

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI
WARSZAWA-MIEDZESZYN

PROBLEMY

RELIKTAA
Wydawnictwo Łączności

ŁĄCZNOŚCI

112

1974

MINISTERSTWO ŁĄCZNOŚCI

BIBLIOTEKA
Instytutu Łączności

№ _____

PROBLEMY ŁĄCZNOŚCI

ROK 14

WARSZAWA 1974

NR 112

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI

Branżowy Ośrodek

Informacji Naukowo-Technicznej i Ekonomicznej

Redakcja Problemów Łączności

Redaktor Naczelny - mgr inż. Jerzy Rutkowski

Redaktorzy działów:

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

mgr inż. Józef Możejko

Adres Redakcji:

Instytut Łączności

Branżowy Ośrodek

Informacji Naukowo-Technicznej i Ekonomicznej

Warszawa-Miedzeszyn, ul. Szachowa 1

NA PRAWACH RĘKOPISU - DO UŻYTKU SŁUŻBOWEGO

Redaktor: J. Borkowska

Montaż tekstu: B. Drabik

Dział Wydawniczy Instytutu Łączności
Format B5. Nakład 565. Wpłynęło do
Działu Wydawniczego 2.01.1974 r.
Druk ukończono w marcu 1974 r.

PROBLEMY ŁĄCZNOŚCI

Janusz Zygierewicz

NAZIEMNE STACJE ŁĄCZNOŚCI SATELITARNEJ

SPIS TREŚCI

	Str.
1. Systemy łączności satelitarnej	1
1.1. Zasady pracy	1
1.2. Właściwości systemów	3
1.3. Rodzaje wykorzystywanych orbit	4
1.4. Zakresy częstotliwości pracy	5
2. Istniejące systemy dalekosiężnej łączności satelitarnej - Intelsat i Intersputnik	6
3. Wskaźniki charakteryzujące jakość transmisji za pomocą linii satelitarnych	7
4. Ogólne zasady funkcjonowania i warunki pracy stacji naziemnej	10
5. Podstawowe parametry techniczne stacji naziemnej	12
5.1. Stacja naziemna w systemie Intelsat	12
5.2. Stacje naziemne w systemie Intersputnik	14
6. Wybór miejsca lokalizacji stacji naziemnej	16
7. Rozmieszczenie budynków na terenie stacji naziemnej	20
8. Linie łączące stację naziemną z centrum telekomunika- cyjnym kraju	24

	Str.
9. Zasady pracy stacji przy przesyłaniu sygnałów telewizyjnych i radiofonicznych	26
10. Zasady pracy stacji przy przesyłaniu sygnałów telefonicznych w systemie na sztywnych łączach oraz w systemie z uwielokrotnionym dostępem do satelity na żądanie	27
11. Metody sterowania i kontroli pracy stacji	32
12. Wskaźniki niezawodności pracy stacji naziemnej	34
13. Schemat blokowy i analiza wyposażenia typowej satelitarnej stacji naziemnej systemu Intelsat	37
14. Szczegółowy opis podstawowych urządzeń wchodzących w skład stacji systemu Intelsat	42
14.1. Anteny	42
14.2. Urządzenia odbiorcze	55
14.3. Urządzenia nadawcze .	67
14.4. Urządzenia końcowe	74
14.5. Urządzenia automatycznego śledzenia	82
14.6. Urządzenia zasilające	85
14.7. Urządzenia i wyposażenie pomocnicze	88
15. Obsługa stacji	91
16. Koszty budowy i eksploatacji stacji	94
Wykaz literatury	97

NAZIEMNE STACJE ŁĄCZNOŚCI SATELITARNEJ

1. SYSTEMY ŁĄCZNOŚCI SATELITARNEJ

1.1. Zasady pracy

W systemie dalekosiędnej łączności satelitarnej^{x/} urządzenia pokładowe satelity pełnią funkcję stacji przekazującej sygnały odbierane z jednej stacji naziemnej w kierunku drugiej stacji naziemnej, rozmieszczonych w dużych odległościach, często na różnych kontynentach. Ponieważ działanie stacji satelitarnej pod względem funkcjonalnym jest podobne do działania stacji przekaźnikowej linii radiowej, przez analogię przyjęto nazywać ten nowy system łączności liniami satelitarnymi.

^{x/} Wszystkie zagadnienia omawiane w niniejszej publikacji dotyczą systemów łączności satelitarnej stałej /zwanej też porozumiewawczą/, wykorzystywanych do przesyłania różnego rodzaju sygnałów między określonymi stacjami naziemnymi, rozmieszczonymi na terytoriach poszczególnych krajów. Z rozważań wyłączono zagadnienie radiodyfuzji satelitarnej, w którym to systemie urządzenia pokładowe satelity pełnią rolę rozsiewczej stacji telewizyjnej lub radiofonicznej, a nadawane przez nie sygnały są odbierane przez większą liczbę odpowiednio przystosowanych odbiorników indywidualnych, rozmieszczonych na stosunkowo dużych obszarach, oraz wykorzystanie satelitów telekomunikacyjnych przez inne służby, na przykład radiokomunikację ruchomą.

W przypadku gdy dwa obszary na powierzchni Ziemi są połączone ze sobą przy wykorzystaniu jednego satelity /rys. 1a/^{x/}, mówimy o linii satelitarnej jednoskokowej. Jeżeli do pokonania dużych odległości niezbędne jest wykorzystanie kilku satelitów krążących w odpowiednich odstępach po wspólnej orbicie, linię nazywamy wieloskokową /rys. 1b/.

Historycznie rzecz biorąc, systemy łączności satelitarnej można podzielić na systemy z wykorzystaniem satelitów pasywnych /z odbiciem sygnałów/ i aktywnych /z retransmisją sygnałów/.

Satelita pasywny odgrywał rolę stacji przekaźnikowej biernej; dzięki odpowiednim właściwościom swej metalizowanej powłoki odbijał on część skierowanej przez antenę kierunkową stacji naziemnej wiązki fal radiowych z powrotem w stronę Ziemi /balony typu Echo/. Podstawową wadą takiego systemu była duża tłumienność sumarycznej trasy Ziemia-satelita-Ziemia, która tylko z wielkim trudem mogła być kompensowana dzięki stosowaniu dużych anten oraz dużej mocy nadajnika i dużej czułości odbiornika. Skutkiem tego uzyskiwana przepustowość transmisyjna była bardzo mała. Z tych też względów tego typu satelity obecnie zostały całkowicie wyparte przez tzw. satelity aktywne, wyposażone w retransmisyjne urządzenia nadawczo-odbiorcze. Pierwszym satelitą aktywnym był satelita Telstar wprowadzony na orbitę w 1962 roku. Oddanie do eksploatacji w 1965 roku umieszczonego na orbicie synchronicznej satelity Early Bird zapoczątkowało szybki rozwój satelitów typu Intelsat, które stanowią obecnie podstawowy międzynarodowy system satelitarnej łączności globalnej.

^{x/} Wszystkie rysunki są zamieszczone na końcu artykułu.

1.2. Właściwości systemów

Spśród podstawowych zalet systemów łączności satelitarnej można wymienić:

1. Duży zasięg łączności przy wykorzystaniu jednej tylko stacji retransmisyjnej umieszczonej na orbicie.
2. Urządzenia pokładowe satelitów mogą być jednocześnie wykorzystywane jako urządzenia przekaźnikowe do realizacji połączeń pomiędzy wieloma stacjami naziemnymi rozmieszczonymi na dużym obszarze. Szczególnie zaleta ta uwydatnia się przy tzw. uwielokrotnionym dostępie do satelity na żądanie.
3. Linie łączności satelitarnej są stosunkowo odporne na wpływy atmosferyczne w porównaniu do charakteryzujących się podobną przepustowością transmisyjną mikrofalowych linii radiowych, zwłaszcza linii pracujących przy wykorzystaniu rozproszenia troposferycznego.
4. Dzięki pracy w zakresie mikrofal i tendencji do wykorzystania coraz wyższych zakresów częstotliwości możliwe jest uzyskiwanie dużych szerokości pasma przesyłanych sygnałów.

Podstawową trudnością przy realizacji systemów jest duża tłumienność trasy, która wynosi dla satelity na orbicie geostacjonarnej prawie 200 dB dla jednego kierunku transmisji, czyli o około 60 dB większa w porównaniu do tłumienności na odcinkach linii radiowej. Istnieją w praktyce pewne trudności techniczne z zadowalającą kompensacją tej tłumienności poprzez odpowiednie zwiększenie mocy nadajników, zestyków anten i czułości odbiorników. Jest

to szczególnie trudne dla kierunku satelita-Ziemia, ponieważ używana moc nadajników pokładowych jest niewielka, głównie na skutek ograniczonych mocy zasilania baterii słonecznych i ograniczonego ciężaru urządzeń. Również zyski anten nie mogą być w tym przypadku zbyt duże ze względu na trudności rozwijania i ustawiania kierunku promieniowania anten pokładowych o zbyt dużych wymiarach.

Inną niedogodnością, zwłaszcza przy transmisjach telefonicznych, jest duży czas opóźnienia transmisji sygnału na skutek długości toru rozchodzenia się fal elektromagnetycznych, wynoszący w przypadku jednoskokowej linii satelitarnej realizowanej za pomocą satelity geostacjonarnej około 250 ms, co zmusza do stosowania nie zawsze w pełni skutecznych tłumików echa i jest pomimo to czasami przykro odczuwane przez niektórych abonentów.

1.3. Rodzaje wykorzystywanych orbit

W chwili obecnej do dalekosiężnej satelitarnej łączności porozumiewawczej wykorzystuje się i przewiduje głównie wykorzystanie w najbliższych latach tylko dwóch rodzajów orbit, a mianowicie kołowej orbity geostacjonarnej /rys. 2a/ oraz nachylonej pod kątem $63^{\circ}26'$ względem płaszczyzny równika orbity eliptycznej /rys. 2b/ o różnym położeniu perigeum w stosunku do bieguna. W przypadku równikowej orbity geostacjonarnej położonej w odległości 35.800 km od powierzchni Ziemi czas obiegu satelity dookoła Ziemi równa się ściśle czasowi jej obrotu wokół własnej osi i z tego powodu nie ma względnego ruchu satelity w stosunku do powierzchni Ziemi, objętej zasięgiem widoczności z satelity. Trzy satelity

rozmieszczone równomiernie na takiej orbicie mogą więc teoretycznie objąć zasięgiem łączności cały glob ziemski z wyjątkiem okolic podbiegunowych. Z tego wynika powszechne zainteresowanie tą orbitą i przy wykorzystaniu satelitów na tej orbicie pracuje system łączności globalnej Intelsat oraz w przyszłości będzie również pracował system Intersputnik.

1.4. Zakresy częstotliwości pracy

Ze względów technicznych i dla zmniejszenia wzajemnych zakłóceń z innymi systemami łączności ziemskiej w obecnie pracujących systemach międzynarodowej łączności satelitarnej wykorzystuje się jako podstawowe zakresy 4 i 6 GHz, konkretnie zakres 3700 - 4200 MHz do odbioru i zakres 5925 - 6425 MHz do nadawania ze stacji naziemnej. Brak wolnych pasm w zakresie do 10 GHz oraz pewne korzyści płynące z wykorzystywania wyższych zakresów częstotliwości /większe zyski anten, szerokie pasma przeniesienia/ skłoniły ostatnio Światową Administracyjną Konferencję do Spraw Telekomunikacji Satelitarnej do rozpatrzenia celowości przyznania do pracy służb łączności satelitarnej również wyższych zakresów częstotliwości. Przewiduje się, że zakres do 30 GHz będzie wykorzystywany już w najbliższych latach, a zakresy wyższe w latach dalszych. Należy zaznaczyć, że stosowanie wyższych zakresów częstotliwości będzie szczególnie dogodnie dla regionalnych i wewnątrz krajowych systemów łączności satelitarnej, pozwalają bowiem na uzyskanie małych szerokości wiązek promieniowania przy stosunkowo małych wymiarach anten pokładowych i anten stacji naziemnych.

2. ISTNIEJĄCE SYSTEMY DALEKOSIĘŻNEJ ŁĄCZNOŚCI SATELITARNEJ - INTELSAT I INTERSPUTNIK

W międzynarodowym systemie Intelsat, wykorzystującym satelity krążące po orbicie synchronicznej według stanu na 1972 r. pracowały 72 stacje naziemne, 37 w basenie Oceanu Atlantyckiego, 18 - Spokojnego i 17 - Indyjskiego. Rozmieszczone one były na terenie 100 krajów i wyposażone w około 80 anten, tzn. szereg stacji było przystosowanych do łączności nad więcej niż jednym obszarem oceanu /rys. 3/. Drugim systemem międzynarodowej łączności satelitarnej wchodzącym stopniowo w życie jest system Intersputnik realizowany w ramach porozumienia krajów socjalistycznych. System Intersputnik ma pracować przy wykorzystaniu satelitów typu Mołnia 2 krążących po 12-godzinnej orbicie eliptycznej nachylonej pod kątem $63^{\circ}26'$ względem płaszczyzny równika, z apogeum w pobliżu bieguna północnego. Apogeum to jest położone w odległości około 40.000 km, a perigeum około 500 km od powierzchni Ziemi, co przy orbicie 12-godzinnej zapewnia stosunkowo długi okres widzialności satelity przez stacje rozmieszczone na terenie Związku Radzieckiego, Europy wschodniej i częściowo Azji.

Zaletą systemu z satelitami na orbicie eliptycznej jest lepsze pokrycie zasięgiem łączności obszarów podbiegunowych, natomiast wadą konieczność ciągłego śledzenia lotu satelity i w związku z tym stosowanie anten obrotowych. Przewidywana jest ewolucja systemu w kierunku wykorzystywania orbity geostacjonarnej, co stworzy warunki satelitarnej łączności globalnej.

3. WSKAŹNIKI CHARAKTERYZUJĄCE JAKOŚĆ TRANSMISJI ZA POMOCĄ LINII SATELITARNYCH

Parametry jakościowe transmisji za pomocą linii satelitarnych są w zasadzie takie same, jak dla ziemskich linii radiowych. Tak na przykład zgodnie z zaleceniami CCIR /353-2, Genewa 1970/ moc szumów w punkcie o zerowym poziomie odniesienia w dowolnym kanale telefonicznym satelitarnych systemów łączności dla telefonii wielokrotnej z podziałem częstotliwościowym dla linii Ziemia-satelita-Ziemia nie powinna przekraczać następujących wartości:

- 10.000 pWp0 średniej mocy psfometrycznej w ciągu dowolnej godziny
- 10.000 pWp0 średniej mocy psfometrycznej w ciągu jednej minuty przez więcej niż 20% dowolnego miesiąca
- 50.000 pWp0 średniej mocy psfometrycznej w ciągu jednej minuty przez więcej niż 0,03% dowolnego miesiąca.

Z przyjętych 10.000 pW zakłada się, że około $\frac{1}{2}$ przypada na szumy termiczne dla kierunku transmisji satelita-Ziemia i około $\frac{1}{5}$ dla kierunku transmisji Ziemia-satelita. Pozostałe składowe szumu są wnoszone na skutek zjawisk intermodulacyjnych pomiędzy kanałami radiowymi w urządzeniach satelitów i stacji naziemnych oraz występowania interferencji ze strony satelitów innych systemów łączności i ziemskich linii radiowych.

Jest rzeczą interesującą zdanie sobie sprawy, jak poszczególne parametry techniczne systemu rzutują na jakość transmisji. W przypadku transmisji sygnałów telefonicznych przesyłanych na za-

sadzie zwielokrotnienia częstotliwościowego i pracy urządzeń odbiorczych powyżej progu szumowego stosunek sygnału do szumów w kanale telefonicznym można określić ze wzoru:

$$\log S/N_1 - \log C/N_2 + 10 \log_{10} B/b + 20 \log \Delta f/f_{\max} + A$$

gdzie:

$\log S/N_1$ - stosunek sygnału użytecznego /pomiarowego/ do psfometrycznie ważonego szumu w kanale telefonicznym /dB/

$\log C/N_2$ - stosunek mocy fali nośnej do szumu w kanale wielkiej częstotliwości /dB/

b - skuteczna szerokość pasma kanału telefonicznego /3,1 kHz/

Δf - wartość skuteczna dewiacji częstotliwości przy poziomie sygnału pomiarowego 0 dBm

f_{\max} - górna granica pasma podstawowego

A - stała /około 6,5 dB/ korekcyjna, uwzględniająca ważenie psfometryczne oraz preemfazę, która jest stosowana w celu wyrównania parametrów kanałów telefonicznych w pasmie podstawowym.

Szum w pasmie kanału wielkiej częstotliwości można określić ze wzoru:

$$N_2 = kTB \quad /W/$$

gdzie:

$$k = 1,374 \times 10^{-23} \text{ W/K,1Hz / stała Boltzmana/}$$

T - temperatura szumów /K/

B - pasmo kanału wielkiej częstotliwości /Hz/

Przy uwzględnieniu tego wzór powyższy można wyrazić w postaci:

$$\log \frac{S}{N_1} = \log \frac{C}{T} - 10 \log kb + 20 \log \Delta f / f_{\max} + A$$

Stosunek zysku anteny stacji naziemnej do temperatury szumów odbiornika przyjęto określać jako współczynnik jakości /przydatności/ systemu odbiorczego stacji naziemnej $10 \log \frac{G}{T}$ /rozd. 4/. Ponadto efektywną moc promieniowania nadajnika satelity dogodnie jest wyrażać zależnością $EIRP^x/$ = moc nadajnika pokładowego x x zysk anteny pokładowej. Prowadzi to do ustalenia zależności dla kierunku transmisji satelita-Ziemia:

$$\log \frac{C}{T} = \log EIRP - \log L + \log \frac{G}{T}$$

gdzie:

$\log L$ = tłumienie trasy.

Podobną zależność można określić dla kierunku transmisji Ziemia-satelita, podstawiając do powyższego wzoru wartości $EIRP$ odnoszące się do stacji naziemnej i $\frac{G}{T}$ odnoszące się do pokładowej stacji odbiorczej satelity.

Jak z powyższych zależności widać, wymagany stosunek sygnału do szumów $\frac{S}{N_1}$ w kanale telefonicznym można uzyskać przy różnych parametrach technicznych systemu, na przykład zmniejszając $EIRP$ lub $\frac{G}{T}$ kosztem zwiększenia wartości dewiacji /i w efekcie

^{x/} $EIRP$ - Equivalente Isotropic Radiated Power - równoważna moc promieniowania izotropowego.

sumarycznego pasma zajmowanego w systemie dla transmisji tego samego sygnału/.

Na rysunku 4 przedstawiono przykładowo bilans energetycznej linii satelitarnej zrealizowanej za pomocą satelity Intelsat III przy przesyłaniu sygnału zbiorczego telefonii 432-krotnej.

4. OGÓLNE ZASADY FUNKCJONOWANIA I WARUNKI PRACY STACJI NAZIEMNEJ

Zadaniem stacji naziemnej jest odbiór i wzmacnianie sygnałów nadawanych przez nadajnik pokładowy satelity oraz nadawanie sygnałów przeznaczonych do odbioru przez pokładowe urządzenia odbiorcze satelity.

Moc nadajnika pokładowego satelity jest ograniczona głównie przez możliwą do osiągnięcia moc zasilania dostarczaną z baterii słonecznych, umieszczonych na korpusie satelity, których liczba jest z kolei ograniczona dysponowaną powierzchnią oraz dopuszczalnym ciężarem satelity w trakcie jego wprowadzania na orbitę, W wyniku tego moc nadawania nie przekracza $40 + 50$ W, a moc sygnału docierającego do odbiornika wynosi zaledwie -100 dBW / tzn. 10^{-10} wata/. Oznacza to, że do odbioru sygnału musi być użyty niezmiernie czuły odbiornik, tzn. odbiornik charakteryzujący się bardzo małym poziomem szumów własnych. Odnosi się to w szczególności do wstępnych stopni wzmacniacza, których szумы termiczne muszą być tak małe, aby na ich tle nie "zginął" odbierany sygnał. Przyjęto określanie czułości odbiornika wartością temperatury szumów T, która jest temperaturą, przy której opornik generuje ten sam poziom szumów termicznych co rozpatrywany odbior-

nik. Tak więc stacja naziemna może odebrać tym słabszy sygnał, im większy jest zysk anteny G i im mniejsza temperatura szumów odbiornika T . W związku z tym, jak wspomniano uprzednio, przyjęto zdolności odbiorcze stacji naziemnej określać współczynnikiem jakości G/T , wyrażanym w dB. Na przykład dla stacji naziemnych, które mają być włączone do systemu łączności globalnej Intelsat, współczynnik ten nie może wynosić mniej niż 40,7 dB przy kącie elewacji anteny 5° /przy większych kątach elewacji wartość współczynnika G/T wzrasta ze względu na mniejsze wpływy promieniowania "cieplej" Ziemi i źródeł zakłóceń rozmieszczonych na powierzchni Ziemi/. Wynika z tego, że przy zysku anteny 59 dB dla częstotliwości 4 GHz, uwarunkowanym wymiarami stosowanej anteny, temperatura szumów odbiornika nie może przekraczać 65°K . Ze względu na to, że sama antena odbiera z otoczenia, atmosfery ziemskiej i przestrzeni kosmicznej szumy odpowiadające temperaturze około 40°K /rozd. 14.1/, temperatura szumów odbiornika może wynosić tylko około 20°K .

W odniesieniu do przeciwnego kierunku łączności odbiór słabych sygnałów przez odbiornik pokładowy satelity jest ograniczony na skutek trudności konstrukcji w tych warunkach lekkich odbiorników o małych szumach własnych oraz zrozumiałymi ograniczeniami wymiarów anten pokładowych. Z tego względu, dla zapewnienia prawidłowych warunków odbioru przez satelitę, moc nadajnika stacji naziemnej musi być znacznie większa od mocy nadajników pokładowych, dochodząc nawet do kilkunastu kilowatów. Ze względu na stosowanie wspólnej anteny nadawczo-odbiorczej o dużych wymiarach uzyskuje się dużą koncentrację promieniowanej energii w wąskiej wiązce o szerokości około $0,1^\circ$, tak że równo-

ważna moc promieniowania izotropowego EIRP wynosi około 80 -
- 90 dBW /1000 megawatów/.

5. PODSTAWOWE PARAMETRY TECHNICZNE STACJI NAZIEMNEJ

5.1. Stacja naziemna w systemie Intelsat

Widok zewnętrzny typowej stacji naziemnej tego systemu przedstawia rysunek 5. Jest to stacja w Diatiluhur /Jawa/, wyposażona na razie w jedną tylko antenę paraboliczną i przeznaczona do obsłużenia terytoriów wysp należących do Indonezji. Bardziej rozbudowane stacje mogą mieć do trzech takich anten, dwie z nich przeznaczone do współpracy z dwoma satelitami geostacjonarnymi, rozmieszczonymi na różnych długościach geograficznych, a trzecia pełniąca rolę rezerwowej. Stacja naziemna jest wyposażona w urządzenia nadawczo-odbiorcze o mało różniących się, nieomal standardowych, parametrach, umożliwiające zgodnie z charakterystykami systemu łączności satelitarnej Intelsat przesyłanie następujących sygnałów:

- nadawanie i odbiór sygnałów telewizji czarno-białej lub kolorowej, z jednym lub dwoma dźwiękami towarzyszącymi,
- nadawanie i odbiór sygnałów telefonicznych na zasadzie sztywnych łączy /na trasach o ciągłym, stałym mniej więcej ruchu/, do 1872 kanałów telefonicznych na jedno urządzenie retransmisyjne satelity Intelsat IV, przy wąskiej wiązce kierunkowej anteny pokładowej i do około 900 przy wiązce szerokiej, tzn. przy objęciu zasięgiem łączności całej widzialnej powierzchni Ziemi,

- nadawanie i odbiór sygnałów telefonicznych na zasadzie uwielokrotnionego dostępu do satelity na żądanie /w tzw. systemie SPADE, rozdz. 10/ ,
- nadawanie i odbiór sygnałów telegraficznych i sygnałów transmisji danych do celów porozumiewawczych pomiędzy obsługą stacji oraz kontroli i sterowania poszczególnych elementów składowych systemu Intelsat.

Parametry jakościowe transmisji różnego rodzaju sygnałów są zgodne z odpowiednimi wymaganiami CCIR i CCITT. Nadawanie sygnałów odbywa się w zakresie częstotliwości 6 GHz, a odbiór - 4 GHz. Całkowita szerokość pasma nadawania i odbioru około 500 MHz.

Typowe parametry nadawczo-odbiorczych urządzeń, wchodzących w skład stacji naziemnej, są następujące:

- Antena paraboliczna typu Cassegrain o średnicy reflektora około 30 m. Zysk takiej anteny wynosi około 62 dB dla częstotliwości 6 GHz i 59 dB dla częstotliwości 4 GHz. Stosunek zysku anteny do temperatury szumów G/T wynosi około 41,7 dB dla częstotliwości 4 GHz przy kącie elewacji 5° . Antena pracuje prawidłowo przy szybkości wiatru do 30 m/s, przy czym powierzchnia reflektora jest podgrzewana elektrycznie. Możliwe są trzy sposoby sterowania ruchem anteny: 1/ ręczny, 2/ zaprogramowany, 3/ śledzenie automatyczne przy wykorzystaniu specjalnych sygnałów nadawanych przez satelitę.
- Moc nadajnika na jeden kanał radiowy zależy od liczby transmitowanych sygnałów telefonicznych i wynosi do kilku kilowatów.

W stopniu końcowym nadajnika powszechnie stosowane są lampy o fali bieżącej ze względu na szerokie pasmo przenoszenia, dużą sprawność i niezawodność.

- Współczynnik temperaturowy szumów chłodzonych wzmacniaczy parametrycznych, stanowiących wstępny stopień odbiornika, wynosi około 15 - 20°K. Współczynnik temperaturowy szumów całych urządzeń odbiorczych wynosi zazwyczaj 65 - 75°K przy kącie elewacji anteny 5°.

5.2. Stacje naziemne w systemie Intersputnik

Widok zewnętrzny stacji naziemnej tego systemu przedstawia rys. 6. Stacja naziemna jest wyposażona w standardowe urządzenia nadawczo-odbiorcze, umożliwiające zgodnie z charakterystykami systemu łączności satelitarnej Intersputnik przesyłanie następujących sygnałów:

- nadawanie i odbiór sygnału telewizji czarno-białej lub kolorowej z dwoma dźwiękami towarzyszącymi,
- nadawanie i odbiór sygnałów telefonicznych na zasadzie uwielokrotnionego dostępu do satelity,
- nadawanie i odbiór sygnałów telegraficznych dla celów porozumiewawczych pomiędzy obsługą stacji oraz sterowania i kontroli pracy systemu.

Nadawanie odbywa się w zakresie częstotliwości 6 GHz, a odbiór - 4 GHz. Parametry jakościowe transmisji różnego rodzaju sygnałów są zgodne z odpowiednimi wymaganiami CCIR i CCITT.

Zastosowano antenę paraboliczną typu Cassegrain, przy czym w zależności od potrzeby stacja naziemna może być wyposażona w antenę o średnicy 12 lub 25 metrów. Ze względu na współpracę z satelitą niestacjonarnym antena jest wyposażona w automatycznie sterowane urządzenia napędzające, umożliwiające jej ciągły obrót w dużych granicach zmian kąta azymutu i elewacji.

