

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI
WARSZAWA-MIEDZESZYN

PROBLEMY

ŁĄCZNOŚCI

149

1976

MINISTERSTWO ŁĄCZNOŚCI

PROBLEMY
ŁĄCZNOŚCI

ROK 16

WARSZAWA 1976

NR 149

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI

Branżowy Ośrodek
Informacji Naukowo-Technicznej i Ekonomicznej

Redakcja Problemów Łączności

Redaktor naczelny - dr inż. Krystyn Plewko

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 590. Wpłynęło do
Działu Wydawniczego 16.03.1976 r.
Druk ukończono w lipcu 1976 r.

PROBLEMY ŁĄCZNOŚCI

Janusz Zygierewicz

TELEWIZJA ROZSIEWCZA Z SATELITÓW

SPIS TREŚCI

| | Str. |
|---|------|
| 1. Przedmiot rozważań. Struktura systemu telewizji rozsiewczej z satelitów | 1 |
| 2. Wykorzystanie radiodyfuzyjnych służb satelitarnych | 5 |
| 3. Wybór orbity satelity | 9 |
| 4. Wybór optymalnego położenia satelity na orbicie względem powierzchni ziemi objętej zasięgiem nadawania | 12 |
| 5. Zależność pomiędzy szerokością wiązki promieniowania anteny pokładowej i wielkością obszaru na powierzchni ziemi, objętego zasięgiem nadawania | 17 |
| 6. Zakresy częstotliwości pracy przewidziane dla służb telewizyjnej radiodifuzji satelitarnej | 19 |
| 7. Zagadnienie optymalnego wykorzystania dysponowanych zakresów częstotliwości | 23 |
| 8. Wybór rodzaju modulacji. Struktura nadawanego sygnału | 25 |
| 9. Jakość odbieranego sygnału | 29 |
| 10. Bilans mocy dla kierunku transmisji satelita-ziemia | 31 |
| 11. Stacja pokładowa satelity | 39 |

| | Str. |
|---|------|
| 12. Urządzenia odbiorcze w postaci tzw. przystawek do odbiorników telewizyjnych do umożliwienia odbioru indywidualnego i grupowego | 42 |
| 13. Aspekty ekonomiczne realizacji systemu radiodiffuzji satelitarnej | 46 |
| 14. Stanowiska administracji krajowych i organizacji międzynarodowych co do zagadnień prawnych i politycznych, związanych z wprowadzeniem do eksploatacji systemów radiodiffuzji satelitarnej | 49 |
| 15. Przykładowe, realizowane lub przewidziane do realizacji, rozwiązania systemów telewizji rozsiewczej z satelitów | 50 |
| Wykaz literatury | 55 |

Janusz Zygierewicz

621.396.946

621.397.13

TELEWIZJA ROZSIEWCZA Z SATELITÓW

1. PRZEDMIOT ROZWAŻAŃ. STRUKTURA SYSTEMU TELEWIZJI ROZSIEWCZEJ Z SATELITÓW

Przy planowaniu rozwoju systemów łączności telewizyjnej, w tym również systemów telewizji rozsiewczej, staje się coraz bardziej konieczne branie pod uwagę możliwości, jakie w tym względzie stwarza technika satelitarna. Satelity telekomunikacyjne mogą służyć zarówno do przekazywania na duże odległości sygnałów telewizyjnych /transmisja satelitarna, realizowana w systemie satelitarnym porozumiewawczym/, jak i mogą być wykorzystane do nadawania programów telewizyjnych obejmujących duże obszary powierzchni Ziemi, przeznaczonych do odbioru przez odpowiednio wyposażane domowe odbiorniki telewizyjne /telewizja rozsiewcza z satelitów lub telewizyjna radiodyfuzja satelitarna/.

Wykorzystanie sztucznych satelitów Ziemi do rozsyłania i wymiany programów pomiędzy ośrodkami telewizyjnymi jest przedmiotem zainteresowań przede wszystkim specjalistów, chociaż i szeroki ogół ludności odczuwa, często nie w pełni to sobie uświadamiając, dodatnie tego skutki. Natomiast stworzenie warunków do indywidualnego odbioru programów telewizyjnych nadawanych z satelitów odczuwają bezpośrednio, jeżeli nie od razu wszyscy, to przynajmniej znaczny procent abonentów telewizyjnych. Wprowa-

dzenie systemów radiodyfuzji satelitarnej powinno mieć znaczny wpływ na podniesienie poziomu oświaty i kultury zarówno poszczególnych jednostek, jak i całych społeczeństw, zwłaszcza w krajach rozwijających się, o dużych obszarach i małej, w dodatku najczęściej bardzo nierównomiernej, gęstości zaludnienia.

Zagadnienie wprowadzenia do eksploatacji telewizyjnych radio-dyfuzyjnych systemów satelitarnych jest w związku z tym przedmiotem badań podjętych w wielu krajach od szeregu lat. Jest ono również przedmiotem rozpatrywań wielu organizacji międzynarodowych, przy czym na posiedzeniach ONZ lub UNESCO rozważane są aspekty prawne, polityczne i społeczne, a na konferencjach UIT /Międzynarodowy Związek Telekomunikacyjny/ i jego wyspecjalizowanych Komisji CCIR, aspekty techniczne i częściowo ekonomiczne, związane z wprowadzeniem do eksploatacji tych nowych systemów.

Zainteresowanie systemami telewizji rozsiewczej z satelitów wynika z następujących faktów:

- W zaawansowanych w rozwoju gospodarczym krajach świata, zwłaszcza w Europie, w związku z wyczerpaniem się wolnych kanałów radiowych w zakresach fal metrowych, a nawet decymetrowych, wprowadzenie nowych programów telewizyjnych napotyka znaczne trudności i zmusza do wykorzystywania do tych celów zakresów częstotliwości powyżej 10 GHz, bardzo niedogodnych ze względów propagacyjnych do stosowania na powierzchni Ziemi i pociągających za sobą konieczność stworzenia gęstej sieci nadajników. Powiększa to znacznie koszty realizacji systemu, nie mówiąc o konieczności przystosowania odbiorników do odbioru sygnałów w tych zakresach częstotliwości, co w prak-

tyce oznacza ich wyposażenie w przystawki podobne do tych, jakie są potrzebne do bezpośredniego odbioru sygnałów telewizyjnych z satelitów. Zastosowanie do tych celów satelitów pozwala na rozwiązanie problemu w sposób efektywny, o ile spełnione będą przy tym wymagania na jakość transmisji i rozwiązana sprawa wzajemnych zakłóceń z systemami łączności na powierzchni Ziemi.

- W krajach o opóźnionym rozwoju gospodarczym sprawą pilną jest z kolei umożliwienie odbioru na terenie całego kraju chociaż jednego programu telewizyjnego w nadziei, że przyspieszy to rozwój kraju poprzez podniesienie poziomu oświaty i kultury. Istnieją nawet pewne przesłanki ku temu, że ze względów technicznych /znacznie mniejsze niebezpieczeństwo zakłóceń, ponieważ sieć ziemską jest słabo rozwinięta, atrakcyjność dla widzów nawet przy stworzeniu możliwości odbioru grupowego/ i ekonomicznych /trudności pokrycia zasięgiem nadawania ziemskich stacji telewizyjnych dużych na ogół obszarów kraju o bardzo nierównomiernym zaludnieniu/, system ten może być najszybciej i najszerzej zastosowany w krajach rozwijających się, tzw. Trzeciego Świata.
- Powstaje możliwość objęcia zasięgiem nadawania jednego nadajnika praktycznie całego obszaru danego kraju lub nawet kilku sąsiednich krajów przy zapewnieniu dobrej jakości odbioru na całym obszarze. Wynika to z faktu, że praktycznie nie istnieje, jak w systemach na powierzchni Ziemi, zależność natężenia pola od położenia odbiornika względem stacji nadawczej /odległość wszystkich punktów odbioru od satelity jest praktycznie jednako-
wowa/.

- Zastosowanie telewizji satelitarnej pozwala na uzyskanie 100% pokrycia danego kraju i na wymazanie tzw. "białych plam na mapie", w których ze względów technicznych lub ukształtowania terenu nie ma praktycznie możliwości odbioru programów, nadawanych przez nadajniki telewizyjne na powierzchni Ziemi. W miarę jak pokrycie zasięgiem nadawania obszaru danego kraju zbliża się do 100%, trzeba tak zwiększać liczby stacji ziemskich, że jest to ekonomicznie i technicznie prawie niemożliwe. Często zdarza się, że pokrycie dodatkowych kilku procent obszaru kosztowałoby drożej, niż budowa całej dotychczasowej sieci nadawania i rozprowadzania programów w danym kraju /obliczenia takie przeprowadzono na przykład dla obszaru Wielkiej Brytanii/.

Podstawowym elementem systemu telewizji rozśiewczej z satelitów jest satelita z umieszczonym na jego pokładzie nadajnikiem oraz połączona z nim antena kierunkowa, skierowana na obsługiwany obszar powierzchni Ziemi. Kąt rozwarcia wiązki promieniowania anteny powinien być tak dobrany, aby obszar oświetlany przez antenę na powierzchni Ziemi w przybliżeniu pokrywał się z terytorium obsługiwanego kraju lub części kontynentu. Z kolei należy tak dobrać wyjściową moc nadajnika, aby przy uwzględnieniu zysku kierunkowego anteny, gęstość strumienia mocy przy powierzchni Ziemi pozwalała na uzyskanie wymaganej jakości odbioru przez wiele indywidualnych lub grupowych urządzeń odbiorczych, rozmieszczonych na danym terytorium w dowolny sposób.

Sygnal telewizyjny, modulujący nadajnik pokładowy, jest doprowadzany do satelity z nadawczej stacji naziemnej i odbierany przez odbiornik pokładowy. Potrzebne do tego celu urządzenia oraz wa-

runki ich pracy są zbliżone do tych, jakie istnieją w liniach satelitarnych do transmisji sygnałów telewizyjnych na duże odległości.

2. WYKORZYSTANIE RADIODYFUZYJNYCH SŁUŻB SATELITARNYCH

Okres ostatnich lat wykorzystywania satelitów do transmisji sygnałów, w tym również sygnałów telewizyjnych, charakteryzuje się dążeniem do coraz "bliższego" dojścia z sygnałem do abonenta. Wystarczy tu wspomnieć początkowe wykorzystywanie tylko dużych stacji naziemnych do transmisji międzykontynentalnych z obecnymi równolegle stosowanymi rozwiązaniami małych stacji, umożliwiających transmisję tylko kilku sygnałów kanałów telefonicznych lub odbiór programów telewizyjnych, przeznaczonych dla wąskiego grona abonentów /np. system kanadyjski Anik/. W tych też kategoriach należy rozpatrywać przyjęcie pewnych wstępnych kryteriów co do zasad odbioru na powierzchni Ziemi sygnałów telewizyjnych, nadawanych z satelitów radiodyfuzyjnych. Można brać pod uwagę następujące cztery warianty rozwiązań, przy czym niektóre z nich mogą być stosowane równocześnie /obrazowo przedstawia to rysunek 1^{x/} :

1. Dystrybucja programów do małych, lokalnych telewizyjnych ośrodków nadawczych, które emitowałyby sygnały dla obsłużenia niewielkiego stosunkowo obszaru, zwłaszcza przy wykorzystaniu wyższych zakresów częstotliwości.
2. Odbiór grupowy sygnałów przez specjalne stacje odbiorcze, wy-

^{x/} Rysunki są zamieszczone na końcu artykułu.

posażone w anteny o dużej gęstości zaludnienia, przy czym istnieją dwie możliwości wykorzystania nadawanych programów informacyjnych, rozrywkowych i zwłaszcza oświatowych:

- rozsyłanie programów do indywidualnych abonentów za pomocą rozbudowanej sieci kablowej,
- zbiorowe oglądanie programu, na przykład na terenie szkoły, małego osiedla, dużego bloku mieszkalnego itp.

3. Odbiór indywidualny bezpośredni przy wyposażeniu standardowych, dostępnych na rynku, odbiorników telewizyjnych w dodatkowe przystawki odbiorcze, złożone z małych anten o średnicy około 1 m oraz układów przemiany częstotliwości i zamiany rodzaju modulacji.
4. Odbiór indywidualny przy bezpośrednim doprowadzeniu sygnału z anteny na wejście standardowego odbiornika telewizyjnego.

Z dalszych rozważań można na wstępie wyłączyć wariant 1, który jest właściwie tylko inną formą dystrybucji programów pomiędzy ośrodkami telewizyjnymi. Wariant 4, pozornie najbardziej atrakcyjny, nie jest w praktyce możliwy do realizacji ze względu na wymagane zbyt duże moce promieniowania nadajników pokładowych satelitów oraz konieczność pracy w tych samych kanałach radiowych, które są wykorzystywane przez sieci nadajników telewizyjnych na powierzchni Ziemi. To ostatnie stwierdzenie może być pewnym zaskoczeniem dla nefachowców, ponieważ jak wynika z niektórych publikacji zamieszczanych w prasie codziennej niektórzy wyobrażają sobie, że radiodyfuzja satelitarna zapewni bezpośredni odbiór i to z możliwością wyboru programu, sygna-

łów telewizyjnych za pomocą odbiornika abonenckiego bez jakichkolwiek jego modyfikacji.

Co do dwóch pozostałych wariantów rozwiązania wydaje się, że wariant 2 może mieć powszechne zastosowanie w krajach o bardzo dużym obszarze z rzadko rozmieszczonymi skupiskami ludności, natomiast w odniesieniu do krajów o dużej i mniej więcej równomiernej gęstości zaludnienia, jak na przykład krajów europejskich, należy wariant ten uważać raczej jako rozwiązanie tymczasowe, stosowane głównie w okresie przejściowym ze względu na niemożność uzyskania odpowiedniej mocy nadawania, zbyt wysokie koszty indywidualnych przystawek lub na inne czynniki natury nie technicznej, nie pozwalające na realizację systemu według wariantu 3. Docelowo jednak w krajach rozwiniętych jako najbardziej słuszny, umożliwiający "obsłużenie klienta w domu", wydaje się wariant 3, tzn. wyposażenie telewizyjnych odbiorników domowych w specjalne przystawki do odbioru sygnałów nadawanych z satelitów, przy czym doprowadzany z tej przystawki do wejścia odbiornika telewizyjnego sygnał miałby taką samą postać, jak odbieranych z ziemskich nadawczych ośrodków telewizyjnych, a częstotliwość jego odpowiadałaby częstotliwości jednego z radiowych kanałów telewizyjnych, do odbioru których są przystosowane powszechnie używane odbiorniki telewizyjne. Warunki bardzo podobne do indywidualnego odbioru stwarzałoby wyposażenie bloków mieszkalnych w szerokopasmowe instalacje odbioru grupowego i rozpraszanie programów za pomocą kabli instalacyjnych wewnątrz budynku, z możliwością wyboru żądanego programu przez abonenta. Przewiduje się, że oba te rozwiązania będą stosowane jednocześnie.

Tak więc przy docelowym projektowaniu systemu radiodifuzji satelitarnej moc promieniowania nadajnika, a tym samym uzyskiwane natężenie pola w pobliżu powierzchni Ziemi, powinna być dobierana z punktu widzenia stworzenia warunków wymaganej jakości odbioru przez odbiorniki telewizyjne, wyposażane w indywidualne przystawki. Wymagana wyższa jakość odbioru przy odbiorze grupowym /konieczność uwzględnienia tłumienności i niekształceń wprowadzanych przez kablową sieć dystrybucyjną, większa możliwość zakłóceń itp./ byłaby uzyskiwana przy tym samym natężeniu pola przez stosowanie anten o większych średnicach oraz układów małoszumnych wzmacniaczy wstępnych, których zastosowanie w układach odbioru indywidualnego nie jest opłacalne.

