k na łącze przyjsciowe.

14. TELEKOMUNIKACYJNE ŁĄCZA CYFROWE

Łącza telekomunikacyjne w systemie telefonii wielokrotnej o modulacji impulsowo-kodowej mogą być budowane z wykorzystaniem symetrycznych kabli miejskich i okręgowych, kabli syme-

trycznych o ekranowanych pęczkach czwórek oraz kabli współosiowych mikro-, mało- i normalnowymiarowych, a także odpowiednich linii radiowych (tabl. 1), a obecnie również linii światłowodowych.

W łączności strefowej są stosowane praktycznie dwa systemy: PCM 30 i PCM 120. System PCM 30 może być instalowany na dwóch wybranych parach nowego lub istniejącego kabla miejskiego albo okręgowego. W tym ostatnim przypadku musi być zachowana właściwa reguła doboru par, przy czym do uwielokrotnienia można wykorzystać ok. 30% par tego kabla. System PCM 120 jest instalowany na kablach pęczkowych lub współosiowych. Dwa powyższe systemy mogą być w sposób korzystny realizowane z zastosowaniem linii radiowych.

W łączności międzymiastowej mogą być stosowane systemy PCM 480 i PCM 1920. Te dwa systemy mogą być instalowane na liniach radiowych, a system PCM 1920 - również na małowymiarowym kablu współosiowym. Dodajmy, że ten sam kabel wykorzystywany jest do systemu TN 2700 o częstotliwościowym rozdziale kanałów.

W omawianym systemie cyfrowym jest zastosowany układ hierarchiczny, przy czym cztery przetworniki analogowo-cyfrowe PCM 30 są połączone z jedną krotnicą cyfrową PCM 120. Z kolei cztery takie krotnice PCM 120 wiąże się z jedną krotnicą PCM 480 i wreszcie cztery krotnice PCM 480 są połączone z jedną krotnicą PCM 1920. W ten sposób prezentowany układ hierarchiczny terminala 1920 kanałów analogowych musi składać się z 64 przetworników analogowo-cyfrowych, szesnastu krotnic PCM 120, czterech krotnic PCM 480 oraz jednej krotnicy PCM 1920.

Przypomnijmy, że elektroniczne centrum komutacyjne wykorzystuje międzycentralowe łącza cyfrowe i do tego centrum są dołączane bezpośrednio trakty cyfrowe PCM 30 (lub niekiedy i trakty PCM 120). W omawianym przypadku wyposażenie terminala liniowego nie zawiera przetworników analogowo-cyfrowych. Przy współpracy centrum o komutacji cyfrowej z centrum o komutacji przestrzennej przetworniki analogowo-cyfrowe są potrzebne tylko w jednym z dwóch terminali liniowych wiązki łączy międzycentralowych.

Tablica 1

Zestawienie systemów teletransmisyjnych PCM

Przepływność binarna [Mb/s]	ok. 2	ok. 8	ok. 34	ok. 140	ok. 555	ok. 1110
Liczba kanałów telefonicznych	30	120	480	1920	ok. 7500	ok. 15000
Inne służby	6 kanałów radiofonicznych kanał wizjofoniczny z ograniczoną redundancją	kanał wizjofoniczny	kanał telewizyjny kolorowy z ograniczoną redundancją	kanał telewizji kolorowej		
Linie teletransmisyjne	kabel symetryczny	kabel symetryczny pięczkowy	kabel współosiowy mikrowymiarowy (0,6/2,8)	kabel współosiowy małowymiarowy (1,2/4,4)	kabel współosiowy (2,6/9,5) normalnowymiarowy	

15. OPLACALNOŚĆ ŁĄCZY CYFROWYCH

Stosowanie łączy cyfrowych w sieciach strefowych rozpoczęło się między centrami komutacyjnymi o przestrzennej komutacji. Wiązka łączy cyfrowych przy tym wchodzi na miejsce dotychczasowych łączy naturalnych i czasem jako rozszerzenie pojemności istniejącej wiązki. W tej sytuacji ekonomiczność łączy cyfrowych jest oceniana przez porównanie kosztów obu rodzajów łączy, przy czym - wskutek stosunkowo drogiego wyposażenia terminala liniowego - żaden system telefonii wielokrotnej nie może konkurować z łączy naturalnymi przy krótkich odległościach. W związku z tym najczęściej podaje się dolną granicę opłacalności systemu wielokrotnego w postaci długości łączy, od której system ten zaczyna być tańszy od rozwiązania z łączy naturalnymi. Podkreślić tu najpierw można, że systemy telefonii nośnej w zasadzie nie były stosowane w sieciach strefowych ponieważ ich granica opłacalności jest rzędu 40 km.