Podstawowe parametry anten:

a/ współczynnik wykorzystania powierzchni anteny:

- w zakresie częstotliwości odbioru 0,7
- w zakresie częstotliwości nadawania 0,5

b/ współczynnik temperaturowy szumów

1. antena 25 m:

- kąt elewacji 90° - 20° K
- kąt elewacji 5° - 50° K

2. antena 12 m:

- kąt elewacji 90° - 10° K
- kąt elewacji 5° - 40° K

Niektóre inne podstawowe parametry urządzeń stacji:

- częstotliwość pośrednia 70 MHz
- szerokość pasma każdego kanału radiowego 34 MHz
- modulacja częstotliwości
- maksymalna dewiacja przy przesyłaniu sygnału telewizyjnego
+ 15 MHz
- maksymalna dewiacja dla pojedynczego kanału telefonicznego
+ 30 kHz /każdy kanał telefoniczny jest przesyłany na oddzielnej podnośnej/

- moc nadawania 10 kW dla telewizji i 3 kW dla telefonii
- współczynnik temperaturowy szumów odbiornika 60° K.

Przewiduje się dalszą rozbudowę stacji naziemnych i zmianę ich parametrów technicznych zgodnie z planowanymi zmianami podstawowych charakterystyk systemu Intersputnik.

6. WYBÓR MIEJSCA LOKALIZACJI STACJI NAZIEMNEJ

Większość z przydzielonych do pracy zakresów częstotliwości dla linii satelitarnych jest współużytkowana z ziemskimi systemami łączności, zwłaszcza z liniami radiowymi. W związku z powyższym narzucono pewne ograniczenia na moce nadawania i kierunki promieniowania anten obu służb, m.in. określono dopuszczalne wartości gęstości strumienia mocy na powierzchni Ziemi na skutek promieniowania nadajników pokładowych w zależności od zakresu częstotliwości i kąta padania fali elektromagnetycznej /średnio wynosi ona około - $150 \text{ dBW/m}^2 / 4 \text{ kHz/}$ oraz dopuszczalną równoważną moc promieniowania /moc nadajnika + zysk anteny/ stacji naziemnej w kierunku horyzontu i stacji linii radiowej w kierunku orbity geostacjonarnej. Ustalono również specjalną międzynarodową procedurę koordynacyjną stosowaną przy wyborze lokalizacji stacji, a mającą na celu zapobieganie /lub raczej ograniczanie do dopuszczalnych wartości/ wzajemnym interferencjom pomiędzy różnymi systemami łączności satelitarnej, jak również tymi systemami a systemami linii radiowych na powierzchni Ziemi. Świadczy to o dużym znaczeniu, jakie przywiązuje się do tego zagadnienia.

Prace związane z wyborem lokalizacji stacji satelitarnej można ogólnie podzielić na dwa etapy:

W pierwszym etapie dokonuje się wyboru rejonów obszaru kraju, w których może być zlokalizowana stacja naziemna, biorąc pod uwagę następujące czynniki:

- 1/ Możliwość występowania zakłóceń interferencyjnych, pochodzących od różnych służb ziemskich oraz możliwość zakłóceń pracy tych służb przez stację naziemną. Należy tu zwłaszcza uwzględnić rozmieszczenie istniejących i projektowanych stacji linii radiowych i stacji radiolokacyjnych, pracujących w tych samych zakresach częstotliwości co stacja naziemna.
- 2/ Możliwości występowania przemysłowych zakłóceń radioelektrycznych, biorąc pod uwagę położenie obiektów przemysłowych, przebieg linii wysokiego napięcia, przebieg dróg kołowych o dużym ruchu samochodowym, istnienie w pobliżu garaży i stacji napraw samochodów oraz przebiegu linii komunikacyjnych trakcji elektrycznej.
- 3/ Możliwości łatwego powiązania ośrodka satelitarnego z krajową siecią telekomunikacyjną, biorąc zwłaszcza pod uwagę rozmieszczenie węzłów telekomunikacyjnych sieci kablowej i rozmieszczenie stacji linii radiowych, które mogłyby być wykorzystane do przesyłania sygnałów pomiędzy ośrodkiem a węzłem telekomunikacyjnym.
- 4/ Możliwość występowania zakłóceń wywołanych przez samoloty, przy uwzględnieniu tras lotów samolotów cywilnej komunikacji lotniczej i tzw. rejonów oczekiwania dla samolotów lądujących na lotniskach.
- 5/ Zapewnienie właściwych warunków budowy i eksploatacji dużego

ośrodka telekomunikacyjnego oraz zapewnienie warunków bytowych dla personelu obsługującego.

- 6/ Brak przeszkód terenowych naturalnych i sztucznych na przewidywanych kierunkach promieniowania anten.
- 7/ Jako ostatni czynnik należy uwzględnić spełnienie przez wybrany teren odpowiednich warunków geologicznych, geodezyjnych i hydrologicznych oraz wybór odpowiedniego pod względem ukształtowania i wielkości terenu, przy uwzględnieniu nie tylko bieżącego projektu budowy stacji ale również perspektyw przyszłej jej rozbudowy.

Ponadto pożądane jest, aby w odległości co najmniej kilkuset metrów od obiektu nie było zabudowań lub innych miejsc stałego przebywania ludzi ze względu na niebezpieczeństwo narażenia na wpływ silnego promieniowania elektromagnetycznego stacji. Przyjmując dane dotyczące urządzeń nadawczych /moc nadajnika + zysk anteny/, zakładając najbardziej niekorzystne warunki promieniowania anteny /mały kąt elewacji, duży poziom listków bocznych/ oraz przyjmując dopuszczalne normy wartości gęstości strumienia mocy w miejscu stałego przebywania ludzi /na ogół około $10 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ / otrzymuje się dane dotyczące dopuszczalnych odległości od anteny stacji naziemnej ze względu na przebywanie ludzi w mikrofalowym polu elektromagnetycznym stacji.

Uwzględniając wyżej rozpatrzone czynniki, a zwłaszcza ochronę przed interferencjami z systemami linii radiowych oraz ochronę ludzi dąży się na ogół do usytuowania stacji w obniżeniu terenu, najlepiej w niezbyt głębokiej dolinie, wykorzystując w ten sposób otaczające wzgórza jako naturalny ekran, który po-

zwala uniknąć wielu kłopotów związanych z eksploatacją stacji.

Wyniki przeprowadzonej zgodnie z powyższymi zasadami analizy prowadzą zwykle do wyboru 2-3, mniej więcej równoważnych, wariantów lokalizacyjnych, dla których przeprowadza się:

- 1/ szczegółowe oględziny terenu, poparte badaniami geologicznymi;
- 2/ wstępne przeliczenie kosztów inwestycji /wraz z inwestycjami związanymi/ dla wybranych wariantów lokalizacji;
- 3/ sprawdzenie poziomu wzajemnych zakłóceń pomiędzy stacją naziemną a stacjami służb ziemskich, zwłaszcza linii radiowych horyzontowych;
- 4/ pomiary poziomów zakłóceń interferencyjnych i przemysłowych w zakresach częstotliwości pracy systemu linii satelitarnej 4 i 6 GHz lub pracy urządzeń składowych stacji naziemnej /częstotliwości pośrednie 70 i 750 MHz/.

Analiza spełnienia rozpatrzonych wyżej warunków lokalizacyjnych oraz wyników pomiarów stanowią podstawę do powzięcia decyzji w sprawie wyboru lokalizacji. Fakt przystępowania do budowy stacji musi być zgłoszony do IFRB, które powiadamia o tym zainteresowane kraje, podając zasadnicze, przewidywane parametry stacji, i przyjmuje zgłoszenie ewentualnych zastrzeżeń ze względu na niebezpieczeństwo interferencji z systemami łączności ziemskiej tych krajów.

. ROZMIESZCZENIE BUDYNKÓW NA TERENIE STACJI NAZIEMNEJ

Eksploatowane obecnie stacje naziemne globalnego systemu łączności satelitarnej Intelsat są rozbudowanymi obiektami charakteryzującymi się zewnętrznie dużymi antenami parabolicznymi /do trzech na stację, dwie z nich do łączności poprzez dwa satelity geostacjonarne rozmieszczone nad obszarami dwóch oceanów, a trzecia jako rezerwowa, umożliwiająca zarazem prawidłową konserwację i eksploatację urządzeń/. Stacje tego systemu są wyposażone w standardowe pod względem parametrów technicznych urządzenia nadawczo-odbiorcze i sterująco-kontrolne i charakteryzują się dosyć typowym już dla tego systemu układem. Na rysunku 7 przedstawiono przykład rozmieszczenia budynków na terenie typowej stacji naziemnej systemu Intelsat, najbardziej zbliżony do sposobu zagospodarowania obiektu na stacji w Fucino /Włochy/.

W skład stacji poza trzema wieżami antenowymi wchodzi cztery budynki, wzniesione i rozmieszczone na terenie obiektu z jednej strony, w sposób umożliwiający ich najlepsze wzajemne powiązanie, wynikające z zasady pracy obiektu, a z drugiej strony z zasady wkomponowania ich w istniejącą rzeźbę terenu w sposób, zapewniający najkorzystniejsze walory architektoniczno-widokowe. Wszystkie budynki są jednokondygnacyjne, aby uniknąć konieczności umieszczania dużych i ciężkich anten wyżej, niż to jest konieczne ze względu na wymiary i sposób rozwiązania mechanizmów wsporczo-obrotowych. Jest to szczególnie istotne w przypadku małych kątów elewacji tych anten, wynikających z położenia satelity na orbicie synchronicznej i geograficznego położenia stacji /jeszcze istot-

niejsze jest to przy współpracy z satelitami na orbicie eliptycznej, zmuszającymi do ciągłej zmiany kierunku ustawienia anteny/, a zawsze pożądane ze względu na ułatwienie przy kontrolnych pomiarach charakterystyk promieniowania anten, dla których to pomiarów anteny są ustawiane tak, aby kąt elewacji był możliwie mały.

W środku obiektu umieszczony jest zazwyczaj główny budynek, w którego pomieszczeniach znajdują się urządzenia sterowania i kontroli pracy poszczególnych elementów składowych stacji oraz te nadawcze i odbiorcze urządzenia radiowe, które nie są umieszczone bezpośrednio przy antenie. Ponadto w budynku tym znajdują się urządzenia zakończeniowe, umożliwiające współpracę obiektu z siecią telekomunikacyjną w postaci urządzeń wielokrotnych telefonicznych, układów dopasowania, korekcji i kontroli sygnałów telewizyjnych, radiofonicznych i telefonicznych oraz urządzeń końcowych współpracującej linii kablowej i radiowej. Ponadto na dachu budynku lub na niezbyt wysokim maszcie w pobliżu tego budynku są umieszczone anteny linii radiowej.

Budynek ten zawiera ponadto pomieszczenia kontrolno-pomiarowe, pomieszczenia laboratoryjno-naprawcze, sale szkoleniowe, pokoje służbowe i wypoczynkowe oraz inne pomieszczenia umożliwiające właściwe warunki pracy i wypoczynku personelowi.

Drugim podstawowym budynkiem stacji jest budynek zawierający urządzenia zasilające, zwany często w skrócie budynkiem energetycznym. Znajdują się w nim transformatory wysokiego napięcia /wartość tego napięcia zależna jest od rodzaju linii wysokiego napięcia doprowadzającego energię do obiektu, zazwyczaj wynosi ona $5 + 10$ kV/, urządzenia przełączania wysokiego i niskiego napięcia oraz urządzenia zasilania rezerwowego w postaci baterii akumulatorów oraz spalinowego agregatu prądotwórczego.

Trzecim budynkiem jest magazyn części zamiennych i różnych materiałów niezbędnych dla nieprzerwanej, prawidłowej pracy stacji. W niektórych rozwiązaniach stanowi on wspólną całość z budynkiem czwartym, mieszczącym garaże, warsztaty i pomocnicze pomieszczenia gospodarcze. Rodzaj i wyposażenie warsztatu zależą od przewidywanego zakresu przeprowadzanych w nim prac, który z kolei zależy jest od takich czynników jak odległość stacji od najbliższego, wyspecjalizowanego zakładu, umożliwiającego przeprowadzenie bardziej skomplikowanych prac mechanicznych, stopnia wymienialności poszczególnych elementów, możliwości zapewnienia na miejscu odpowiednio wykwalifikowanej siły roboczej itp.

Budynek główny i budynek energetyczny są powiązane ze sobą i z wieżami antenowymi kanałami podziemnymi o przekrojach około 30 x 30 cm i łatwo zdejmowanej zewnętrznej pokrywie. W kanałach tych prowadzone są wszelkie niezbędne kable telekomunikacyjne i energetyczne, wynikające zarówno z zasad działania urządzeń podstawowych, jak i systemów sterowania i kontroli. Takie rozwiązanie, chociaż dosyć kosztowne, ma tę zasadniczą zaletę, że umożliwia łatwy dostęp do kabli na poszczególnych odcinkach, umożliwiając w razie potrzeby ich wymianę oraz kładzenie nowych w miarę rozbudowy lub modernizacji stacji. Stosowane jest również czasami jeszcze bardziej skomplikowane rozwiązanie poprzez budowę zakrytych kanałów podziemnych o wymiarach około 150x200 cm, umożliwiających nie tylko umieszczenie kabli połączeniowych, ale również służących jako drogi komunikacyjne dla personelu, co jest szczególnie istotne przy lokalizacji stacji w zimnych rejonach klimatycznych.

W przypadku braku takich połączeń oraz rozmieszczenia budynków na stosunkowo dużym obszarze do przewozu personelu i sprzętu pomiarowego wykorzystywane są specjalne samochodziki, czasami o napędzie elektrycznym.

Obszar zajmowany przez stację naziemną waha się w granicach od kilku do kilkunastu hektarów, a kubatura budynków stacji bez uwzględnienia pomieszczeń przy antenach wynosi co najmniej kilkanaście tysięcy metrów sześciennych.

Jest oczywiście rzeczą jasną, że budynki są wykonane i wyposażone w sposób najbardziej nowoczesny, umożliwiającą zarówno właściwą pracę urządzeń, jak i wygodną, w miarę przyjemną pracę personelu. Pomieszczenia w wieżach antenowych i budynek centralny, a przynajmniej sale w których znajduje się bardziej wrażliwa aparatura, są klimatyzowane i uodpornione na inne wszelkie możliwe zewnętrzne wpływy atmosferyczne. O właściwy stan budynku i funkcjonowanie jego urządzeń gospodarczych troszczy się odpowiednio wyszkolony personel, który pod względem liczebnym może nawet dorównywać personelowi zatrudnionemu przy kontroli i konserwacji podstawowych urządzeń stacji, a to ze względu na niezawodność działania i duży stopień automatyzacji pracy tych urządzeń.

Ogrzewanie budynków może być elektryczne lub gazowe, natomiast powszechnie unika się ogrzewania węglowego, a to w celu uniknięcia dymu, zmniejszającego przezroczystość otaczającej stację atmosfery i wpływającego źle na warunki odbioru słabych sygnałów, jak również powodującego pokrywanie się powierzchnii anten osadem sadzy, pogarszającego warunki ich pracy.

Należy zaznaczyć, że przy projektowaniu nowych stacji powszechnie dąży się nie tylko do zapewnienia prawidłowych warunków funkcjonowania obiektu, ale również do takiego rozwiązania architektonicznego stacji, przy uwzględnieniu lokalnych warunków terenowych, aby nie szpeciła ona, lecz stanowiła urozmaicenie krajobrazu.

8. LINIE ŁĄCZĄCE STACJĘ NAZIEMNĄ Z CENTRUM TELEKOMUNIKACYJNYM KRAJU

Ze względu na wykorzystanie systemów łączności satelitarnej przede wszystkim, a w przypadku małych krajów nawet wyłącznie do połączeń międzynarodowych, zarówno telefonicznych /i pochodnych/ jak i telewizyjnych, bardzo pożądane jest bezpośrednio powiązanie stacji naziemnej z centrum telekomunikacyjnym danego kraju, które zwykle, ze względów administracyjnych i ze względu na zapotrzebowanie na połączenia dalekosiężne, zlokalizowane jest w pobliżu stolicy danego kraju. Tak więc stacja naziemna powinna być usytuowana możliwie blisko stolicy lub innego węzłowego miasta, w takiej jednak odległości, aby ograniczyć zakłócające wpływy wielkiego miasta /źródła silnego promieniowania, duży ruch lotniczy i samochodowy, duża ilość pary wodnej i dwutlenku węgla w atmosferze/. Jest to również pożądane z innych względów, jak na przykład zmniejszenie możliwości zakłóceń ze strony stacji satelitarnych sąsiednich krajów /centrum gospodarcze kraju na ogół pokrywa się z centrum geograficznym, a przynajmniej położone jest z daleka od granicy/.

Ze względu na przesyłanie sygnałów telewizyjnych połączenie

stacji naziemnej z centrum wymiany i komutacji programów odbywa się z reguły za pomocą linii radiowej, pracującej w innym zakresie częstotliwości niż stacja naziemna.

W przypadku sygnałów telefonicznych, zwłaszcza przy niezbyt dużej przepustowości systemu, możliwe jest zastosowanie zarówno linii radiowych, jak i kablowych.

Ze zrozumiałych względów uodpornienia sieci stosuje się na ogół dwie niezależne drogi połączenia stacji naziemnej z siecią telekomunikacyjną, z których jedna zrealizowana jest za pomocą linii radiowej, a druga kablowej.

Jako ilustracja wymienionych powyżej zasad łączenia stacji naziemnej z siecią telekomunikacyjną kraju może służyć sposób rozwiązania tego zagadnienia w przypadku stacji naziemnej w Tanum /Szwecja/ pracującej w systemie Intelsat. Przy projektowaniu stacji przyjęto, że centrum telekomunikacyjne, w którym zbiegać się będą linie telefoniczne i linie telewizyjne krajów skandynawskich, zostanie utworzone w niezbyt oddalonym, dosyć dużym mieście Gothenburg. Centrum to zostało połączone ze stacją za pomocą dwuodcinkowej linii radiowej.

W celu uniknięcia wzajemnych interferencji pomiędzy stacją naziemną i stacjami linii radiowej zastosowano urządzenia linii radiowej pracujące w zakresie częstotliwości 8,2 - 8,5 GHz. Linia umożliwia dwukierunkową transmisję w trzech kanałach radiowych, przy czym jeden z nich pełni rolę kanału rezerwowego. W pozostałych dwóch można przesyłać albo sygnał zbiorczy telefonii o krotkości do 960 kanałów, albo sygnał telewizyjny wraz z dźwiękiem towarzyszącym.

Ponadto dla transmisji sygnałów telefonicznych zrealizowano dodatkowo połączenie rezerwowe poprzez budowę odcinka 7-kilometrowego współosiowej linii kablowej, łączącego stację naziemną ze stacją węzłową pobliskiej magistralnej linii kablowej.

9. ZASADY PRACY STACJI PRZY PRZESYŁANIU SYGNAŁÓW TELEWIZYJNYCH I RADIOFONICZNYCH

Transmisja sygnałów wizyjnych wraz z towarzyszącymi sygnałami fonii może się odbywać w oddzielnych kanałach radiowych linii satelitarnej na tej samej zasadzie, co w przypadku linii radiowej. Sygnały foniczne przesyłane są na zasadzie modulacji częstotliwości podnośnych /choć wykorzystywane być mogą do tego celu również inne metody modulacji na przykład dodatkowych impulsów, nadawanych w momentach przesyłania impulsów gaszących linii/, a zespolony sygnał telewizyjny doprowadzany jest do wspólnego modulatora wielkiej częstotliwości. Ze względu na wykorzystywanie do dalszej transmisji sygnałów linii radiowych nie stosuje się w tym przypadku rozdziału kanałów wizyjnego i fonicznych na stacji naziemnej, lecz przesyła zespolony sygnał telewizyjny w nie zmienionej postaci do centrum rozdziału i wymiany programów telewizyjnych.

Należy zaznaczyć, że w niektórych rozwiązaniach do przesyłania sygnałów wizji i fonii wykorzystuje się niezależne tory wielkiej częstotliwości satelity i w tym przypadku stacja naziemna musi być wyposażona w urządzenia umożliwiające łączenie i rozdział sygnałów w celu umożliwienia współpracy z konwencjonalnymi systemami łączności ziemskiej, w których transmisja obu sygnałów odbywa się z zasady we wspólnym kanale radiowym.

Przesyłanie sygnałów radiofonicznych może odbywać się różnymi sposobami, a mianowicie: 1/ przez wykorzystanie do tego celu przeseł grup wtórnych w sygnale zbiorczym telefonii wielokrotnej; 2/ na zasadzie modulacji dodatkowych częstotliwości podnośnych, umieszczonych powyżej górnej granicy pasma zajmowanego przez zespolony sygnał telewizyjny; 3/ przy wykorzystaniu oddzielnego kanału wielkiej częstotliwości, przy czym przesyłanie większej liczby sygnałów odbywa się również na zasadzie modulacji niezależnych częstotliwości podnośnych. Wybór konkretnego sposobu transmisji zależy od wielu czynników, m.in. od liczby przesyłanych programów radiofonicznych. Na razie w istniejących systemach wykorzystuje się pierwszy lub drugi z wymienionych sposobów.

W zależności od założeń systemowych oraz możliwości transmisyjnych systemów, a w szczególności przepustowości urządzeń pokładowych satelitów, transmisja telewizyjna może się odbywać tylko w jednym lub w dwóch kierunkach jednocześnie. Transmisja sygnałów radiofonicznych zazwyczaj odbywa się jednocześnie w obu kierunkach.

10. ZASADY PRACY STACJI PRZY PRZESYŁANIU SYGNAŁÓW TELEFONICZNYCH W SYSTEMIE NA SZTYWNYCH ŁĄCZACH ORAZ W SYSTEMIE Z UWIELOKROTNIONYM DOSTĘPEM DO SATELITY NA ŻĄDANIE

W systemach łączności satelitarnej są obecnie stosowane trzy następujące podstawowe sposoby pracy przy przesyłaniu sygnałów telefonicznych:

1. Praca na tzw. sztywnych łączach, gdy wydzielone kanały radiowe służą na stałe do przesyłania sygnałów telefonii wielokrotnej pomiędzy wyznaczonymi stacjami naziemnymi. Na tej zasadzie były realizowane pierwsze linie satelitarne i w pewnych przypadkach ten rodzaj pracy może być nadal stosowany w połączeniach międzykontynentalnych przy współpracy dużych, zbiorczych stacji naziemnych, współpracujących z rozgałęzionymi sieciami łączności ziemskiej.
2. Udoskonalony sposób pracy na sztywnych łączach przy stałej retransmisji wielokrotnej, gdy wspólne urządzenia retransmisyjne satelity są wykorzystywane jednocześnie przez wiele stacji naziemnych, które obsługują oszacowany uprzednio ruch telefoniczny poprzez wiązki o stałej pojemności, przy czym poszczególne stacje naziemne mają z góry określoną pojemność wiązki w kierunku nadawania, mogą zaś odbierać wiązki wszystkich innych stacji naziemnych, z którymi utrzymują zaprogramowaną łączność. Rozdział wiązek może odbywać się albo na zasadzie częstotliwościowej, tzn. poszczególne stacje mają przydzielone do nadawania określone pasma częstotliwości, odpowiednio rozmieszczone w pasmie zbiorczym kanału radiowego, retransmitowanym przez urządzenia pokładowe satelity /FDMA/, albo na zasadzie czasowej, gdy każda stacja naziemna ma przydzielony przedział czasowy w okresie repetycji sumarycznego ciągu impulsów /TDMA/ /rys. 8/. Powszechne zastosowanie mają systemy FDMA, przede wszystkim ze względu na tradycyjne stosowanie częstotliwościowych metod zwielokrotnienia kanałów w systemach łączności na powierzchni Ziemi, nato-

miast systemy TDMA wchodzi dopiero stopniowo w życie. Należy podkreślić, że z założenia system TDMA jest korzystniejszy od FDMA m.in. dlatego, że w momencie nadawania poszczególnej stacji naziemnej wykorzystywana może być pełna moc i całkowita szerokość pasma urządzeń retransmisyjnych satelity bez obawy zakłóceń międzykanałowych. W systemie FDMA dla zapobieżenia intermodulacjom pomiędzy rozmieszczonymi częstotliwościowo kanałami trzeba zapewnić m.in. dużą liniowość układów wchodzących w skład urządzeń retransmisyjnych, co prowadzi do pracy lampy o fali bieżącej, pracującej w stopniu końcowym nadajnika pokładowego, z mocą o kilka decybeli mniejszą od mocy szczytowej oraz narzuca konieczność stosowania skomplikowanych i ciężkich filtrów separacyjnych /rozd.14.3.2/.

3. Najnowocześniejszym rodzajem pracy jest praca systemu retransmisji wielokrotnej na żądanie, zwana też uwielokrotnionym dostępem do satelity na żądanie. Pozwala ona na realizację połączeń komutowanych, okresowych, pomiędzy dowolnymi dwoma stacjami naziemnymi spośród wielu stacji pracujących w systemie. Jest to oparte na zasadzie wielokrotnego, częstotliwościowego lub czasowego wykorzystania przepustowości transmisyjnej każdego zestawu urządzeń nadawczo-odbiorczych satelity. Wybór wolnych, spośród będących do dyspozycji, kanałów częstotliwościowych /FDMA/ lub czasowych /TDMA/ następuje przy tym automatycznie z chwilą zgłoszenia przez dowolną ze stacji życzenia nawiązania łączności z inną stacją w systemie. Po zakończeniu połączenia następuje automatycznie rozłączenie i zwolnienie okresowo zajętych kanałów, które mogą być następnie wykorzystane do realizacji połączeń na innych trasach.

Dla prawidłowej pracy systemu wymagana jest odpowiednia synchronizacja częstotliwościowych lub czasowych przebiegów generowanych przez poszczególne stacje, wysyłanie odpowiednich sygnałów identyfikujących, umożliwiających odbiór i wydzielanie nadawanych sygnałów w miejscu ich przeznaczenia, rejestrowanie i przesyłanie informacji o stanie zajętości kanałów itp. Procesami tymi może sterować specjalna stacja bazowa, jak to przewidywano w niektórych projektach systemów. Jednakże najlepszym rozwiązaniem ze względów organizacyjnych i eksploatacyjnych jest, gdy wszystkie stacje naziemne systemu są równouprawnione i współpracują ze sobą w zakresie problemów komutacji i sterowania poprzez wspólny kanał współdziałania, za pośrednictwem specjalnych urządzeń pokładowych satelity. Takie właśnie nowoczesne rozwiązanie zastosowano w systemie SPADE, który jest obecnie wprowadzany do eksploatacji w systemie Intelsat.

System SPADE jest szczególnym przypadkiem uwielokrotnionego dostępu na żądanie, opartego na rozdziale częstotliwościowym, gdy do przenoszenia sygnału każdego kanału telefonicznego jest wykorzystywana niezależna częstotliwość nośna, czyli do utworzenia jednego kanału telefonicznego dwupleksowego konieczne jest użycie dwóch oddzielnych fal nośnych. Dzięki zastosowaniu modulacji impulsowo-kodowej i czterofazowego kluczowania fazy fali nośnej /PCM-PSK-FDMA/ oraz zastosowaniu, w celu zaoszczędzenia mocy nadajnika, zasady nadawania fali nośnej tylko w trakcie trwania rozmowy można było w systemie tym wykorzystać jedno urządzenie retransmisyjne satelity Intelsat IV do przesyłania 800 jednokierunkowych sygnałów telefonicznych. System ten jest szczególnie dogodny do pracy przy dużej liczbie stacji naziemnych o średnim i małym natężeniu międzynarodowego ruchu telefonicznego.