Różne warianty wykorzystania emisji programów telewizyjnych z satelitów przedstawione są poglądowo na rys. 1.

3. WYBÓR ORBITY SATELITY

Orbity sztucznych satelitów Ziemi charakteryzują się trzema podstawowymi cechami - odległością od powierzchni Ziemi, kształtem i kątem nachylenia płaszczyzny orbity w stosunku do płaszczyzny równika. Jedną natomiast cechą jest wspólna - płaszczyzna ruchu satelity musi przechodzić zawsze przez środek kuli ziemskiej, przy czym w przypadku orbit kołowych środek kuli ziemskiej jest jednocześnie środkiem orbity, a w przypadku orbity eliptycznej pokrywa się on z jednym z ognisk elipsy. Czas potrzebny na dokonanie przez satelitę pełnego obiegu po orbicie jest proporcjonalny do pierwiastka kwadratowego z trzeciej potęgi dużej półosi orbity, czyli im bliżej położony jest satelita od powierzchni

Ziemi, tym szybciej ją okrąża. Trzy podstawowe orbity, wykorzystywane przez satelity telekomunikacyjne, są przedstawione na rys. 2.

We wszystkich przypadkach, z wyjątkiem orbity synchronicznej /geostacjonarnej/, czas obiegu satelity po orbicie jest różny od czasu obiegu satelity dookoła własnej osi, co oznacza, że satelita będzie się poruszał względem jej powierzchni i to tym szybciej, im mniejsza jest jego odległość od Ziemi. W przypadku natomiast równikowej orbity synchronicznej, gdy satelita znajduje się w odległości około 35.800 km od powierzchni Ziemi /promień orbity względem środka Ziemi wynosi około 42.200 km/, okres obiegu satelity po orbicie wynosi 24 godziny i równa się ściśle czasowi obrotu Ziemi wokół własnej osi. Satelita poruszający się po orbicie zgodnie z kierunkiem obrotu Ziemi będzie miał prędkość kątową taką samą jak prędkość kątowa Ziemi i z tego powodu nie ma względnego ruchu satelity w stosunku do powierzchni Ziemi, objętej zasięgiem widoczności z satelity; obserwator z powierzchni Ziemi będzie zawsze widział satelitę "wiszącego nieruchomo" na niebie. Tego typu satelita jest nazywany satelitą geostacjonarnym. Orbita geostacjonarna jest wykorzystywana przez większość eksploatowanych lub wprowadzanych do eksploatacji porozumiewawczych, międzynarodowych i krajowych systemów satelitarnych. Orbita ta jest zaś szczególnie atrakcyjna dla systemów telewizyjnej rozsiewczej z satelitów, której zadaniem jest dostarczenie programu do wielu miejsc odbioru na powierzchni Ziemi, a w krańcowym przypadku bezpośrednio do odbiorników telewizyjnych abonentów. Zasadniczymi zaletami satelitów geostacjonarnych dla tego systemu jest możliwość stosowania na powierzchni Ziemi nieru-

chomych anten odbiorczych o dużym zysku oraz możliwość wykorzystania do ciągłego odbioru na danej powierzchni Ziemi tylko jednego satelity. Teoretycznie rzecz biorąc, jeden taki satelita może pokryć zasięgiem nadawania $1/3$ powierzchni Ziemi, ale w praktyce jest to niemożliwe, ponieważ trzeba uwzględnić minimalny dopuszczalny kąt elewacji anten odbiorczych ze względu na uniknięcie przeszkód terenowych, zacienianie przez budynki i drzewa itp. Satelita geostacjonarny, znajdujący się na tej samej długości geograficznej co obsługiwany przez niego obszar, będzie widoczny z punktów tego obszaru pod kątem elewacji δ , który można określić ze wzoru:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{\cos \varphi - 0,15}{\sin \varphi}$$

gdzie: φ - szerokość geograficzna punktu odbioru.

Przedstawiono to na wykresie - patrz rys. 3. Przyjmuje się, że kąt ten nie może być mniejszy od $20 - 25^\circ$, co ogranicza obszar objęty zasięgiem nadawania do obszaru zawartego pomiędzy 60° szerokości geograficznej północnej i południowej oraz 60° długości geograficznej wschodniej i zachodniej. Ponieważ z wielu względów nie ma na razie mowy o realizacji systemów radiodifuzji satelitarnej o zasięgu międzynarodowym, obszar objęty zasięgiem kierunkowej anteny pokładowej jest w przewidywanych rozwiązaniach systemowych jeszcze znacznie mniejszy i ogranicza się na ogół do obszaru tylko jednego kraju.

W przypadku krajów położonych na północnej półkuli Ziemi dobre wyniki może również dać wykorzystanie dla celów telewizji rozsiewczej z satelitów 12 godzinnej orbity eliptycznej /apogeum

ok. 40.000 km i perigeum ok. 500 km/, nachylonej pod kątem $63^{\circ}26'$ względem płaszczyzny równika, czyli takiej orbity, przy której wykorzystaniu pracuje obecnie system satelitarny krajów socjalistycznych INTERSPUTNIK. Dzięki wydłużonemu kształtowi orbity w pobliżu apogeum na dużej wysokości satelita porusza się wolno i przez okres około 8 godzin jest dobrze widoczny z dużych obszarów półkuli północnej, w tym również położonych w pobliżu bieguna, które nie mogą być objęte zasięgiem nadawania z satelitów geostacjonarnych. Względna szybkość satelity w pobliżu apogeum jest na tyle mała, że w określonym okresie czasu można również zapewnić warunki ciągłego odbioru przy nieruchomej antenie odbiorczej, o jednak szerszej niż w systemie geostacjonarnym wiązce kierunkowej. Znacznie trudniejsze jednak w tym przypadku byłoby spełnienie warunku, że minimalny kąt elewacji anteny odbiorczej nie powinien być mniejszy od 25° . Również ze względu na zmiany położenia satelity na orbicie dla ciągłego pokrycia danego obszaru antena na satelicie musiałaby w sposób ciągły, automatycznie zmieniać kierunek swojego ustawienia w stosunku do satelity, a dla zachowania pewnej rezerwy wiązki promieniowania anten pokładowych musiałaby być szersze, niż wynikałoby to z wielkości obszarów objętych zasięgiem łączności. Z tego też względu, jak i z powodu zmniejszenia zysku kierunkowego anteny odbiorczej, należałoby zwiększyć krytyczną dość wartość mocy promieniowania nadajników pokładowych.

Tak więc powszechnie przyjmuje się konieczność pracy systemów satelitarnej telewizji rozsiewczej z wykorzystaniem orbity geostacjonarnej. Ze względu na powszechne zainteresowanie wykorzystaniem tej orbity powstaje jednak przy tym problem przeciw-

działania wzajemnym interferencjom na skutek coraz większego /i to nierównomiernie ze względu na ukształtowanie obszarów lądów i oceanów/ zagęszczenia satelitów na tej orbicie przy coraz szybszym rozwoju systemów łączności satelitarnej. Zasadnicze środki zaradcze, to stosowanie anten o odpowiedniej kierunkowości, zapewnienie małych poziomów listków bocznych anten na satelitach i stacjach odbiorczych, stosowanie separacji polaryzacyjnej /polaryzacje ortogonalne/ oraz szerokopasmowych metod modulacji, odpornych na interferencje. Coraz ściślej precyzowane porozumienia międzynarodowe określają zasady rozmieszczania satelitów na orbicie z dopuszczalnymi na niej zmianami położenia w czasie oraz zasady wykorzystywania zakresów częstotliwości, przydzielonych do pracy służb satelitarnych. Tak więc na przykład w początku 1977 roku planowane jest odbycie w Genewie Światowej Administracyjnej Konferencji Radiowej ds. Planowania Satelitarnej Służby Radiodfuzyjnej w zakresie częstotliwości 11,7 - 12,5 GHz, na której zostaną m.in. ustalone zasady rozdziału kanałów radiowych w tym zakresie częstotliwości dla poszczególnych krajów lub regionów oraz zasady wykorzystania orbity geostacjonarnej przez satelity tej służby satelitarnej.

4. WYBÓR OPTYMALNEGO POŁOŻENIA SATELITY NA ORBICIE WZGLĘDEM POWIERZCHNI ZIEMI OBJĘTEJ ZASIĘGIEM NADAWANIA

Teoretycznie wydawałoby się, że satelita radiodfuzyjny powinien być umieszczony na orbicie geostacjonarnej na długości geograficznej odpowiadającej długości geograficznej środka obszaru,

który ma obsługiwać /np. około 20° dł. wschodniej dla satelity, który miałby obsługiwać obszar Polski/. Jednym z powodów jest to, że w okresach pomiędzy 1 marca do 11 kwietnia i 1 września do 11 października satelita na orbicie geostacjonarnej raz na dobę na około 1 godzinę znajduje się w cieniu Ziemi, co stwarza poważne problemy wyrównywania bilansu cieplnego i zasilania urządzeń pokładowych satelitów w tych okresach. Normalnie urządzenia pokładowe są zasilane z baterii słonecznych, rozmieszczonych albo na powierzchni walcowatego korpusu satelity, albo, przy większych zapotrzebowaniach na zasilanie /w tym przypadku konieczna jest stabilizacja pozycji całego korpusu satelity zamiast często stosowanej stabilizacji względem środka obrotu/ na specjalnych rozwijanych po wprowadzeniu satelity na orbitę "skrzydłach" o odpowiednio regulowanym, w takt zmiany położenia Słońca względem satelity /z szybkością 1 obrót na dobę/ kierunku ustawienia, co zwiększa powierzchnię napromieniowania i skuteczność działania baterii słonecznych. Ponieważ, ze względu na duże stosunkowo moce nadawania nadajników pokładowych w systemach telewizji satelitarnej, zastosowanie na satelicie akumulatorów /ładowanych z baterii słonecznych w czasie ich oświetlenia promieniami słonecznymi/ będzie bardzo utrudnione lub wręcz niemożliwe, oznaczałoby to przerwę w transmisji na czas lotu satelity w cieniu Ziemi, przedłużonego w praktyce o czas ponownego podjęcia pracy przez układy zasilania, nagrzania się nadajnika i podłączenia się do swojej anteny o skorygowanym kierunku ustawienia. Jako jeden ze środków zaradczych rozpatruje się celowość umieszczenia satelity na orbicie z pewnym przesunięciem kątowym na zachód w stosunku do obsługiwanego obszaru /w granicach 15

do 25°/, dzięki czemu wymuszony okres przerwy w nadawaniu zostałby przesunięty na mniej ważne wczesne godziny ranne. Komplikuje to jednak i tak złożoną sprawę kompleksowego projektowania systemów radiodifuzji satelitarnej na świecie i wymaga przeprowadzenia uzgodnień międzynarodowych.

Innym czynnikiem, który stoi na przeszkodzie umieszczenia satelitów na tej samej długości co środek obszaru, który mają obsługiwać, jest również kompleksowa sprawa wielokrotnego wykorzystania tych samych kanałów radiowych do oświetlenia różnych obszarów na powierzchni Ziemi, dla zapobieżenia wzajemnym interferencjom położonych w dość znacznej od siebie odległości. Zagadnienie to będzie przedmiotem bliższych rozważań w rozdziale 7. Ponadto należy uwzględnić fakt, że w ciągu pewnych, na szczęście krótkich, okresów czasu w roku antena "widzi" Ziemię na tle Słońca, co może tak zwiększyć poziom szumów, że uniemożliwi prawidłowy odbiór sygnałów. Jedynym środkiem zaradczym może być w tym przypadku znowu dobór położenia satelity względem oświetlanego obszaru lub przełączanie w tych okresach transmisji na satelity rezerwowe, położone na innych długościach geograficznych tej samej orbity.

Bardzo istotną i decydującą niejednokrotnie o prawidłowości i czasie wykorzystania satelity jest sprawa stabilizacji położenia satelity na orbicie i zmiana jego pozycji względem powierzchni Ziemi. Satelita zmienia okresowo swoje położenie nawet na synchronicznej orbicie geostacjonarnej, zarówno wzdłuż tej orbity jak i w płaszczyźnie względem niej prostopadłej, na skutek takich czynników, jak gruszkowaty kształt Ziemi, działanie przyciągających sił Księżyca i Słońca oraz ciśnienie promieniowania słonecz-

nego /w przypadku satelitów na orbicie eliptycznej może jeszcze wchodzić w grę hamujące działanie atmosfery przy locie satelity w pobliżu perigeum/. W niewielkich granicach zmianę położenia satelity na orbicie kompensuje się przez zmianę kierunków ustawienia anten pokładowych, ale przy większych odchyleniach trzeba korygować położenie samego satelity. Korekcja położenia jest dokonywana powszechnie przez regulowany wypust sprężonego gazu, zmagazynowanego w odpowiednich zbiornikach pokładowych uruchamianych na rozkaz z Ziemi, działających na zasadzie silnika odrzutowego.

Sprawa stabilizacji położenia satelitów na orbicie oraz gęstości ich rozmieszczenia jest nadal badana, co znajduje swój wyraz w ciągle zmienianych i uściślanych zaleceniach międzynarodowych, opracowywanych na forum Międzynarodowego Związku Telekomunikacyjnego. Obecnie zalecane jest utrzymanie stabilności położenia na orbicie z dokładnością $\pm 0,5^{\circ}$, ale do czasu wprowadzenia do użytku na szerszą skalę systemów radiodifuzji satelitarnej należy się liczyć z koniecznością spełnienia wymagań stabilizacji w granicach $\pm 0,1^{\circ}$ wzdłuż orbity oraz nawet jeszcze ostrzejszych wymagań w płaszczyźnie prostopadłej do orbity. W odniesieniu do rozmieszczenia satelitów na orbicie można, w oparciu o opinie wygłaszane przez przedstawicieli krajów przodujących w zakresie łączności satelitarnej, orientacyjnie przyjąć, że satelity różnych systemów radiodifuzyjnych, pracujące przy wykorzystaniu tego samego zakresu częstotliwości, powinny być rozmieszczone względem siebie na orbicie geostacjonarnej w odstępach kątowym nie mniejszym od $2-3^{\circ}$.

Drugim zagadnieniem jest utrzymanie stałej pozycji satelity względem powierzchni Ziemi tak aby antena pokładowa satelity była zwrócona stale w pożądanym kierunku. Zagadnienie to jest specjalnie istotne w odniesieniu do systemów satelitarnej telewizji rozsiewczej ze względu na duże kierunkowości stosowanych anten pokładowych /rozwartość wiązki promieniowania nie większa od kilku stopni/ oraz konieczność uniknięcia, nawet przypadkowego, objęcia zasięgiem programu krajów sąsiednich. W zakresie stabilizacji pozycji satelity istnieją dwa zasadnicze rozwiązania, a mianowicie, nadanie satelicie ruchu obrotowego względem osi prostopadłej do płaszczyzny orbity przy jednoczesnym przeciwnym ruchu obrotowym anteny, jak również ewentualnie współpracujących z nią urządzeń retransmisyjnych /rozwiązanie stosowane w satelitach typu INTELSAT/ lub stabilizacja pozycji korpusu całego satelity względem trzech osi, najczęściej przez zastosowanie dodatkowych kół wirujących o regulowanej zdalnie szybkości obrotu /rozwiązania stosowane w niektórych regionalnych systemach łączności satelitarnej/.

Dla systemów radiodifuzji satelitarnej rzeczą korzystną, a nawet w wielu przypadkach niezbędną, będzie stosowanie pełnej stabilizacji całego satelity. Wynika to m.in. z przewidywanej potrzeby umieszczania na jednym satelicie po kilka anten, obsługujących niezależne, oddalone od siebie obszary Ziemi, zwłaszcza przy wielokrotnym wykorzystaniu tych samych kanałów radiowych oraz z konieczności zapewnienia stabilności kierunku promieniowania tych anten. Przewiduje się, że będzie zachodziła konieczność utrzymania tego kierunku w granicach dopuszczalnych odchyień nie

większych od $0,1^\circ$, zwłaszcza przy oświetlaniu małych, wydzielanych obszarów Ziemi.