Z kolei, w przypadku transmisyjnych systemów cyfrowych, granica opłacalności przy wprowadzaniu tych systemów przed 20 - 30 laty do sieci strefowych, leżała w pobliżu 10 km i to przesądziło o powszechnym ich stosowaniu. Granica ta wynikała z kosztu na jedno łącze przetwornika analogowo-cyfrowego równorzędnego czterem kilometrom naturalnego łącza międzycentralowego i w zasadzie równym sobie kosztom łącza "podkładowego" i stosowanych (co ok. 2 km) regeneratorów. Dodajmy, że tak jak pierwszy teletransmisyjny system cyfrowy jest bardziej ekonomiczny od pewnej długości łączy naturalnych, to od pewnej dalszej długości łączy - zwykle ustępuje on następnemu systemowi cyfrowemu. Taki system charakteryzuje się normalnie cztery razy większą liczbą kanałów cyfrowych, co wiąże się z mniejszym kosztem jednostkowym łączy "podkładowych" i regeneratorów. Biorąc jednak pod uwagę wyższe koszty jednostkowe kabli przy stosowaniu kolejnych systemów cyfrowych, dla drugiego systemu wartość współczynnika kosztów liniowych przyjąć można ok. dwa razy mniejszą od takiego współczynnika dla systemu pierwszego; z kolei dla systemu trzeciego - dwa razy mniejszą

wartość niż dla systemu drugiego a dla systemu czwartego - cztery razy mniejszą wartość niż dla systemu trzeciego. W drugim systemie zakończenia liniowe ocenia się rzędu 25% drożej niż w pierwszym systemie, co wynika z przybliżonej równości kosztów przetwornika analogowo-cyfrowego i krotnicy cyfrowej.

Dla kolejnych systemów o większej krotności możemy przyjąć wzrost kosztów odpowiednio o 31 i o 33%.

Dodajmy, że przytoczone wyżej równoważniki kosztu i współczynniki przeliczeniowe zostały określone dla przypadku pełnego wyposażenia stojaka przetworników analogowo-cyfrowych i stojaka krotnic cyfrowych oraz gdy linia kablowa nie była obciążona dodatkowym kosztem nadmiernej liczby rezerwowych czwórek i dla w pełni wyposażonych pojemników regeneracyjnych. Przy niespełnieniu tych warunków koszty liniowe i koszty terminali systemu wielokrotnego muszą zostać odpowiednio wyżej ocenione.

Wspomnijmy, że w krajowej sieci międzymiastowej jest stosowany na współosiowych kablach małowymiarowych system TN 2700. Taki sam kabel (z zastosowaniem regeneratorów o tych samych odstępach co wzmacniaczy liniowych w systemie TN 2700) jest używany w przypadku systemu PCM 1920. Różnica w liczbie kanałów (przy jednoczesnym dwukrotnym koszcie terminala liniowego i wzmacniaczy liniowych w stosunku do kosztu terminala i regeneratorów w systemie cyfrowym) powoduje mniejszy koszt, liczony na jeden kanał, w przypadku systemu PCM 1920 dla długości łączy międzymiastowych ok. 500 km oraz mniejszy koszt systemu TN 2700 powyżej tej długości. W większych krajach, przy większym załatanym ruchu telekomunikacyjnym, stosuje się również systemy cyfrowe o cztery i osiem razy większej liczbie kanałów niż system PCM 1920.

W latach późniejszych, przy wzrastającej produkcji systemów cyfrowych i stosowaniu elementów o większej skali integracji oraz niemal niezmiennych jednostkowych kosztach kabli, odpowiednio systemy transmisyjne PCM można było oceniać jako bardziej korzystne w stosunku do łączy naturalnych.