Każda stacja naziemna pracująca w systemie jest wyposażona w odpowiedni zestaw urządzeń komutacji i sygnalizacji, pracujących na zasadzie elektronicznych maszyn cyfrowych z układami pamięciowymi. Odbierany przez stację naziemną z centrali międzynarodowej /lub innego węzła telekomunikacyjnego/ sygnał wywoławczy jest doprowadzany do ww. urządzeń, które automatycznie wybierają parę wolnych częstotliwości /numerów kanałów/ do nadawania i odbioru dla realizacji dwukierunkowej łączności telefonicznej, wysyłając następnie do wywoływanej stacji zawiadomienie o mającym przyjść sygnale i o wybranej częstotliwości nośnej /numerze kanału/ do przesyłania sygnałów w drugim kierunku. Dzięki połączeniu urządzeń komutacji i sygnalizacji wszystkich stacji za pomocą wspomnianego wspólnego kanału współdziałania, każda stacja naziemna ma możliwość ciągłego śledzenia wszystkich przebiegów sygnałów komutacji i sygnalizacji w systemie oraz rozporządza w każdej chwili pełną informacją o stanie zajętości poszczególnych kanałów, co zapobiega niebezpieczeństwu równoczesnego ich przydzielania do realizacji innych połączeń. Po zakończeniu rozmowy następuje automatyczne rozłączenie połączeń i zwolnienie zajętych czasowo kanałów.

Należy zaznaczyć, że ze względów technicznych wybór częstotliwości nośnych do realizacji dwukierunkowego połączenia telefonicznego następuje zawsze parami, przy stałym odstępnie obu częstotliwości, równym częstotliwości pośredniej. Takie rozwiązanie pozwala na wykorzystanie jednej częstotliwości, wybieranej z układu syntetyzera częstotliwości na stacji, zarówno do sterowania układem nadawania jak i układu lokalnego generatora, połączonego z układem mieszacza do zamiany odbieranej ze współpracującej sta-

cji częstotliwości nośnej na częstotliwość pośrednią.

Przy uwielokrotnionym dostępie na żądanie uzyskuje się znaczną elastyczność systemu przy największym wykorzystaniu w czasie przepustowości urządzeń retransmisyjnych satelity. Dzięki zapewnieniu bardziej równomiernego obciążenia urządzeń retransmisyjnych przy dostępie na żądanie przepustowość systemu rośnie 2 do 3 razy w porównaniu do przepustowości przy stałym dostępie. Jest to przy tym rodzaj pracy szczególnie dogodny dla małych stacji naziemnych o stosunkowo niewielkim i nierównomiernie rozłożonym w czasie natężeniu ruchu, dla których stała dzierżawa łącząca byłaby nieuzasadniona. Oczywiście każdy z kanałów telefonicznych może być uwielokrotniony wtórnie, na przykład sygnałami telegraficznymi, telexowymi itp.

11. METODY STEROWANIA I KONTROLI PRACY STACJI

Ze względu na uzyskanie możliwie wysokiej niezawodności pracy stacji i konieczność posiadania w każdej chwili pełnego obrazu jej działania przy jednoczesnym ograniczeniu liczby zatrudnionego personelu stosowane są powszechnie centralne sterowanie i kontrola pracy stacji. W tym celu w głównym budynku stacji znajduje się niezależne pomieszczenie kontrolne, główne, wyposażenie którego stanowi konsola, z której możliwa jest kontrola działania i zdalne sterowanie wszystkich podstawowych urządzeń stacji przy ciągłym jednoczesnym przejrzystym informowaniu o stanie pracy i ewentualnym uszkodzeniu tych urządzeń. Konsola jest podzielona na segmenty dla niezależnego sterowania i kontroli każdej anteny, każdego toru nadawczego i toru odbiorczego. Otrzymywane dane

o stanie pracy urządzeń są zapisywane, a niektóre z nich, na przykład o kierunku ustawienia anten, automatycznie analizowane i porównywane z założonym parametrem. Obsługa ma w każdej chwili możliwość ingerencji w pracę urządzeń, np. poprzez przełączanie urządzeń czynnych na rezerwowe, jak również ma szeroko rozbudowany system sygnalizacji i łączności telefonicznej zarówno na terenie samego obiektu, jak i do realizacji połączeń służbowych z centrum dyspozycyjnym telekomunikacyjnej sieci krajowej oraz współpracującymi stacjami naziemnymi.

W celu ułatwienia procesu dozoru automatycznego i lokalizacji uszkodzeń nowoczesne stacje są wyposażone w maszynę matematyczną. Za pomocą tej maszyny możliwe jest przeprowadzenie automatycznych, skomplikowanych analiz przyczyn i prawdopodobieństwa wystąpienia uszkodzeń oraz wielostopniowych procesów kontrolnych. Dzięki temu personel jest w sposób natychmiastowy poinformowany o niesprawności działania stacji, wskazana jest przyczyna tej niesprawności oraz ta część urządzenia, w którym nastąpiło uszkodzenie. Stopniowo wprowadza się również zasadę sugerowania personelowi sposobu usunięcia uszkodzenia lub wyboru drogi obejściowej lub rezerwowej. W przyszłości przewiduje się możliwość takiego rozszerzenia zakresu automatycznej kontroli i analizy jej wyników, że możliwe będzie sygnalizowanie możliwości wystąpienia uszkodzenia, zanim uszkodzenie to spowoduje nieprawidłową pracę stacji.

W tym samym lub sąsiednim pomieszczeniu są zainstalowane urządzenia umożliwiające ciągłą kontrolę i okresowe, wrywkowe pomiary jakości transmisji sygnałów telewizyjnych, radiofonicznych, telefonicznych, telegraficznych i transmisji danych. Urzą-

dzenia pomiarowe umożliwiają również prowadzenie prac badawczych, jak na przykład określanie zmian warunków propagacyjnych w funkcji czasu, zmian współczynnika temperaturowego szumów w funkcji zmian kierunku anteny oraz zmian zachodzących w troposferze. Do tych celów są również wykorzystane odpowiednie rekordery oraz elektroniczne układy przetwarzania danych.

Dla celów operacyjnych stacja naziemna otrzymuje na bieżąco informacje o panujących warunkach meteorologicznych.

Niektóre stacje naziemne, pełniące rolę bazowych w systemie, są również na bieżąco informowane o położeniu satelity na orbicie oraz o działaniu jego urządzeń pokładowych, jak również są odpowiedzialne za wysyłanie rozkazów powodujących zmianę parametrów orbity satelity lub parametrów jego urządzeń, a zwłaszcza przełączanie urządzeń czynnych na rezerwowe.

12. WSKAŹNIKI NIEZAWODNOŚCI PRACY STACJI NAZIEMNEJ

Wymagana w satelitarnych systemach łączności globalnej pewność pracy stacji naziemnej wynosi przeciętnie 99,8 + 99,9%, tzn. przerwy w pracy powodowane uszkodzeniami urządzeń nie mogą być dłuższe niż 8,5 do 17 godzin na rok. Jak wykazały badania, przerwy w pracy stacji są powodowane głównie przez uszkodzenie układów sterowania anteny, nadawczych wzmacniaczy dużej mocy, wzmacniaczy wstępnych odbiorczych oraz układów zasilania włączanie ze źródłami mocy. Poza poprawieniem warunków pracy poszczególnych urządzeń duży wpływ na niezawodność ma zastosowanie optymalnych w warunkach eksploatacji systemów automatycznego dozoru i kontroli, istotne zwłaszcza w związku z coraz bardziej ros-

nącym skomplikowaniem rozwiązań obiektu przy równoczesnym dążeniu do ograniczania liczby personelu obsługującego.

W celu poprawienia niezawodności pracy stacji stosuje się przy jej budowie i wyposażeniu daleko idące dublowanie urządzeń lub stosowanie urządzeń rezerwowych wraz z szybko działającymi układami automatycznego przełączania. Pomimo to newralgicznym punktem stacji pozostaje antena, której dublowanie jest zbyt kosztowne, a której niezawodność pracy, uwzględniając planowane przerwy na konserwację, zwłaszcza mechanizmów napędowych, nie przekracza na ogół 99%. W przypadku bardziej rozbudowanych stacji jedynym środkiem zaradczym jest jak dotychczas stosowanie jednej anteny rezerwowej na dwie anteny czynne, natomiast w przyszłości zastosowanie takich rozwiązań, które wyeliminowałyby konieczność wyłączenia anteny z eksploatacji dla celów konserwacji /krokiem w tym kierunku jest na przykład zastosowanie podwójnych, niezależnie wymienialnych łożysk obrotowych, jak to zrealizowano na stacji w Tanum/.

Ze względu zwłaszcza na transmisję sygnałów transmisji danych istotną sprawą jest nie tylko ograniczenie sumarycznego czasu przerwy w transmisji, ale również większej liczby przerw o bardzo krótkim czasie trwania. O ile połączenia telegraficzne, telefoniczne lub faksymile niskiej jakości są mało zakłócanie na skutek przerw o czasie trwania od 50 ms do około 1 s, to sygnały transmisji danych oraz impulsowania przy telefonii automatycznej mogą być poważnie zniekształcone już przy przerwach o czasie trwania rzędu 50 ms. Dla przykładu na stacji w Goonhilly Down w ciągu 10 miesięcy zanotowano w systemie łączności realizowanym za pomocą anteny nr 2 ponad 350 przerw, przy czym około 1/6 z

nich spowodowana była uszkodzeniami w systemie zasilania. Przy obecnym stanie techniki przełączanie urządzeń czynnych na rezerwowe odbywa się w czasie około 200 ms, ale zanik napięcia powoduje pogorszenie się jakości transmisji przez około 15 sekund i dlatego uszkodzenia źródeł zasilania są szczególnie groźne.

Dla przykładu można podać statystyczne dane uzyskane na ww. stacji naziemnej w odniesieniu do transmisji realizowanych za pomocą anteny nr 2 w ciągu 11.500 godzin jej pracy, przy czym X oznacza średni okres czasu pomiędzy uszkodzeniami, a Z - średni, wymagany czas naprawy:

Uszkodzenia powodujące całkowitą przerwę w pracy	$X = 24,42$ godz. $Z = 0,15$ godz.
Uszkodzenia powodujące tylko zmniejszenie zdolności transmisyjnych	$X = 12,65$ godz. $Z = 6,31$ godz.
Uszkodzenia we wzmacniaczach małoszumnych powodujące całkowitą przerwę w pracy	$X = 1,247$ godz. $Z = 0,11$ godz.
Uszkodzenia we wzmacniaczach małoszumnych powodujące tylko zmniejszenie zdolności transmisyjnych	$X = 764$ godz. $Z = 9,24$ godz.

Sytuacja przedstawia się znacznie gorzej w odniesieniu do urządzeń końcowych dużej mocy nadajnika. Należy przyjąć, że założoną niezawodność transmisji stacji naziemnych nie będzie można w praktyce utrzymać, o ile niezawodność tych urządzeń nie wzrośnie przynajmniej dziesięciokrotnie. To samo odnosi się do konstrukcji anten, a zwłaszcza konieczności okresowej konserwacji mechanizmów i wymiany zużytych elementów. Niektórzy auto-

rzy sugerują, że dopiero uzyskanie międzyawaryjnego czasu pracy podstawowych bloków urządzeń /nadajnik, odbiornik, układ antenowy, układy automatycznego śledzenia, kontroli i sterowania/ około 10.000 godzin pozwoli na zapewnienie współczynnika niezawodności pracy stacji około 99,9%.

13. SCHEMAT BLOKOWY I ANALIZA WYPOSAŻENIA TYPOWEJ SATELITARNEJ STACJI NAZIEMNEJ SYSTEMU INTELSAT

Urządzenia wchodzące w skład satelitarnej stacji naziemnej można z grubsza podzielić na następujące zespoły:

1. Zespół antenowy zawierający: antenę paraboliczną, układ zasilania anteny z linią falowodową i promiennikiem, mechanizmy obrotowe z układami serwokontroli oraz układy pomocnicze.
2. Zespół nadawczy, w skład którego wchodzi następujące bloki podstawowe: modulator, wzmacniacz częstotliwości pośredniej 70 MHz, układy przemiany na częstotliwość, wzmacniacze wstępne oraz końcowy wzmacniacz mocy na lampie o fali bieżącej.
3. Zespół odbiorczy, w skład którego wchodzi następujące bloki podstawowe: małoszumne wzmacniacze wstępne, szerokopasmowe wzmacniacze odbiorcze oraz układy przemiany na częstotliwość 750 MHz, na której to częstotliwości sygnał za pomocą kabla koncentrycznego jest doprowadzany z wieży antenowej do urządzeń mieszczących się w budynku głównym, demodulatory o rozszerzonym progu szumowym oraz różne układy pomocnicze.

4. Zespół odbiorczy śledzenia automatycznego anteny, zawierający m.in. wąskopasmowy układ przemiany 4 GHz na 70 MHz oraz układy demodulatorów dla zamiany sygnałów błędów na napięcia kontrolne i sterujące.
5. Zespół zdalnej kontroli i sterowania, w skład którego jako centralna część stacji wchodzi konsola wyposażona w wiele wskaźników i przyrządów, umożliwiająca zdalną kontrolę urządzeń stacji wysyłanie sygnałów sterowania oraz przeprowadzenie kontroli i pomiarów przesyłanych sygnałów. W skład tego zespołu wchodzi również układy umożliwiające tworzenie pętli sprzężenia zwrotnego po stronie wielkiej częstotliwości, w celu umożliwienia okresowej kontroli pracy stacji naziemnej jako całości.
6. Urządzenia wielokrotne modulacyjne i demodulacyjne, umożliwiające modulację i demodulację sygnałów na częstotliwościach akustycznych zarówno w kierunku nadawania i odbioru do satelity, jak i współpracującej linii radiowej oraz układy zakończeń kanałowych.
7. Urządzenia łączności służbowej oraz aparatura kontrolno-pomiarowa.
8. Urządzenia zasilające.
9. Urządzenia pomocnicze, jak układy chłodzenia wzmacniaczy wstępnych odbiorczych, wzmacniaczy końcowych nadawczych, urządzenia do podgrzewania anten itp.

Uproszczony schemat blokowy stacji naziemnej pracującej w systemie Intelsat podany jest na rysunkach 9 i 10, przy czym rys. 9

przedstawia stronę odbiorczą, a rys. 10 stronę nadawczą stacji /każda z nich dla kilku kanałów radiowych/.

Wspólny dla toru nadawczego i odbiorczego układ antenowy obejmuje antenę, linię falowodową i zwrotnicę, zawierającą urządzenia do łączenia i rozdzielania sygnałów nadawania i odbioru, a zwłaszcza urządzenia zapewniające właściwe warunki pracy przy odbiorze bardzo słabych sygnałów. Jako najważniejsze z nich można wymienić:

- szerokopasmowy polaryzator, pozwalający na przejście z sygnału o kołowej /liniowej/ polaryzacji na sygnał o liniowej /kołowej/ polaryzacji,
- filtr polaryzacyjny do łączenia sygnałów nadawania i odbioru,
- filtr zapasowy, szerokopasmowy dla zabezpieczenia wejścia strony odbiorczej od wpływu strony nadawczej,
- filtr przepustowy szerokopasmowy do wydzielenia sygnałów odbieranych,
- układy służące do wydzielenia sygnałów pomocniczych uzyskiwanych z 4 antenek odbierających sygnały kontrolne nadawane przez specjalny nadajnik pokładowy satelity /rozd. 14.1/ i doprowadzanych do układu odbiornika śledzenia, który wraz z układem serwomechanizmu zapewnia automatyczny ruch śledzący anteny.

Dla umożliwienia tego sterowania w antenowym trakcie falowodowym /falowód kołowy/ wtrącone są elementy /kołnierze/, pozwalające na obrót anteny w płaszczyznach poziomej i pionowej, tzn. zmianę kąta azymutu i elewacji anteny przy nieruchomym głównym odcinku falowodu.

Na wejściu strony odbiorczej stacji znajduje się małoszumny wzmacniacz wstępny, umożliwiający odbiór słabych sygnałów otrzymywanych z satelity. Ze wzmacniacza wstępnego sygnał o częstotliwości 4 GHz poprzez filtr pasmowy 500 MHz jest doprowadzany do układu przemiany i korekcyjnego wzmacniacza szerokopasmowego, na wyjściu którego otrzymuje się sygnał o pierwszej częstotliwości pośredniej 750 MHz /o pasmie 500 MHz/. Na tej częstotliwości sygnał odbierany za pomocą kabla koncentrycznego jest doprowadzany do budynku głównego, gdzie znajdują się dalsze urządzenia wchodzące w skład strony odbiorczej stacji. Po przejściu przez układ dopasowujący otrzymywany sygnał pośredniej częstotliwości za pomocą układów przemiany i demodulatorów jest rozdzielany na tyle torów, do odbioru ilu kanałów radiowych przystosowana jest rozpatrywana stacja. W każdym z tych torów znajduje się układ powtórnej przemiany z częstotliwości pośredniej 750 MHz na drugą częstotliwość pośrednią 70 MHz. Po wzmocnieniu i ograniczeniu pasma zgodnie z wymaganiami danego kanału radiowego sygnał też jest demodulowany do pasma podstawowego, skąd w zależności od przeznaczenia może być doprowadzony do krotnicy telefonicznej, układu rozdziału sygnałów wizji i fonii lub bezpośrednio do linii szerokopasmowej, łączącej stację naziemną z centrum telekomunikacyjnym kraju.

Odbiór całego pasma 500 MHz na częstotliwości 4 GHz /3700 - 4200 MHz/ jest bardzo dogodny i pozwala na dużą elastyczność rozbudowy stacji przez dodanie urządzeń dalszych kanałów radiowych przy rozdziale sygnału na częstotliwości 750 MHz.

Jak widać ze schematu, wszystkie omawiane wyżej szerokopasmowe urządzenia na zakresy częstotliwości 4 GHz i 750 MHz są du-

blowane, a specjalne przełączniki współpracujące z układami kontroli oraz sterowania zapewniają w razie awarii automatyczne przełączenie urządzeń uszkodzonych na urządzenia toru rezerwowego.

Ponadto na schemacie zaznaczono pomocnicze urządzenia, wykorzystywane do kontroli i pomiaru zarówno pracy samej stacji /w tym w układzie sprzężenia zwrotnego/, jak i jakości transmisji linii satelitarnej. Na uwagę zasługuje tu układ selekcji sygnałów i zdalnej kontroli, przesyłanych zamiast lub wraz z właściwymi sygnałami i służących do okresowej lub ciągłej kontroli pracy i pomiarów parametrów łączy.

Po stronie nadawczej stacji, przedstawionej na rys. 10, odbywa się niejako proces odwrotny. W niezależnych torach modulatorych sygnały telefonii wielokrotnej lub zespolone sygnały wizji i fonii modułują częstotliwość pośrednią 70 MHz, na której to częstotliwości sygnał z budynku jest doprowadzany do wieży antenowej. Następnie w układach przemiany następuje przesunięcie częstotliwości 70 MHz w zakres 6 GHz, /5925 - 6425 MHz/ na odpowiednią częstotliwość kanału w sumarycznym pasmie nadawania o szerokości 500 MHz. Sygnały o właściwych częstotliwościach nośnych poprzez wzmacniacze wzbudzające, układy filtrów i tłumików regulowanych są doprowadzane do wspólnego układu wzmacniacza mocy, skąd poprzez układ selektywnych filtrów sygnał wyjściowy dużej mocy dochodzi do zwrotnicy antenowej i z kolei do wspólnej anteny nadawczo-odbiorczej. Podobnie jak w przypadku strony odbiorczej wszystkie podstawowe urządzenia toru pośredniej i wielkiej częstotliwości są dublowane, a specjalne przełączniki automatyczne zapewniają nieprzerwaną pracę stacji w przypadku uszkodzenia urządzeń toru czynnego.

Ponadto na schemacie zaznaczono szereg urządzeń pomocniczych i pomiarowo-kontrolnych, jak układy chłodzenia stopni nadawczych dużej mocy, sztuczne obciążenia na zakończeniach toru nie wykorzystywanego, układy regulacji poziomu, wskaźniki mocy nadawanej i odbitej itp.

14. SZCZEGÓŁOWY OPIS PODSTAWOWYCH URZĄDZEŃ WCHODZĄCYCH W SKŁAD STACJI SYSTEMU INTELSAT

14.1. Anteny

14.1.1. Dane ogólne

Najważniejszym elementem składowym naziemnej stacji satelitarnej z punktu widzenia funkcjonalnego jest antena nadawczo-odbiorcza /na ogół stacja wyposażona jest w kilka podobnego typu anten do realizacji łączności za pośrednictwem różnych satelitów/. Ze względu na duże wymiary i trudności konstrukcyjne koszty budowy anten decydują w dużym stopniu o kosztach budowy całej stacji. Wygląd typowej anteny wraz z konstrukcją wsporczą, układami napędowymi oraz ze stopniami wstępnymi odbiorników i stopniami wyjściowymi nadajników przedstawiono na rys. 11. Antena stacji naziemnej musi charakteryzować się dużym zyskiem w kierunku promieniowania oraz dużym tłumieniem w kierunku wstecznym, m. in. w celu uniknięcia wpływu szumów na skutek promieniowania cieplej Ziemi /wysoka temperatura powierzchni Ziemi w stosunku do zera bezwzględnego $^{\circ}\text{K}$ /. Dodatkowym czynnikiem, który należy uwzględnić przy konstrukcji anten jest konieczność uniknięcia możliwości wzajemnych interferencji z systemami łączności ziem-

skiej. Powinna więc mieć reflektor o możliwie dużych wymiarach, ograniczonych tylko możliwościami technicznymi obracania tak dużych obiektów podczas śledzenia lotu satelity, dającymi się praktycznie uzyskać tolerancjami wykonania konstrukcyjnego, względami meteorologicznymi /ciśnienie wiatru, oblodzenie/ oraz kosztami. Do śledzenia satelitów anteny muszą być wyposażone w mechanizmy napędowe umożliwiające ich jednoczesny obrót w płaszczyznach poziomej i pionowej /w dużych granicach zmian kąta w przypadku współpracy z satelitą na orbicie niestacjonarnej i w niewielkich granicach do nadążania za niewielkimi fluktuacjami zmian położenia satelity w przypadku współpracy z satelitą geostacjonarnym/.

14.1.2. Wymagane podstawowe właściwości anteny stacji naziemnej są następujące

- duża kierunkowość wiązki promieniowania anteny,
- duża sprawność,
- niska temperatura szumów całego układu antenowego,
- mały zysk w kierunku źródeł promieniowania zakłócającego,
- zdolność obracania anteny w możliwie dużych granicach zmian kąta azymutu i elewacji /konieczna nawet przy współpracy z satelitą geostacjonarnym ze względu na przejście na współpracę z jednym satelity na drugiego/ ,
- automatyczne sterowanie napędu obrotowego anteny na zasadzie programowania lub śledzenia satelity /przy wykorzystaniu spe-

- cyjnych charakterystycznych sygnałów, nadawanych z satelity/ ,
- minimalne zmiany parametrów i warunków funkcjonowania anteny na skutek lokalnych warunków meteorologicznych, takich jak wiatr, deszcz, oblodzenie itp.
 - w przypadku polaryzacji kołowej ograniczenie do minimum odchyżeń od idealnego kształtu kołowego.

14.1.3. Typy anten

W trakcie rozwoju systemów łączności satelitarnej stosowano w zasadzie 3 typy anten:

- antena paraboliczno-rożkowa,
- antena paraboliczna z promiennikiem umieszczonym w ognisku anteny,
- antena paraboliczna z zasilaniem typu Cassegrain.

Obecnie w nowoczesnych rozwiązaniach stacji stosuje się prawie wyłącznie anteny typu Cassegrain. W antenie tego typu odbierany sygnał jest "chwytany" przez duży reflektor podstawowy i skierowywany na powierzchnię małego reflektora pomocniczego, który z kolei koncentruje energię w rożku, umieszczonym w środku głównego reflektora. W przypadku nadawania promieniowana przez promiennik rożkowy energia jest skierowana na powierzchnię reflektora pomocniczego, po odbiciu od którego pada na powierzchnię podstawowego reflektora, który ostatecznie promieniuje energię w przestrzeń. Takie rozwiązanie pozwala na uzyskanie dużej równomierności oświetlenia powierzchni głównego reflektora, zwiększając efektywność działania anteny.

Średnica reflektora pomocniczego jest około dziesięciokrotnie mniejsza od średnicy reflektora podstawowego, na przykład w przypadku typowej, stosowanej w najnowszych rozwiązaniach, anteny o średnicy 29,7 m, średnica reflektora pomocniczego wynosi około 3 m.