5. ZALEŻNOŚĆ POMIĘDZY SZEROKOŚCIĄ WIAZKI PROMIENIOWANIA ANTENY POKŁADOWEJ I WIELKOŚCIĄ OBSZARU NA POWIERZCHNI ZIEMI, OBJĘTEGO ZASIĘGIEM NADAWANIA

Wielkość i kształt obszaru objętego zasięgiem nadawania anteny pokładowej zależą od kształtu wiązki promieniowania tej anteny oraz położenia geograficznego oświetlanego obszaru względem położenia satelity na orbicie geostacjonarnej. W przypadku gdy charakterystyka promieniowania anteny ma przekrój kołowy, a środek charakterystyki jest zgodny z tzw. punktem podsatelitarnym, tzn. antena skierowana jest pionowo w dół, oświetlony na Ziemi obszar ma kształt w przybliżeniu kołowy, a średnicę tego obszaru można wyznaczyć z uproszczonego wzoru:

$$\phi = \frac{2\pi L \alpha^\circ}{360^\circ} = \frac{2\pi 38\,500 \text{ km} \cdot \alpha^\circ}{360^\circ} \approx 650 - 700 \text{ km}/1^\circ \cdot \alpha^\circ$$

gdzie: L - odległość satelity od powierzchni Ziemi

α - kąt rozwartości wiązki kierunkowej anteny /pomiędzy punktami spadku mocy o 3 dB/

Ze wzoru tego wynika, że dla takiego przypadku średnica oświetlonego obszaru jest liniową funkcją rozwartości wiązki promieniowania anteny i dla oświetlenia obszaru w kształcie koła i średnicy 700 km antena pokładowa powinna mieć kąt rozwartości około 1° . Przy założeniu stosowania anteny parabolicznej zależność po-

między kątem rozwartości, średnicą anteny i długością fali można wyrazić w przybliżeniu wzorem:

$$\alpha^{\circ} \approx \frac{70}{D/\lambda} \quad \text{czyli} \quad D \approx \frac{70 \cdot \lambda}{\alpha^{\circ}}$$

gdzie: D - średnica anteny w metrach

λ - długość promieniowanej fali w metrach.

Zależności te przedstawiono w postaci wykresu dla częstotliwości 12 GHz na rys. 4.

Zgodnie z informacjami podanymi w rozdz. 6 dla systemów radiodifuzji satelitarnej rozpatrywane jest wykorzystanie zakresów częstotliwości około 700 MHz, 2,6 GHz, 12 GHz. Dla uzyskania kąta rozwartości promieniowania anteny pokładowej 1° /czyli średnicy oświetlanego obszaru 700 km/ dla ww zakresów częstotliwości średnice anten powinny w przybliżeniu wynosić:

- | | | |
|---------------------------|------------------------------|----------------------|
| 1. $f = 700 \text{ MHz};$ | $\lambda = 0,43 \text{ m};$ | $D = 30 \text{ m}$ |
| 2. $f = 2,6 \text{ GHz};$ | $\lambda = 0,11 \text{ m};$ | $D = 7,7 \text{ m}$ |
| 3. $f = 12 \text{ GHz};$ | $\lambda = 0,025 \text{ m};$ | $D = 1,75 \text{ m}$ |

W warunkach rzeczywistych sytuacja znacznie się komplikuje ze względu na to, że środek oświetlanego obszaru jest położony z reguły na innej szerokości i długości geograficznej niż punkt podsatelitarny. Skierowanie na ten punkt anteny o kołowym przekroju charakterystyki promieniowania powoduje oświetlenie obszaru powierzchni o kształcie zbliżonym do elipsy, z bardziej wydłużoną i zwężoną tą częścią, która jest położona geograficznie bliżej w stosunku do punktu podsatelitarnego.

6. ZAKRESY CZĘSTOTLIWOŚCI PRACY PRZEWIDZIANE DLA SŁUŻB TELEWIZYJNEJ RADIODYFUZJI SATELITARNEJ

Światowa Administracyjna Konferencja do Spraw Telekomunikacji Satelitarnej w 1971 r. przeznaczyła do wykorzystania przez regionalne i krajowe służby telewizyjnej radiodyfuzji satelitarnej następujące zakresy częstotliwości:

Dla kierunku Satelita-Ziemia / radiodyfuzja/ :

| | | | |
|------|---|----------|---|
| 606 | - | 790 MHz | |
| 2500 | - | 2690 MHz | |
| 11,7 | - | 12,5 GHz | |
| 41 | - | 43 GHz | } |
| 84 | - | 86 GHz | |

zastosowanie przyszłościowe

Dla kierunku Ziemia-Satelita /doprowadzanie sygnałów telewizyjnych do modulacji nadajników pokładowych/ :

| | | |
|-------|---|-----------|
| 10,95 | - | 11,2 GHz |
| 12,5 | - | 12,75 GHz |
| 14,0 | - | 14,5 GHz |

Zagadnienie doboru zakresu częstotliwości pracy dla kierunku Ziemia-Satelita jest dla systemu radiodyfuzji satelitarnej sprawą drugorzędną, podlegającą tym samym prawom co wybór zakresów częstotliwości i rozdział kanałów radiowych dla systemów satelitarnych porozumiewawczych, gdy sygnały przesyłane są pomiędzy określonymi punktami powierzchni Ziemi, w których są zlokalizowane naziemne stacje nadawczo-odbiorcze. Na ogół projekty sy-

stemów radiodifuzji satelitarnej przewidują w tym celu wykorzystanie zakresu około 14 GHz.

Z pozostałych do dyspozycji zakresów częstotliwości dla kierunku Satelita-Ziemia najbardziej atrakcyjny wydaje się zakres około 700 MHz ze względu na to, że są to częstotliwości leżące w V zakresie częstotliwości stosowanym w systemach radiodifuzji telewizyjnej na powierzchni Ziemi, a nowoczesne, obecnie produkowane odbiorniki telewizyjne są lub mogą być łatwo przystosowane do odbioru sygnałów w tym zakresie częstotliwości. Przy głębszym jednak rozpatrzeniu zagadnienia sprawa nie przedstawia się tak korzystnie. Po pierwsze bowiem w chwili obecnej nie jest możliwe stosowanie w systemach telewizyjnych satelitarnych jednowstęgowej modulacji amplitudy ze względu na związane z tym, nieosiągalne moce nadajników pokładowych /patrz rozdziały 8 i 10/, na skutek czego nie byłby możliwy odbiór bezpośredni i zachodziłaby konieczność stosowania na wejściu odbiornika układu przemiany rodzaju modulacji, podobnie jak przy wykorzystaniu wyższych zakresów i odpadałaby jedynie konieczność stosowania układów przemiany częstotliwości. Po drugie w związku z małą częstotliwością konieczne byłoby stosowanie anten pokładowych i odbiorczych o stosunkowo dużych wymiarach, kosztownych i niewygodnych w eksploatacji. Po trzecie wreszcie, w związku z pracą w tym zakresie częstotliwości radiodifuzyjnych służb ziemskich szczególnej ostrości nabiera zagadnienie uniknięcia wzajemnych interferencji pomiędzy radiodifuzyjnymi służbami satelitarnymi i ziemskimi. Wylaje się, że praktyczne zainteresowanie wykorzystaniem tego zakresu częstotliwości ograniczy się do obszarów kuli ziemskiej o mało rozbudowanych syste-

mach łączności ziemskiej, jak Indie, Związek Radziecki /część terytorium pozaeuropejskiego/ oraz niektóre kraje afrykańskie.

Zakres częstotliwości około 2,5 GHz jest w dużym stopniu wykorzystywany przez ziemskie służby radiokomunikacyjne, zwłaszcza linie radiowe. Wykorzystanie tego zakresu może się okazać atrakcyjne dla niektórych krajów leżących w obszarze tropików ze względu na spodziewane zbyt duże okresowe tłumienie fal około 12 GHz /silne opady/ oraz gdzie systemy radiokomunikacji ziemskiej w zakresie 2,5 MHz są mało rozbudowane.

Tak więc największe zainteresowanie projektantów systemu odnosi się do zakresu około 12 GHz. Zgodnie z obecnym rozeznaniem zagadnienia za wyborem zakresu 12 GHz przemawiają następujące względy:

- zakres 12 GHz jest jak dotychczas mało wykorzystywany przez ziemskie służby łączności /przede wszystkim linie radiowe/, w związku z czym zmniejsza się możliwość występowania wzajemnych interferencji. Ponadto systemy ziemskie będą musiały się "dopasować" do potrzeb systemów radiodyfuzji satelitarnej, a nie odwrotnie, jak to miałyby miejsce przy wykorzystaniu dwóch pozostałych zakresów;
- dostępne szerokie pasmo częstotliwości /800 MHz/ pozwala na nadawanie w tym samym zakresie częstotliwości, nawet bez powtórnego wykorzystywania tych samych kanałów radiowych około 20 programów telewizyjnych jednocześnie;
- możliwe jest uzyskanie wąskiej wiązki promieniowania anteny pokładowej satelity i dużej selektywności przestrzennej odbioru przy małych wymiarach anten.

Istnieją jednak i pewne niedogodności związane z wyborem zakresu częstotliwości około 12 GHz. Przede wszystkim w wielu krajach nie jest jeszcze dostatecznie opanowana technika budowy urządzeń na ten zakres częstotliwości, zwłaszcza w zakresie masowej produkcji elementów półprzewodnikowych, co utrudniać będzie, przynajmniej w początkowych okresach, produkcję przystawek odbiorczych i podnosić ich koszt.

Mniej korzystne są również warunki propagacji fal w tym zakresie częstotliwości. Wpływ absorpcji molekularnej w troposferze i jonosferze silnie wzrasta ze wzrostem częstotliwości fali /w zakresie częstotliwości 0,1 - 10 GHz różnica ta wynosi około 5 decybeli/, co trzeba uwzględnić przy bilansie energetycznym linii Satelita-Ziemia. Jeszcze bardziej nieprzyjemny jest wzrost tłumienia propagacji na skutek silnych opadów, zależny ponadto od kąta elewacji anteny odbiorczej. Na przykład tłumienie spowodowane silnym opadem deszczu o intensywności powyżej 10 mm/godzinę powoduje na falach o częstotliwości około 15 GHz dodatkowe tłumienie około 1 dB na kilometr drogi, którą fala przebywa w obszarze opadów. Wyniki badań praktycznych prowadzonych na terenie niektórych krajów pozwalają na założenie, że przy przyjętym minimalnym kącie elewacji anteny odbiorczej 25° należy się liczyć z okresowym wzrostem tłumienia odbieranych fal o około 4 dB.

7. ZAGADNIENIE OPTYMALNEGO WYKORZYSTANIA DYSPONOWANYCH ZAKRESÓW CZĘSTOTLIWOŚCI

W praktyce ze względów technicznych i ekonomicznych zrealizowanie systemów radiodifuzji satelitarnej o zasięgu światowym nie jest brane pod uwagę, rozważane są tylko systemy krajowe lub co najwyżej regionalne, obejmujące swoim zasięgiem obszar kilku sąsiadujących krajów.

Uwzględniając dodatkowo fakt, że poszczególne kraje docelowo pragną wykorzystać systemy radiodifuzji satelitarnej do nadawania jednocześnie kilku programów na różnych częstotliwościach, szerokość dysponowanych pasm częstotliwości jest bardzo ograniczona i należy opracować metody optymalnego ich zagospodarowania.

Przyjmując orientacyjnie przewidywaną szerokość kanału radiowego do transmisji sygnałów telewizyjnych z satelitów równą 40 MHz /patrz rozdział 8/ w zakresie 12 GHz /11,7 - 12,5 GHz/ można zrealizować jednoczesną transmisję tylko 20 programów w różnych kanałach radiowych. Wydaje się przeto sprawą konieczną opracowanie odpowiednich planów rozdziału fal, akceptowanych i przestrzeganych przez zainteresowane kraje. Z punktu widzenia technicznego podstawową metodą jest wielokrotne wykorzystanie częstotliwości tych samych kanałów radiowych do emisji różnych programów na różne kraje, dostatecznie od siebie pod względem geograficznym odległe, przy wykorzystaniu urządzeń zainstalowanych na tym samym lub różnych satelitach.

Wiąże się z tym oczywiście złożone zagadnienie zapobieżenia wzajemnym interferencjom, co jest równoznaczne przede wszyst-

kim z koniecznością ograniczenia poziomu listków bocznych anten pokładowych i odbiorczych oraz stosowaniem w bardziej krytycznych sytuacjach separacji polaryzacyjnej przez wykorzystanie wzajemnie ortogonalnych polaryzacji liniowych lub kołowych. Zagadnienie wielokrotnego wykorzystania tej samej częstotliwości kanału radiowego ilustruje rys. 5, przy czym rys. 5a/ przedstawia geometrię dróg rozchodzenia się sygnałów pożądaných i zakłócających, a rys. 5b/ - zasady realizacji emisji wielu programów na różnych częstotliwościach na danym obszarze Ziemi. Na rysunku 5a/ przedstawiony jest obszar a obsługiwany przez satelitę A i obszar b obsługiwany przez satelitę B. Z rysunku widać, że droga rozchodzenia się /linia przerywana/ sygnałów interferencyjnych z satelity B oddziałujących na obszar a jest taka, że następuje znaczne osłabienie tych sygnałów zarówno ze względu na rozbieżności kątowe kierunków nadawania /kąt α_s /, jak i odbioru /kąt α_R /. Przy dostatecznie dużych separacjach geograficznych obsługiwanych obszarów, kierunkowości obu rodzajów anten mogą być nawet same w sobie czynnikiem wystarczającym i do oświetlenia dwóch obszarów a i b może być wykorzystany ten sam satelita A przy rozbieżności wiązek promieniowania w obu kierunkach α_T .

W celu ograniczenia możliwości wzajemnych zakłóceń określono również dopuszczalne gęstości strumienia mocy przy powierzchni Ziemi, pochodzące na skutek promieniowania satelitów /przy uwzględnieniu równoważnej mocy promieniowania, EIRP, równej w decybelach sumie mocy nadajnika i zysku anteny pokładowej/. Dla zakresu 700 MHz dopuszczalna gęstość strumienia mocy wynosi - 129 dBW/m² przy kącie elewacji /docierania fal do powierzchni Ziemi/ większym od 25°, dla zakresu 2,5 GHz - 154 +/θ-5/2 dBW/m²

przy kącie elewacji θ w granicach od 15° do 25° i - 144 dBW/m² przy kącie elewacji w granicach $25^\circ < \theta < 90^\circ$. Wartości te odnoszą się do dowolnego wycinka pasma o szerokości 4 kHz przy dowolnym rodzaju modulacji i dla dowolnego odcinka czasu. Dla zakresu 12 GHz nie określono dotychczas dla służb radiodifuzyjnych dopuszczalnego poziomu gęstości strumienia mocy na powierzchni Ziemi.

Na rysunku 6 przedstawiono jedną ze zgłoszonych do CCIR propozycji co do wartości i funkcji zmiany dopuszczalnej gęstości strumienia mocy na powierzchni Ziemi dla systemu radiodifuzji satelitarnej, pracującego w zakresie częstotliwości około 12 GHz i zastosowaniu modulacji częstotliwości /pasma kanału radiowego około 30 MHz/. Dla orientacji naniesiono na wykresie minimalne wymagane gęstości strumieni mocy dla odbioru grupowego i indywidualnego, otrzymane w wyniku obliczeń przeprowadzonych w rozdz. 10.