Warto tu przypomnieć, że po wprowadzeniu do produkcji indywidualnego kodeka kanałowego, można było zbudować przetwornik analogowo-cyfrowy z tymi kodekami w cenie podobnej do wersji tego przetwornika z kodekiem wielokanałowym o małej skali integracji. Dalsze prace nad realizacją kodeka wielokanałowego doprowadziły do jego scalonej wersji w technice LSI i ok. dwukrotnego obniżenia kosztu nowego przetwornika analogowo-cyfrowego. Dzięki temu obniża się do ok. 5 km dolna granica opłacalności łączy cyfrowych pomiędzy dwoma centrami o przestrzennej komutacji. System PCM 30 może być wprowadzany do sieci z wykorzystywaniem przewodów w istniejących kablach miejskich i okręgowych. Wykorzystanie tylko 30% par w kablach międzycentralowych dla tworzenia łączy cyfrowych pozwala na ok. sześciokrotne powiększenie liczby łączy pomiędzy istniejącymi centrami komutacyjnymi. Jednocześnie w wielu istniejących sieciach miejskich nie ma warunków dla normalnego powiększania kanalizacji kablowej i wskutek tego budowa nowych kabli dla tworzenia łączy naturalnych pociągałaby za sobą istotny wzrost kosztów. Taką sytuację można wyrazić, dla określenia opłacalności wprowadzania łączy cyfrowych, przez podanie wyższej ceny jednostkowej łączy naturalnych. W tych szczególnych warunkach dolna granica opłacalności stosowania łączy systemu PCM 30 może być określona na 2 do 3 km. Podobna odległość jest normalną granicą opłacalności łączy cyfrowych pomiędzy centrami o cyfrowej i przestrzennej komutacji, a to ze względu na używanie przetwornika analogowo-cyfrowego tylko w terminalu liniowym po jednej stronie łącza międzycentralowego. Z kolei między centrami o komutacji cyfrowej nie są stosowane w terminalach liniowych przetworniki analogowo-cyfrowe i koszt takich łączy sprowadza się do kosztu łączy "podkładowych" i regeneratorów. Koszt ich rośnie liniowo wraz z długością łącza i jest około 5 razy mniejszy od odpowiednich kosztów łączy naturalnych.

16. INNE SPOSOBY TWORZENIA LINII TELEKOMUNIKACYJNYCH

Linie telekomunikacyjne mogą być budowane przy użyciu jeszcze dwóch innych mediów: linii radiowych oraz światłowodów. W dotychczasowych rozwiązaniach łącze cyfrowe zrealizowane w tych systemach jest zakończone, w centrum komutacyjnym lub odpowiedniej stacji przelotowej, identycznie jak w przypadku wykorzystywania linii przewodowej. Po każdej stronie łącza są dołączane terminale odpowiednie dla medium transmisyjnego oraz ponadto w liniach radiowych - radiowe stacje przelotowe lub regeneratory w systemach światłowodowych we właściwych odstępach. Przy stosunkowo krótkich odległościach w sieciach strefowych oraz w obszarach o trudnej i kosztownej budowie linii przewodowych, mogą być z powodzeniem stosowane linie radiowe. W wielu przypadkach jest ekonomicznie uzasadnione korzystanie z takich linii do podłączania centrów satelitowych i koncentratorów. Wprawdzie w tego typu liniach są droższe terminale, lecz najczęściej można się obyć bez jakichkolwiek stacji przelotowych. W sieciach strefowych światłowody wyróżniają się niewrażliwością na wpływy linii energetycznych i trakcji elektrycznej. Mamy też stosunkowo łatwą możliwość podwieszania kabli światłowodowych na istniejących słupach w terenach podmiejskich i wiejskich. Stosunkowo małe gabaryty kabli światłowodowych pozwalają w sieciach miejskich na wprowadzanie ich do kanalizacji kablowej tam, gdzie nie jest już możliwe dokładanie normalnych kabli miejskich.