14.1.4. Zysk anteny

Zysk anteny, określony szerokością głównej wiązki promieniowania anteny, przy określonej średnicy reflektora zależy jest od stopnia jednorodności "oświetlenia" powierzchni reflektora i dokładności wykonania tej powierzchni, przy czym można uzyskać powiększenie sprawności anteny przez odpowiednie ukształtowanie powierzchni reflektorów, które przestają już mieć dokładny kształt paraboloid i hyperboloid, chociaż promieniowana przez nie fala jest nadal falą płaską. Konstrukcje wsporcze całej anteny oraz poszczególnych jej elementów składowych muszą być tak zaprojektowane i wykonane, aby był zachowany kształt i wzajemne położenie elementów anteny przy zmianach kąta azymutu i elewacji anteny, szybkości wiatru, temperatury otoczenia, przy deszczu, oblodzeniu itp. W najnowszych wykonaniach udaje się przykładowo osiągnąć następujące dokładności wykonania i zachowania profilu reflektora o średnicy około 30 m:

szybkość wiatru /m/s/	odchylenie od normalnego kształtu /mm/
0	0,6 ± 1,0
13 ± 20	0,7 ± 1,3
27 ± 38	1,8 ± 2,1
31 ± 42	2,3 ± 2,4

14.1.5. Promieniowanie wsteczne i poziom listków bocznych

Wielkość promieniowania anteny w kierunku niepożądanym przy danych wymiarach reflektorów zależy od ilości energii rozpraszanej na krawędziach reflektora podstawowego i pomocniczego, ilości energii odbitej od różnych elementów konstrukcji wsporczej oraz od sposobu zasilania anteny. W związku z tym, dla zmniejszenia do minimum promieniowania niepożądanego, które utrudnia koegzystencję stacji naziemnej z sąsiednimi systemami łączności ziemskiej oraz zmniejsza możliwości efektywnego wykorzystania orbity geostacjonarnej / tzn. rozmieszczenia na tej orbicie satelitów w małej odległości kątowej/, należy przy projektowaniu i konstruowaniu anteny brać pod uwagę następujące czynniki, mające wpływ na poziom promieniowania listków bocznych:

a. Wpływ oświetlenia powierzchni reflektora

Przy wyborze sposobu oświetlenia powierzchni reflektora należy dążyć do kompromisu pomiędzy małym poziomem listków bocznych a dużą sprawnością anteny. Na jednolitość oświetlenia mają wpływ takie czynniki, jak kształt reflektora podstawowego i pomocniczego oraz rodzaj promiennika zasilającego antenę. Jeżeli na przykład zależy na ograniczeniu do minimum poziomu listków bocznych w pobliżu listka głównego, należy tak dobrać sposób oświetlenia, aby uniknąć płynięcia prądu po krawędziach reflektorów i promiennika, co jednak prowadzi do gorszego wykorzystania apertury i zmniejszenia sprawności anteny.

b. Wpływ reflektora pomocniczego

W celu uzyskania równomiernego oświetlenia powierzchni re-

flektora pomocniczego anteny typu Cassegrain należy zapewnić idealnie dokładne wzajemne ustawienie tego reflektora i promiennika. Ponadto występują zniekształcenia pola, prowadzące do powstawania listków bocznych, na skutek interferencji pomiędzy energią rozpraszaną na krawędzi promiennika i odbitą od powierzchni reflektora.

c. Wpływ konstrukcji wsporczej

Energia promieniowana przez reflektor podstawowy powoduje wzbudzenie wsporników promiennika oraz reflektora pomocniczego i ich wtórne promieniowanie. Ponieważ większość tej energii jest promieniowana w kierunku osi anteny, ma ona duży wpływ na poziom pierwszych listków bocznych w pobliżu listka głównego. Zniekształcający wpływ konstrukcji wsporczej może być zmniejszony tylko przez zmniejszenie wartości energii promieniowania, pochłanianej przez te konstrukcje, głównie poprzez takie ich zaprojektowanie, aby uzyskać małą powierzchnię wsporników w kierunku rozchodzenia się fal radiowych, tzn. w kierunku prostopadłym do płaszczyzny, ograniczonej krawędzią reflektora podstawowego. Prowadzone obecnie prace rozwojowe zmierzają do takiego ukształtowania anteny, aby można było w ogóle uniknąć stosowania specjalnych konstrukcji wsporczych.

d. Wpływ zniekształceń fazowych wprowadzanych przez promiennik

Zniekształcenia fazowe wprowadzane przy oświetleniu powierzchni reflektora parabolicznego powodują zmniejszenie poziomu promieniowania listka głównego i zwiększenie poziomu listków bocznych. Najczęstszym powodem tych zniekształceń jest brak idealnej centryczności w ukształtowaniu promiennika.

e. Wpływ odchylenia powierzchni reflektora od założonego kształtu

Zniekształcenia powierzchni spowodowane błędami konstrukcji lub działaniem czynników zewnętrznych, jak wiatr, zmiany temperatury, odkształcenia na skutek przyciągania Ziemi itp. prowadzą zawsze do zwiększenia poziomu listków bocznych oraz zmniejszenia symetryczności charakterystyk promieniowania anteny w płaszczyznach poziomej i pionowej. W związku z tym niezbędne jest nie tylko dokładne zaprojektowanie i wykonanie reflektora, ale również możliwość okresowej regulacji położenia jego części składowych, jeżeli okresowo przeprowadzana kontrola powierzchni reflektora, dokonywana najbardziej precyzyjnymi metodami pomiarowymi przy użyciu interferometrów laserowych, stwierdzi stałe odchylenie od założonego kształtu.

14.1.6. Stosowanie ochronnej czaszy plastikowej

W pierwszych stacjach naziemnych umieszczano antenę pod czaszą plastikową, co zmniejszało znacznie wpływ zmian meteorologicznych i upraszczało sterowany obrót anteny. Jednakże zaniechano tego w późniejszych rozwiązaniach ze względu na fakt, że w miarę starzenia się powierzchni plastikowej powstawały na niej rysy i pęknięcia, które wypełniały się wodą lub lodem i pogarszały warunki pracy anteny, zwłaszcza w odniesieniu do strony odbiorczej. Zjawisko to występowało szczególnie przy umiarkowanych opadach deszczu, gdy woda nie spływała po powierzchni czaszy w sposób równomierny, lecz w postaci szeregu niezależnych strumieni wzdłuż szwów lub załamania powierzchni czaszy. Poza dodatkowym tłumieniem

odbieranych sygnałów prowadziło to również do okresowego powstawania silnych, wąskich listków bocznych wprowadzając nie spodziewane wzajemne interferencje z innymi służbami.

14.1.7. Sterowanie

Kierunek widoczności satelity przez antenę stacji naziemnej może być z góry określony z dokładnością od $0,01^\circ$ do $0,1^\circ$ w zależności od rodzaju orbity i stosowanej metody określania położenia satelity na orbicie. Otrzymywane okresowo z maszyny matematycznej dane o położeniu satelity mogą być wystarczające do sterowania ruchem anteny przy niezbyt dużej kierunkowości wytwarzanej przez nią wiązki promieniowania. Jednakże w przypadku dużych anten o bardzo wąskiej wiązce promieniowania, na przykład anten stałych stacji naziemnych systemu Intelsat, niezbędne jest dodatkowo automatyczne śledzenie satelity przez antenę, przy wykorzystaniu nadawanych przez satelitę sygnałów identyfikacyjnych.

Najczęściej odbywa się to za pomocą tej samej anteny naziemnej poprzez umieszczenie wokół promiennika różkowego czterech małych antenek. Jeżeli antena nie jest skierowana dokładnie na satelitę, tzn. jeżeli satelita nie znajduje się na osi promieniowania wiązki głównej anteny, to sygnały otrzymywane przez układ śledzenia z poszczególnych anten różnią się w fazie /rys. 12/. Napięcie różnicowe jest z kolei wykorzystywane poprzez układ serwomechanizmu do uruchomienia silników obracających antenę, które działają do momentu zaniku różnic fazy pomiędzy odbieranymi sygnałami.

Przeprowadzona w ten sposób korekcja ruchu anteny zapewnia utrzymanie kierunku ustawienia anteny z taką dokładnością, że e-

fektywny zysk anteny utrzymywany jest z odchyleniem zaledwie 0,1 - 0,2 dB w stosunku do zysku maksymalnego wzdłuż osi anteny. Dokładność śledzenia zależy przy tym od dokładności wykonania, sztywności i stabilności konstrukcji antenowej, dokładności określania kątów azymutu i elewacji, ograniczenia jakichkolwiek niekontrolowanych ruchów mechanizmu napędowego, dokładności, stabilności i szybkości działania układów serwomechanizmów oraz automatycznego sterowania i kontroli. W tabeli poniższej przedstawiono orientacyjne dane dotyczące uzyskiwanej dokładności śledzenia dla typowej anteny o średnicy około 30 m, współpracującej z satelitą na orbicie geostacjonarnej.

Szybkość wiatru /m/s/	Błąd /stopnie/
13 ± 20	0,006 ± 0,015
27 ± 38	0,02 ± 0,028
31 ± 42	0,021 ± 0,032

14.1.8. Dodatkowe wymagania wynikające z budowy anteny w zimnym klimacie

Możliwość powstawania warstwy lodu na powierzchni anteny oraz występowanie opadów śniegu, gradu i marznącego deszczu są dodatkowymi czynnikami, które należy uwzględnić przy projektowaniu anteny, przewidzianej do pracy w zimnym klimacie. Trzeba wówczas wziąć pod uwagę następujące względy:

- prawidłową pracę anteny w czasie trwania opadów można zapewnić przez elektryczne ogrzewanie powierzchni reflektorów i innych krytycznych elementów konstrukcji,

- wymaganą moc niezbędną do ogrzewania anteny można znacznie ograniczyć przez zastosowanie odpowiedniej izolacji termicznej z drugiej strony powierzchni reflektorów.
- przy projektowaniu wytrzymałościowym anteny należy uwzględnić możliwość jednoczesnego obciążania warstwą lodu i występowania silnych porywów wiatru,
- konieczność okresowego oczyszczania powierzchni anteny ze śniegu.

Wyniki badań doświadczalnych pozwoliły na przykład na stwierdzenie, że warstwa śniegu o grubości 10 mm, rozłożona na dolnej powierzchni reflektora prowadzi do tak drastycznego pogorszenia charakterystyki anteny, że utrzymanie prawidłowej pracy stacji jest niemożliwe.

W celu przeciwdziałania temu zjawisku anteny są wyposażone w system ogrzewania w postaci elektrycznych drutów oporowych, umieszczonych na tylnej powierzchni reflektorów i zapewniających utrzymanie temperatury ich powierzchni co najmniej $+4^{\circ}\text{C}$ przy najbardziej niesprzyjających warunkach atmosferycznych. W celu oszczędzenia energii elektrycznej moc ogrzewania jest ręcznie lub automatycznie regulowana w zależności od temperatury i warunków panujących na zewnątrz pomieszczeń. Maksymalna niezbędna moc ogrzewania w niektórych przypadkach /stacje położone na dużej szerokości geograficznej/ jest bardzo duża i może dochodzić do 1000 kW. Trzeba to uwzględnić przy projektowaniu systemu zasilania stacji.

14.1.9. Temperatura szumów anteny

Do powstawania szumów anteny przyczynia się wszelkiego rodzaju promieniowanie chwymane przez wiązkę główną i listki boczne anteny. Można w przybliżeniu przyjąć, że przy kącie elewacji mniejszym niż -10° listki boczne "widzą" powierzchnię Ziemi o temperaturze 290°K . W zakresie zmian kąta elewacji $-10^\circ \div 0$ można przyjąć temperaturę 150°K , w zakresie $0^\circ - 10^\circ$ można przyjąć 50°K i w zakresie $10^\circ \div 90^\circ$ można przyjąć 10°K / rys. 13/.

Rozdział temperaturowy szumów dla typowej anteny Cassegrain dla częstotliwości 4 GHz można przedstawić w sposób następujący:

Główna wiązka	25°K /kąt elewacji 5° /
Pierwsze listki boczne	2°K
Rozproszenie reflektora pomocniczego	8°K
Rozproszenie reflektora podstawowego	5°K
<hr/>	
Szumy całkowite 40°K	

Ponadto do całkowitej temperatury szumów urządzeń odbiorczych przyczyniają się:

Straty w falowodzie zasilającym	$5 - 20^\circ\text{K}$
Małoszumny, chłodzony wzmacniacz wstępny	$15 - 25^\circ\text{K}$

Tak więc całkowita temperatura szumów anteny Cassegraina przy kącie elewacji 5° zawiera się w przedziale $60^\circ - 85^\circ\text{K}$.

14.1.10. Współczynniki charakteryzujące antenę

Bardzo wygodnym wskaźnikiem charakteryzującym właściwości anteny, a zwłaszcza zdolność odbierania słabych sygnałów, jest tzw. współczynnik jakości anteny definiowany jako:

$$G/T \left[\text{dB}/^\circ\text{K} \right] = 10 \log_{10} \frac{\text{zysk anteny w stosunku do anteny izotropowej}}{\text{temperatura szumów systemu}}$$

Zysk anteny i temperaturę szumów systemu dogodnie jest odnieść do wejścia małoszumnego odbiornika, uwzględniając szumy wnoszone przez dalsze stopnie odbiornika.

Dla typowej anteny stacji naziemnej systemu Intelsat zysk anteny dla częstotliwości 4 GHz wynosi około 59 dB, a temperatura szumów 65°K . Stąd otrzymuje się wartość $G/T = 40,7 \text{ dB}/^\circ\text{K}$.

Dla innych częstotliwości współczynnik jakości tego typu anteny można określić ze wzoru:

$$G/T = 40,7 \text{ dB} + 20 \log_{10} \left[f/4 \right].$$

Stosunek G/T może być określany na podstawie oddzielnych pomiarów zysku anteny i temperatury szumów anteny lub też mierzony bezpośrednio przy wykorzystaniu jako źródła odniesienia promieniowania gwiazd radiowych.

Zysk anteny parabolicznej o odpowiednio dużych wymiarach takich, że spełniony jest stosunek $D/\lambda \gg 100$, gdzie D - średnica reflektora, a λ - długość fali, można określić z przybliżonego wzoru:

$$G = 2\pi \left[\frac{D}{\lambda} \right]^2$$

lub

$$G \text{ [dB]} = 20 \log f \text{ [GHz]} + 20 \log D \text{ [m]} + 18$$

/przy współczynniku wykorzystania powierzchni anteny około 0,64/.

Zależność pomiędzy zyskiem a szerokością wiązki promieniowania anteny wynika ze wzoru:

$$\alpha^{\circ} = \frac{165}{\sqrt{G}} \quad \text{lub} \quad \alpha^{\circ} = \frac{70}{D/\lambda}$$

Do określenia poziomu listków bocznych służy wzór przybliżony:

$$G \text{ /w stosunku do anteny izotropowej/} = 32 - 25 \log_{10} \varphi \text{ [dB]}$$

gdzie: φ - kąt pomiędzy osią listka głównego oraz rozpatrywanym kierunkiem promieniowania.

Biorąc pod uwagę lokalne odbicia od powierzchni Ziemi przyjmuje się, że zysk w żadnym kierunku nie może spaść poniżej poziomu -10 dB. Oznacza to, że wyżej podany wzór jest słuszny tylko dla kątów do około $\pm 48^{\circ}$.

14.1.11. Konstrukcja wieży antenowej

Przekrój wieży antenowej przedstawiony jest na rys. 11. Antena o średnicy około 30 m i ciężarze około 300 ton spoczywa na szczycie żelbetonowej, stożkowej wieży o wysokości około 20 m. Antena przymocowana jest do grubej stalowej rury, która może się obracać w podwójnym łożysku pierścieniowym, przymocowanym

z kolei do podstawy i fundamentów wieży. Podobne łożyska w niektórych rozwiązaniach /stacja w Tanum/ znajdują się również w połowie wysokości rury wsporczej, co pozwala na ewentualną wymianę jednego z uszkodzonych łożysk bez przerywania pracy stacji /wymiana takiego łożyska w starych rozwiązaniach stacji mogła trwać do miesiąca i na taki sam okres stacja musiała być wyłączona z eksploatacji/.

Układ napędowy anteny składa się z pionowego i poziomego koła zębatego, odpowiednio dla zapewnienia obrotu anteny w płaszczyznach elewacji i azymutu. Obrót w każdej z płaszczyzn odbywa się za pomocą dwóch napędzających, przeciwbieżnych silników, przy czym układ serwomechanizmu decyduje o tym, który z silników ma w danej chwili większy moment obrotowy i w którym kierunku nastąpi obrót anteny. Ze względu na niezawodność pracy układy napędowe i silniki są często dublowane, przy czym przełączanie układów czynnych na rezerwowe następuje automatycznie.

14.2. Urządzenia odbiorcze

14.2.1. Urządzenia wielkiej częstotliwości

a. Małoszumne wzmacniacze wstępne

Jak wykazano w rozdz. 1 i 4, docierający do stacji naziemnej sygnał jest bardzo słaby ze względu na stosunkowo nieduże moce nadajników i małe wymiary anten pokładowych satelity, jak również duże tłumienie drogi transmisyjnej, wynoszące dla satelitów na orbicie synchronicznej około 200 dB. Dla umożliwienia wydzielania takiego słabego sygnału na tle szumów tłowych i szumów włas-

nych urządzeń stacja naziemna musi być wyposażona w anteny o dużym zysku i bardzo czułe urządzenia odbiorcze. Najważniejszą rolę mają przy tym do spełnienia tzw. małoszumne wzmacniacze wstępne, tzn. wzmacniacze charakteryzujące się małym poziomem szumów własnych, określanym współczynnikiem temperaturowym szumów.

Wzmacniacze wstępne mogą pracować w układzie wejściowym odbiornika w ten sposób, że każdy z nich służy do wzmocnienia sygnałów tylko jednego wydzielonego uprzednio kanału radiowego /rys. 14/ lub też stopień wejściowy wzmacniacza jest przystosowany do równoczesnego wzmacniania sygnałów wielu kanałów radiowych /rys. 15/. Układ pierwszy charakteryzuje się nieco większą temperaturą szumów w porównaniu do układu drugiego, jest jednak bardziej niezawodny w działaniu i pozwala na stosowanie wzmacniacza wstępnego o węższym pasmie przenoszenia. Układ drugi o szczególnie małych szumach własnych pozwala na stosowanie nie chłodzonych filtrów rozdzielczych, jednakże wstępny stopień wzmacniacza musi mieć szerokie pasmo przenoszenia, uwarunkowane jednoczesnym wzmacnianiem wielu kanałów radiowych. Przy pracy stacji w tylko jednym kanale radiowym oba układy sprowadzają się oczywiście do jednego.

Jak stwierdzono w rozdziale 14.1., współczynnik temperaturowy szumów całych urządzeń odbiorczych w systemie Intelsat wynosi zazwyczaj $60 - 85^{\circ}\text{K}$ przy kącie elewacji anteny 5° /przy większych kątach elewacji współczynnik ten jest znacznie mniejszy ze względu na mniejsze wpływy promieniowania ciepłej Ziemi/, przy czym na całkowity poziom szumów składają się nieuniknione szumy tło "chwytań" przez główną wiązkę i listki boczne anteny, szu

my wzmacniaczy wstępnych odbiornika oraz szumy na skutek różnych strat omowych w układzie falowodowej linii zasilającej antenę. Ponieważ szumy wprowadzane przez falowód są proporcjonalne do jego tłumienności /wzrost tłumienności o 0,1 dB jest równoważny wzrostowi współczynnika temperaturowego szumów o 7°K /, z tego względu wzmacniacz wstępny jest umieszczony tak blisko, jak tylko można promiennika antenowego, zazwyczaj w kabynie znajdującej się bezpośrednio za reflektorem anteny /rys. 11 /.

Dostęp do kabiny istnieje za pomocą windy poruszającej się w stałowej rurze, stanowiącej główny element wsporczy anteny i obracającej się wraz z nią w trakcie ruchu anteny w płaszczyźnie poziomej.

Można przyjąć, że szumowa temperatura wszystkich źródeł szumów poza układami wzmacniaczy wstępnych zawiera się w granicach $25 \pm 50^{\circ}\text{K}$. Przy założeniu określanych wymagań na poziom całkowitych szumów w urządzeniu odbiorczym rzutuje to w dużym stopniu na wybór układu i rodzaju/małoszumnego wzmacniacza wstępnego. Zwykle jest to wzmacniacz dwustopniowy, przy czym w dotychczas stosowanych układach stopień wstępny jest chłodzony azotem lub helem w stanie płynnym lub gazowym. Początkowo jako pierwszy stopień wzmacniacza stosowano maser charakteryzujący się bardzo małymi szumami, ale zaniechano tego ze względu na jego stosunkowo wąskie pasmo przenoszenia i trudne w praktyce do spełnienia wymagania na układ chłodzenia i stabilizacji generatora pompującego. Dlatego zostały one wyparte przez bardziej proste układowo i pewniejsze w działaniu wzmacniacze parametryczne o szerokości pasma przenoszenia do około 500 MHz. Na razie są to wzmacniacze chłodzone, ale ze względu na duże związane z

tym kłopoty istnieje tendencja do stosowania coraz bardziej udoskonalanych wzmacniaczy nie chłodzonych, których nieco większy poziom szumów własnych byłby kompensowany podwyższeniem innych parametrów stacji naziemnych i satelitowych. Ponadto w małych stacjach systemów regionalnych nie wyklucza się możliwości stosowania wzmacniaczy na diodach tunelowych, zwłaszcza w drugim stopniu wzmacniacza.

W tabelicy 1 podane są orientacyjne parametry stosowanych obecnie wzmacniaczy małoszumnych:

T a b l i c a 1

Rodzaj wzmacniacza	Maser	Wzmacniacz parametryczny			
		chłodzony			nie chłodzony
		płynnym helem	gazowym helem	płynnym azotem	
Temperatura szumów $^{\circ}\text{K}$	4÷8	12÷20	25÷40	50÷70	100÷150 ^{x/}
Współczynnik wzmocnienia	25÷40	10÷15	10÷15	10÷15	10÷15

Rozporządzając tymi danymi, można określić temperaturę szumów różnych zestawów dwustopniowych wzmacniaczy, przy czym regułą jest, że pierwszy stopień musi mieć mniejsze szумы niż drugi. Z możliwych wariantów rozwiązań w większych stacjach stosuje się maser w połączeniu ze wzmacniaczem parametrycznym

^{x/} Według ostatnio otrzymanych danych z ofert zagranicznych /koniec 1973 r./ można już uzyskać współczynnik temperaturowy szumów wzmacniaczy nie chłodzonych ok. 50 ÷ 70 $^{\circ}\text{K}$.

nie chłodzonym lub dwustopniowy wzmacniacz parametryczny chłodzony parami helu. Stacje mniejsze są często wyposażone w dwustopniowy wzmacniacz parametryczny z pierwszym stopniem chłodzonym azotem.

Chłodzenie wzmacniaczy może odbywać się w układzie otwartym przy stosowaniu naczynia Dewara, z okresowym uzupełnianiem płynu chłodzącego, lub w układzie zamkniętym z nieprzerwanym obiegiem płynu. Dopełnianie płynnego azotu musi odbywać się w odstępach 10 - 15 dni, natomiast gazów helu co 5 - 6 godzin, co jest oczywiście bardziej niedogodne w eksploatacji i dlatego w tym ostatnim przypadku stosowany jest prawie wyłącznie układ zamknięty. W następnych rozdziałach zostaną omówione bardziej szczegółowo zasady działania różnych rodzajów małoszumnych wzmacniaczy.

Wzmacniacze molekularne - masery

Nazwa maser pochodzi od pierwszych liter wyrazów określających zasadę działania wzmacniacza molekularnego "Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation" - wzmacnianie sygnałów mikrofalowych przez wymuszone promieniowanie. Wykorzystuje się przy tym zjawisko kwantowego pochłaniania i promieniowania fal elektromagnetycznych przez anteny, jak również całe cząsteczki i złożone z nich materiały, zwłaszcza kryształy. Atomy wskutek zjawiska pompowania znajdują się tylko w określonych stanach energetycznych, nie jest możliwe nawet chwilowe przyjęcie dowolnego stanu, lecz jedynie przeskok z jednego stanu na drugi z pobraniem lub oddaniem energii. Wartość potrzebnej

do tego celu energii zależy od różnicy poziomów energetycznych, przy czym energia kwantu jest tym większa, im większa jest częstotliwość fali zgodnie z równaniem:

$$f = \frac{\Delta E}{h}$$

gdzie: ΔE - różnica energii stanów energetycznych

h - stała Plancka

Największe zastosowanie w urządzeniach mikrofalowych znalazł dotychczas maser pracujący na kryształach rubinu /atomy tlenku glinu z domieszką atomów chromu/. Atomy tego materiału mogą znajdować się na jednym z trzech poziomów energetycznych /rys. 16a/. Doprowadzając do masera z niezależnego źródła w sposób ciągły energię o częstotliwości f_1 powodujemy przesunięcie większości atomów na najwyższy poziom energetyczny / $E_1 \rightarrow E_3$ /. Przez obniżenie temperatury otoczenia zapobiega się emisji spontanicznej, tak że może wystąpić jedynie emisja wymuszona o częstotliwości f_2 , w trakcie której atomy przechodzą na pośredni poziom energetyczny / $E_3 \rightarrow E_2$ /. Ponieważ różnica poziomów energetycznych w trakcie pochłaniania i oddawania energii przez atomy nie jest jednakowa, częstotliwość fali pompującej f_1 musi być większa niż częstotliwość fali wzmacnianej f_2 .

Jedną z zalet rubinu jest to, że odstęp między trzema powyższymi poziomami energetycznymi dają się w pewnych granicach zmieniać przez regulację natężenia zewnętrznego pola magnetycznego, czyli m.in. w ten sposób można "dostroić się" do częstotliwości wzmacnianego sygnału.

Budowę takiego masera pokazano na rys. 16b. Maser umieszczo-

ny jest w pudełku metalowym, tzw. rezonatorze wnękowym, dostrojonym do częstotliwości sygnału wzmacnianego f_2 . Sygnały pobudzające i wzmacniane są przesyłane falowodem, a dla rozdzielania sygnałów obu kierunków służy cyrkulator, działający na tej samej zasadzie, co w przypadku niżej podanego opisu wzmacniacza parametrycznego. Szerokość pasma przenoszenia ograniczona jest głównie selektywnością obwodu rezonansowego.

Jeżeli chodzi o układy praktyczne, to zastosowanie znajdują wzmacniacze molekularne jednorezonansowe, wielorezonansowe /rys. 16c/ i o fali bieżącej. Masery wielorezonansowe pozwalają na uzyskanie na ogół zadowalających szerokości pasma przenoszenia, ale gdy chodzi o równoczesne wzmacnianie wielu kanałów, stosuje się często maser o fali bieżącej, charakteryzujący się zarówno dużym wzmocnieniem /30 + 40 dB/, jak i możliwością przestrajania w szerokim pasmie częstotliwości. Maser taki ma postać falowodu z rozmieszczonymi wewnątrz elementami aktywnymi. Dzięki dużej stałości pracy nie jest w tym przypadku konieczne stosowanie cyrkulatora, dzięki czemu współczynnik szumów własnych ulega dalszemu zmniejszeniu. Jak wykazują obliczenia, minimalna długość takiego masera przy fali o częstotliwości około 4 GHz powinna wynosić kilka metrów, w związku z tym stosuje się specjalne sposoby zmniejszenia szybkości rozchodzenia się tego sygnału w obszarze jego oddziaływania na materiał aktywny.

Do wytwarzania niezbędnego do działania masera pola magnetycznego wykorzystywane są magnesy stałe, elektromagnesy lub magnesy nadprzewodzące. Częstotliwość dostrojenia masera zależy głównie od natężenia tego pola /2 + 3 MHz/Gs/, dlatego trzeba zwracać uwagę na dużą stabilność wytwarzanego pola.

Przy odpowiednim zaprojektowaniu układu temperatura szumów chłodzonego masera nie przekracza kilkunastu stopni Kelwina, jednak pod względem stabilności pracy i szerokości pasma wzmacnienia ustępuje on opisanemu niżej układowi wzmacniacza parametrycznego, którego temperatura szumów wynosi co najmniej kilkadziesiąt stopni Kelwina.

Wzmacniacze parametryczne

Wzmacniacze parametryczne należą do klasy urządzeń, w których do wzmacnienia sygnału wykorzystuje się zjawisko oporności ujemnej. Istnieje duża liczba rodzajów wzmacniaczy parametrycznych, różniących się zarówno układem, jak i zastosowanym elementem parametrycznym. Największe zastosowanie znalazły wzmacniacze ze zmienną pojemnością, w których rolę tej pojemności spełniają diody waraktorowe.

Zasadę działania tego typu wzmacniacza ilustrują rysunki 17a/1 b/. Do obwodu rezonansowego doprowadzane jest z zewnątrz zewnętrznego źródła napięcie zmienne o częstotliwości rezonansowej f_c . Pojemność obwodu może być okresowo zmieniana poprzez zmianę odległości pomiędzy płytkami kondensatora. Jeżeli odległość między płytkami będzie zwiększana w momencie, kiedy ładunek na kondensatorze jest maksymalny i zmniejszana, gdy ładunek wynosi zero, tzn. z częstością dwa razy większą od częstotliwości obwodu rezonansowego, to następuje wzmacnienie sygnału na zasadzie zamiany siły mechanicznej, potrzebnej do przezwyciężenia sił przyciągania i odpychania, w energię wzbudzanych drgań. Tak więc w odróżnieniu od normalnych wzmacniaczy, źródłem energii nie jest

stałe napięcie zasilające, lecz napięcie przemiennie bardzo w dużej częstotliwości.

Jak stwierdzono na wstępie, w praktyce jako zmienna pojemność wykorzystywana jest pojemność diody półprzewodnikowej, zmieniająca swą wartość w funkcji przyłożonego do niej napięcia. W tym celu został opracowany specjalny typ diody, zwanej diodą waraktorową. Przyłożone do diody napięcie zmienne o częstotliwości $f_p = 2f_c$ nazywa się napięciem pompującym. Zmiana pojemności diody waraktorowej odbywa się poprzez zmianę grubości jej warstwy zaporowej. Dzięki temu we wzmacniaczu parametrycznym brak jest szumów wewnętrznych o charakterze ziarnistym, powodowanych ruchem ładunków i sumaryczny współczynnik szumów wzmacniacza jest bardzo mały, uzależniony głównie od temperatury składowych rzeczywistych jego oporności.