8. WYBÓR RODZAJU MODULACJI STRUKTURA NADAWANEGO SYGNAŁU

Należy wziąć pod uwagę możliwość stosowania jednego z trzech rodzajów modulacji, a mianowicie modulacji amplitudy AM z częściowym tłumieniem jednej wstęgi bocznej, szerokopasmowej modulacji częstotliwości FM oraz modulacji cyfrowej; najbardziej atrakcyjna wydaje się przy tym modulacja kodowa impulsowa z kluczowaniem fazy fali nośnej PCM-PSK.

Z punktu widzenia prostoty i oceny urządzeń odbiorczych najbardziej dogodne wydawałoby się stosowanie modulacji amplitudy,

ponieważ w tym przypadku w skład przystawki odbiorczej nie wchodziłby układ przemiany rodzaju modulacji. Ze względu jednak na małą szerokość pasma nadawania generator lokalny układu przemiany częstotliwości musiałby mieć stałość częstotliwości około 100kHz, co oznacza wymaganie stabilności 10^{-5} w przewidzianym zakresie zmian temperatury. Ponadto niemożliwe jest praktycznie przestrajanie układu przez zmianę częstotliwości generatora i w przypadku konieczności odbioru kilku programów układy wejściowe i wzmacniacze częstotliwości pośredniej musiałyby mieć pasmo przenoszenia odpowiadające zakresowi częstotliwości zajmowanemu przez kanały radiowe przeznaczone do transmisji tych sygnałów, a wybór pożądanego kanału następowałby przez przełączanie kanału częstotliwościowego w odbiorniku.

W odniesieniu do urządzeń odbiorczych modulacje FM i PCM-, -PSK są o tyle mniej korzystne, że poza przemianą częstotliwości potrzebny jest również układ przemiany modulacji. Natomiast oba rodzaje modulacji ze względu na swoją szerokopasmowość mają tę zaletę, że wymagania na stałość częstotliwości generatorów lokalnych mogą być znacznie obniżone, w granicach 10^{-3} - 10^{-4} . Można stosować generatory samowzbudne na diodach Gunna, przy których stosunkowo prosto dają się realizować układy automatycznego podstrajania częstotliwości.

Drugim czynnikiem, który należy z kolei uwzględnić, jest wymagana moc nadajnika satelity. Zakładając do rozważań, że wielkość oświetlanego terytorium kraju wymaga stosowania anteny o kącie rozwarcia wiązki promieniowania około 1° , wymagana moc nadajnika przy AM wynosiłaby, jak wynika z obliczeń podanych w rozdziale 10, ponad 10 kW, co jest technicznie na razie nieosią-

galne. W przeciwieństwie do tego, dla uzyskania tej samej jakości odbieranego obrazu moc nadawania przy stosowaniu szerokokopasmowej modulacji FM mogłaby być przynajmniej dziesięciokrotnie mniejsza.

Gdyby nawet udało się w przyszłości uzyskać wymagane moce promieniowania nadajników, to i tak stosowanie w systemach telewizji satelitarnej modulacji AM wydaje się wątpliwe ze względu na możliwość interferencji ze służbami ziemskimi. Dla uniknięcia interferencji przy pracy dwóch systemów na tej samej częstotliwości konieczny jest odstęp poziomu sygnału użytecznego do zakłócanego około 45 dB. Dodatkowo na skutek zjawiska Dopplera, występującego przy niewielkich nawet zmianach położenia satelity, nie ma możliwości precyzyjnego "offsetu" /utrzymanie odstępu kilkuherzowego pomiędzy częstotliwościami nośnymi/ i występuje zjawisko okresowego wzrostu tłumienia każdego z docierających do odbiornika sygnałów, na skutek których to przyczyn niektórzy specjaliści uważają, że należałoby ten współczynnik ochrony zwiększyć nawet do 60 dB.

W przypadku szerokopasmowej modulacji częstotliwości, mniej podatnej na zakłócenia interferencyjne /tzw. zysk modulacji/, sytuacja w tym względzie jest o wiele korzystniejsza. Przy przyjmowanej powszechnie wartości dewiacji około +12 MHz /szerokość kanału radiowego około 28 - 30 MHz i odstępu pomiędzy sąsiednimi kanałami około 35 - 40 MHz/ wymagany stosunek sygnału pożądanego do zakłócającego wynosi tylko około 25 dB i w wielu przypadkach przy pracy na tych samych częstotliwościach wystarczy tylko zastosowanie separacji polaryzacyjnej /tzn. dwóch polaryzacji ortogonalnych/, aby uniknąć interferencji pomiędzy

dwoma sygnałami o tej samej w przybliżeniu mocy.

W normalnych warunkach ziemskich sygnał telewizyjny składa się z sygnału wizji i sygnału dźwięku towarzyszącego, przy czym oba sygnały są przesyłane łącznie na zasadzie zwielokrotnienia częstotliwościowego przy modulacji częstotliwości sygnałem dźwięku, tzw. częstotliwości podnośnej. W przypadku transmisji satelitarnych są w zasadzie możliwe dwie metody, a mianowicie podobnie jak w systemach ziemskich oraz na zasadzie modulacji impulsowej przy zwielokrotnieniu czasowym sygnałów wizji i dźwięku / sygnały dźwięku przesyłane na zasadzie modulacji impulsowej na impulsach gaszacych linii/.

Należy ponadto uwzględnić, że w przypadku telewizji rozsiewczej z satelitów nadawanie tylko jednego sygnału dźwięku towarzyszącego będzie w większości przypadków niewystarczające, czy to ze względu na różnojęzyczność, którą trzeba zwłaszcza brać pod uwagę przy systemach telewizji satelitarnej o dużym zasięgu odbioru, czy też w przypadku bezpośrednich transmisji międzynarodowych co najmniej w postaci tzw. kanału komentatorskiego. Dlatego należy jako minimum uznać konieczność transmisji z sygnałem wizji co najmniej dwóch sygnałów dźwięków towarzyszących.

Zasady łączenia sygnałów wizji i fonii przy modulacji podnośnych dostatecznie wyjaśnia rys. 7. Ze względu na trójkątny kształt widma szumów przy modulacji częstotliwości podnośnej dźwięków przypadają przy tym w obszarze dużego poziomu szumu. Dla zapewnienia wymaganej jakości dźwięku przy modulacji FM poziom podnośnych dźwięków musi być przeto większy, niż przy przesyłaniu sygnału wizji na zasadzie modulacji amplitudy z czę-

ściowo tłumioną wstęgą boczną. Dodatkowy kłopot sprawia fakt, że przy modulacji FM odbiór sygnałów w ograniczonym pasmie częstotliwości, określonym zgodnie z regułą Carsona, powoduje zakłócenia obrazu przez sygnały podnośnych fonii, co uwydatnia się szczególnie, jak wykazały badania analityczne i pomiary, przy przesyłaniu dwóch podnośnych dźwięku.

Trudności tych można teoretycznie uniknąć w drugim systemie przesyłania sygnałów dźwięku, który polega na tym, że nadawane sygnały foniczne modułują przebiegi impulsowe. Może tu być stosowana modulacja szerokości impulsów lub modulacja kodowa impulsowa. Zmodulowane przebiegi impulsowe są przesyłane poniżej poziomu czerni w trakcie trwania impulsów gaszących linii. Jednakże metodą to nie można przesyłać więcej niż jednego sygnału dźwięku o średniej jakości /pasma 10 kHz/. a ponadto trudno sobie wyobrazić, aby związane z tym skomplikowanie układów mogło być w założeniu zastosowane w prostych urządzeniach przystawek odbiorczych.

9. JAKOŚĆ ODBIERANEGO SYGNAŁU

Na wstępie należy zaznaczyć, że nie istnieją jeszcze żadne zalecenia lub normy międzynarodowe, które określałyby wymaganą jakość obrazu telewizyjnego przy odbiorze sygnałów z satelity w różnych warunkach odbioru /obszar miejski, wiejski itp./. Rozważania niniejsze będą więc miały jedynie charakter informacyjny.

Jako podstawowy wskaźnik jakości odbioru można przyjąć stosunek sygnału do szumów w kanale wizji, a ściślej w odniesieniu do systemów telewizji kolorowej stosunek sygnału do szumów w kana-

le luminancji. W założeniach projektowych różnego typu systemów radiodifuzji satelitarnej wychodzi się na ogół z podstawowej zasady, że jakość odbioru sygnałów telewizji satelitarnej powinna być docelowo nie gorsza niż jakość odbioru sygnałów telewizji ziemskiej w warunkach dobrego odbioru, tzn. w obszarach wiejskich przy dobrej pogodzie w niezbyt dużej odległości od stacji nadawczej. Zgodnie z tym, stosunek amplitudy sygnału obrazu /w kanale luminancji/ do średniej kwadratowej wartości szumu ważonego nie powinien być mniejszy od około 45 dB w ciągu więcej niż 99,9% czasu całego roku /na katodzie kineskopu/. Dla standardu telewizyjnego 625-liniowego odpowiada to tzw. I klasie jakości obrazu, którą zgodnie z propozycjami CCIR definiuje się jako: "Obraz o jakości doskonałej, odtwarzany na ekranie o rozmiarze dowolnym. Przy oglądaniu obrazu z odległości równej 5 do 6 wysokości ekranu szумы mogą występować na granicy dostrzegalności". W pierwszym okresie realizacji systemów, ze względu m.in. na trudności z uzyskaniem odpowiedniej mocy nadawania, proponuje się dopuścić jakość obrazu nieco gorszą, określoną przez stosunek sygnału do szumu około 38 dB i odpowiadającą warunkom odbioru w obszarach silnie uprzemysłowionych w dość znacznej odległości od nadajnika. Uzyskuje się wówczas II klasę odbioru, scharakteryzowaną jako "Obraz o jakości bardzo dobrej, odtwarzany na ekranie o rozmiarze średnim lub małym. Szумы są dostrzegalne, ale nie zakłócają jakości obrazu i nie wywołują zastrzeżeń ze strony widzów".

Chociaż do obliczeń systemowych podanych w rozdziale następnym będzie przyjmowany wymagany stosunek sygnału do szumów równy 45 dB, to jednak ze względów propagacyjnych można by wła-

ściwie przyjąć, że spełnienie warunków odbioru według wymagań klasy II przy systemie rozsiewczym ziemskim odpowiada jakości odbioru klasy I przy systemie rozsiewczym satelitarnym, ponieważ ze względu na przyjęty minimalny kąt elewacji anteny odbiorczej 25° nie występuje zjawisko przesłaniania, a warunki propagacji są praktycznie jednakowe dla wszystkich odbiorników, położonych w granicach obsługiwanego obszaru.

Na zakończenie należy zaznaczyć, że w rozważaniach niniejszych pominięto milczeniem sprawę występowania zakłóceń w systemie radiodyfuzji satelitarnej na skutek interferencji ze strony innych systemów radiodyfuzyjnych, ziemskich i satelitarnych. Przyjęto bowiem, że przy spełnianiu wymagań kompatybilnej pracy tych systemów zakłócenia interferencyjne będą tak małe, iż będą się zawierały w dopuszczalnym poziomie szumów na wejściu odbiornika.

10. BILANS MOCY DLA KIERUNKU TRANSMISJI SATELITA-ZIEMIA

Punktem wyjścia przy projektowaniu systemu łączności satelitarnej jest sporządzenie tzw. bilansu energetycznego dla tras transmisji Ziemia-Satelita i Satelita-Ziemia, w którym uwzględnia się wszystkie występujące na tych trasach zyski i straty, tzn. moce nadawania, zyski anten, zyski modulacji, czułości urządzeń odbiorczych, tłumienie trasy, tłumienie elementów łączących, dodatkowe tłumienia na skutek pogarszania warunków propagacyjnych itp. Bilans taki pozwala na wyznaczenie wymaganych parametrów podstawowych członów systemu, a tym samym często

i na określenie realności realizacji systemu oraz optymalizacji warunków pracy systemu przez dobór metodą kompensacji wartości niektórych parametrów, na przykład zmniejszenie mocy nadawania kosztem powiększenia zysku anten itp.

W przypadku systemu radiodyfuzji satelitarnej interesujący jest zwłaszcza bilans dla kierunku Satelita-Ziemia, przede wszystkim ze względu na wyznaczenie wymaganej mocy nadajnika pokładowego; dla kierunku przeciwnego wartości parametrów są analogiczne jak dla satelitarnych systemów transmisyjnych.

Zależność pomiędzy mocą otrzymywaną na wejściu urządzenia odbiorczego a pozostałymi parametrami systemu można określić za pomocą wzoru:

$$P_o = \frac{P_N G_N G_o c^2}{/4\pi L/{}^2 f^2 S}$$

gdzie: P_o - moc sygnału na wejściu odbiornika } te same
 P_N - moc nadajnika } jednostki

G_N i G_o - zyski anten nadawczej i odbiorczej

L - odległość między antenami w km

c - szybkość światła w km/s

f - częstotliwość w Hz

S - współczynnik uwzględniający dodatkowe straty

$c^2/4\pi L/{}^2 f^2$ - tłumienie propagacji w wolnej przestrzeni

Na wejściu odbiornika poza sygnałem użytecznym występują szumy, których źródłem są zakłócenia zewnętrzne docierające do anteny oraz szumy własne odbiornika, określane często zastępczą temperaturą szumową T . Moc tych szumów można wyrazić wzorem:

$$P_{sz} = kTB$$

gdzie: T - temperatura szumowa układu odbiorczego

k - stała Boltzmana $1,38 \cdot 10^{-23} \text{ W s / } ^\circ\text{K}$

B - szerokość pasma odbiornika mierzona w Hz

Na podstawie wzorów 10.1 i 10.2 można wyznaczyć stosunek mocy sygnału użytecznego do mocy szumów na wejściu odbiornika:

$$\left/ \frac{P_o}{P_{sz}} \right/_{\text{wej}} = \frac{P_N G_N G_o c^2}{/4\pi L/{}^2 kT B f^2 S}$$

Po wprowadzeniu pojęcia współczynnika szumów odbiornika F, określonego zależnością $T = T_o F = 290^\circ\text{K} \cdot F$ oraz współczynnika zysku modulacji G_m wzór przybierze postać:

$$\left/ \frac{P_o}{P_{sz}} \right/_{\text{wyj dB}} = P_N + G_N + G_o + G_M - F + 20\lg - 10 \lg B + 20 \lg \frac{c}{4\pi L f} - S$$

W tabeli na str. 34 przedstawiono wyniki obliczeń zależności energetycznych dla różnych wariantów systemu radiodifuzji satelitarnej, pracującego w zakresie częstotliwości około 12 GHz, przy założeniu stale tej samej, wysokiej jakości odbioru, odpowiadającej stosunkowi sygnału wizji do szumów na wyjściu odbiornika 45 dB.