W dalekosiężnych liniach naziemnych i podwodnych światłowody pozwalają na tworzenie wiązek łączy cyfrowych o praktycznie nieograniczonej wielkości.

17. JEDNOSTKOWY KOSZT ŁĄCZY I TERMINALI CYFROWYCH

Równoważny koszt jednostkowy łączy abonenckich i naturalnych łączy międzycentralowych w materiałach źródłowych został określony na około 8 u j k . Przy tym założeniu przetwornik analogowo-cyfrowy i krotnica cyfrowa mogą mieć równorzędny

koszt od 16 do 32 u j i . Koszt jednego kilometra traktu liniowego systemu PCM 30 jest równorzędny 1,6, systemu PCM 120 - 0,8, systemu PCM 480 - 0,4 oraz systemu PCM 1920 - 0,1 u j k .

18. KOSZT ŁĄCZA NA ABONENTA

W przypadku sieci strefowych, w których do urządzeń komutacyjnych są masowo dołączeni abonenci, porównanie kosztów (dotyczących różnych pojemności sieci i stosowania różnych urządzeń i łączy w tych sieciach) może zostać najwygodniej przeprowadzone przy rozliczeniu wszystkich kosztów sieciowych na abonenta. W tej sytuacji indywidualne łącze abonenckie obciąża całym swoim kosztem danego abonenta, mimo że łącze to jest wykorzystywane do prowadzenia rozmów tylko w stosunkowo niewielkim czasie. Wykorzystanie łącza abonenckiego w publicznej sieci telefonicznej wyraża się ruchem przez nie załatwianym o wartość od 0,06 do 0,18 erlanga. Łącza międzycentralowe, które służą do prowadzenia rozmów przez wielu abonentów, są wykorzystywane w wielokrotnie większym stopniu, a wartość załatwianego ruchu wynosi od 0,6 do 0,8 erlanga. Dwa współpracujące ze sobą centra komutacyjne są powiązane łączami, poprzez które jest załatwiany ruch wychodzący z pierwszego centrum i przychodzący do centrum drugiego oraz wychodzący z drugiego i przychodzący do pierwszego. Na ruch wychodzący z każdego z tych centrów składa się ruch wychodzący od abonentów danego centrum, który wynosi przeciętnie od 0,02 do 0,08 erlanga na abonenta. Po odpowiednim przeliczeniu uzyskujemy wartość od 0,03 do 0,12, która określa część łącza międzycentralowego przypadającą przeciętnie na abonenta danego centrum i także jego centrów satelitowych. W przypadku tych ostatnich, (realizowanych z wykorzystaniem wyniesionych stopni abonenckich) niewielkie koszty dodatkowe, wynikające z zastosowania specjalnych łączy między centrum głównym i satelitowym, mogą być doliczone do kosztów relatywnie krótkich łączy abonenckich tego centrum satelitowego. W omawianym przypadku wspomniana wiązka

łączy, w relacji centrum główne - centrum satelitowe, jest normalnie 8-krotnie mniejsza od liczby abonentów obsługiwanych przez centrum satelitowe. Biorąc pod uwagę, że koszt równoważny jednego kilometra traktu PCM wynosi 1,6 umownej jednostki kosztu to 1 km takich łączy między centrum głównym i satelitowym "powiększa długość" łączy abonenckiego o 0,2 u j k (koszt 1 km łączy abonenckiego oceniony jest na 8 u j k). Podany wyżej koszt dodatkowy terminali łączy cyfrowych między centrum głównym i satelitowym został oceniony na rzędu 2 u j k na jednego abonenta centrum satelitowego. Tak więc, np. łączy abonentu centrum satelitowego oddalonego od centrum głównego o 10 km jest jak gdyby o 4 u j k droższe, tzn. tak jakby łączy było o 0,5 km dłuższe.

19. DŁUGOŚĆ ŁĄCZY ABONENCKICH

Obszar obsługi (S) centrum komutacyjnego jest parametrem wyjściowym. W danym obszarze obsługi średnia długość łączy abonenckich jest najmniejsza, gdy centrum komutacyjne znajduje się w idealnym środku tego obszaru i gdy gęstość abonentów jest największa w pobliżu tego środka. Średnią długość łączy abonenckiego (l_a) można określić w przybliżeniu za pomocą następującej zależności:

$$l_a = (0,3 \text{ do } 0,5) * \sqrt{S}$$

Jeżeli centrum komutacyjne jest umieszczone na brzegu wspomnianego obszaru, średnia długość łączy abonenckich jest ok. 2 razy większa.