Przy zmianie pojemności diody waraktorowej z częstotliwością f_p , nie równej całkowitej krotności częstotliwości wzmacnianego sygnału, na wyjściu wzmacniacza pojawiają się składowe o częstotliwościach kombinowanych $f_p + f_c$ i $f_p - f_c$. Pierwsza składowa jest na szczęście położona daleko poza pasmem częstotliwości wzmacnianego sygnału, natomiast druga może pojawić się w tym pasmie. We wzmacniaczu o jednym obwodzie rezonansowym o częstotliwości f_c stłumić efektywnie tę niepożądaną składową jest bardzo trudno. Dlatego też w nowszych rozwiązaniach stosuje się wzmacniacze dwuobwodowe, przy czym pierwszy obwód nastrajany jest na częstotliwość f_c , a drugi na $f_p - f_c$. Można dowiedzieć, że w układzie takim przy spełnieniu warunku $U_p \gg U_c$ otrzymuje się praktycznie na wyjściu tylko składową o częstotliwości pożądaną.

Górna częstotliwość graniczna tego typu wzmacniaczy uzależniona jest głównie od minimalnej pojemności diody i przy obecnych rozwiązaniach $C = 0,2 + 0,3 \text{ pF}$ wynosi około 30 GHz. Łatwo wykazać, że szerokość pasma przenoszenia takiego wzmacniacza zależy z kolei od zakresu zmian tej pojemności i pośrednio od wartości napięcia pompującego. W obecnie stosowanych rozwiązaniach praktycznych wynosi ona do 5% wartości częstotliwości środkowej. Gdy jest to niewystarczające, można zastosować specjalny układ wzmacniacza o fali bieżącej, pozwalający na zwiększenie szerokości pasma do 20%.

Jeszcze jedną z istotnych cech wzmacniacza parametrycznego jest fakt, że obwód wejściowy ze słabym sygnałem i wyjściowy z silnym sygnałem nie są oddzielane od siebie; oba napięcia występują w tych samych punktach układu. Gdyby nie zastosować specjalnych środków zaradczych, to mogłoby się zdarzyć, że szumy wyjściowe dostawałyby się na wejście wzmacniacza i były wzmacniane na tej samej zasadzie, co sygnał pożądany. To tłumaczy m.in. brak praktycznych zastosowań wzmacniaczy w układzie wg rysunku 17c/. Wzmacniany sygnał jest tu doprowadzany zarówno do wejścia jak i wyjścia układu, na skutek czego połowa jego ulega tłumieniu w izolatorze wejściowym. Stosuje się natomiast połączenie wzmacniacza we wspólny układ z cyrkulatorem, zapewniającym jednokierunkową pracę wzmacniacza, jak to pokazano na rys. 17d/. Cyrkulator przepuszcza wzmocniony sygnał tylko w kierunku obciążenia, nie dopuszczając do przenikania szumów z obciążenia na wejście wzmacniacza. Pokazany na rysunku filtr oddziela pożądany sygnał od powstających we wzmacniaczu produktów ubocznych, a szumy z wyjścia układu doprowadzane są do oporności tłumiącej /3/.

b. Układy przemiany częstotliwości

Następne stopnie odbiornika są wykonane przy zastosowaniu diod tunelowych lub małoszumnych lamp o fali bieżącej. Po sumarycznym wzmocnieniu o około 40 dB /10.000 razy/ odbierany sygnał mikrofalowy jest przesuwany do niższego zakresu częstotliwości, przy czym ze względów operacyjnych /możliwość połączenia anten z urządzeniami w budynku głównym za pomocą małostratnych kabli współosiowych zamiast falowodów/ stosuje się dwustopniowy układ przemiany. Najpierw sygnał mikrofalowy jest przekształcany na sygnał pierwszej częstotliwości pośredniej 750 MHz o pasmie 500 MHz, który w tej postaci jest doprowadzany do dalszych stopni urządzeń odbiorczych, mieszczących się w budynku głównym. Na wstępie pasmo tego sygnału za pomocą cyrkulatora i odpowiednich zestawów filtrów o pasmach przepuszczania 5, 10 lub 20 MHz /w zależności od rodzajów sygnałów przenoszonych przez dany kanał radiowy/ zostaje rozdzielone na tyle niezależnych torów, do odbioru ilu kanałów radiowych przystosowana jest stacja /tzn. ile fal nośnych promieniowanych przez inne stacje naziemne, współpracujące w systemie, ma odbierać dana stacja/.

W skład toru odbiornika każdego kanału radiowego wchodzi mieszacz, który zamienia pierwszą częstotliwość pośrednią na drugą częstotliwość pośrednią 70 MHz o pasmie odpowiadającym szerokości danego kanału radiowego. Sygnał o tej częstotliwości jest wzmacniany w układzie wielopasmowego wzmacniacza, który ze względu na niebezpieczeństwo interferencji międzykanałowych oraz zniekształceń intermodulacyjnych sygnału musi spełniać niezwykle surowe wymagania dotyczące selektywności i stałości charakterystyk amplitudy i opóźnienia grupowego w pasmie przenoszenia.

14.2.2. Urządzenia demodulacyjne

Po odpowiednim wzmocnieniu sygnał częstotliwości pośredniej 70 MHz każdego toru radiowego jest doprowadzony do demodulatora, na wyjściu którego otrzymuje się albo sygnał telewizyjny, albo sygnał zbiorczy telefonii wielokrotnej. Pomimo dużej czułości i małych szumów urządzeń odbiorczych sygnał otrzymywany na wyjściu wzmacniacza częstotliwości pośredniej jest bardzo "zaszumiony", tzn. stosunek sygnału pożądanego do szumów nie przekracza zazwyczaj 12 dB. Taki stosunek sygnału do szumów jest za mały do uzyskania prawidłowej pracy konwencjonalnego demodulatora częstotliwości, zwłaszcza że stosunek ten nie jest stały, lecz może ulegać dalszemu, okresowemu pogorszeniu na skutek na przykład starzenia się elementów układu, wzrostu tłumienia trasy w czasie opadów itp. Z tego względu w naziemnych stacjach satelitarnych stosuje się specjalne układy demodulatorów o przesuniętym progu szumowym, pozwalające na uzyskanie zadowalającego stosunku sygnału do szumów na wyjściu układu przy 3 - 4 dB niższym, niż w przypadku konwencjonalnego demodulatora częstotliwości, stosunku sygnału do szumów na jego wejściu.

Działanie takiego demodulatora opiera się na zastosowaniu układu częstotliwościowego sprzężenia zwrotnego, dzięki czemu następuje kompresja pasma przychodzącego, szerokopasmowego sygnału o dużej dewiacji częstotliwości. Początkowo dla uzyskania wymaganej liniowości pracy konieczna była praca pętli w zakresie mikrofalowym, co powodowało, że układy były duże, niewygodne i niezbyt stabilne w warunkach normalnej eksploatacji. Zastosowanie jednak tranzystorów w układzie demodulatora pozwoliło na prze-

sunięcie częstotliwości pracy pasma sprzężenia zwrotnego do zakresu UKF i uzyskanie lepszej sprawności i stabilności pracy demodulatorów. W rozwojowych pracach badawczych kładziono przez długi czas duży nacisk na opracowanie nowych rozwiązań tego typu układów, ale wydaje się, że w związku z przewidywanym wzrostem mocy EIRP satelitów znaczenie stosowania rozbudowanych układów demodulatorów o przesuniętym progu szumowym będzie malało i, zwłaszcza w małych stacjach, będą stosowane bardziej dogodne w eksploatacji konwencjonalne układy demodulatorów.

Uzyskany na wyjściu demodulatora sygnał pasma podstawowego zostaje doprowadzony, w zależności od lokalnych wymagań i potrzeb, albo bezpośrednio do linii łączącej stację naziemną z węzłem telekomunikacyjnym kraju, albo poddany dalszej "obróbce" na miejscu, tzn. doprowadzony w zależności od rodzaju przesyłanych informacji do krotnicy telefonicznej lub układów łączenia i rozdzielu sygnału wizji i fonii.

W specyficznym przypadku pracy w kanale radiowym na zasadzie wielokrotnego dostępu na żądanie, na przykład w systemie SPADE, wszystkie kanały telefoniczne ulegają pełnej demodulacji do częstotliwości akustycznych.

14.3. Urządzenia nadawcze

14.3.1. Urządzenia modulacyjne i wzbudzające

Otrzymywane z wyjść poszczególnych urządzeń pasma podstawowego /linie łącznikowe, krotnice telefoniczne, układy łączenia sygnałów wizji i fonii/ sygnały szerokopasmowe poprzez odpowiednie

układy separacyjne, korekcyjne i dopasowujące są doprowadzane do niezależnych układów modulatorów częstotliwości pośredniej 70 MHz znajdujących się w budynku głównym, przy czym dla każdego kanału radiowego przewidziane są dwa takie układy, jeden czynny, a drugi pracujący w układzie gorącej rezerwy z automatycznym przełączaniem. Modulowane sygnały częstotliwości 70 MHz są z kolei doprowadzane za pomocą kabli współosiowych do wieży antenowej, gdzie następuje przemiana na odpowiednie częstotliwości kanałów radiowych w pasmie pracy systemu 5925 MHz \pm 6425 MHz. Każdy sygnał wielkiej częstotliwości jest następnie wzmacniany w układzie wzmacniacza wzbudzającego, pracującego przy zastosowaniu lampy c fali bieżącej, do poziomu około 10 W, niezbędnego do sterowania dalszych stopni mocy nadajnika. Układy przemiany oraz wzmacniaczy wstępnych mogą być łatwo przestrajane w całym pasmie 500 MHz w celu umożliwienia szybkiej zmiany częstotliwości pracy kanału, co w systemie Intelsat jest dosyć często praktykowane.

Istnieją dwie zasadnicze metody pracy stacji po stronie nadawczej. Przy pierwszej, dawniej stosowanej i pokazanej na rys. 10, jeden stopień końcowy jest wykorzystywany do wspólnej transmisji sygnałów kilku kanałów radiowych. Rozwiązanie to ma tę wadę, że w celu zabezpieczenia przed intermodulacją międzykanałową trzeba zapewnić dużą liniowość charakterystyki wzmacniacza końcowego, co w praktyce oznacza, że na przykład lampa o fali bieżącej stosowana w tym stopniu musi pracować 7 - 8 dB poniżej poziomu nasycenia mocy wyjściowej. W związku z tym zaczyna się stosować raczej rozwiązanie polegające na zastosowaniu kilku niezależnych stopni wyjściowych nadajnika pracujących na wspólną antenę, w krań-

cowym przypadku tyle, ile jest fal nośnych nadawanych przez stację naziemną /plus ewentualnie urządzenie rezerwowe/, co znacznie zwiększa operatywność i możliwości łatwej, dalszej rozbudowy stacji. Rozwiązanie takie zastosowano na przykład we wspomnianej, oddanej niedawno do użytku, stacji naziemnej w Franum i powszechne przyjęcie takiego rozwiązania proponuje konsorcjum włoskie S. T. S.

Standardowo wyposażona stacja naziemna pracująca w systemie Intelsat jest wyposażona zazwyczaj w 4 zespoły urządzeń nadawczych: jedno do przesyłania sygnałów telewizyjnych, drugie sygnałów telefonii wielokrotnej na sztywnych łączach, trzecie do transmisji sygnałów telefonicznych w łączach komutowanych systemu SPADE lub MAT-1 i czwarte jako rezerwowe, które może przyjąć pracę każdego uszkodzonego pozostałego zespołu dzięki zaprogramowanemu układowi automatycznego przełączania, dokonującego operacji przełączania w ciągu zaledwie kilkunastu milisekund. Operacja ta jest dosyć skomplikowana ze względu na różną moc wyjściową nadajnika każdego kanału radiowego, co wymaga każdorazowego wstępnego, automatycznego doregulowania poziomu mocy fali nośnej nadajnika rezerwowego do poziomu odpowiadającego poziomowi mocy w kanale rezerwowanym.

Dzięki zastosowaniu sterowanych centralnie układów przełączników falowodowych sygnały fal nośnych ze wzmacniaczy wzbudzających mogą być w miarę potrzeby rozprowadzane do układów końcowych różnych nadajników, co zapewnia dużą elastyczność i operatywność pracy systemu, zwłaszcza w warunkach awarii lub zagrożenia.

14.3.2. Urządzenia wyjściowe dużej mocy

Schemat blokowy typowego układu stopni końcowych mocy nadajnika satelitarnej stacji naziemnej przedstawiony jest na rys.18. Jak z niego widać, na wejściu układu znajdują się elementy regulacji i kontroli, pozwalające na zmianę poziomu mocy wzbudzenia i dopasowanie jej do warunków pracy dalszych części układu. Pierwszy rozgałęziacz 2 zapewnia doprowadzenie części mocy wzbudzenia do odbiornika kontrolnego. Następnie odgałęziacze 6 i 7 umożliwiają pomiar mocy wyjściowej i współczynnika fali stojącej /wynoszącego 1,5 - 2,0/ oraz automatyczne wyłączenie wzbudzenia układu przy jakichkolwiek nieprawidłowościach pracy dalszych stopni. Przełączenie toru nadawczego 9 na antenę zastępczą ma miejsce podczas regulacji i profilaktycznej konserwacji urządzeń, a także przy pracy stopni końcowych nadajników w systemie gorącej rezerwy. Ze względu na duże moce konieczne jest chłodzenie wodne większości elementów układu zarówno stopni mocy, jak i sprzęgaczy kierunkowych itd. Do chłodzenia używa się wody zdejonizowanej, krążącej w układzie zamkniętym dla uniknięcia korozji zewnętrznych części elektrod lamp.

Podstawowym elementem układu końcowego nadajnika, dobieranym w zależności od konkretnych wymagań na stację naziemną i parametrów całego systemu, jest wielorezonansowy klistron lub lampa o fali bieżącej. W związku z tym należy odróżnić trzy podstawowe rodzaje stacji naziemnych:

- a/ duże stacje naziemne o takim przewidywanym zapotrzebowaniu na ruch telefoniczny, że konieczna jest równoczesna praca w kilku kanałach radiowych; ponadto stacja jest wykorzystywana do częstych transmisji sygnałów telewizyjnych;

- b/ małe stacje naziemne z nadawaniem w jednym kanale radiowym sygnałów telefonicznych i w drugim niezależnym kanale radiowym sporadycznie sygnałów telewizyjnych;
- c/ małe stacje naziemne z nadawaniem w jednym kanale radiowym niewielkiej liczby sygnałów telefonicznych, bez przewidywania transmisji telewizyjnych.

Wyboru sposobu rozwiązania stopnia końcowego nadajnika, a w szczególności rodzaju zastosowanej lampy, dokonuje się po przeprowadzeniu bilansu energetycznego linii satelitarnej i określe- niu wymaganej równoważnej mocy promieniowania nadajnika e. i. r. p. oraz szerokości wzmacnianego pasma. Po określeniu e. i. r. p wy- znacza się moc stopnia końcowego nadajnika przy uwzględnieniu takich czynników, jak zysk anteny, straty w falowodach i filtrach, sposób łączenia fal nośnych, dopuszczalny poziom emisji niepożą- danych itp.

Przykładowo można podać, że dla stacji naziemnej współpracu- jącej z satelitą Intelsat IV wymagane moce wyjściowe na każdą po- jedynczą falę nośną wynoszą w zależności od założonego rodzaju transmisji:

	Stopień końcowy wspólny dla kil- ku fal nośnych	Stopień końcowy niezależny dla każdej fali noś- nej
TV	1,25 kW	1,4 kW
2 x 60 k. telef. / szeroka wiąź- ka kierunkowa anteny pokłado- wej satelity / zasięg globalny/	0,11 kW	0,23 kW
2 x 132 k. telef. / wąska wiąź- ka kierunkowa anteny pokłado- wej satelity/	0,47 kW	0,93 kW

	Stopień końcowy wspólny dla kil- ku fal nośnych	Stopień końcowy niezależny dla każdej fali noś- nej
2 x 432 k. telef. /wąska wiązka kierunkowa anteny pokładowej satelity/	1,32 kW	2,62 kW

Przy przesyłaniu sygnałów telefonicznych na zasadzie modula-
cji sygnałami każdego kanału niezależnej fali nośnej operuje się
pojęciem wymaganej mocy nadawania na kanał telefoniczny. Dla sy-
stemu SPADE wynosi ona do 10 W, a dla systemu INTERSPUTNIK
około 100 W. Oznacza to na przykład, że przy mocy nadajnika 3 kW
w tym drugim systemie stacja naziemna może być wykorzystana do
równoczesnej transmisji do 60 kanałów telefonicznych /przy zało-
żeniu 50% wykorzystania każdego kanału dla jednego kierunku trans-
misji/.

Po ustaleniu wymaganej mocy nadawania można dokonać wyboru
właściwego rodzaju lampy, przy czym przy obecnym stanie techni-
ki rozporządza się następującymi możliwościami:

- a. Lampa o fali bieżącej dużej mocy. Moc nasycenia 6-12 kW, moc
użyteczna w normalnych warunkach pracy 4-5 kW, pasmo prze-
noszenia 500 MHz,
- b. Lampa o fali bieżącej średniej mocy. Moc użyteczna 600 W -
- 3 kW, pasmo przenoszenia 500 MHz.
- c. Lampa o fali bieżącej małej mocy. Moc użyteczna 200-600 W,
pasmo przenoszenia 500 MHz /prawie nie stosowana/.
- d. Klustron dużej mocy. Moc użyteczna 8-16 kW /prawie nie sto-
sowana/.

- e. Klustron średniej mocy. Moc użyteczna 1-3 kW /najbardziej popularny/.
- f. Klustron małej mocy. Moc użyteczna poniżej 500 W.

Pasmo przenoszenia klustronu jest różne w zależności od sposobu wykonania i przyjętych metod przestrajania, zawierające się w granicach 30-50 MHz.

Na stacjach o mniejszej przepustowości transmisyjnej, gdy nadawana jest tylko jedna lub dwie fale nośne modulowane sygnałem zbiorczym telefonii o niezbyt dużej krotności, klustrony wielorezonansowe o mocy wyjściowej rzędu kilkuset watów stanowią najlepsze rozwiązanie pod względem technicznym i ekonomicznym. Charakteryzują się one dość dużym wzmocnieniem /do 40 dB/, dobrą sprawnością /30 - 50%, ale szerokość pasma jest stosunkowo niewielka. Konieczne w praktyce wyrównywanie liniowości charakterystyki fazowej jeszcze zmniejsza szerokość pasma przenoszenia. Często są one również zastępowane przez nowo opracowane lampy o fali bieżącej średniej mocy /do 3 kW/, chłodzone powietrzem.

W przypadku większych przepustowości stacji naziemnych, zwłaszcza gdy stopień końcowy nadajnika ma służyć jednocześnie do wzmocnienia sygnałów kilku kanałów radiowych, konieczne się staje stosowanie lampy o fali bieżącej, charakteryzującej się gorszą sprawnością, ale pasmem przenoszenia około 500 MHz, tzn. obejmującym prawie całe pasmo przydzielone dla strony nadawczej stacji, pracującej w zakresie częstotliwości około 6 GHz. Przy pracy na pojedynczej fali nośnej moc wyjściowa wynosi kilka kW, ale przy pracy na wielu falach nośnych ulega obniżeniu do około 2 kW dla uniknięcia pracy w zakresie nieliniowym i spowodowanych tym zjawisk intermodulacyjnych.

Przy stosowaniu lampy o fali bieżącej na jej wejściu i wyjściu muszą być zastosowane izolatory ferrytowe. Tłumienność takiego elementu nie powinna przekraczać 0,2 - 0,3 dB w kierunku przenoszenia i wynosić co najmniej 20 - 25 dB w kierunku odwrotnym.

Dla zadowalającego równoczesnego przesyłania wielu fal nośnych za pośrednictwem wspólnego transpondera na satelicie trzeba ograniczyć wahania poziomu sygnału na wejściu odbiornika pokładowego do około $\pm 0,5$ dB. Przyjmuje się, że połowa tych wahań może wynikać z niestabilności mocy nadajnika stacji naziemnej, a druga jest powodowana innymi czynnikami, zwłaszcza niedokładnością naprowadzenia anteny. W związku z tym układ kontroli i automatyki musi zapewnić utrzymanie mocy nadawania ze stałością $\pm 0,25$ dB. Regulacja mocy wyjściowej nadajnika odbywa się przez zmianę napięcia elektrod lamp.

14.4. Urządzenia końcowe

14.4.1. Urządzenia końcowe telefoniczne i powiązanie stacji z krajową siecią telefoniczną

a. Przesyłanie sygnałów telefonii wielokrotnej

Pasma przenoszenia jednego nadawczo-odbiorczego urządzenia pokładowego satelity Intelsat IV zawiera się w granicach 12 - 8120 kHz i teoretycznie umożliwia retransmisję do 1872 sygnałów telefonicznych. Pasma to jest jednak w praktyce wykorzystywane w ten sposób, że jest podzielone na szereg przedziałów częstotliwościowych, w których, zgodnie z planem częstotliwości ustalonym przez COMSAT, przesyłane są sygnały zbiorcze telefonii o różnej

krotności na niezależnych częstotliwościach nośnych. Umożliwia to wykorzystanie pojemności transmisyjnej systemu jednocześnie przez większą liczbę stacji naziemnych, z których każda nadaje na jednej lub dwóch falach nośnych sygnały zajmujące tylko wycinek całego pasma kanału wielkiej częstotliwości, odbiera zaś sygnały w całym pasmie 12 - 8120 kHz. wydzielając z nich i wykorzystując tylko te, które są dla danej stacji przeznaczone. Zrozumiałe jest, że w tych warunkach stacja naziemna musi być wyposażona tylko w nadawcze i odbiorcze urządzenia telefonii wielokrotnej, odpowiadające potrzebom transmisyjnym stacji i w przypadku systemu Intelsat zawierające się w granicach 60-480 kanałów telefonicznych.

Procesy zachodzące w trakcie nadawania i odbioru sygnałów telefonicznych na tej zasadzie wygodnie jest prześledzić na oderwanym od konkretnego przypadku przykładzie stacji naziemnej A, utrzymującej łączność ze stacjami naziemnymi B, C, D i E. Stacja A połączona jest z międzynarodową centralą telefoniczną, która odbiera m.in. akustyczne sygnały telefoniczne od różnych abonentów, przeznaczone do transmisji za pomocą linii satelitarnej. Sygnały te łączone są na centrali we wspólny sygnał zbiorczy telefonii wielokrotnej i w tej postaci przesyłane do stacji naziemnej. Łączenie może się przy tym odbywać albo w sposób przypadkowy, albo na zasadzie grupowania sygnału odpowiednio do tego, dla której ze stacji naziemnych /B, C, D lub E/ są przeznaczone. W zależności od tego na stacji A musi występować albo pełna demodulacja odbieranych z centrali sygnałów do częstotliwości akustycznej lub tylko rozdział sygnału zbiorczego na grupy pierwotne lub nawet wtórne. Załóżmy, że stacja A nadaje sygnały telefoniczne o krot-

ności 120 kanałów telefonicznych na wyznaczonej fali nośnej, przy czym w jednej grupie wtórnej 60-kanałowej przesyłane są sygnały przeznaczone dla stacji B i C, a w drugiej dla stacji D i E. Wymaganiom takiego uformowania grup wtórnych musi sprostać wyposażenie krotnic po stronie nadawczej stacji naziemnej A.

Stacja naziemna A odbiera z kolei całe pasmo częstotliwości retransmitowane przez urządzenia pokładowe satelity, w tym sygnały zbiorcze telefonii wielokrotnej nadawane na niezależnych falach nośnych przez współpracujące stacje B, C, D i E. W każdym z tych sygnałów zbiorczych zawarta jest pewna liczba sygnałów kanałów telefonicznych, przeznaczonych dla stacji A. Aby je uzyskać, musi nastąpić demodulacja całego odbieranego sygnału do pasma podstawowego i wydzielenie odpowiednich grup kanałów telefonicznych w zależności od obciążenia ruchu na danej trasie. Sygnały te z kolei są grupowane w sposób umożliwiający ich wspólne przesyłanie do centrali międzynarodowej, od której rozpoczęto powyższe rozważania.

Jak z powyższego widać, na stacji naziemnej urządzenia wielokrotne nadawcze i odbiorcze pracują w nieco innych układach i mogą się od siebie znacznie różnić, zarówno co do stopnia złożoności jak i wyposażenia, zgodnie z zasadą, że musi istnieć możliwość odbioru sygnałów w całym pasmie retransmitowanym przez satelitę, natomiast nadawania w znacznie węższych pasmach wycinkowych.

Warto zaznaczyć, że urządzenia tych krotnic są nieco odmienne niż stosowane w przypadku systemów łączności ziemskiej. W celu umożliwienia większej elastyczności pracy systemu, na przykład okresowego zwiększania przepustowości transmisyjnej kanału radiowego lub łączenia grup pierwotnych dla przesyłania sygnałów o szer-

szym pasmie, zastosowane są inne częstotliwości sygnałów pilotowych, a wymagania co do stabilności poziomu, przesłuchu i tłumienia fali nośnych znacznie zaostrzone. Tak więc do wyposażenia stacji nie stosuje się na ogół urządzeń krotnic produkcji standardowej, lecz specjalnie do tego celu opracowanych.

b. Przesyłanie sygnałów pojedynczych kanałów telefonicznych

Odmienne przedstawia się sytuacja przy systemie łączności satelitarnej z uwielokrotnionym dostępem na żądanie, gdy operuje się pojęciem pojedynczych łączy telefonicznych, zestawianych okresowo w miarę potrzeby pomiędzy dowolnymi stacjami naziemnymi pracującymi w systemie. Przesyłanie sygnałów pojedynczych kanałów telefonicznych może przy tym być na zasadzie rozdziału częstotliwościowego lub czasowego /rozd. 10/.

W systemie Intelsat przykładem pierwszego rozwiązania jest system SPADE, a drugiego system MAT-1. System SPADE pracuje od 1970 roku w rejonie Oceanu Atlantyckiego, umożliwiając realizację do 800 jednokierunkowych kanałów telefonicznych przy wykorzystaniu jednego z urządzeń retransmisyjnych satelity Intelsat IV. System MAT-1 przeszedł próby w rejonie Oceanu Spokojnego przy wykorzystaniu satelity Intelsat III, a obecnie jest przystosowywany do wprowadzenia do eksploatacji. Dzięki szybkości transmisji 50 Mbit/s można za jego pomocą teoretycznie zrealizować 782 kanały telefoniczne /przyjmując kod 8-elementowy i 64 kbit/s na jeden kanał telefoniczny/, w rzeczywistości konieczność przesyłania odpowiednich sygnałów współdziałania pomiędzy stacjami naziemnymi ogranicza tę liczbę do 700.