Wyniki obliczeń przedstawiono poglądowo na rys. 8. Przy sporządzaniu tej tabeli i wykonywaniu obliczeń posługiwano się pewnymi założeniami i umownymi oznaczeniami, a mianowicie:

/1/ - równoważna prostokątna szerokość pasma;

| Parametr | Warunki odbioru | | Odbiór indywidualny | | Odbiór grupowy | |
|--|-----------------|----|---------------------|----|----------------|----|
| | 1 | 2 | AM / VSB/ | FM | AM / VSB/ | FM |
| Zakres częstotliwości pracy, GHz | | 12 | | | | 12 |
| Rodzaj modulacji | | | AM / VSB/ | FM | AM / VSB/ | FM |
| Wymagany stosunek sygnału do szumów na wyjściu odbiornika $\frac{P}{P_{sz}} / \text{wyj, dB}$ | | | 45 | 45 | 45 | 45 |
| /1/ Szerokość pasma odbiornika B, MHz | | | 6 | 28 | 6 | 28 |
| /2/ Zysk modulacji Gm dB | | | 0 | 27 | 0 | 27 |
| /3/ Stosunek sygnału do szumów na wejściu odbiornika $\frac{P}{P_{sz}} / \text{wej, dB}$ | | | 45 | 18 | 45 | 18 |
| /4/ Współczynnik szumów odbiornika dB | | | 9 | 9 | 6 | 6 |

| 1 | 2 | | 3 |
|---|--------|--------|----------------------|
| <p>Moc szumów na wejściu odbiornika</p> $P_{sz} = 10 \lg B$ <p>-204+F dBW</p> | -127,2 | -120,5 | -130,2 -123,5 |
| <p>Wymagana moc sygnału na wejściu odbiornika</p> $P_{wej} = \left/ \frac{P}{P_{sz}} \right/ + P_{sz}$ <p>dBW</p> | -82,2 | -102,5 | -85,2 -105,5 |
| <p>/5/ Zysk anteny odbiorczej G_o /w odniesieniu do anteny izotropowej/ dB</p> | 38 | 38 | 49 49 |
| <p>Skuteczna powierzchnia anteny odbiorczej odniesiona do 1 m^2 i sprawność 66%/ 10 log A dB</p> | -5 | -5 | +7 +7 |
| <p>Wymagana gęstość strumienia mocy na powierzchni Ziemi P_{wej} - 10 log A dBW/m²</p> | -77,2 | -97,5 | -92,2 -112,5 |

| 1 | 2 | | 3 |
|--|---------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| | 68,8 /2800 $\mu\text{V}/\text{m}/$ | 48,5 /260 $\mu\text{V}/\text{m}/$ | |
| Równoważne natężenie pola N /dB względem 1 $\mu\text{V}/\text{m}/$ | | | 33,5 /47,5 $\mu\text{V}/\text{m}/$ |
| /6/ Zysk anteny nadawczej G_N / w odniesieniu do anteny izotropowej / na krańcach obsługiwanej obszar / szerokość wiązki promieniowania około 1 / dB | 41 | 41 | 41 |
| /7/ Tłumienie swobodnej przestrzeni $H = -20 \lg \frac{C}{4\pi L f}$ / $L = 40.000 \text{ km}/$ dB | 206 | 206 | 206 |
| Straty w liniach zasilających, filtrach, na skutek niedokładnego nakierunkowania anten itp. S_1 dB | 2 | 2 | 2 |
| /8/ Dodatkowe, okresowe tłumienie, na skutek silnych opadów S_2 dB | 4 | 4 | 4 |
| Wymagana równoważna moc promieniowania z satelity EIRP dBW | 91,8 | 71,5 | 57,5 |
| /9/ Wymagana moc wyjściowa nadajnika satelity dB | 50,8 | 30,5 | 16,5 |
| $P_{N \text{ wej}} = P_{-G_N} - G_o + H + S_1 + S_2$ kW | ok. 100 kW | ok. 1 kW | ok. 5 kW |
| | | | ok. 50 W |

- /2/ - założono, że z 28 MHz pasma przenoszenia odbiornika do przesyłania sygnału wizji wykorzystywane jest pasmo o szerokości około 25 MHz /całe pasmo jest wykorzystane do łącznego przesyłania sygnałów wizji i dźwięku towarzyszącego/;
- /3/ - wymagany stosunek sygnału do szumów na wejściu odbiornika 18 dB przy modulacji częstotliwości zapewnia wysoką jakość transmisji z odpowiednim "marginesem bezpieczeństwa" przy przyjmowanym powszechnie założeniu, że wartość progowa stosunku sygnału do szumów stosowanego konwencjonalnego układu demodulatora wynosi około 11-12 dB;
- /4/ - założono stosowanie wstępnego wzmacniacza na diodach tunelowych lub bezpośrednio wejście na mieszacz częstotliwości o wysokiej jakości przy odbiorze indywidualnym i na wejście wstępnego wzmacniacza parametrycznego nie chłodzonego przy odbiorze grupowym;
- /5/ - założono stosowanie anten parabolicznych o średnicach 75-80 cm przy odbiorze indywidualnym i 3 m przy odbiorze grupowym;
- /6/ - założono rozwartość kąta wiązki promieniowania anteny 1° , co zapewnia oświetlenie powierzchni Ziemi, na szerokościach geograficznych Europy, o kształcie zbliżonym do elipsy i wymiarach około 700 km w kierunku Wschód-Zachód i około 800 km w kierunku Północ-Południe;
- /7/ - dla porównania można dodać, że w zakresie częstotliwości 700 MHz tłumienie to wynosiłoby około 180 dB i przy częstotliwości 2,5 GHz około 192 dB;

/8/ - założono, że system pracuje w klimacie umiarkowanym i kąt dewiacji anteny odbiorczej nie jest mniejszy od 25° ; przyjęty wzrost tłumienia będzie występował w okresach nie dłuższych niż 0,1% całkowitego sumarycznego czasu trwania transmisji;

/9/ - podane wartości odnoszą się oczywiście tylko do przypadku nadawania jednego programu.

Przedstawione w tabeli wyniki ilustrują w poglądowy sposób zalety stosowania modulacji częstotliwości i możliwości praktycznej realizacji poszczególnych wariantów systemu.

Biorąc pod uwagę, że w chwili obecnej nierealne jest uzyskanie mocy wyjściowej nadajnika pokładowego większej od około 1-2 kW, widać wyraźnie, że w rachubę może tylko wchodzić system z modulacją częstotliwości.

Na zakończenie należy zaznaczyć, że uzyskane dla systemów z modulacją częstotliwości wartości wymaganej gęstości strumienia mocy na powierzchni Ziemi, równe - $97,5 \text{ dBW/m}^2$ dla odbioru indywidualnego i - $112,5 \text{ dBW/m}^2$ dla odbioru grupowego odpowiadają gęstościom strumienia na każde 4 kHz odbieranego pasma odpowiednio - $136 \text{ dBW/m}^2 / 4 \text{ kHz}$ i - $151 \text{ dBW/m}^2 / 4 \text{ kHz}$. Przy przyjęciu minimalnego kąta elewacji około 25° otrzymana wartość gęstości sieci strumienia mocy dla odbioru indywidualnego - $136 \text{ dBW/m}^2 / 4 \text{ kHz}$ byłaby o 8 dB większa od największej dopuszczalnej wartości, wyznaczonej dla takiego przypadku dla zakresu częstotliwości około 2,5 GHz / $-114 \text{ dB/m}^2 / 4 \text{ kHz}$ /. Można jedynie mieć nadzieję, że w decyzjach dotyczących systemów radiodrodyfuzyjnych satelitarnych w zakresie częstotliwości około 12 GHz

zostanie to uwzględnione i wartości dopuszczalnej gęstości strumienia mocy na powierzchni Ziemi odpowiednio podwyższone.

11. STACJA POKŁADOWA SATELITY

Głównym czynnikiem ograniczającym możliwość uzyskania odpowiedniej mocy nadawania i rozbudowy urządzeń pokładowych jest dysponowana moc źródeł zasilania na satelicie.

W obecnie stosowanych satelitach telekomunikacyjnych do zasilania urządzeń wykorzystuje się energię promieniowania słonecznego, która jest przekształcana na energię elektryczną za pomocą ogniw fotoelektrycznych, rozmieszczonych na satelicie i tworzących tzw. baterie słoneczne. Przy stosowaniu ogniw krzemowych masa układów zasilających wynosi około 0,05 - 0,1 kg, a powierzchnia czynna baterii ogniw około $0,007 \text{ m}^2$ na 1 W uzyskiwanej mocy zasilania. Zakłada się przy tym około 10% sprawności ogniw, która w najlepszym przypadku w przyszłościowych rozwiązaniach może być podwojona. Dodatkowo trzeba uwzględnić fakt, że z czasem sprawność ta spada o około 20% na 5 lat eksploatacji.

Oznacza to, że dla uzyskania mocy zasilania 10 kW powierzchnia czynna ogniw wynosić musi minimum 80 m^2 . Poza trudnościami z rozwinięciem większych powierzchni "skrzydeł" po wprowadzeniu satelity na orbitę dodatkową trudność sprawia konstrukcja układu wsporczo-obrotowego. Mianowicie powierzchnie skrzydeł muszą być stale zwrócone w stronę Słońca, a jednocześnie antena satelity w stronę Ziemi, najczęściej wraz z odpowiednimi urządzeniami nadawczo-odbiorczymi, co oznacza, że skrzydła muszą się obracać względem korpusu satelity nieprzerwanie z szyb-

kością jeden obrót na dobę. Dodatkowym czynnikiem stojącym na przeszkodzie nieograniczonego wzrostu mocy zasilania przez powiększenie wymiarów powierzchni baterii jest wzrost masy satelity, co wiąże się ze wzrostem kosztów jego budowy, a zwłaszcza wprowadzenia na orbitę.

W obecnie stosowanych rozwiązaniach stosunek mocy zasilania do mocy promieniowanych fal elektromagnetycznych wynosi około 4 - 5 /głównie ze względu na duże ilości mocy, traconej na promieniowanie i wyrównywanie bilansu cieplnego satelity/, czyli przy mocy zasilania 5 kW należy się liczyć z możliwością uzyskania mocy wyjściowej nadajnika niewiele większej od 1 kW.

W oparciu o dotychczasowe doświadczenia w obecnych projektach czas życia satelity przewiduje się na 5 do 7 lat. Jeżeli idzie o niezawodność pracy urządzeń pokładowych, to przez stosowanie rezerwowania najważniejszych ich członów oraz skomplikowanego systemu, automatycznego i na rozkaz z Ziemi oraz przełączania fragmentów urządzeń czynnych na rezerwowe, można zapewnić niezawodność co najmniej 99,9%. Dla przeciwdziałania skutkom mało prawdopodobnego uszkodzenia satelity, prowadzącym do całkowitego wycofania satelity z eksploatacji, przewiduje się stosowanie satelitów rezerwowych. W jednej wersji byłby to satelita rezerwowy, umieszczony na orbicie geostacjonarnej i przeznaczony do rezerwacji jednego z kilku satelitów czynnych /konieczność przestrajania częstotliwości nadawania i odbioru na rozkaz z Ziemi/, a w drugiej wersji satelita stale przygotowany na Ziemi do startu i przejęcia pracy jednego z satelitów uszkodzonych. Drugie rozwiązanie jest oczywiście znacznie tańsze /koszt wprowadzenia satelity na orbitę wynosi 25-30 mln. dolarów/, ale prowa-

dzi do nieuniknionej przerwy w nadawaniu /czas wprowadzenia satelity na orbitę geostacjonarną w optymalnych warunkach wynosi około 2 doby/.

W odniesieniu do wymaganej masy satelity i związanych z tym kosztów jego wprowadzenia na orbitę, na podstawie analizy dotychczasowych rozwiązań satelitów telekomunikacyjnych można uznać, że na 1 W promieniowanej mocy mikrofalowej masa satelity wynosi około 2-4 kg. Dla uzyskania mocy nadawania satelity radiodyfuzyjnego około 1 kW należy się więc liczyć, uwzględniając nawet stosowanie najnowszych urządzeń technicznych, z koniecznością stosowania satelity o masie na orbicie około 2 ton.

Ograniczeniu masy satelity stoją na przeszkodzie, poza wyżej omówioną sprawnością ogniw słonecznych, wymagania co do stabilizacji położenia satelity na orbicie i stosowane rozwiązania pokładowych urządzeń nadawczych. Przy stosowaniu stabilizacji pozycji satelity względem 3 osi oraz konieczności utrzymania położenia satelity i kierunku ustawienia anteny z dokładnością $0,1^{\circ}$, masa urządzeń stabilizacyjnych /w tym gazowych silników odrzutowych/ wynosi 15 - 20% całkowitej masy satelity na orbicie.

Średnice stosowanych na satelicie anten parabolicznych zależą od wielkości obsługiwanego obszaru oraz oczywiście od częstotliwości pracy systemu. Można przyjąć, że średnica obsługiwanego obszaru nie będzie, w zdecydowanej większości przypadków, mniejsza od 700 km, co oznacza, że minimalny kąt rozwarości wiązki promieniowania anteny będzie wynosił 1° . Na częstotliwości około 12 GHz oznacza to stosowanie anteny o średnicy około 1,5 - 2,0 m /zysk około 43 dB/, co nie powinno sprawiać większych trudności z punktu widzenia konstrukcji i wprowadzenia sa-

telity na orbitę. Prawdopodobnie anteny te będą mogły być przy-
mocowane na stałe w normalnej postaci do satelity bez potrzeby
ich rozwijania na orbicie, co nie byłoby możliwe przy pracy sy-
stemu w zakresie fal decymetrowych.

W wielu przypadkach antena ta będzie wykorzystywana również
do odbioru programu nadawanego przez współpracującą stację na-
ziemną, pracującą najprawdopodobniej w zakresie częstotliwości
około 14 GHz. Będzie ona współpracować z odbiornikiem o możli-
wie prostym układzie, na wyjściu którego będzie się otrzymywało
sygnał telewizyjny do modulacji pokładowego nadajnika radiodifu-
zyjnego.

12. URZĄDZENIA ODBIORCZE W POSTACI TZW. PRZYSTAWEK DO ODBIORNIKÓW TELEWIZYJNYCH DO UMOŻLIWIENIA ODBIORU INDYWIDUALNEGO I GRUPOWEGO

Przystawki do odbioru indywidualnego i grupowego będą się od
siebie różniły przede wszystkim wymiarami stosowanych anten o-
raz układami wzmacniaczy, stosowanymi w stopniach wejściowych
przystawki. Pozostałe układy, jak filtry, układ przemiany często-
tliwości, wzmacniacze częstotliwości pośredniej, układy przemia-
ny rodzaju modulacji będą w obu przypadkach jednakowe. Na ry-
sunku 9, przedstawiono schemat przystawki do odbioru indywidu-
alnego sygnałów z satelity. W skład jej wchodzi następujące pod-
stawowe elementy:

Antena odbiorcza

W przypadku pracy systemów radiodyfuzji satelitarnej w zakresach częstotliwości 700 MHz i 2,5 GHz należałoby stosować anteny odbiorcze w postaci anten spiralnych lub anten typu Yagi. Dla zakresu 12 GHz możliwości rozwiązań są bardziej różnorodne, na przykład rozważa się zastosowanie do tego celu anten wieloelementowych w postaci drukowanych układów dipoli, ale w pierwszym okresie znajdują zastosowanie przede wszystkim anteny paraboliczne o średnicy 75. - 100 cm. Przewiduje się wykonanie tej anteny w postaci "talerza" plastikowego powleczonego warstwą metalu, z promiennikiem umieszczonym wewnątrz reflektora. Antena musi być umieszczona na podstawie z regulacją śrubową lub w inny sposób dla wstępnego ustawienia jej na kierunek satelity z dokładnością do $\pm 0,1^\circ$. Do śledzenia satelity w granicach jego niewielkich zmian położenia na orbicie nie wyklucza się możliwości stosowania promiennika o zdalnie regulowanym położeniu. Przewiduje się instalowanie tej anteny na ścianie budynku lub innej, odpowiednio sztywnej konstrukcji wsporczej ze względu na konieczność zachowania kierunku ustawienia anteny /niemożliwe byłoby uzyskanie wymaganej stabilności przy umieszczeniu anteny na cienkim maszcie na dachu/.

Antena do odbioru grupowego może być nie tylko większa, ale i o bardziej skomplikowanej budowie. Przewiduje się stosowanie anten Cassegraina z reflektorem o średnicy około 3 m /projekty poszczególnych państw zakładają wymiary od 2,5 m do 4 m/. Antena umieszczona byłaby na sztywnym trójnogu z możliwością dokładnej regulacji kątów elewacji i azymutu.

Wzmacniacze wstępne

Z punktu widzenia konstrukcyjnego przewiduje się stosowanie alternatywnych rozwiązań: 1/ stopień wstępny wzmacniacza wraz z układem przemiany mieszaczy bezpośrednio przy antenie, co pozwala na doprowadzenie sygnału do dalszych części odbiornika w pasmie częstotliwości pośredniej i stosowanie konwencjonalnych kabli używanych w instalacjach abonenckich, ale jednocześnie zmusza do zdalnego zasilania układów przy antenie lub 2/ umieszczenie wszystkich układów w pomieszczeniu i doprowadzenie do nich z anteny energii sygnału na częstotliwości 12 GHz, co stwarza poważne problemy związane z produkcją i zapewnieniem odpowiednich parametrów kabli łącznikowych.