Jak widać, długość łączy abonenckiego rośnie wraz z pierwiastkiem z powierzchni obszaru obsługi. Ponieważ większy obszar obsługi oznacza jednocześnie większą liczbę abonentów, można ogólnie powiedzieć, że większy obszar obsługi oznacza większą pojemność centrum komutacyjnego.

Koszt jednostkowy centrum komutacyjnego maleje normalnie wraz ze wzrostem jego pojemności. W tej sytuacji wielkość obszaru obsługi centrum komutacyjnego jest dobierana z uwzględnieniem powyższych przeciwstawnych parametrów: pojemności centrum i długości łącza abonenckiego. W obszarach obsługi, w których zamiast pojedynczego centrum komutacyjnego zastosowana jest jednostka centralowa, złożona z głównego centrum komutacyjnego i dołączonych do niego centrów satelitowych, można nawet przy dużych obszarach uzyskiwać niewielkie koszty sieci abonenckiej. Abonenci znajdujący się w pobliżu głównego centrum komutacyjnego mogą być dołączani krótkimi łączami do stopni abonenckich w tym centrum.

Inni abonenci mogą być dołączani do centrów satelitowych i ich łącza abonenckie mogą być również krótkie. W omawianym przypadku pojawiają się łącza pomiędzy centrum głównym i centralami satelitowymi, których koszt, jak pokazano wyżej, tylko w niewielkim stopniu wpływa na wzrost kosztu łącza abonentów centrów satelitowych. W przybliżeniu średnią długość łącza między centrum głównym i zbiorem centrów satelitowych można określać za pomocą wzoru do obliczania długości łącza abonenckich pojedynczego centrum na obszarze obsługiwanym przez całą daną jednostkę centralową.

20. DŁUGOŚĆ ŁĄCZY MIĘDZYCENTRALOWYCH

Układ wielocentralowy w strefie numeracyjnej to zbiór centrów komutacyjnych rozlokowanych na tym obszarze oraz łącza międzycentralowe wiążące ze sobą te centra komutacyjne. Średnia długość łącza (l_1) pomiędzy danym centrum i innymi centrami może być obliczona w przybliżeniu przy użyciu następującego wzoru:

$$l_1 = (0,4 \text{ do } 1,5) * \sqrt{S}$$

Uwaga: (Najmniejszy współczynnik występuje w przypadku obszaru kwadratowego i centrum ulokowanym w środku, a największy obszaru prostokątnego o bokach różniące się istotnie długości i centrum ulokowanym na brzegu obszaru).

Średnia długość łączy międzycentralowych (l_s) dla wszystkich centrów na całym obszarze może być w przybliżeniu obliczana według zależności:

$$l_s = (0,6 \text{ do } 1) * \sqrt{S}$$

21. OKREŚLANIE DOKŁADNEJ DŁUGOŚCI ŁĄCZY

Wyznaczanie dokładnej długości łączy przeprowadzone przy użyciu komputera. W przypadku obliczania długości łączy abonenckich korzysta się z mapy terenu z naniesionymi, w poszczególnych elementarnych obszarach prostokątnych, liczbami abonentów. Każdy z tych elementarnych zbiorów n_i abonentów może być oznaczony za pomocą współrzędnych prostokątnych x_i i y_i . Jeżeli centrum komutacyjne znajduje się w punkcie o współrzędnych x_0 i y_0 , wtedy za pomocą komputera można obliczyć zarówno sumaryczną liczbę abonentów, jak i sumaryczną liczbę kilometrów użytą do budowy linii abonenckich. Zwykle zakłada się przy tym, że trasy linii są równoległe do osi współrzędnych i to umożliwia dokonanie obliczeń z zastosowaniem stosunkowo prostego programu. Komputer może wyznaczyć średnią długość łączy abonenckiego dla całego obszaru i ewentualnie współczynnik proporcjonalności tej średniej do pierwiastka z powierzchni obszaru.