Z zasady pracy obu systemów wynika, że przy współpracy z po-

wszecznie dotychczas stosowanymi ziemskimi systemami analogowymi do urządzeń końcowych stacji naziemnej muszą być doprowadzone sygnały niezależnych kanałów telefonicznych na pasmach akustycznych. Rzeczą wtórną już jest sam sposób przesyłania tych sygnałów pomiędzy stacją naziemną a współpracującą telefoniczną centralą międzynarodową. W przypadku niewielkiej liczby kanałów może to odbywać się nawet za pomocą systemów telefonii naturalnej, natomiast w przypadku przesyłania sygnałów za pomocą systemów telefonii wielokrotnej na stacji naziemnej musi odbywać się pełna demodulacja do pasm 300 - 3400 Hz i w związku z tym musi być ona wyposażona w odpowiednie krotnice dla rozdzielania i łączenia sygnałów poszczególnych kanałów telefonicznych.

Dla zapewnienia współdziałania urządzeń systemu SPADE z siecią telefoniczną przewidziano specjalne urządzenie TIU /Terrestrial Interface Unit/, do którego ze strony centrali telefonicznej muszą być doprowadzane /i odprowadzane/ sygnały sygnalizacji oraz rozmówne na pasmach akustycznych. Urządzenie to jest specjalnie projektowane dla każdej stacji naziemnej przy uwzględnieniu rodzaju sygnalizacji stosowanej na współpracującej centrali telefonicznej. Zadaniem tego urządzenia jest odebranie z centrali odpowiednich sygnałów pomocniczych /wywołanie, wybieranie itp./ i przekazanie ich do układu DASS /Demand Assignment Signaling and Switching Unit/, gdzie ulegają one przekształceniu na sygnały wewnątrzsystemowe, oparte na metodzie sygnalizacji CCITT nr 6 i służą do uruchamiania odpowiednich układów centralnych i kanałowych systemu SPADE, umożliwiając zestawienie wymaganego połączenia. W podobny sposób odbywa się przekazywanie sygnałów zwrotnych do centrali. Dzięki tym zamianom rodzaju

sygnalizacji konkretna krajowa centrala telefoniczna współpracuje z systemem SPADE w ten sam sposób, jak współpracowałyby z dowolną inną centralą telefoniczną, stosującą ten sam co ona rodzaj sygnalizacji, i nie ma potrzeby stosowania w centralach telefonicznych dodatkowych urządzeń adaptacyjnych. Zestawienie połączenia w systemie SPADE następuje tylko na każdorazowe żądanie współpracującej centrali telefonicznej i w tym kontekście stacja naziemna może być rozpatrywana jako podporządkowana centrali telefonicznej. Po zestawieniu połączenia zgodnie z otrzymanym numerem kierunkowym dalszy proces wybierania konkretnego abonenta odbywa się pomiędzy centralami telefonicznymi bez dalszego aktywnego udziału stacji naziemnej, z tym że cały czas wykorzystywana jest wewnątrzsystemowa metoda sygnalizacji nr 6. Gdy czynności połączeniowe zostaną zakończone, następuje otwarcie kanału dla obustronnego przesyłania sygnałów mowy za pośrednictwem urządzenia kodującego-dekodującego /kodek PCM/.

W podobny sposób odbywa się realizacja połączeń w systemie MAT-1, z tym że urządzenie pośredniczące nosi tym razem nazwę TC /Transit Center/. Po otrzymaniu z centrali telefonicznej zawiadomienia o konieczności zestawienia połączenia na żądanej trasie urządzenie TC przesyła odpowiednie informacje do układu CRU /Channel Route Unit/, który zestawia połączenie i aktywizuje odpowiedni układ kanałowy /PCM Unit/ do dekodowania przychodzących i kodowania wychodzących sygnałów akustycznych. Wewnątrzsystemową metodą sygnalizacji jest w tym przypadku sygnalizacja CCITT nr 5.

Nadajnik każdej stacji naziemnej pracującej w systemie MAT-1 wysyła w odpowiednim przedziale czasowym "paczki impulsów"

/bursts/. Pierwsza część tej paczki zawiera impulsy przeznaczone nie do przesyłania sygnałów rozmównych, lecz wszelkiego rodzaju sygnały sygnalizacji niezbędne do zestawiania dróg połączeniowych oraz zapewnienia synchronizacji i operatywnej pracy wszystkich stacji w sieci.

Należy zaznaczyć, że z chwilą szerszego rozpowszechnienia w sieciach telekomunikacyjnych naziemnych metod cyfrowych przesyłania sygnałów, przy rozpatrywanych systemach łączności satelitarnej wykorzystujących zasady modulacji PCM, będzie można zrezygnować z połączeń central telefonicznych ze stacjami naziemnymi na częstotliwościach naturalnych kanałów telefonicznych i przystosować urządzenia stacyjne do bezpośredniego przesyłania od- i do centrali sygnałów cyfrowych w postaci ciągów impulsów PCM.

14.4.2. Urządzenia łączenia oraz rozdzielania sygnałów wizji i fonii

Sygnał telewizyjny z krajowego centrum wymiany programów może być doprowadzony do stacji naziemnej za pomocą linii radiowej w dwójaki sposób: 1/ w postaci zespolonego sygnału wizji i fonii /oddzielna częstotliwość podnośna dla kanału fonicznego/, transmitowanego przez szerokopasmowy kanał linii radiowej; 2/ w postaci oddzielnych sygnałów wizji i fonii, przy czym w tym przypadku sygnał fonii zajmuje na ogół przeszło jedną z grup kanałów telefonicznych, transmitowanych w drugim kanale linii radiowej. Ponieważ w systemie łączności satelitarnej Intelsat sygnały wizji i fonii transmitowane są obecnie na niezależnych częstotliwościach noś-

nych, niezależnie od przyjętych metod transmisji za pomocą linii radiowej, na stacji naziemnej następuje na wstępie rozdział sygnałów wizji i fonii. Sygnał wizyjny jest doprowadzany bezpośrednio do modulatora częstotliwości pośredniej odpowiedniego kanału radiowego o szerokości 25 - 30 MHz, natomiast kanał foniczny jest łączony z kanałami kontrolnymi, łączności służbowej i kanałem do przesyłania komentarzy, tworząc wspólnie jeden kanał zbiorczy odpowiadający 24 kanałom telefonicznym i zajmujący pasmo 12 - 108 kHz. Dopiero w tej postaci sygnał ten jest doprowadzony do modulatora niezależnego kanału radiowego.

Po stronie odbiorczej ma miejsce proces odwrotny, tzn. po demodulacji otrzymywane są z dwóch kanałów radiowych niezależne sygnały wizji i fonii, które mogą być z kolei wspólnie lub niezależnie przesyłane do centrum wymiany programów.

Podany jest tu przykład nie wyczerpujący oczywiście różnych możliwości przesyłania sygnałów telewizyjnych przez linię satelitarną. W systemie Intersputnik na przykład sygnały foniczne towarzyszące wizji są przesyłane na zasadzie modulacji szerokości impulsów nadawanych w czasie trwania impulsów gaszących linii, dzięki czemu sumaryczne zajmowane pasmo częstotliwości odpowiada tylko pasmu sygnału wizyjnego.

Podobnie różnymi sposobami mogą być przesyłane sygnały radiofoniczne. Przy 1 - 2 tego rodzaju sygnałach są one zazwyczaj przesyłane na zasadzie zwielokrotnienia częstotliwościowego wspólnie z kanałem fonicznym wizji lub w systemie telefonii wielokrotnej. Przy większej liczbie kanałów radiofonicznych przewiduje się zastosowanie rozwiązania polegającego na wykorzystaniu do ich transmisji niezależnego kanału radiowego, w którym byłyby one przesy-

lane na zasadzie modulacji niezależnych częstotliwości podnośnych.

14.5. Urządzenia automatycznego śledzenia

Jak wspomniano w rozdziale 14.1, automatyczne śledzenie satelity przez antenę stacji naziemnej odbywa się dzięki ciągłemu nadawaniu przez satelitę sygnału identyfikującego. Jest to specjalny sygnał małej mocy o stałej amplitudzie, zajmujący wąskie pasmo częstotliwości w zakresie 4 GHz. Sygnał ten jest najczęściej odbierany przez cztery małe anteny różkowe rozmieszczone symetrycznie względem głównego promiennika anteny. Informacje dotyczące prawidłowości ukierunkowania anteny są uzyskiwane w specjalnym odbiorniku współpracującym z tymi małymi antenami na zasadzie porównywania sum i różnic sygnałów otrzymanych z różnych kombinacji połączeń wyjść antenowych. Na wyjściu odbiornika otrzymuje się stałe napięcia błędów, proporcjonalne do wielkości odchyień w kątach azymutu i elewacji pomiędzy kierunkiem osi charakterystyki promieniowania anteny i kierunkiem odbioru sygnałów nadawanych z satelity. Napięcia te są z kolei wykorzystywane do sterowania, poprzez odpowiedni układ tranzystorowy, silników prądu stałego, napędzających mechanizmy obrotowe anteny w płaszczyznach azymutu i elewacji. Silniki te są stosunkowo małej mocy /kilka koni mechanicznych/ w przypadku satelitów na orbicie synchronicznej, gdy potrzebne przyspieszenia są niewielkie, natomiast osiągają znaczne moce przy konieczności dużych i szybkich zmian w kątach azymutu i elewacji, jak to ma miejsce w przypadku satelitów na orbicie niestacjonarnej, na przykład eliptycznej /wówczas stosowane są na ogół dwa silniki, jeden dużej mocy do szyb-

kiego naprowadzania anteny i drugi mniejszej mocy dla zapewnienia precyzyjnego, lecz stosunkowo powolnego ruchu przy śledzeniu satelity w trakcie seansu łączności/.

W przypadku dużych i ciężkich anten współpracujących z satelitą na orbicie geostacjonarnej dla każdej osi obrotowej anteny wykorzystywane są dwa silniki. Przy normalnych warunkach atmosferycznych, a zwłaszcza umiarkowanym wietrze, oba silniki napędzające mechanizm napędowy anteny w danej płaszczyźnie obrotu pracują przeciwbieżnie /tzn. okresowo jeden z nich jest "silniejszy" dla zapewnienia obrotu anteny w pożądanym kierunku/, dzięki temu można zmniejszyć do minimum niebezpieczeństwo oscylacji ustawienia anteny względem pożądanego kierunku. W przypadku silnych wiatrów dla przewyciężenia większych oporów można włączyć okresowo oba silniki szeregowo.

Obrót anteny w płaszczyźnie pionowej odbywa się zazwyczaj przez napędzanie wycinka koła zębatego, połączonego z anteną. Natomiast w płaszczyźnie poziomej poprzez obrót za pomocą mechanizmu kół zębatach całej rury stalowej, do której umocowana jest antena.

Należy zaznaczyć, że omówiony tu system automatycznego śledzenia i obracania anteną jest najbardziej powszechny lecz nie wyłącznie stosowany. Do wyznaczania sygnału błędu mogą być również wykorzystywane bezpośrednio urządzenia nadawczo-odbiorcze toru transmisyjnego linii satelitarnej, wadą tego rozwiązania jest jednak mniejsza stabilność pracy układu śledzenia niż w przypadku wydzielonego toru do tego celu. Innym, bardziej przyszłościowym rozwiązaniem jest oparcie systemu śledzenia na kontroli poziomu wyższych modów w falowodzie antenowym, które pojawiają się tylko

wtedy, gdy kierunki osi anteny i widoczności satelity nie pokrywają się ze sobą. Zaletą tego systemu jest bardzo wysoka dokładność określania poziomu błędu i jednocześnie, ze względu na brak w układzie złączy obrotowych, wysoka niezawodność, natomiast wadą konieczność stosowania bardzo czułych, małoszumnych wzmacniaczy wstępnych do wykrywania wyższych modów o małym poziomie.

W starszych rozwiązaniach stosowano również układy automatycznego śledzenia analogicznie jak w systemach radarowych. Mianowicie promiennik anteny jest szybko obracany mechanicznie w taki sposób, że obwiednia tego ruchu ma kształt stożka. Gdy antena jest skierowana dokładnie na satelitę, amplituda odbieranego sygnału jest stała, lecz gdy nastąpi odchylenie od właściwego kierunku, pojawia się zmiana parametrów odbieranego sygnału, przy czym zmiana amplitudy jest proporcjonalna do wartości odchylenia, a zmiana fazy do kierunku odchylenia. Główną wadą systemu jest konieczność stosowania precyzyjnego, mechanicznego układu obracania promiennika antenowego, umieszczonego ponadto w mało dostępnym do naprawy miejscu.

Podobnie stosowano również nieco odmienny mechanizm obrotowy anteny, na przykład napęd śrubowy do obracania anteny w płaszczyźnie pionowej. Obecnie są prowadzone prace nad zastąpieniem napędu mechanicznego napędem hydraulicznym, który w założeniu teoretycznym powinien odznaczać się zarówno precyzją jak i niezawodnością działania, przy potrzebie stosowania bardzo ograniczonych zabiegów konserwacyjnych.

14.6. Urządzenia zasilające

Na rysunku 19 przedstawiono typowy przykład rozwiązania systemu zasilania stacji naziemnej. Energia elektryczna doprowadzana jest do stacji za pomocą dwóch niezależnych linii wysokiego napięcia 10 kV, z których jedna pełni rolę czynnej, a druga rezerwowej. Najczęściej jedna z nich jest zrealizowana w postaci odgałęzienia od najbliższej linii sieci energetycznej kraju, a druga poprowadzona wprost z podstacji elektrycznej centrum dyspozycyjnego mocy pobliskiego, większego miasta lub okręgu przemysłowego.

Linia energetyczna jest projektowana na moc z uwzględnieniem zapasu na przyszłościową rozbudowę stacji poprzez zwiększenie jej wyposażenia i zwiększenie liczby anten. Obie linie zasilające są doprowadzone do przełącznika wysokiego napięcia, znajdującego się w budynku zasilania. W zależności od potrzeby napięcie jest podłączane do jednego z dwóch transformatorów obniżających napięcie do 1,5 kV.

W celu zapewnienia nieprzerwanej pracy stacji w przypadku bardzo zresztą mało prawdopodobnej przerwy w zasilaniu z obu źródeł wysokiego napięcia przewidziane jest dodatkowe źródło zasilania rezerwowego w postaci dwóch generatorów mocy napędzanych silnikami Diesla M, które poprzez odpowiedni układ przełączników włączają się automatycznie z chwilą zaniku napięcia w sieci. W okresie czasu pomiędzy zanikiem napięcia sieci a uruchomieniem generatorów bezprzerwowe zasilanie stacji zapewnia bateria akumulatorów, która podobnie jak zespoły agregatów prądotwórczych jest umieszczona w budynku zasilania. W normalnych warunkach u-

zyskanie pełnej sprawności generatorów następuje po upływie około 15 sekund, ale w celu jeszcze dalszego zabezpieczenia warunków bezprzerwowej pracy stacji bateria akumulatorów ma pojemność zapewniającą pracę stacji przy pełnym obciążeniu przez co najmniej $1/2$ godziny. W tym czasie będzie można na pewno usunąć ewentualne uszkodzenia i uruchomić przynajmniej jeden z identycznych zespołów prądotwórczych, pracujących w układzie całkowitej rezerwy.

Należy zaznaczyć, że zgodnie z przepisami bezpieczeństwa, gdyby w ciągu $1/2$ godziny nie udało się uruchomić agregatów, należy odłączyć od baterii akumulatorów wszelkie odbiory z wyjątkiem oświetlenia awaryjnego oraz lamp ostrzegawczych na antenach.

Podstawowe urządzenia radiowe stacji, a w tym stopnie końcowe nadajników oraz małoszumne wzmacniacze wstępne odbiorników są zasilane z przetwornika trójfazowego napięcia zmiennego 380/220 V lub napięcia stałego 220 V, otrzymywanego z przetwornicy napięcia lub równolegle podłączonej baterii akumulatorów. Urządzenia wielokrotne oraz niektóre części urządzeń radiowych są zasilane z napięcia stałego 48 V, otrzymywanego z przetwornicy napięcia lub równolegle podłączonej baterii akumulatorów. Jeżeli akumulatory ulegną pełnemu lub częściowemu rozładowaniu w czasie trwania awarii sieci zasilającej, to z chwilą ponownego pojawienia się napięcia zostają one automatycznie podładowane poprzez odpowiedni układ przetworników.

Silniki napędowe anteny są podłączone do szyny zbiorczej zasilania z dostępem do zasilania rezerwowego, natomiast nie są uwzględnione w układzie zasilania bezprzerwowego, ponieważ pozycja sate-

lity na orbicie jest tak stabilna, że nie ma niebezpieczeństwa "wyjścia" satelity poza główny listek charakterystyki anteny w ciągu dopuszczalnego czasu $1/2$ godziny zaniku napięcia w sieci zasilającej.

Dosyć duża część energii elektrycznej jest zużywana do podgrzewania reflektora anteny w czasie zimy, zwłaszcza w zimnych rejonach klimatycznych. Ze względu na omówione w rozdz. 14.1 wyraźne pogarszanie się parametrów anteny przy pokryciu reflektora warstwą lodu lub śniegu, mogące w najgorszym przypadku prowadzić nawet do przerw w transmisji, jest rzeczą bardzo istotną utrzymanie czystej powierzchni anteny nawet w trudnych warunkach meteorologicznych. W zależności od rejonu klimatycznego i w pewnym stopniu konstrukcji powierzchni reflektora moc potrzebna do podgrzewania anteny wynosi od około 200 do 1000 kW. W niektórych rozwiązaniach, gdy potrzeba podgrzewania anteny występuje stosunkowo rzadko, a chodzi o utrzymanie stałego poboru mocy z sieci zasilającej, do podgrzewania anteny wykorzystuje się okresowo włączany rezerwowy generator prądowórczy.

Rozwiązanie takie można stosować również z powodzeniem przy lokalizacji stacji w mniej korzystnych warunkach klimatycznych, gdy stosowane są dwa rezerwowe generatory prądowórcze, jeżeli moc dostarczana przez każdy z nich jest wystarczająca do podgrzewania anteny, ponieważ prawdopodobieństwo jednoczesnego uszkodzenia sieci zasilającej i drugiego generatora rezerwowego, wystarczającego do zasilania urządzeń stacji, jest znikomo mała.

Podobnie jak generatory prądowórcze na ogół są dublowane wszystkie inne podstawowe elementy układu zasilania, takie jak transformatory, prostowniki, przetworniki i przełączniki napięcia,

przy czym przełączanie każdego elementu czynnego na rezerwowy musi nastąpić w czasie nie dłuższym niż 200 milisekund. Dla dalszego zwiększania niezawodności systemu poza przełączaniem automatycznym istnieje również możliwość przełączania ręcznego.

14.7. Urządzenia i wyposażenie pomocnicze

Oprócz zasadniczych urządzeń telekomunikacyjnych, wchodzących w skład radiowych torów nadawczych i odbiorczych, stacja musi być wyposażona w wiele urządzeń pomocniczych umożliwiających zarówno funkcjonowanie, jak i prawidłową obsługę stacji. Jako jedne z najważniejszych, chociaż nie jedyne, można tu wymienić urządzenia łączności służbowej, urządzenia kontrolne i pomiarowe oraz układy chłodzenia stopni wstępnych odbiornika i końcowych nadajnika.

Personel obsługi stacji musi mieć zapewnioną ciągłą łączność telefoniczną, telegraficzną i teleksową ze współpracującymi ze stacją międzynarodowymi centralami telefonicznymi, ośrodkami wymiany programów telewizyjnych, służbą meteorologiczną i oczywiście z najbliższymi instytucjami użyteczności publicznej, jak również ze stacjami naziemnymi innych krajów, z którymi stacja danego kraju utrzymuje ciągłą lub okresową łączność.

W tym celu poza zakończeniami łączy telefonicznych pracujących w systemie automatycznym lub półautomatycznym stacja jest wyposażona w centralę telefoniczną, która nie tylko umożliwia połączenie obsługi stacji z ośrodkami krajowymi i współpracującymi stacjami satelitarnymi, ale umożliwia również zestawianie łączy pomiędzy ośrodkami różnych krajów za pośrednictwem satelity.

Dla łączności służbowej ze służbami ziemskimi wykorzystywane są przede wszystkim linie radiowe i kablowe, które łączą stację naziemną z centrum telekomunikacyjnym kraju, jak również uzupełniające środki łączności awaryjnej, na przykład radiotelefony. Do łączności ze stacjami satelitarnymi wykorzystywane są przeważnie te same kanały radiowe, które służą do dalekosiężnej transmisji sygnałów szerokopasmowych.

W jednych rozwiązaniach dotyczy to wszystkich kanałów radiowych, natomiast w innych jest ograniczone tylko do kanałów przeznaczonych do transmisji sygnałów telefonii wielokrotnej. Wolne pasmo w zakresie częstotliwości 0 - 12 kHz jest podzielone na dwa o zakresach 0-4 kHz oraz 4-12 kHz.

Zakres pierwszy jest wykorzystywany do przesyłania sygnałów wyrównawczych /w postaci symetrycznych impulsów trójkątnych/ dla zapewnienia możliwie stałego obciążenia kanału radiowego /stałej dewiacji/ niezależnie od liczby zajętych w danym momencie czasowym kanałów telefonicznych. W odniesieniu do systemu Intelsat obowiązujące ustalenia określają, że moc nadawania e.i.r.p. w dowolnym przedziale częstotliwości o szerokości 4 kHz nie może przekraczać maksymalnej mocy nadawania e.i.r.p. w przedziale 4 kHz przy pełnym obciążeniu kanału radiowego o więcej niż 2 dB.

Zakres drugi jest wykorzystywany do utworzenia dwóch kanałów łączności służbowej o szerokościach 4 kHz. Każdy z nich jest przystosowany do transmisji sygnałów telefonicznych oraz sygnałów pięciu kanałów telegraficznych, rozmieszczonych w pasmie 2700 - - 3200 Hz. Pozostałe wolne pasma są przeznaczone do przesyłania dodatkowych sygnałów zdalnej kontroli, a w niektórych przypadkach również sygnałów zdalnego sterowania, gdy jedna ze stacji w pew-

nym, ograniczonym zakresie gra rolę stacji bazowej w stosunku do pozostałych.

W odniesieniu do wyposażenia pomiarowego stacji należy odróżnić dwa zasadnicze zestawy przyrządów używanych do celów pomiarowych. Jeden zestaw obejmuje wskaźniki oraz szereg prostych przyrządów pomiarowych, wykorzystywanych przez obsługę operacyjną do kontroli prawidłowości pracy stacji oraz zgrubnego określenia przyczyny powstania i lokalizacji uszkodzenia. Drugi, znacznie bardziej złożony zestaw przyrządów obejmuje dwie grupy: 1/ przyrządy umożliwiające okresowy, dokładny pomiar parametrów urządzeń stacji /włącznie z charakterystyką anteny, stratami w falowodach, współczynnikiem G/T układu antenowego, mocą nadawania itp./ oraz jakości transmisji sygnałów /zarówno po stronie pasma podstawowego, jak i telefonicznych zakończeń kanałowych małej częstotliwości/; 2/ przyrządy przeznaczone do precyzyjnej lokalizacji uszkodzenia oraz zestrojenia danej części urządzenia po usunięciu uszkodzenia.

Przyrządy grupy pierwszej są wykorzystywane głównie przez personel operacyjny, a grupy drugiej - personel konserwacyjny stacji. Ilość i rodzaj wyposażenia stacji w przyrządy pomiarowe zależy od wielu czynników, jak założony stopień "reperowalności" podzespołów, odległość stacji od najbliższych, dobrze wyposażonych, warsztatów i laboratoriów telekomunikacyjnych, przewidziany zakres prowadzenia na stacji prac badawczych, dotyczących głównie wpływu różnych czynników na jakość transmisji za pomocą linii satelitarnych.

Jednym z istotnych problemów jest zapewnienie ciągłej pracy układów chłodzenia. Jak wspomniano, wzmacniacze wstępne odbior-

nika są chłodzone gazowym helem lub płynnym azotem. Dla okresowego uzupełniania ubytków materiału chłodzącego stacja musi mieć zapas helu lub azotu. Zapas ten jest uzupełniany albo przez dowożenie do stacji butli z płynem, albo wytwarzanie go na miejscu.

W odniesieniu do chłodzenia wodnego lamp nadawczych bardzo istotny jest problem korozji oraz zjawisk elektrolitycznych, niszczących zwłaszcza zewnętrzne części elektrod lamp. W celu przeciwdziałania tym zjawiskom stosuje się w obwodzie chłodzenia nie tylko wodę destylowaną, ale również pozbawioną w trakcie odpowiedniego procesu wolnych jonów. Urządzenia do wytwarzania takiej wody muszą oczywiście wchodzić w skład stałego wyposażenia stacji. Spośród innych urządzeń pomocniczych na uwagę zasługują rozbudowane systemy kontroli przeciwpożarowej, stosowane metody zmniejszenia wpływu oddziaływania pola mikrofalowego na personel obsługi stacji, urządzenia ogrzewania oraz klimatyzacji niektórych pomieszczeń.

15. OBSŁUGA STACJI

Obecnie eksploatowane stacje naziemne są rozbudowanymi i skomplikowanymi obiektami, wymagającymi obsługi przez niezbyt liczny, ale szczególnie troskliwie dobrany i wysoko wykwalifikowany personel. Doświadczenia zagraniczne wykazały, że najbardziej do tego celu nadają się ludzie młodzi, którzy po ukończeniu studiów przechodzą dodatkowe przeszkolenie na specjalnych kursach zorganizowanych na terenie danego kraju i trwających w zależności od specjalności od 3 miesięcy do 1 roku, następnie są wysyłani na prakty-

ki zagraniczne trwające również w zależności od specjalności od $\frac{1}{2}$ roku do 2 lat. Najlepiej, jeżeli szkolenie wyprzedza znacznie moment oddania do użytku stacji krajowej, bowiem wówczas przyszły personel obsługi ma możliwość brania bezpośredniego udziału w budowie i uruchamianiu obiektu, co ma bardzo korzystny wpływ nie tylko na pogłębienie wiadomości fachowych, ale i na "zgranie się" zespołu.

W przekroju fachowym do obsługi stacji najbardziej potrzebni są specjaliści z zakresu techniki mikrofalowej, telewizji, telefonii wielokrotnej, automatyki i sterowania oraz elektrycy i mechanicy precyzyjni.

Konieczne jest, aby wśród personelu obsługującego znajdował się co najmniej jeden matematyk z przeszkoleniem elektronicznym, znający dobrze zagadnienia maszyn matematycznych, jeden pracownik z odpowiednim przeszkoleniem astronomiczno-nawigacyjnym oraz jeden ze znajomością zagadnień meteorologicznych.

Ogólnie biorąc, personel obsługi stacji można podzielić na dwie grupy:

1. Personel obsługujący /operacyjny/, zajmujący się ciągłą eksploatacją stacji na zasadzie zmianowości.
2. Personel konserwacyjny i kontrolno-pomiarowy pracujący na ogół bez zmianowości.

Określenie liczby personelu jest trudne, ponieważ stan zatrudnienia zależy nie tylko od wyposażenia stacji, ale również od przyjętych zasad obsługi, a nawet zwyczajów panujących w danym kraju. Dotyczy to zwłaszcza liczby pracowników administracyjnych, kierowców, wartowników, pracowników zaplecza socjalno-gospodar-

czego itp. Orientacyjnie można przyjąć, że ekipa operacyjna obejmuje 4 do 8 osób, a ekipa konserwacyjna do 15 osób. Uwzględniając 5-zmianową pracę ekipy operacyjnej otrzymuje się stąd od około 35 do 55 osób personelu zatrudnionego bezpośrednio na stacji.