Ze względu na dążenie do obniżenia kosztów przystawki do odbioru indywidualnego, antena będzie połączona albo wprost z mieszaczem, albo co najwyżej z prostym wzmacniaczem na diodach tunelowych. W obecnych projektach rozwiązań przewiduje się raczej pierwsze rozwiązanie i stosowanie zrównoważonego mieszacza na diodach Schottky'ego, charakteryzującego się współczynnikiem szumów około 11 dB /w obliczeniach w rozdziale poprzednim przyjęto wartość 9 dB zakładając, że albo taki współczynnik uda się osiągnąć w najbliższych latach albo trzeba będzie zastosować wstępny wzmacniacz na diodzie tunelowej/. Mieszacz pracowałby w układzie szerokopasmowym bez możliwości przestrajanania, tzn. umożliwiałby on odbiór w całym pasmie zajmowanym przez kanały radiowe, w których byłyby nadawane programy przeznaczone do indywidualnego odbioru na danym terytorium. Zastosowanie jako generatora lokalnego generatora kwarcowego z powielaczem

lub samowzbudnego z automatyczną regulacją jest, w odniesieniu do przystawek indywidualnych, jeszcze przedmiotem rozważań i badań, natomiast przy odbiorze grupowym konieczność uzyskania wysokiej stabilności częstotliwości tego generatora jest sprawą raczej bezdyskusyjną.

Jeżeli idzie o sposób zaprojektowania dalszych układów przystawki mikrofalowej, to zależy on od rozwiązania układu odbiornika, a mianowicie przyjęcia zasady pojedynczej lub podwójnej przemiany częstotliwości / rys. 10/.

Układ z pojedynczą przemianą jest oczywiście prostszy, natomiast trudno w nim pogodzić sprzeczne wymagania co do wyboru wartości częstotliwości pośredniej. Ze względu na tłumienie sygnału lustrzanego częstotliwość pośrednia powinna być jak największa, a ze względu na prostotę i koszt wykonania układu przystawki oraz warunki pracy dyskryminatora powinna być możliwie mała. Dlatego też przeważa raczej opinia o konieczności stosowania układu z podwójną przemianą.

Przy zastosowaniu generatora nie-kwarcowego możliwe jest przestrajanie układu przystawki przez zmianę częstotliwości generatora, natomiast przy stosowaniu generatora kwarcowego zachodzi konieczność przenoszenia przez układ całego potrzebnego pasma częstotliwości, wyboru pożądanego kanału radiowego za pomocą układu filtrów na wyjściu układu demodulatora i zastosowania modulacji amplitudy niezależnych generatorów. Wybór pożądanego kanału następuje za pomocą normalnego układu przełącznika w odbiorniku telewizyjnym.

Sygnał z wyjścia drugiego mieszacza po wzmocnieniu i ograniczeniu poddawany jest demulacji częstotliwości. Uzyskany na

wyjściu demodulatora zespolony sygnał telewizyjny służy do modulacji amplitudy generatora o częstotliwości jednego z kanałów III lub IV zakresów telewizyjnych. Dzięki zastosowaniu negatywnej modulacji amplitudy sygnał doprowadzony z przystawki do wejścia typowego odbiornika TV ma taką samą postać, jak sygnał doprowadzony do odbiornika z anteny przy normalnym odbiorze sygnałów nadawanych przez ziemskie nadajniki telewizyjne.

13. ASPEKTY EKONOMICZNE REALIZACJI SYSTEMU RADIODYFUZJI SATELITARNEJ

Korzyści ekonomiczne, płynące z wykorzystania satelitów do emisji programów telewizyjnych zamiast tradycyjnych sieci nadajników ziemskich, są przedmiotem szczegółowych rozważań prowadzonych przez poszczególne kraje, które "przymierzają się" do realizacji systemów radiodyfuzji satelitarnej i dla których ekonomiczna strona zagadnienia jest, ze zrozumiałych względów, punktem wyjścia do podjęcia wiążących decyzji. W rozdziale niniejszym zostaną podane tylko niektóre dane i wnioski ogólne, do jakich na podstawie rozważań cząstkowych doszła specjalna komisja robocza CCIR, powołana do rozpatrzenia spraw związanych z telewizyjną radiodyfuzją satelitarną.

W odniesieniu do kosztów segmentu kosmicznego uogólnione dane są następujące:

1. Koszt produkcji satelity o masie 500 - 1000 kg /bez uwzględnienia kosztów opracowania i badań prototypu/ wynosi około 20 - 30 mln. dolarów.

2. Koszt wystrzelenia i wprowadzenia satelity na orbitę /przy uwzględnieniu, że 1/3 wystrzeleń może zakończyć się niepowodzeniem/ około 15 - 25 mln. dolarów.
3. Koszt budowy stacji naziemnej do doprowadzania programu do satelity - około 5 mln dolarów.
4. Okres życia satelity /przyjmowany do odpisu amortyzacyjnego/ od 5 lat dla chwili obecnej do 10 lat po roku 1985.
5. Konieczność wprowadzenia na orbitę 1 satelity rezerwowego na 2 - 3 satelity czynne.
6. Koszt przystawki /nie uwzględniony w ogólnym bilansie kosztów/ - 200 - 300 dolarów przy odbiorze indywidualnym i do 2.500 dolarów przy odbiorze grupowym.

Przeprowadzone analizy wykazują, że system radiodifuzji satelitarnej opłaci się na ogół realizować do obsługi większych terytoriów /większe kraje lub grupa mniejszych krajów sąsiednich/ przy możliwości nadawania kilku programów z jednego satelity /i związanej z tym możliwości uzyskania odpowiedniej mocy źródeł zasilania/ oraz w tych przypadkach, gdy ze względów terenowych lub struktury rozmieszczenia ludności zapewnienie warunków odbioru programów nadawanych przez nadajniki ziemskie przez co najmniej 95% ogółu ludności jest bardzo utrudnione lub praktycznie technicznie niemożliwe /trudno wówczas w ogóle mówić o konkurencji ze strony systemów ziemskich/. Na rysunku 11 przedstawiono zależność kosztów realizacji systemu ziemskiego od wymaganego, procentowego, pokrycia kraju zasięgiem nadawania.

Dla orientacji co do kosztów realizacji systemu radiodifuzji satelitarnej dla celów rozpowszechniania programów telewizyjnych i porównania ich z kosztami budowy systemu ziemskiego o tym samym zasięgu warto zaznajomić czytelnika z wykresem przedstawionym na rys. 12, wykonanym w ramach prac wspomnianej komisji CCIR. Uwzględniono w nim również koszty przystawek abonenckich. Koszty systemu radiodifuzji ziemskiej obejmują w tym przypadku: koszty budowy systemu + koszty eksploatacji za okres 10 lat + wielkość stopy procentowej od zainwestowanego kapitału. W kosztach systemu radiodifuzji satelitarnej uwzględniono: koszt prac naukowo-badawczych na opracowanie satelity /1/5 kosztu globalnego na każdego satelitę/ + koszt produkcji satelity + koszt wprowadzenia jego na orbitę + koszt stacji naziemnej, dosyłającej program do satelity + koszty eksploatacji sektora naziemnego za okres 10 lat + wielkość stopy procentowej od zainwestowanego kapitału + koszt przystawek dla 100.000 abonentów.

- Z wykresu tego widać, że przy wykorzystaniu satelity do nadawania tylko jednego programu telewizyjnego przeznaczonego dla jednego kraju koszt realizacji systemu radiodifuzji satelitarnej staje się porównywalny z kosztem budowy systemu ziemskiego dopiero przy powierzchni danego kraju około 3000 tys. km². Przy krajach o powierzchni mniejszej /na przykład powierzchnia Polski wynosi około 312 tys. km²/ opłacalna byłaby ekonomicznie tylko realizacja wspólnego systemu dla kilku sąsiednich krajów /w zależności od konkretnych warunków dla minimum 3 - 5 krajów/ przy nadawaniu dla każdego z nich tylko jednego programu lub

realizacja systemu tylko dla jednego kraju, ale w celu nadawania jednocześnie kilku programów w różnych kanałach radiowych.

14. STANOWISKA ADMINISTRACJI KRAJOWYCH I ORGANIZACJI MIĘDZYNARODOWYCH CO DO ZAGADNIENI PRAWNYCH I POLITYCZNYCH, ZWIĄZANYCH Z WPROWADZENIEM DO EKSPLOATACJI SYSTEMÓW RADIODYFUZJI SATELITARNEJ

Telewizyjne systemy rozsiewcze z wykorzystaniem satelitów otwierają szerokie perspektywy przed ludzkością, ale budzą również pewne, nie zawsze uzasadnione obawy. Chodzi przede wszystkim o zapobieżenie wykorzystywaniu tego masowego źródła przekazu informacji do szerzenia niepożądanego przez wiele krajów propagandy i demonstracji "innego stylu życia". Zgłaszane na forum międzynarodowym zastrzeżenia i propozycje środków zaradczych znajdują swój wyraz w opublikowanych dokumentach organizacji międzynarodowych. M.in. zajmują się tymi zagadnieniami Komitety: Prawny, Polityczny i Kosmiczny Organizacji Narodów Zjednoczonych. ONZ w 1973 roku uchwaliła rezolucję o konieczności opracowania międzynarodowej konwencji w sprawie prawnopolitycznego uregulowania zasad wykorzystania satelitów służących do bezpośredniego przekazu programów telewizyjnych do indywidualnych odbiorców, w której podkreślono, że radiodyfuzja satelitarna powinna służyć celom wyłącznie pokojowym oraz utrwalenia przyjaźni między narodami i że konieczna jest ochrona suwerenności poszczególnych państw przed możliwością dokonywania na tej drodze jakichkolwiek ingerencji z zewnątrz, a zwłaszcza przeciwdziałania tzw. procesom odprężeniowym.

Należy również uwzględnić sprawy organizacyjno-ekonomiczne, a zwłaszcza sprawę rozdziału kosztów za realizację i eksploatację systemów radiodifuzji satelitarnej w przypadku budowy lub wykorzystywania systemów międzynarodowych oraz opłat za korzystanie z usług tych systemów.

Poprzez organizację międzynarodową UNESCO obawy swoje wyrazili również twórcy "dóbr kulturalnych", jak na przykład reżyserzy, artyści, przedstawiciele wytwórni płyt i taśm z nagraniami fonicznymi i wizyjnymi, którzy domagają się zabezpieczenia swych praw autorskich i niewykorzystywania w międzynarodowych systemach telewizji rozsiwczcej ich dorobku bez odpowiedniego ekwiwalentu pieniężnego,

W związku z tym wprowadzenie do eksploatacji na szerszą skalę systemów radiodifuzji satelitarnej, chociaż możliwe pod względem technicznym już w ciągu kilku najbliższych lat, musi być poprzedzone zawarciem wielu dwu- i wielostronnych umów międzynarodowych, precyzujących zasady pracy i wykorzystywania tych systemów.

15. PRZYKŁADOWE, REALIZOWANE LUB PRZEWIDZIANE DO REALIZACJI, ROZWIĄZANIA SYSTEMÓW TELEWIZJI ROZSIEWCZEJ Z SATELITÓW

Podane poniżej sposoby rozwiązań są na etapie ogólnych założeń projektowych /na przykład projekty europejskie - krajów Europy Zachodniej i Wschodniej - rozpatrywane w ramach organizacji EUR i INTERKOSMOS/, wstępnych prac laboratoryjnych nad niektórymi członami urządzeń, wchodzących w skład systemu lub

w stadium realizacji i wstępnych badań eksploatacyjnych / system Indyjski/.

1. Projekt RFN

Zespół firm zachodnio-niemieckich pod kierunkiem AEG-Telefunken opracował projekt rozwiązania systemu telewizyjnej radio-dyfuzji satelitarnej dla obszaru Niemieckiej Republiki Federalnej. Oto najważniejsze parametry systemu:

- zasięg odbioru ograniczony w zasadzie do terytorium RFN,
- jednoczesne nadawanie 3 do 5 programów telewizyjnych przy wykorzystaniu sąsiednich kanałów radiowych /każdy z dwoma towarzyszącymi kanałami fonicznymi/ ,
- zakres częstotliwości pracy systemu 11,7 - 12,5 GHz,
- przesyłanie sygnałów telewizyjnych na zasadzie modulacji częstotliwości niezależnych nośnych, rozmieszczonych w odstępach 25 MHz,
- satelita umieszczony na orbicie geostacjonarnej na 10^6 długości zachodniej,
- pasmo kanału wizji 5 MHz /system PAL/
- pasmo kanału fonii 12 kHz,
- przewidywana jakość odbioru odpowiadająca stosunkowi sygnału wizji do szumów 45 dB.

Przewidywane jest stosowanie przystawek do odbioru indywidualnego z antenami o średnicach 0,8 m i odbioru grupowego z antenami o średnicach 2 - 3 m.

Przewidywany koszt budowy i wprowadzenia na orbitę odpowiedniego satelity około 1 mld. marek, cena sprzedażna przystawki do odbioru indywidualnego 1.000 - 1.500 marek zach. niem.

2. Badania prowadzone na terenie organizacji zachodnio-europejskich

Wprowadzeniem do eksploatacji systemu radiodifuzji satelitarnej, wspólnego pod względem technicznym, przynajmniej dla krajów zachodnio-europejskich, zainteresowane są na terenie Europy organizacje ESRO /European Space Research Organization/ oraz EUB /European Broadcasting Union/. Na uwagę zasługują następujące wnioski, do których doszły zespoły specjalistów, zajmujące się tym zagadnieniem:

- 1/ eksploatacja systemu radiodifuzji satelitarnej już przy obecnym poziomie techniki jest znacznie tańsza niż systemu radiodifuzyjnego ziemskiego, nawet przy założeniu nadawania tylko jednego programu;
- 2/ każdy rok obniża przewidywane koszty realizacji systemu ze względu na postęp techniczny w zakresie budowy urządzeń, zwłaszcza sektora kosmicznego;
- 3/ ze względu na rodzaj służby i oszczędności ekonomiczne wydaje się bardziej celowe wprowadzanie nowego satelity na orbitę w miejsce uszkodzonego niż rezerwowanie systemu za pomocą dodatkowego satelity rezerwowego, krążącego stale na orbicie;
- 4/ opracowanie odpowiedniego rozdziału kanałów radiowych, przy uwzględnieniu położenia satelitów na orbicie, powinno być punk-

tem wyjścia przy projektowaniu wszelkich systemów radiodifuzji satelitarnej, a szczególnie dla przypadku większej liczby małych krajów o dużej gęstości zaludnienia.

3. System Stanów Zjednoczonych

USA jako pierwszy kraj na świecie przeprowadził eksperymenty w zakresie warunków użytkowania radiodifuzji satelitarnej, wykorzystując do tego celu satelitę ATS-6 / Application Technology Satellite/, który został wprowadzony na orbitę geostacjonarną na 100 długości zachodniej w czerwcu 1974 r. Chodziło głównie o stwierdzenie przydatności do wykorzystania systemu do odbioru grupowego w trudno dostępnych i mało zamieszkałych terenach Gór Skalistych. Satelita był wyposażony w rozkładaną antenę o średnicy 9 m oraz nadajniki o mocach około 100 W, pracujące w zakresie 860 MHz i 2,5 GHz /w doświadczeniach amerykańskich był wykorzystywany tylko ten drugi zakres/. Do odbioru było wykorzystywanych około 100 stacji naziemnych, wyposażonych w anteny o średnicy 2,5 m i wstępne wzmacniacze parametryczne. Odbierane sygnały rozprowadzano za pomocą sieci kablowych lub przez lokalne nadajniki. Doświadczenia zakończono w połowie 1975 roku i rozpoczęto prace przygotowawcze do wprowadzenia do eksploatacji ogólnokrajowego systemu, obejmującego głównie gęsto zamieszkałe wschodnie stany oraz przyoceaniczne stany zachodnie. W skład systemu, przewidzianego do pracy w zakresie częstotliwości około 12 GHz, będą wchodziły 2-3 satelity umieszczone na orbicie geostacjonarnej i wyposażone w nadajniki o mocach kilkuset watów.