Jeśli obok głównego centrum komutacyjnego występują centra satelitowe, to także można korzystać z tego samego programu, lokując główne centrum komutacyjne, (dla którego oblicza się długość wychodzących łączy międzycentralowych), w punkcie x_0 i y_0 a w punktach x_i i y_i współpracujące z nim satelitowe centra komutacyjne. W tych punktach powinny zostać zapisane liczby łączy międzycentralowych zakończonych w omawianych centrach komutacyjnych. Komputer podobnie jak poprzednio obliczy sumaryczną liczbę łączy międzycentralowych i sumaryczną liczbę kilometrów w tych liniach. Z kolei, zgodnie z programem, może podać średnią długość łączy i współczynnik proporcjonalności do pierwiastka z powierzchni danej sieci wielocentralowej.

Obliczenie liczby łączy i ich długości może zostać przeprowadzone kolejno dla wszystkich centrów komutacyjnych w danym obszarze sieci wielocentralowej. Sumując przy tym poszczególne liczby łączy i liczby kilometropar, można obliczyć średnią długość łączy dla całego omawianego obszaru sieci.

22. KOSZT ABONENTA W SIECI TELEKOMUNIKACYJNEJ

Łącząc dane o koszcie sprzętu komutacyjnego i liczbie łączy międzycentralowych odniesionych na abonenta, można przedstawić ocenę kosztów obejmującą również tranzytowanie połączeń w sieci strefowej i krajowej. Do tego celu trzeba najpierw ustalić typowy rozkład połączeń. Niech w sieci strefowej część połączeń pomiędzy abonentami danego centrum wynosi średnio 20%, część połączeń pomiędzy abonentami dwóch centrów powiązanych bezpośrednimi łączami międzycentralowymi - 50%, część połączeń z pojedynczym tranzytem - 25%, zaś pozostałe 5% - to połączenia z więcej niż jednym tranzytem. Podobny podział w sieci krajowej może być następujący: połączeń międzymiastowych bezpośrednich - 60% oraz połączeń z jednym i z dwoma tranzytami - po 20%.

Przy powyższych założeniach do określenia kosztu sprzętu komutacyjnego zakładamy, że: odniesiony na abonenta koszt łączy abonenckiego (o długości 2 km) wynosi 16 u j k, koszt stopnia abonenckiego centrów elektronicznych liczymy jako równoważny 8 u j k, koszt cyfrowego pola komutacyjnego (wraz ze sterowaniem) - 4 u j k oraz koszt wyposażenia liniowego (w przypadku łączy cyfrowych) - 1 u j k. W przypadku współpracy z centrum o komutacji przestrzennej koszt wyposażenia liniowego wzrasta o 7 u j k. W tej sytuacji koszt połączenia lokalnego może być przyjęty jako równoważny 12 u j k, koszt połączenia pomiędzy abonentami centrów o cyfrowej komutacji (powiązanych łączami bezpośrednimi) - 18 u j k, a koszt połączenia z centrami o przestrzennej komutacji musi być powiększony o 7 u j k. Każdy tranzyt

poprzez cyfrowe centrum komutacyjne wnosi dodatkowo koszt rzędu 6 u j k .

Na podstawie przytoczonych danych (uwzględniając, że połowa połączeń w sieci może mieć miejsce z istniejącymi abonentami w centrach o przestrzennej komutacji) koszt sprzętu komutacyjnego w sieci strefowej jest równoważny 22 u j k . Ten koszt może być zwiększony o 16 oraz od 0,5 do 3 u j k , wyrażających koszt łączy abonenckich i międzycentralowych odpowiednio w małej i dużej strefie.

Biorąc pod uwagę koszt sprzętu komutacyjnego centrów między-miastowych (z uwzględnieniem, że ruch w tej sieci na abonenta jest ok. 10 razy mniejszy niż w sieci strefowej oraz że obecnie centra międzymiastowe muszą wykorzystywać łącza dalekosiężne telefonii nośnej) otrzymujemy, przy wyżej podanych rodzajach połączeń, koszt równoważny 5 u j k na abonenta. Do tego trzeba doliczyć koszt wynikający ze średniej długości 400 km łączy w sieci krajowej rzędu 3 u j k .