Personel operacyjny ma za zadanie wykonywanie wszelkich czynności operacyjnych związanych z kontrolą i prawidłową pracą stacji, w tym lokalizacji i określenia zaistniałych uszkodzeń. Natomiast usuwaniem bardziej skomplikowanych uszkodzeń oraz okresową, przebiegającą zgodnie z ustalonym harmonogramem, konserwacją urządzeń telekomunikacyjnych, elektrycznych i mechanicznych stacji zajmuje się ekipa konserwacyjna złożona z bardziej wykwalifikowanych pracowników o bardziej zróżnicowanych specjalnościach.

Ze względów konserwacyjnych urządzenia stacji są na ogół podzielone na 6 zespołów:

- 1/ zespół antenowy,
- 2/ urządzenia szerokopasmowe w.c.z.,
- 3/ urządzenia wąskopasmowe w.c.z. oraz modulatory i demodulatory,
- 4/ urządzenia zakończeniowe stacji obejmujące krotnice telefoniczne, urządzenia pasma podstawowego wizji i fonii oraz linie radiowe i kablowe,
- 5/ urządzenia zasilające,
- 6/ urządzenia kontrolne i pomiarowe.

Każdy ze specjalistów powinien być wyspecjalizowanym fachowcem nie tylko w odniesieniu do danego zespołu, lecz także w odniesieniu do co najmniej dwóch sąsiednich, bezpośrednio współpracujących zespołów.

16. KOSZTY BUDOWY I EKSPLOATACJI STACJI

Eksploatowane obecnie w systemie Intelsat stacje naziemne są rozbudowanymi i złożonymi obiektami, w związku z czym koszty ich budowy i eksploatacji są również poważne. Można orientacyjnie przyjąć, że średni koszt budowy stacji /bez uwzględnienia inwestycji towarzyszących/ wynosi 6 - 8 mln. dolarów, a roczny koszt eksploatacji /bez uwzględnienia odpisów amortyzacyjnych/ około 400 + 500 tys. dolarów /przy obsłudze nie przekraczającej 25 osób, jak to ma miejsce przy nowszych rozwiązaniach stacji/. W przyszłościowych rozwiązaniach koszty te powinny ulec znacznemu zmniejszeniu ze względu na istniejące tendencje ograniczenia liczby personelu i zwiększenia stopnia zautomatyzowania pracy stacji, zmniejszenia wymiarów anten, zwiększenia niezawodności pracy elementów i w związku z tym ograniczenia częstości ich wymiany itp.

Procentowy rozdział kosztów budowy dla stacji naziemnej systemu Intelsat na poszczególne urządzenia wchodzące w skład stacji jest w przybliżeniu następujący:

- | | |
|--|-----------|
| 1. Urządzenia antenowe /antena o średnicy reflektora 25-30 m/ wraz z urządzeniami napędowymi i sterującymi | około 35% |
| 2. Urządzenia nadawczo-odbiorcze | 35 + 45% |
| 3. Urządzenia pomiarowo-kontrolne | 6% |
| 4. Urządzenia zasilające | 8 + 15% |
| 5. Urządzenia pomocnicze | 7% |

Do tego dochodzą oczywiście koszty niwelacji i ogrodzenia terenu, wzniesienia budynków, wewnętrznych dróg dojazdowych itp., oraz koszty inwestycji towarzyszących, jak budowa linii energetycznych, dróg dojazdowych, linii telekomunikacyjnych łączących stację z centrum telekomunikacyjnym kraju, sieci wodociągowej itp. W zależności od usytuowania stacji /zwłaszcza w terenie bezludnym, z dala od najbliższego centrum gospodarczego kraju/ koszty budowy stacji mogą więc wahać się w dość szerokich granicach i dlatego przy wyborze miejsca lokalizacji stacji trzeba zawsze uwzględniać dwa przeciwstawne dążenia - lokalizacji stacji z dala od centrów gospodarczych dla zmniejszenia niebezpieczeństwa wzajemnych interferencji oraz związanego z tym na ogół wzrostu nakładów na budowę stacji i inwestycje towarzyszące.

Na roczne, bieżące koszty eksploatacji stacji składają się następujące składniki:

1. Wydatki na płace personelu stacji naziemnej.
2. Wydatki związane z partycypowaniem w kosztach eksploatacji satelity telekomunikacyjnego.
3. Koszty materiałów i części zamiennych zużywanych przy utrzymaniu stacji.
4. Koszty energii elektrycznej.
5. Inne wydatki, takie jak transport, zwłaszcza przewóz pracowników, szkolenia, delegacje służbowe, dodatkowe prace związane z modernizacją stacji, prowadzeniem prac badawczych itp.

Ponadto w kosztach należy uwzględnić odpisy amortyzacyjne od nakładów na budowę stacji, zależne od przyjętych norm zużycia

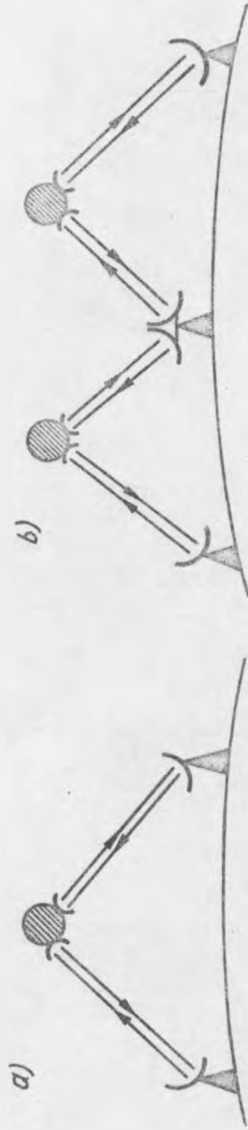
środków trwałych. Przyjmując "normalne starzenie się" stacji w ciągu 15 lat /w tym okresie czasu jedne części składowe, na przykład anteny, mogą pracować bez zmian, natomiast inne, zwłaszcza urządzenia wielkiej częstotliwości, mogą już ulec 2-3-krotnej wymianie w ramach modernizacji stacji/ otrzymuje się roczne odpisy amortyzacyjne 7%.

Procentowy rozdział kosztów bieżących eksploatacji stacji jest w sposób generalny niemożliwy. Wydatki na poszczególne pozycje budżetu mogą się wahać w dużych granicach w zależności od wyposażenia obiektu, liczby zatrudnionego personelu, odległości stacji od większego miasta, z którego należy dowozić personel do pracy itp. Ponadto przy tych samych lub podobnych warunkach lokalizacji i wyposażenia stacji procentowy rozdział kosztów może być zupełnie różny w zależności od kraju. Tak na przykład w krajach Europy zachodniej, gdzie płace wysoko wykwalifikowanego personelu obsługującego są stosunkowo wysokie, duży udział w kosztach mają wydatki na utrzymanie personelu, zapewnienie mu odpowiednich warunków mieszkaniowych itp. Stąd też m.in. wynika dążenie do ograniczenia personelu i zwiększenia stopnia automatyzacji pracy stacji. W krajach gospodarczo mniej rozwiniętych sytuacja może być zupełnie odwrotna, bowiem koszt zakupu za granicą wszystkich niezbędnych, a nie produkowanych w danym kraju, materiałów i elementów zespołowych może stanowić najpoważniejszą pozycję w ogólnych kosztach utrzymania stacji.

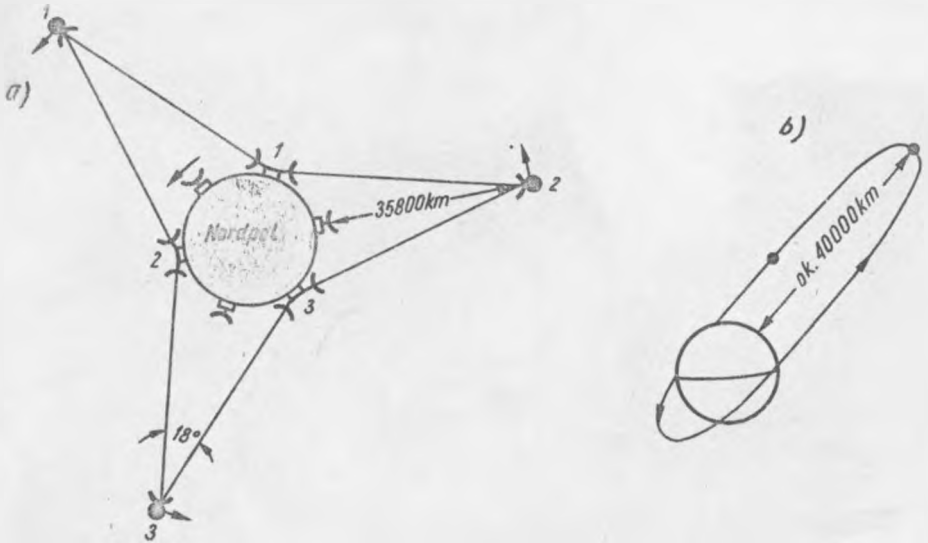
WYKAZ LITERATURY

1. Fortuszenko A. D. : Osnovy techničeskovo projektirovanja aparatury sistem sviazi z pomoščju ISZ. Wyd. "Sviaz", Moskva 1973, s. 344.
2. Earth station technology. IEE Conference Publication 72. 14 - - 16 październik 1970, s. 446.
3. Graf H. : Sender und Leistungverstärker für Erdfunkstellen. Siemens Z. 1970 t. 44 / Beiheft "Beiträge zur Raumfahrt" / s. 54-57.
4. Tirro S., Spadini G., Fornari M. : Il collaudo del centro B del Fucino ed il suo inserimento nel sistema Intelsat. Alta Frequenza 1970 t. 39 nr 12, s. 1052-1067.
5. Boutelaut P. i in. : L'Antenne. L'Echo des Recherches. Numero special Plemeur-Bodon II. Marzec 1971, s. 41-60.
6. Puente I.G., Werth A.M. : Demand-assigned service for the Intelsat global network. IEEE Spectrum, January 1971.
7. Petrov I. : Intersputnik - international space communication system and organization. Telecommunication J. 1972 t. 39 nr 11, s. 679-684.
8. The Nordic earth station at Tanum. a/ Jäger G. : A general description of the station; b/ Hansson L. : Radio technical equipment. Tele 1972 t. 24 nr 1, s. 1-15.
9. Back R., Wilkinson D., Withers D. : Commercial satellite communication. Proc. IEE, IEE Reviews, 1972 t. 119 nr 8R, s. 929-

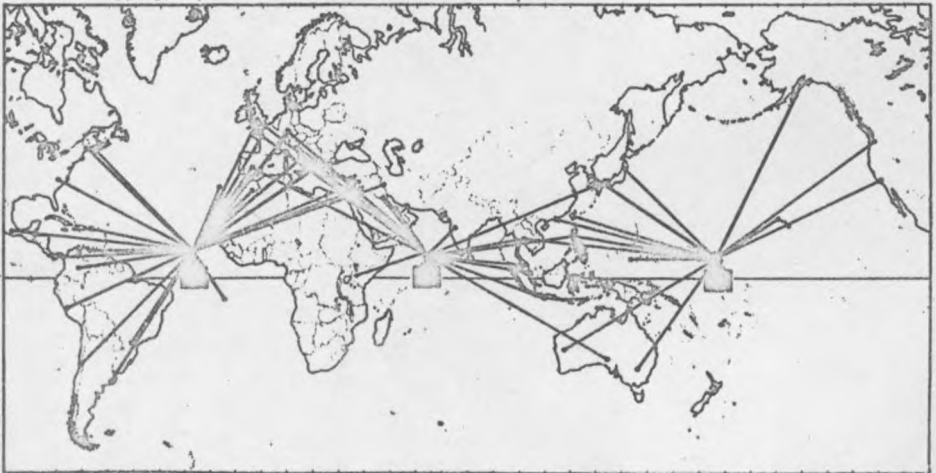
10. Edelson B.J., Werth A.M.: SPADE system progress and application. COMSAT. Techn. Rev. 1972 t. 2, nr 1.
11. Bargellini P.L.: The Intelsat IV communication system. COMSAT Techn. Rev. 1972 t. 2, nr 2.
12. Simphins S., Foulkes S.A., Purdy J.E.: Earth station equipment for Intelsat IV satellites. Post Office Elect. Eng. J. 1973, cz. 2, s. 91-102.
13. Bem D.J.: Naziemne stacje radiokomunikacji satelitarnej. Konferencja na temat "Łączność satelitarna w roku kopernikowski". SEP. Warszawa 1973, s. 31-44.
14. Zygierewicz J.: Współczesne i przyszłościowe systemy łączności satelitarnej. Technika Radia i Telewizji. 1973 nr 2, s. 22-28 i 1973 nr 4, s. 4-12.



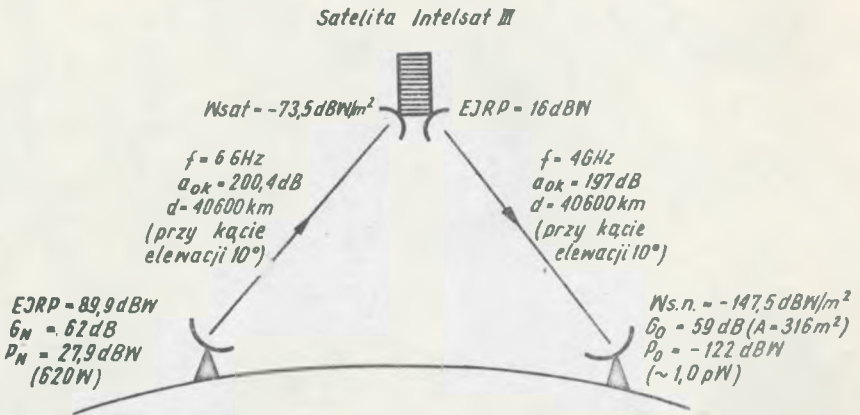
Rys. 1. Zasada pracy linii satelitarnych: a/ linia jednoskokowa, b/ linia dwuskokowa



Rys.2. Rodzaje orbit obecnie wykorzystywanych w dalekosiężnych systemach porozumiewawczej łączności satelitarnej: a/ satelity na orbicie geostacjonarnej, b/ satelity na orbicie eliptycznej nachylonej pod kątem $63,5^\circ$ względem płaszczyzny równika

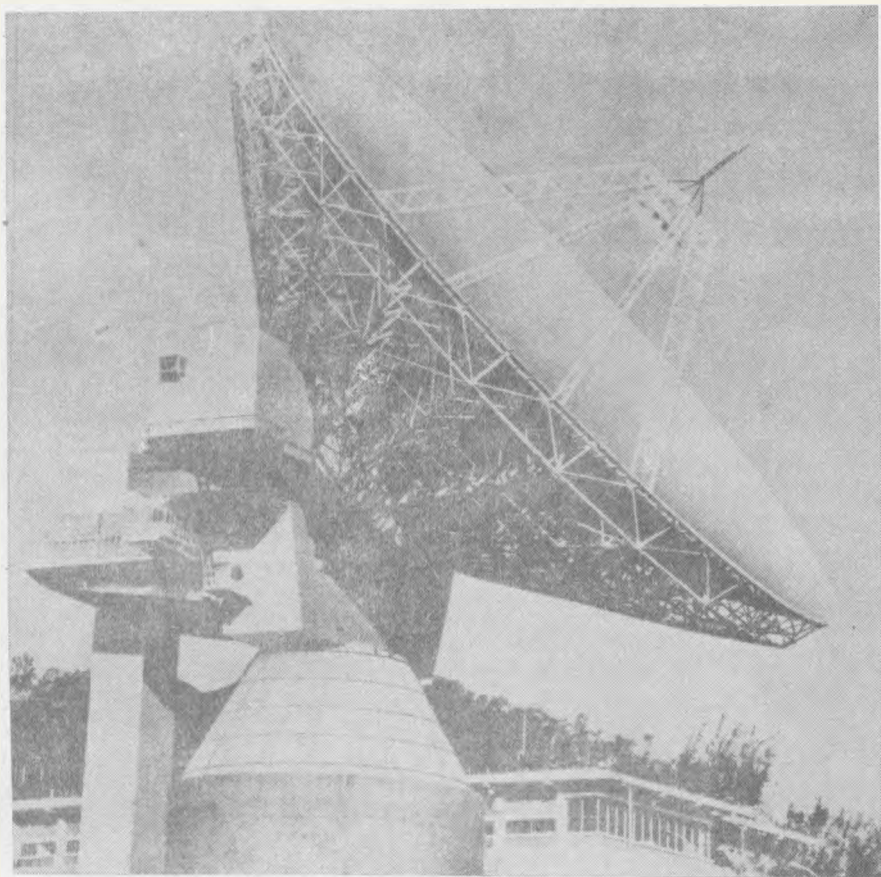


Rys.3. Sieć linii satelitarnych, zrealizowanych do roku 1971, w systemie łączności globalnej Intelsat

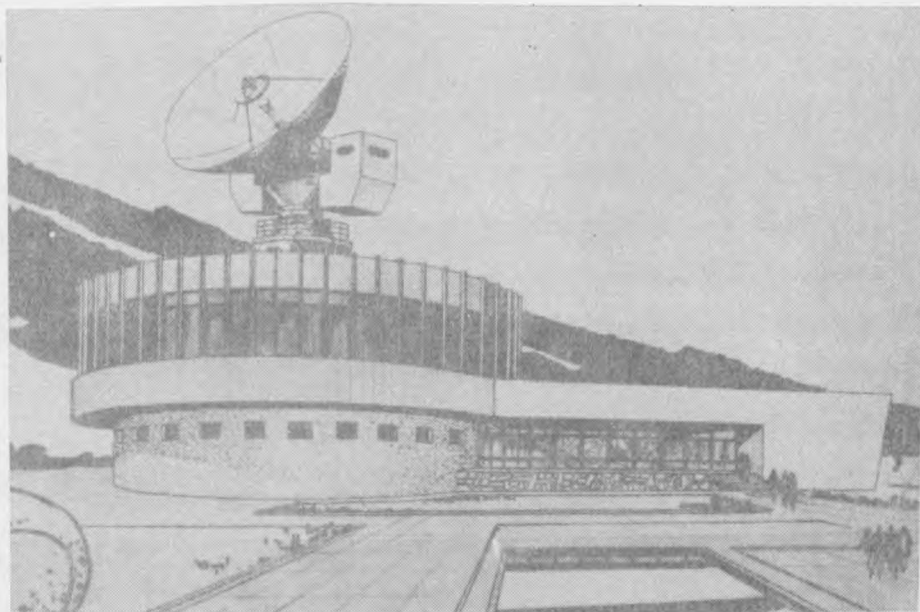


Rys.4. Przykład bilansu energetycznego linii satelitarnej, zrealizowanej za pomocą satelity Intelsat III, przy przesyłaniu sygnału zbiorczego telefonii 432-krotnej

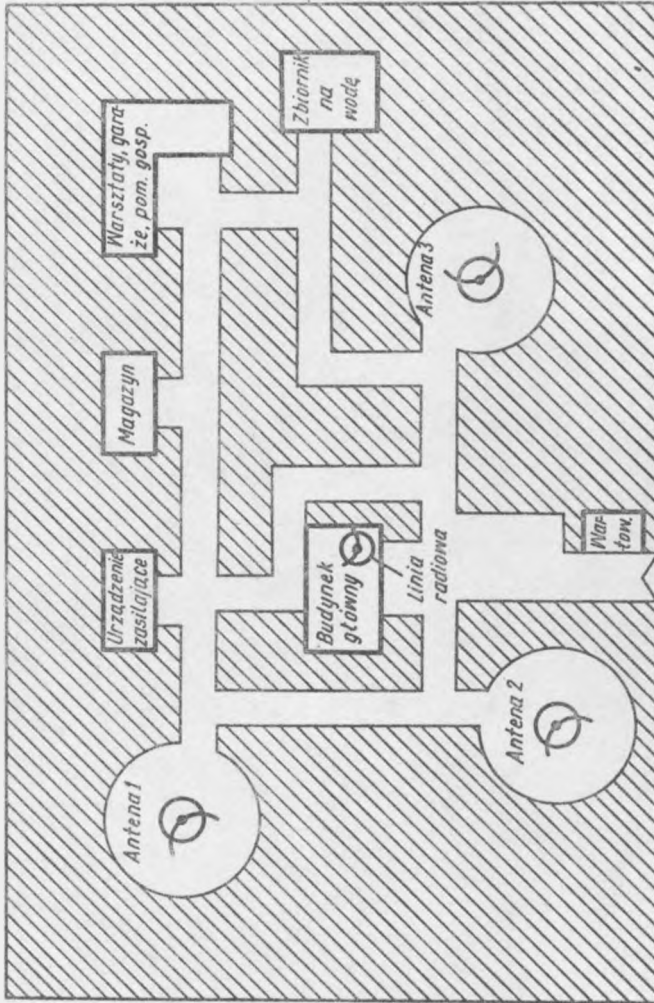
A-powierzchnia skuteczna anteny o średnicy 30 m /około 0,64 powierzchni rzeczywistej/, a_{ok} -tłumienie wolnej przestrzeni w odniesieniu do anteny izotropowej, EJRP-równoważna moc promieniowania w odniesieniu do anteny izotropowej, G-zysk anteny w stosunku do anteny izotropowej, f-częstotliwość pracy, P_N -moc nadawana w odniesieniu do promiennika anteny, P_O -moc odbierana w odniesieniu do promiennika anteny, d-odległość pomiędzy satelitą i stacją naziemną, W_{sat} , W_{sn} -gęstość strumienia mocy w pobliżu miejsca lokalizacji satelity lub stacji naziemnej



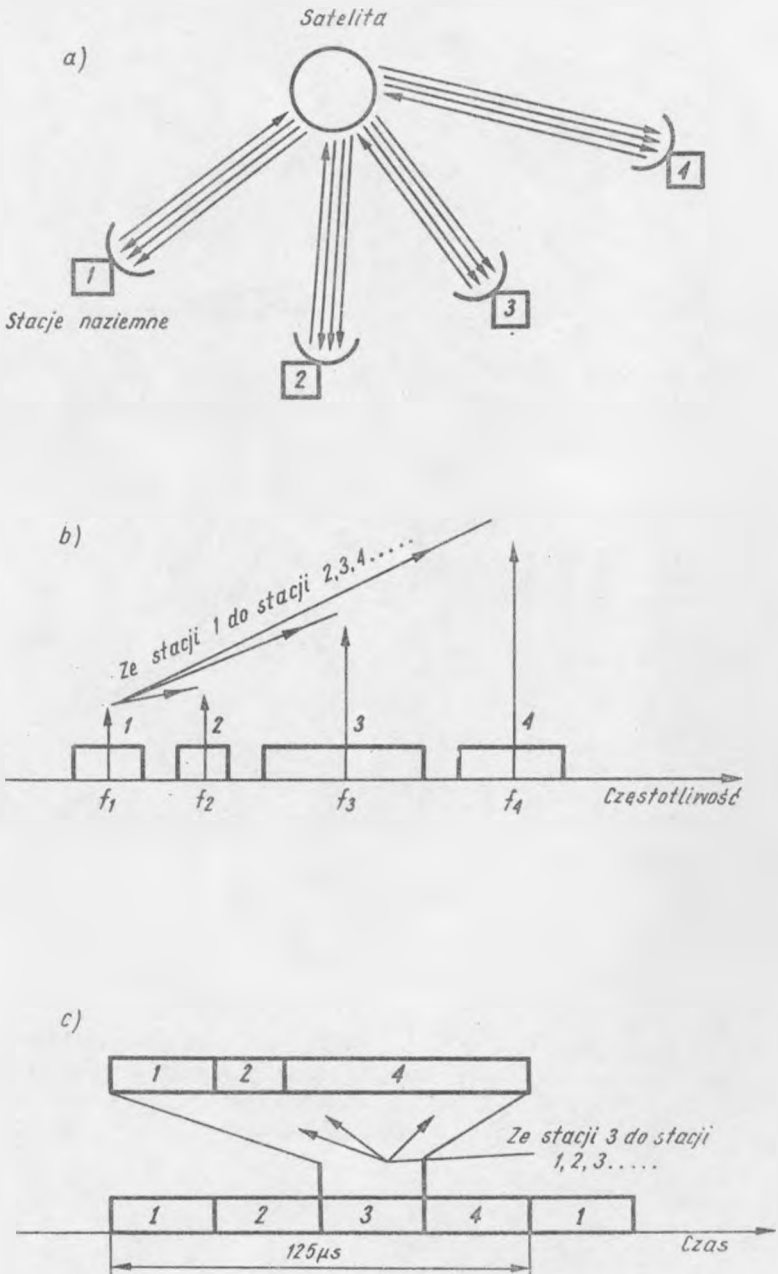
Rys. 5. Widok stacji naziemnej systemu Intelsat



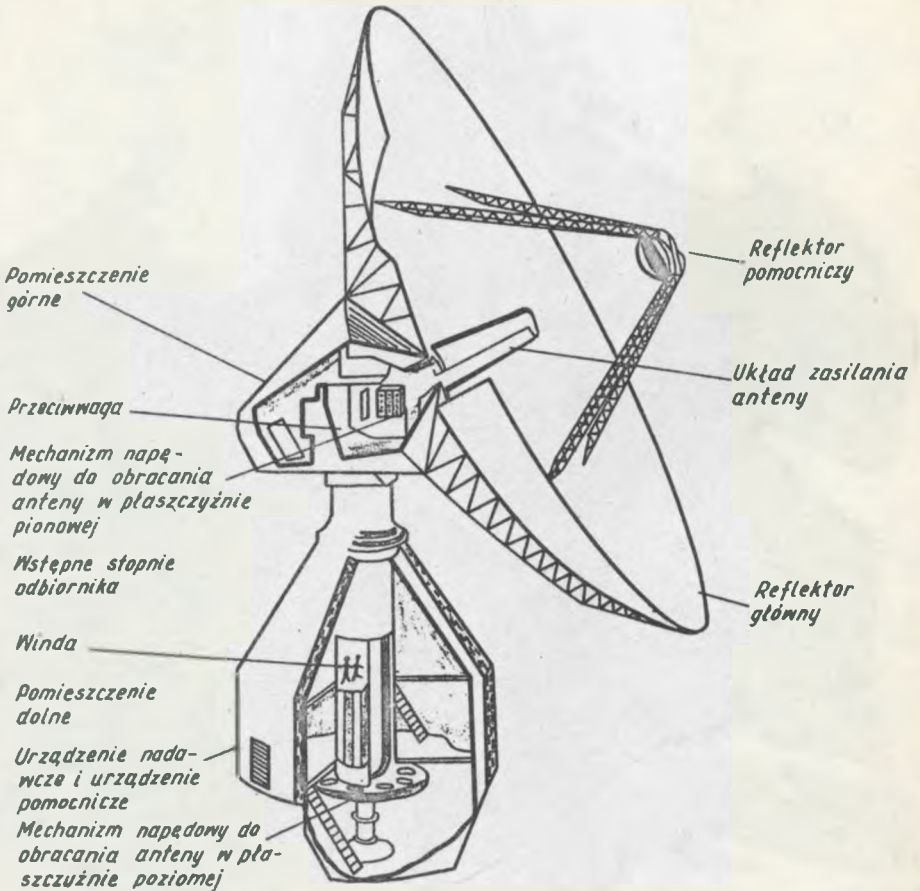
Rys. 6. Widok stacji naziemnej systemu Intersputnik