4. Doświadczenia z systemem radiodifuzji satelitarnej prowadzonej w Indiach

W lipcu 1975 roku wspomniany wyżej satelita ATS, pozostając nadal pod auspicjami NASA, został przesunięty po orbicie geostacjonarnej na 35° długości wschodniej /nad obszary Afryki Środkowej/ i zaczęto go wykorzystywać do tzw. eksperymentu indyjskiego, którego wstępny okres trwania przewidziany jest na jeden rok. Jest on realizowany w ramach tzw. programu SITE /Satellite Instructional Television Experiment/, którego celem jest podniesienie poziomu gospodarczego i kulturalnego szczególnie zacofanych obszarów Indii przez nadawanie programów oświatowych, szczególnie w zakresie rolnictwa i medycyny. W odróżnieniu od eksperymentu amerykańskiego w tym przypadku wykorzystywany jest nadajnik pokładowy o mocy 80 W, pracujący na częstotliwości 860 MHz, modulowany częstotliwościowo przy współczynniku modulacji 1,2. Antena pokładowa o średnicy 9 m /zysk 33 dB/, kąt rozwarości wiązki $2,8^{\circ}$, skierowana jest na obszar Indii z centrum w pobliżu miasta Nagpur. Sygnał modulujący do satelity jest doprowadzany ze stacji naziemnej, zlokalizowanej około miasta Ahmedbad. Działanie systemu obejmuje swoim zasięgiem około 5000 wiosek, wyposażonych w stacje do odbioru grupowego /opracowanie krajowe/, z antenami parabolicznymi o średnicy 3 m.

5. Projekty innych krajów

Pierwszy system radiodifuzji satelitarnej, pracujący w zakresie częstotliwości 12 GHz, zostanie prawdopodobnie wypróbowany

w Kanadzie w połowie 1976 r., przy wykorzystaniu satelity CTS. Przy mocy nadajnika pokładowego 200 W i anteny o kącie rozwarcia wiązki promieniowania około $2,5^{\circ}$ będzie możliwy wysokiej jakości odbiór przy stacjach naziemnych z antenami o średnicach 3 m.

Pod koniec tego samego roku przewidziane jest wprowadzenie radiodyfuzyjnego satelity japońskiego, wyposażonego również w nadajnik pracujący w zakresie częstotliwości 12 GHz /wykonany znowu przy współpracy ze Stanami Zjednoczonymi/.

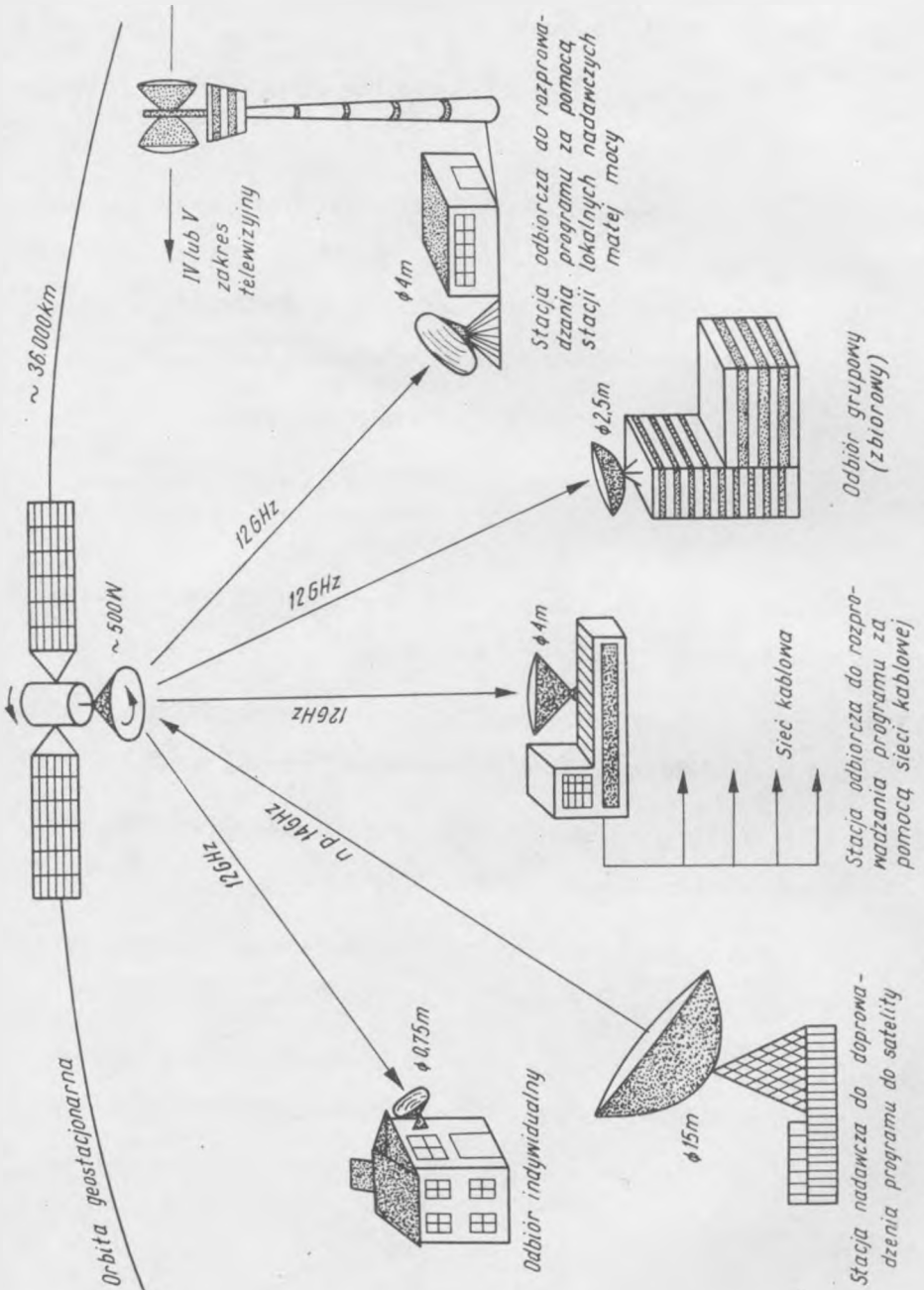
Z innych krajów, co do których istnieją źródłowe informacje o konkretnych pracach zmierzających do stopniowego wprowadzania do eksploatacji systemów telewizyjnej radiodyfuzji satelitarnej, można wymienić niektóre kraje Ameryki Południowej, kraje Bliskiego Wschodu, kraje afrykańskie oraz kraje socjalistyczne. Europy Wschodniej, prowadzące działalność w tym zakresie w ramach programu INTERKOSMOS.

WYKAZ LITERATURY

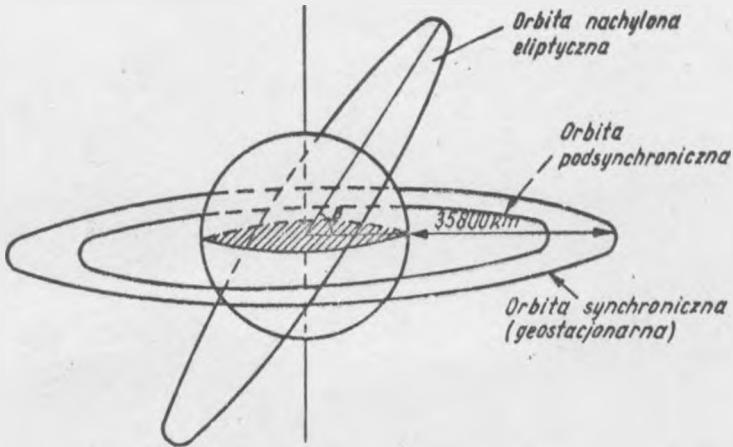
1. Adamy P.L.: ESV antenna footprints. Microwave J. 1974, nr 12.
2. Bem D.J.: Telewizja satelitarna. Referat na seminarium pt. "Radiotechniczne systemy satelitarne". Wrocław: Politechnika Wrocławska 1973.
3. Blevis B.C., Davies N.G.: Investigation of the applications of Advanced Communications Satellites. Journal SMPTE. 1975, nr 3.

4. Brüntrup H., Kühne F. : Fernsehdirektempfang über Satelliten. Siemens-Zeitschrift 1974 nr 48.
5. Bychovski B.A. : Neposredstviennoje televizjonnoje veščanie w diapazonie 12 GHz. Zarub. Radioelektr. 1975, nr 3.
6. CCIR IWP PLEN/2 /CHAIRMAN - M.K. BASU, INDIA/ : Manual on possible broadcasting satellite systems and their relative acceptability. Genewa: CCIR lipiec 1974.
7. Circular No 1039 IFRB, zawierający podstawowe informacje o indyjskim projekcie radiodyfuzji satelitarnej.
8. Card M.L. i in. : Small earth stations for broadcasting satellite systems. Journal SMPTE 1975, nr 3.
9. Davis R.T. : Inexpensive 12 GHz mixers developed for satellite broadcasting. Microwaves 1975, nr 5.
10. Durovic S. : Rozhlasova a televizni sluzba z pomoci umelych družic Zeme. Rozhlasova a Telev. Tech. 1974, nr 3.
11. Edens J.W. : AM versus FM for direct reception of television broadcast via satellite. Telecomm. J. 1974, nr 6.
12. Fenik F. : Primy prijem televisniho signalu'z umelych družic zeme. Sdelovaci tehnika 1974, nr 4.
13. German television - broadcasting satellite project. Telecomm. J. 1972, nr 10.
14. Kędziński L., Kielkiewicz A. : Kierunki postępu technicznego w telewizji. Problemy Łączności 1975, nr 132.
15. Misao M. : An Experimental broadcasting satellite system using the 12 GHz band. Journal SMPTE 1975, nr 3.

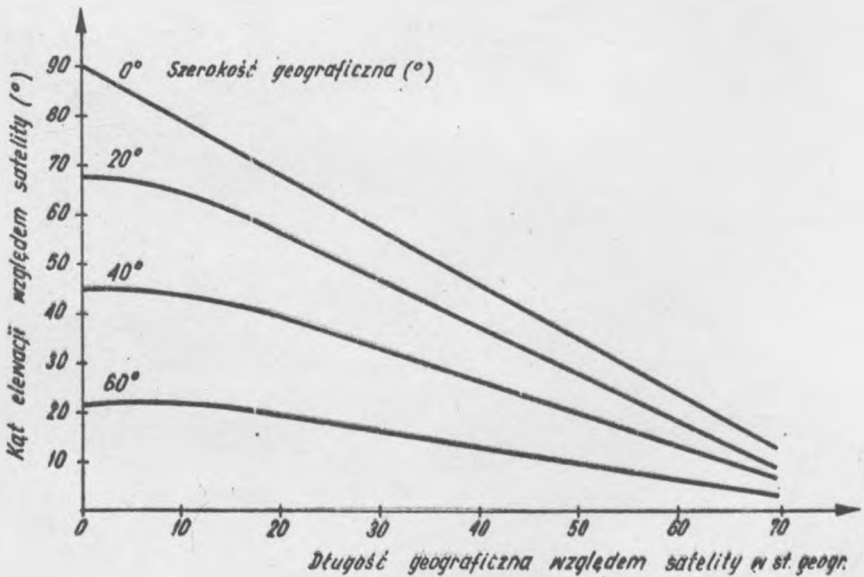
16. Mägele M. : Fernschversorgung über Satelliten. Z. Post-u. Fernmeldewes. 1975, nr 8.
17. Philips G.J. : General problems of broadcasting from satellites. Telecomm. J. 1971, nr 5.
18. Rao B.S., Geopalan A.K.S. : I. Power flux density consideration of satellite broadcasting system in the upper UHF band. II. Feasibility of satellite broadcasting systems in the 12 GHz band for tropical countries. Telecomm. J. 1972, nr 11.
19. Rosetti C. : Hörrundfunk über Satelliten. ESRO.
20. SHF-FM receiver for satellite broadcasting. Telecomm. J. 1974, nr 6.
21. Spencer P.B. i in. : Television broadcasting from satellites. Wireless World 1973, nr 12 1974, nr 3.
22. Stocos A.C. : Broadcasting satellite service; Minimum elliptical beam determination. Journal SMPTE 1975, nr 3.
23. Sorkar K. : Space station orbit and frequency spectrum in radiocommunication services. Telecomm. J. 1975, nr 7.
24. Zygierewicz J. : Telewizja satelitarna - stan obecny i perspektywy rozwojowe. Z Anteny Polskiego Radia i TV 1974.
25. Zygierewicz J. : Zagadnienia radiofonii i telewizji rozsiewczej z satelitów. Przegląd Zagadnień Łączności 1971, nr 3.



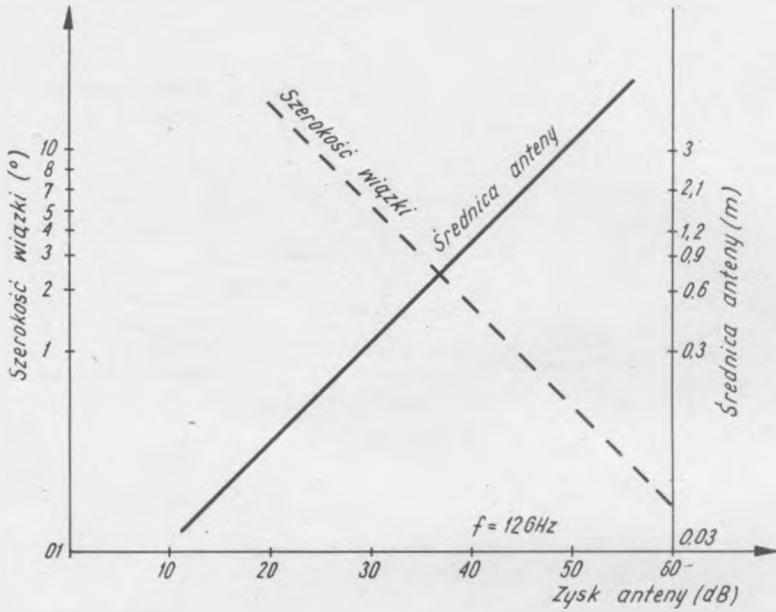
Rys. 1. Różne warianty wykorzystania emisji programów telewizyjnych z satelitów



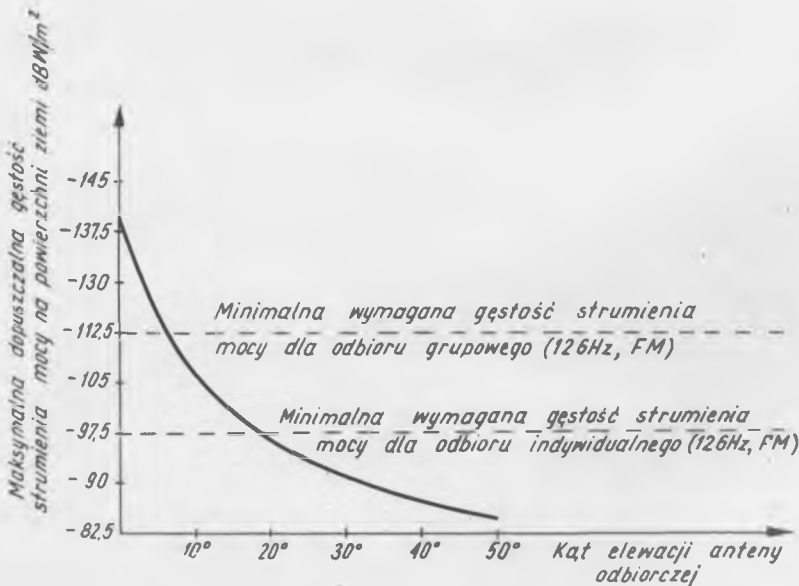
Rys. 2. Możliwe do wykorzystania rodzaje orbit