23. PORÓWNYWANIE KOSZTÓW INWESTYCJI TELEKOMUNIKACYJNYCH

Określając koszt inwestycyjny telekomunikacyjnych układów wielocentralowych uwzględnia się następujące składniki:

- koszt podstawowego sprzętu komutacyjnego,
- koszt urządzeń dodatkowych, jak: przełącznica, urządzenia zasilające itp.,
- koszt budynku centralowego,
- koszt budowy i instalacji urządzeń komutacyjnych,
- koszt sieci abonenckiej,
- koszt sieci międzycentralowej wraz z teletransmisyjnymi, urządzeniami końcowymi i liniowymi.

Omawiane koszty mogą mieć wartości podobne dla systemów o komutacji przestrzennej i systemów o komutacji cyfrowej.

Odpowiedni koszt podstawowego sprzętu komutacyjnego został podany wyżej. Analizując urządzenia dodatkowe, można stwierdzić, że niejednokrotnie stosuje się takie same przełącznice i urządzenia zasilające w przypadku obu systemów urządzeń komutacyjnych. W związku z tym i koszty są w zasadzie takie same.

Nowe budynki dla elektronicznego sprzętu komutacyjnego i urządzeń dodatkowych mogą być budynkami o konstrukcji budynków typu mieszkalnego a poza tym cechują się przeszło dwa razy mniejszą kubaturą niż budynki o znacznie mocniejszych stropach (typu przemysłowego) dla tej samej pojemności centrów o przestrzennej komutacji. We wcześniej zbudowanym budynku przeznaczonym dla systemu o komutacji przestrzennej można zainstalować centrum elektroniczne o ponad dwukrotnie większej pojemności.

W przypadku urządzeń komutacyjnych o przestrzennej komutacji koszt urządzeń dodatkowych i zasilających jest oceniany na około 40% kosztu urządzeń komutacyjnych. W przypadku centrów elektronicznych koszt ten jest mniejszy i oceniany na około 30% kosztu urządzeń komutacyjnych.

Czas trwania montażu i liczba zużywanego materiału wyraźnie przemawiają na korzyść systemów elektronicznych, mimo że centra o programowanym sterowaniu wymagają pewnego wkładu pracy na opracowanie, zbadanie oraz wpisanie programów i danych do pamięci operacyjnej oraz pamięci danych w układach sterowania.

Podobnie istotnie mniejszy jest koszt eksploatacji w przypadku elektronicznych centrów komutacyjnych.

* * *

Przedstawiona wyżej metoda badań kosztów może być wykorzystywana w pracach badawczych i projektowych, dotyczących programowania rozwoju krajowej sieci telekomunikacyjnej: Metoda ta została opracowana w ramach CPBR "Telekomunikacja".

WYKAZ LITERATURY

1. Trehciński J.: Stosowanie systemów cyfrowych do rozbudowy sieci telefonicznych strefowych. Rozprawa doktorska. Instytut Łączności. Warszawa 1980.
2. Trehciński J.: przyczynek do optymalizacji układów komutacyjnych. Rozprawy Elektrotechniczne, z.4, 1983.
3. Trehciński J.: przyczynek do rozwiązań czasowych układów komutacyjnych. Przegląd Telekomunikacyjny, z.11-12, 1980.
4. Trehciński J.: Wybrane układy komutacji cyfrowej. Prace Instytutu Łączności, z.89, 1982.
5. Trehciński J.: Telefoniczne systemy z integracją techniki. (W pracy zbiorowej: Systemy sieci zintegrowanej). WKŁ, Warszawa 1978.
6. Trehciński J.: Uwagi do kosztu łączy międzycentralowych. Przegląd Telekomunikacyjny, z.7, 1979.
7. Trehciński J.: Neue Techniken im Kommunikationswesen. Międzynarodowe sympozjum nt. komunikacji i łączności. Budapeszt V/VI 1988 r. -

ISSN 0209-1046