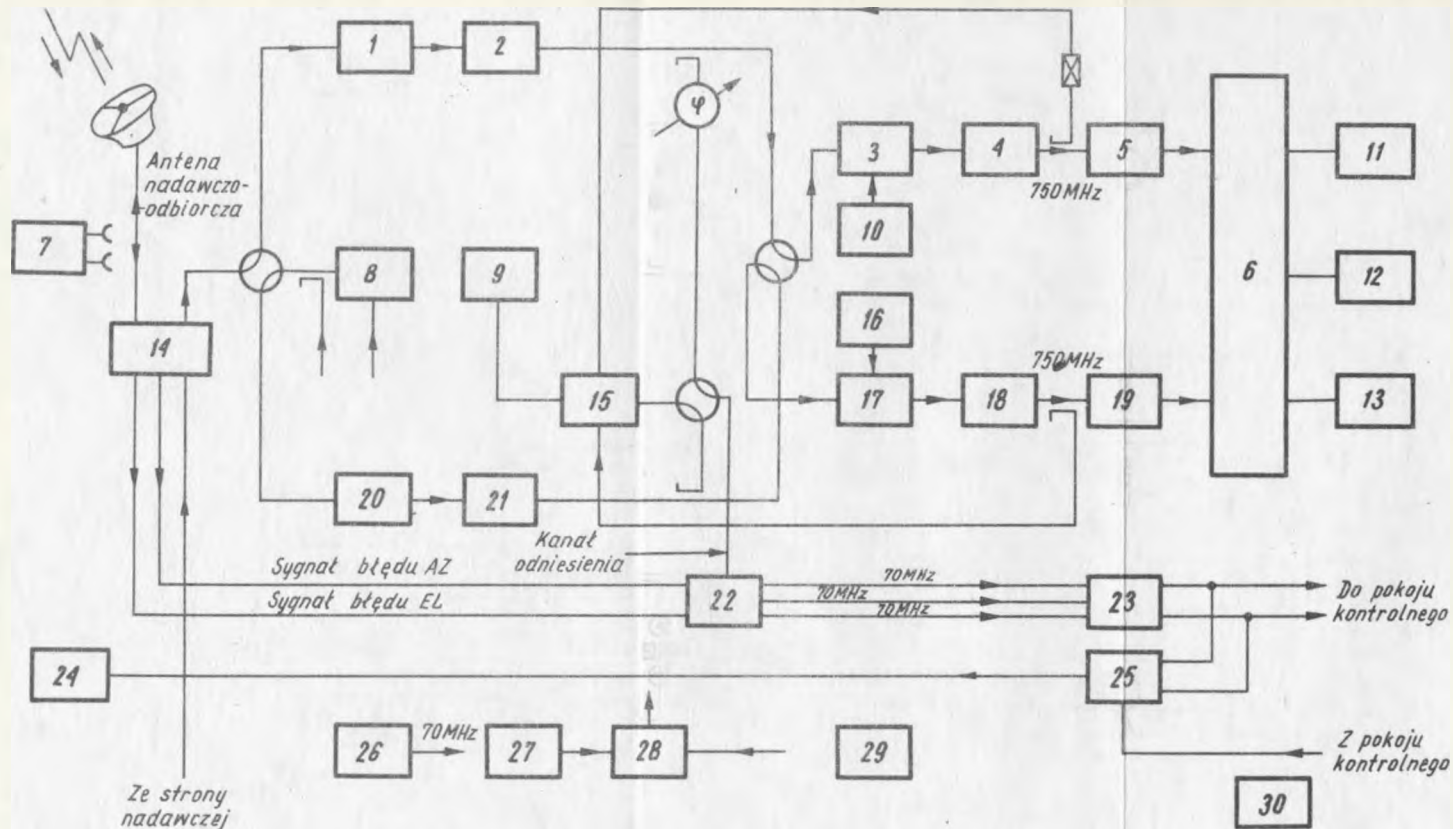
Rys. 7. Przykład rozmieszczenia budynków na terenie stacji naziemnej pracującej w systemie IntelSat



Rys. 8. Zasady uwielokrotnionego dostępu do satelity: a/ zasada uwielokrotnionego dostępu, b/ FDMA, c/ TDMA

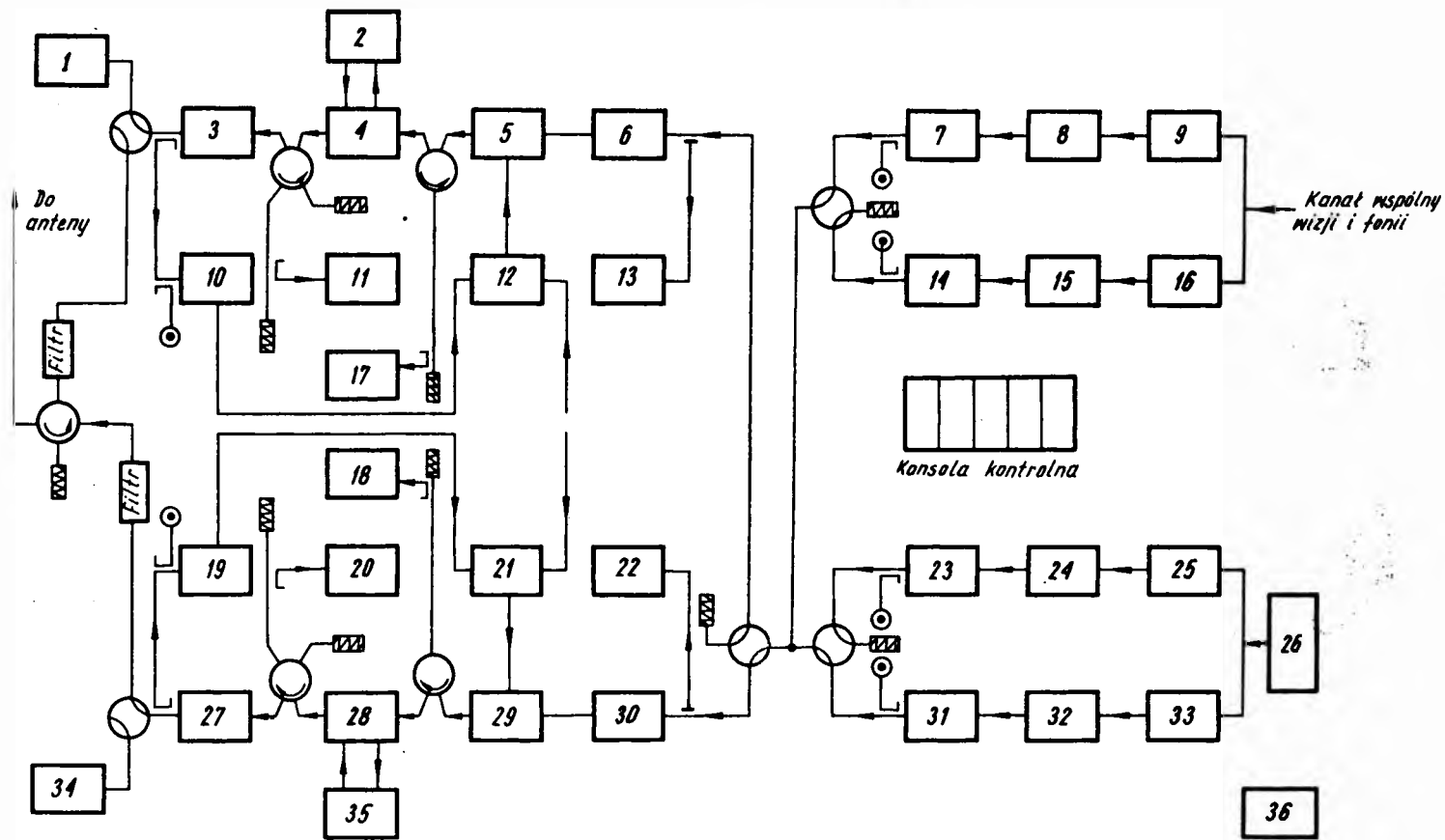


Rys. 11. Widok anteny o średnicy około 30 m wraz z konstrukcją wsporczą, stanowiącej typowe wyposażenie stacji naziemnej, pracującej w systemie Intelsat



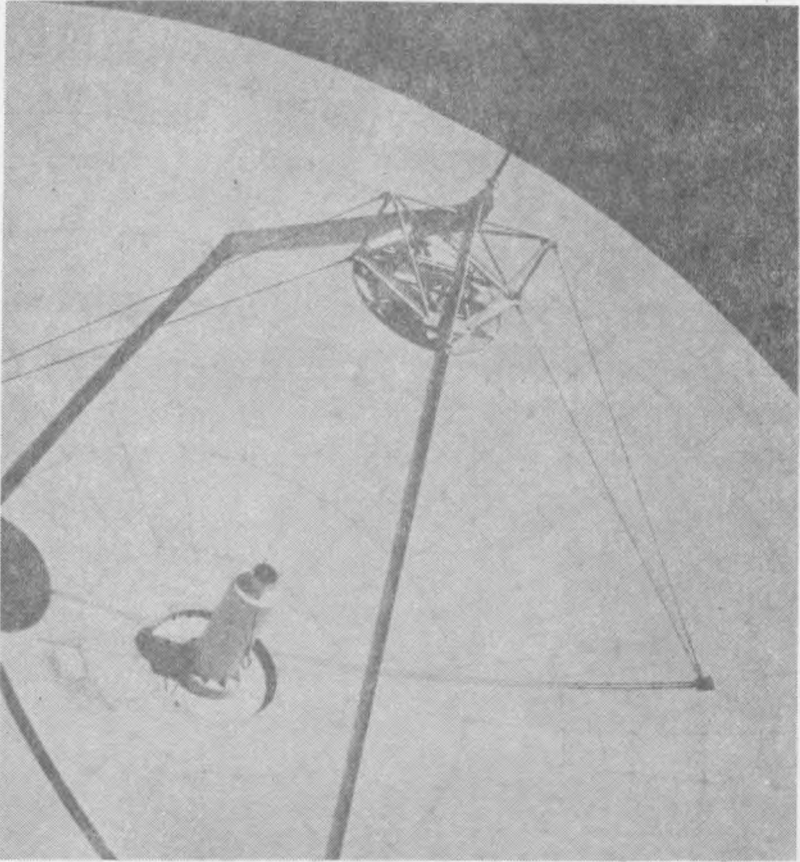
Rys. 9. Schemat blokowy strony odbiorczej stacji naziemnej

1 - małoszumny wzmacniacz wstępny, 2 - filtr 500 MHz, 3 - układ przemiany w dół, 4 - wzmacniacz szerokopasmowy, 5 - układ dopasowujący, 6 - układy przemiany, demodulatory itd., 7 - symulator satelity, 8 - układ kontrolny, 9 - urządzenia kontrolne i pomiarowe, 10 - generator lokalny, 11 i 12 - telefoniczne urządzenia wielokrotne, 13 - kanały wizji i fonii, 14 - zwrotnica antenowa, 15 - selekcja sygnałów testowych, 16 - generator lokalny, 17 - układ przemiany w dół, 18 - wzmacniacz szerokopasmowy, 19 - układ dopasowujący, 20 - małoszumny wzmacniacz wstępny, 21 - filtr 500 MHz, 22 - układ przemiany w dół, 23 - odbiornik śledzenia, 24 - układ sterowania anteną, 25 - sterowanie serwo-mechanizmu, 26 - modulowany generator sygnału, 27 - selekcja sygnałów zdalnej kontroli, 28 - układ kontroli zwrotnej, 29 - urządzenie pomiarowe i kontrolne, 30 - zasilanie

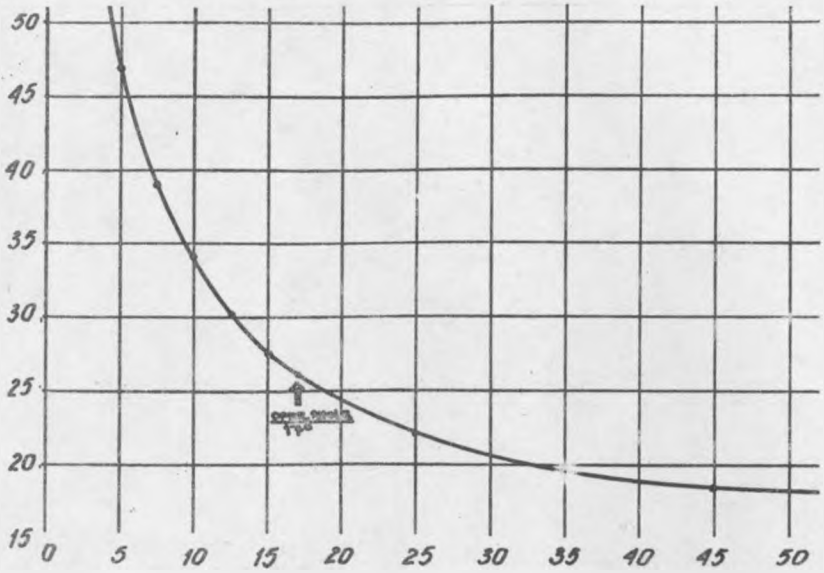


Rys. 10. Schemat blokowy strony nadawczej stacji naziemnej

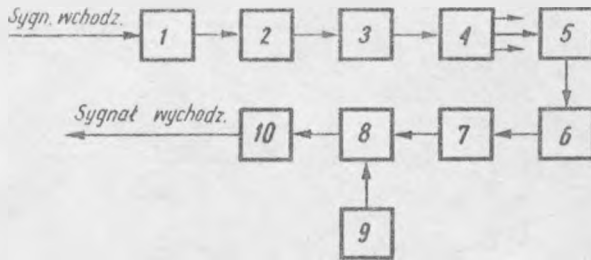
1 - obciążenie, 2 - układ chłodzenia, 3 - filtr dolnopasmowy, 4 - wzmacniacz mocy, 5 - regulowany tłumik, 6 - filtr dolnopasmowy, 7 - wzmacn. wzbudzający, 8 - układ przemiany 70 MHz/6 GHz, 9 - modulator FM, 10 - wskaźnik mocy, 11 - wskaźnik mocy odbitej, 12 - regulacja poziomu, 13 - wskaźnik mocy, 14 - wzmacniacz wzbudzający, 15 - układ przemiany 70 MHz/6 GHz, 16 - modulator FM, 17, 18 - wskaźniki mocy odbitej, 19 - wskaźnik mocy, 20 - wskaźnik mocy odbitej, 21 - regulacja poziomu, 22 - wskaźnik mocy, 23 - wzmacniacz wzbudzający, 24 - układ przemiany 70 MHz/6 GHz, 25 - modulator FM, 26 - telefoniczne urządzenia wielokrotne, 27 - filtr dolnopasmowy, 28 - wzmacniacz mocy, 29 - regulowany tłumik, 30 - filtr dolnopasmowy, 31 - wzmacniacz wzbudzający, 32 - układ przemiany 70 MHz/6 GHz, 33 - modulator FM, 34 - obciążenie, 35 - układ chłodzenia, 36 - zasilanie



Rys.12. Widok z bliska centralnej części anteny stacji naziemnej

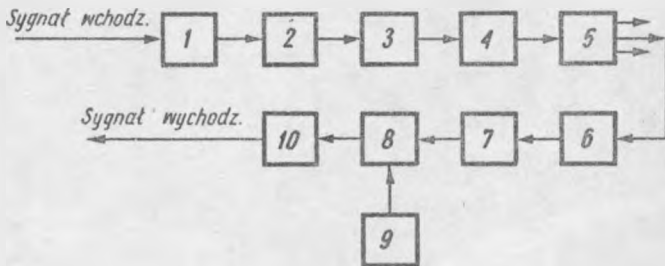


Rys.13. Temperatura szumów anteny w funkcji kąta elewacji



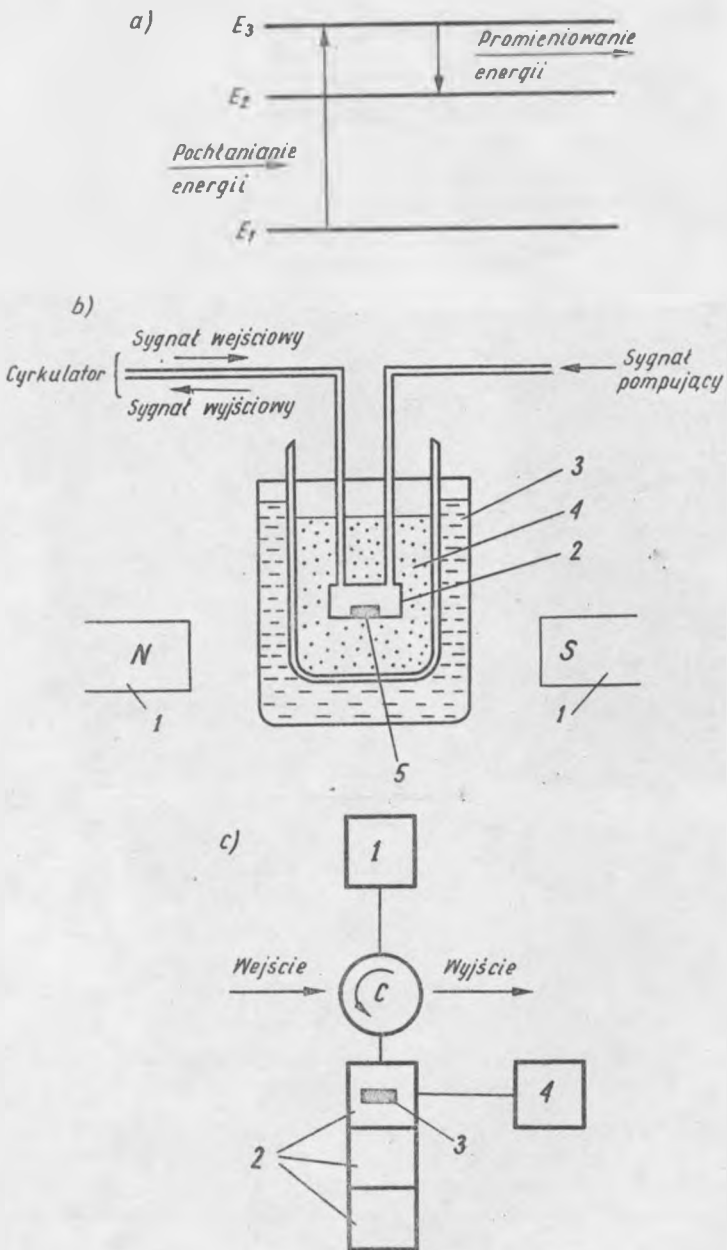
Rys. 14. Schemat układu wejściowego odbiornika z rozdzielonymi wzmacniaczami małoszumnymi

1 - filtr wstępny, 2 - filtr rozdzielania sygnałów nadawania i odbioru, 3 - sprzęgacz kierunkowy, 4 - filtr rozdzielający kanały radiowe, 5 - filtr pasmowy, 6 - pierwszy stopień małoszumnego wzmacniacza, 7 - drugi stopień małoszumnego wzmacniacza, 8 - mieszacz, 9 - generator, 10 - wstępny wzmacniacz częstotliwości pośredniej

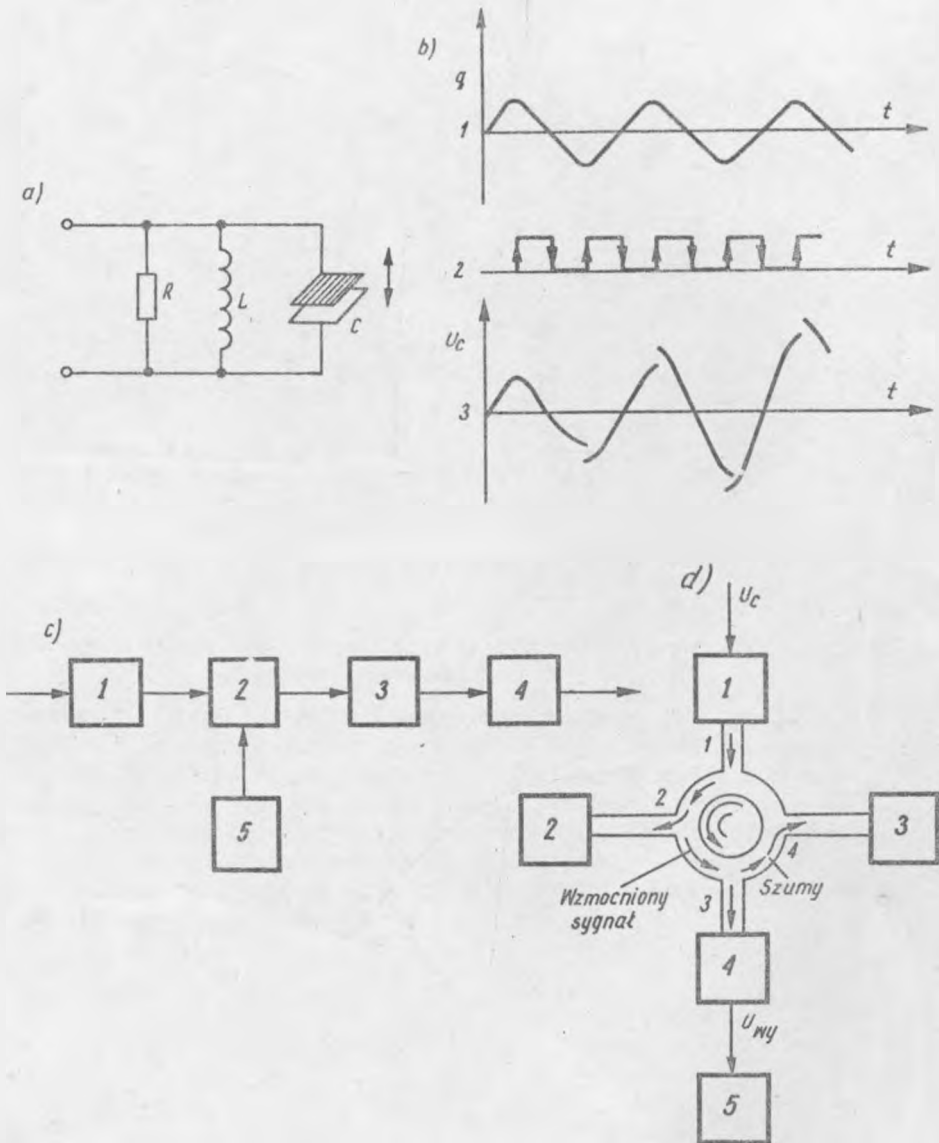


Rys. 15. Schemat układu wejściowego odbiornika z szerokopasmowymi wzmacniaczami małoszumnymi

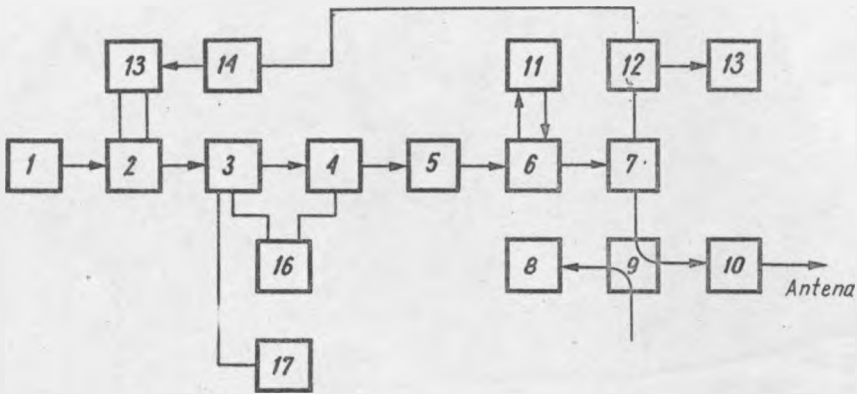
1 - filtr wstępny, 2 - filtr rozdzielania sygnałów nadawania i odbioru, 3 - sprzęgacz kierunkowy, 4 - pierwszy stopień małoszumnego wzmacniacza, 5 - filtr rozdzielający kanały radiowe, 6 - filtr pasmowy, 7 - drugi stopień małoszumnego wzmacniacza, 8 - mieszacz, 9 - generator, 10 - wstępny wzmacniacz częstotliwości pośredniej



Rys. 16. Zasada działania wzmacniacza maserowego /paramagnetycznego/:
 a/ zjawiska zachodzące w materiale aktywnym masera o trzech poziomach energetycznych, b/ konstrukcja masera z kryształem rubinu Al_2O_3 , c/ schemat blokowy masera wielorezonansowego

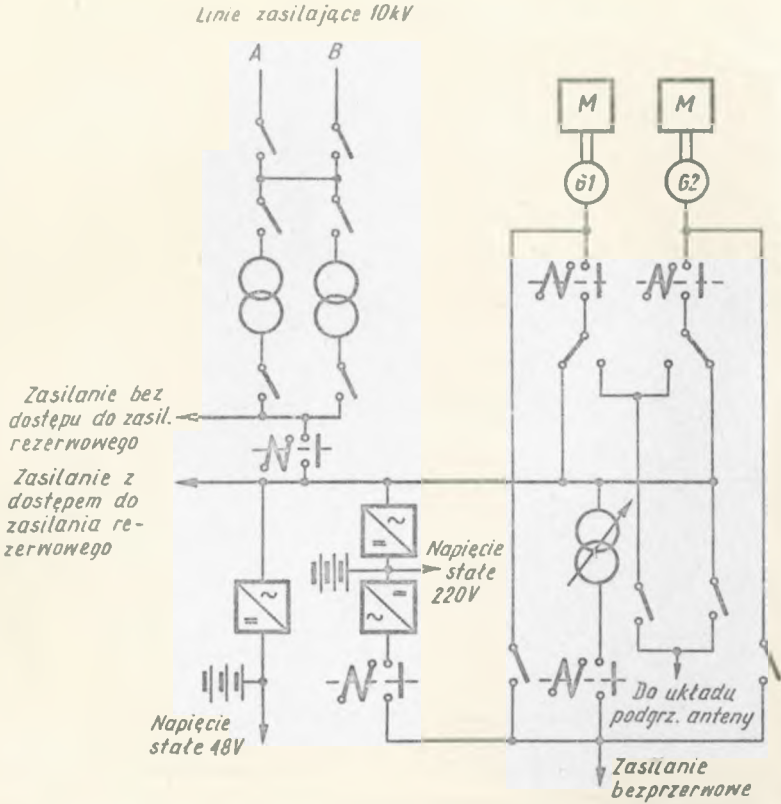


Rys. 17. Zasada działania i układy pracy wzmacniacza parametrycznego: a/ schemat elektryczny, b/ wykres ilustrujący zasadę pracy, c/ schemat blokowy wzmacniacza parametrycznego szeregowego, d/ schemat blokowy jednoobwodowego wzmacniacza parametrycznego z cyklatorem



Rys. 18. Schemat blokowy końcowych stopni wzmacniacza mocy nadajnika stacji naziemnej

1 - tłumik, 2 - sprzęgacz kierunkowy z odgałęzieniem, 3 - klistron lub lampa o fali bieżącej, 4 - detektor wyladowania łukowego, 5 - izolator ferrytowy lub cyrkulator, 6,7 - sprzęgacz kierunkowy z odgałęzieniem, 8 - antena zastępcza, 9 - przełącznik falowodowy, 10 - filtr wyższych harmonicznych, 11 - układ kontroli parametrów jakościowych, 12 - miernik współczynnika fali stojącej, 13 - układ kontrolnego odbiornika, 14 - układ sterowania, blokowania i sygnalizacji, 15 - miernik mocy wyjściowej, 16 - układ chłodzenia, 17 - zasilania



Rys.19. Przykład rozwiązania układu zasilania stacji