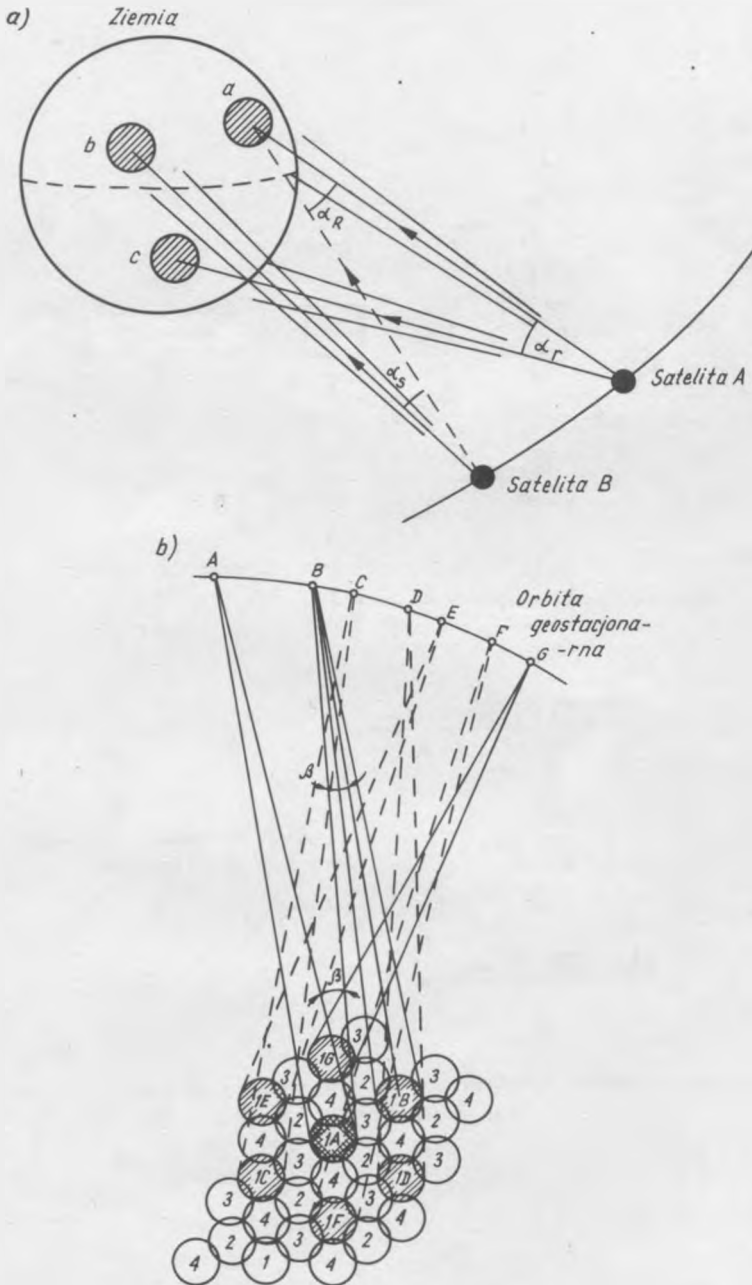
Rys. 3. Kąt elewacji względem satelity dla danych współrzędnych geograficznych miejsca lokalizacji naziemnej stacji odbiorczej



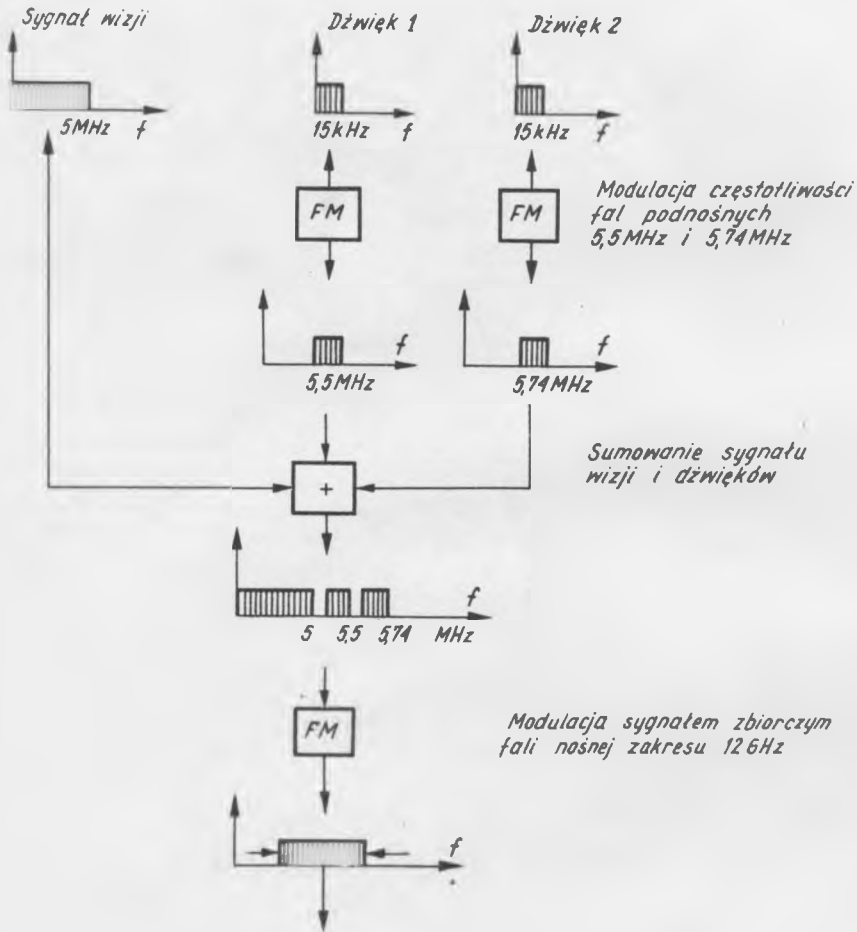
Rys. 4. Zależności pomiędzy średnicą, szerokością wiązki promieniowania i zyskiem anteny dla zakresu 12 GHz



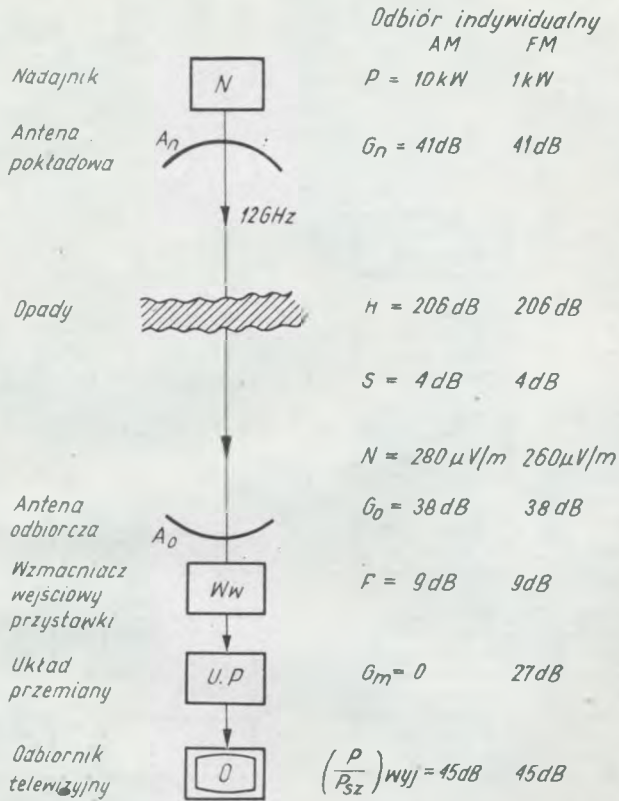
Rys. 6. Maksymalna dopuszczalna gęstość strumienia mocy w funkcji kąta elewacji widzialności satelity / jeden z proponowanych rozkładów/



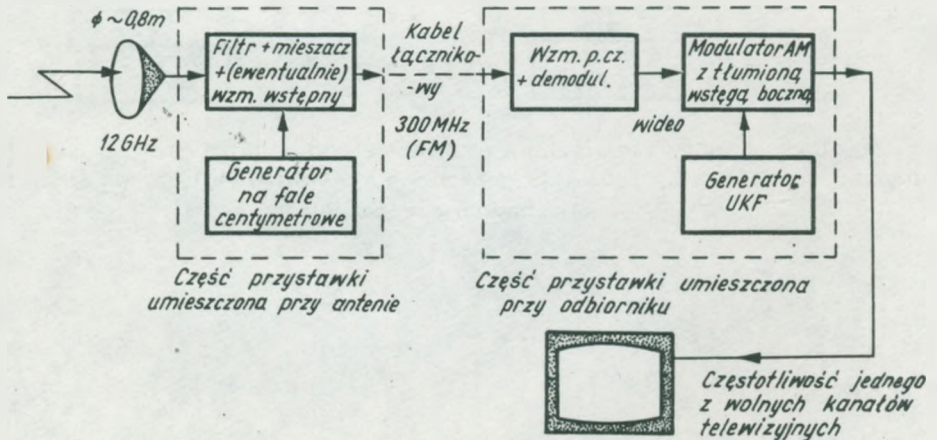
Rys. 5. Zasady wielokrotnego wykorzystania tych samych kanałów radiowych:
 a/ rysunek poglądowy dróg rozchodzenia się sygnałów pożądaných i zakłócających;
 b/ jedno z proponowanych rozwiązań rozprowadzenia 4 programów telewizyjnych



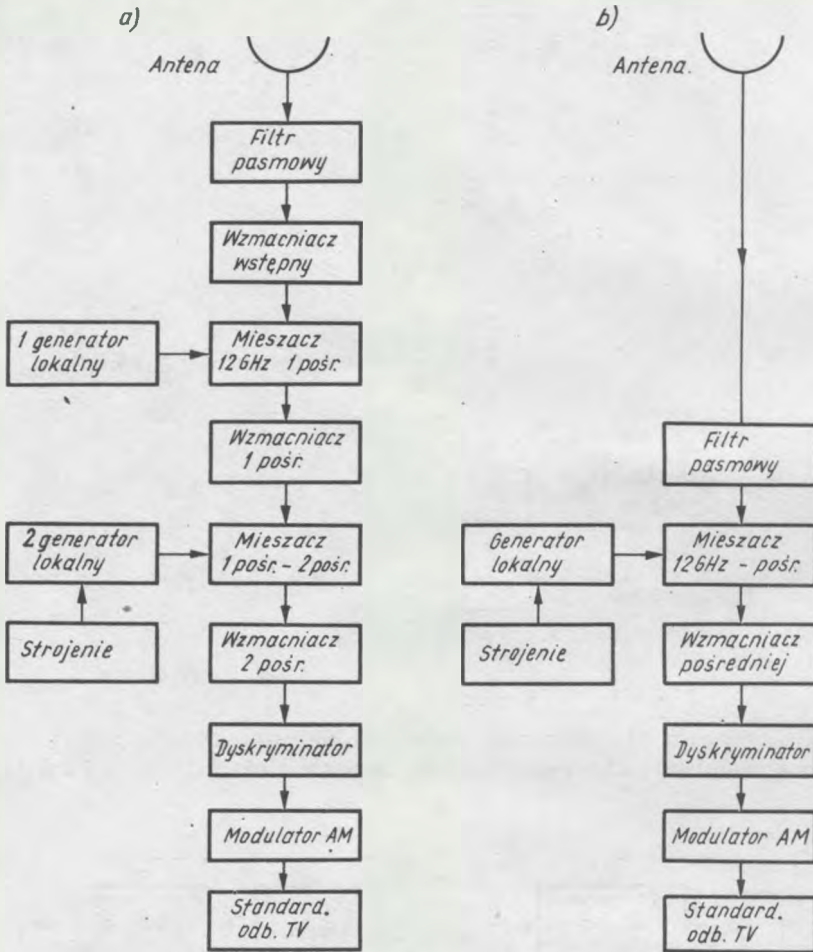
Rys. 7. Transmisja sygnałów dźwięków towarzyszących na zasadzie modulacji fal podnośnych



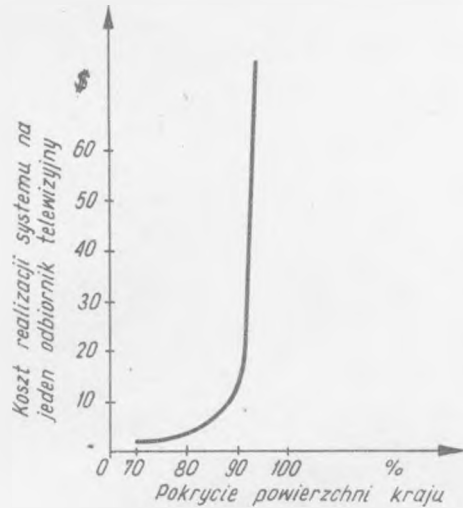
Rys. 8. Bilans mocy dla kierunku transmisji Satelita-Ziemia przy pracy systemu z modulacją częstotliwości w zakresie częstotliwości 12 GHz



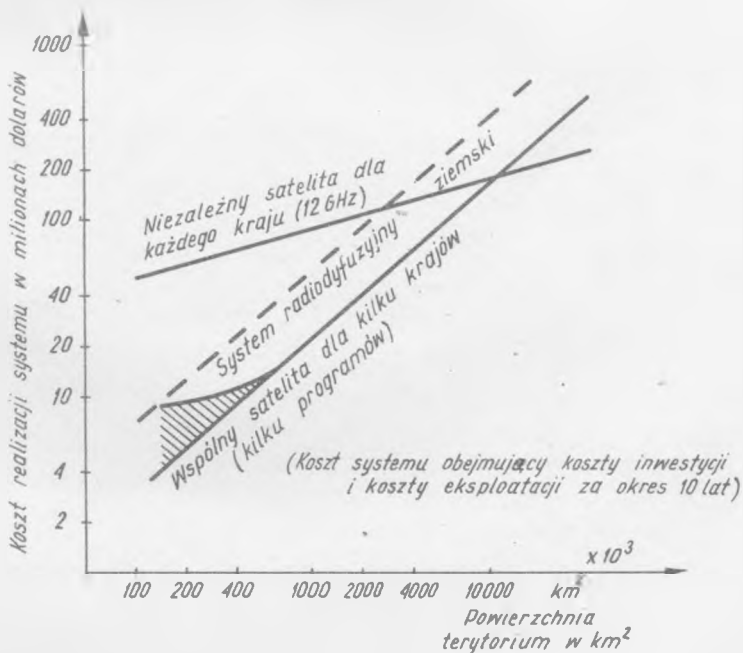
Rys. 9. Schemat blokowy przystawki do indywidualnego odbioru sygnałów telewizyjnych



Rys. 10. Dwa sposoby rozwiązania przystawek do odbioru programów telewizyjnych z satelitów: a/ podwójna przemiana częstotliwości, b/ pojedyncza przemiana częstotliwości



Rys. 11. Zależność kosztów realizacji ziemskiego systemu telewizji rozsiewczej od procentowego pokrycia powierzchni kraju zasięgiem nadawania programów



Rys. 12. Porównanie kosztów realizacji systemów radiodifuzji telewizyjnej ziemskiej i satelitarnej o zasięgu krajowym

Handwritten mark or signature in the top left corner.

