

1 9 6 1
Nr 1 (1)

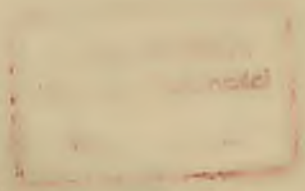
INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI
WARSZAWA — MIEDZESZYN

PROBLEMY ŁĄCZNOŚCI



M I N I S T E R S T W O Ł Ą C Z N O Ś C I

PROBLEMY ŁACZNOŚCI



ROK 1

WARSZAWA 1961

NR 1

INSTYTUT ŁACZNOŚCI

Ośrodek Informacji Techniczno-Ekonomicznej

Kolegium Redakcyjne:

Przewodniczący - mgr inż. Zenon Szpigler

Członkowie:

mgr inż. Władysław Cetner, inż. Edmund Janowski,
doc. Stefan Jasiński, mgr Kazimierz Kotowski,
mgr inż. Adam Moniuszko, mgr inż. Józef Możejko

Sekretarz Redakcji - Irena Kulko

Adres Redakcji:

Instytut Łączności

Ośrodek

Informacji Techniczno-Ekonomicznej

Warszawa-Miedzeszyn, ul. Szachowa 1

Na prawach rękopisu - do użytku służbowego

Dział Wydawniczy OKW Instytutu Łączności
Format B5. Nakład 300. Druk ukończono
w marcu 1962 r

P R O B L E M Y Ł Ą C Z N O Ś C I

T R E Ś Ć

J. Zygierewicz - Stan obecny i perspektywy rozwojowe łączności przy pomocy mikrofalowych linii radiowych

STAN OBECNY I PERSPEKTYWY ROZWOJOWE ŁĄCZNOŚCI PRZY POMOCY MIKROFALOWYCH LINII RADIOWYCH

1. ZASADY PRACY LINII RADIOWYCH

1.1. Pojęcie podstawowe

Wielokanałowe linie radiowe są systemem łączności, który rozwinął się bardzo szybko w ostatnich latach i wykazuje ciągłe tendencje rozwojowe. Stały wzrost zapotrzebowania na przekazywanie z miejsca do miejsca wciąż rosnącej ilości informacji zmusił już od dawna specjalistów do poszukiwania wciąż nowych, bardziej sprawnych, a przy tym coraz ekonomiczniejszych środków łączności. Już w początkach lat dwudziestych naszego stulecia zaczęto powszechnie stosować szerokopasmowe systemy łączności przewodowej, umożliwiające przesyłanie po jednym kablu koncentrycznym do kilkuset rozmów telefonicznych. Zwiększenie jednak ilości informacji przesyłanych jednocześnie przez linię telekomunikacyjną wiąże się nieuchronnie z poszerzeniem pasma przenoszonych częstotliwości. I tak np. gdy dla przesyłania 24 rozmów telefonicznych wystarczy pasmo około 100 kHz, to dla 600 kanałów telefonicznych niezbędna szerokość pasma systemu transmisyjnego wynosi już przeszło 2,5 MHz. Dla jednego kanału telewizyj-

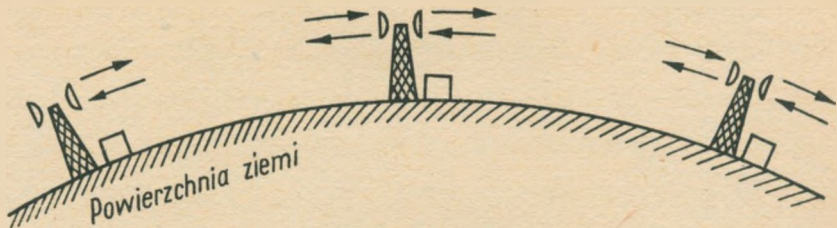
nego szerokość przesyłanego pasma jest jeszcze większa i zależy od stosowanego standardu.

Budowa kabli koncentrycznych spełniających powyższe warunki przenoszenia jest technicznie trudna i wiąże się z dużymi kosztami. Poza skomplikowaną budową samego kabla ze wzrostem szerokości przenoszonego pasma maleje również bardzo szybko dopuszczalny odstęp między stacjami wzmacniakowymi. Ułożenie dalekosiężnych linii kablowych wymaga dużego nakładu pracy. Szczególne trudności sprawia ułożenie kabla w górach lub na dnie morza czy innego obszaru wodnego. Oprócz tego, produkcja szerokopasmowej linii kablowej wymaga zużycia wielu ton metali kolorowych, które stają się na rynku światowym coraz bardziej deficytowe.

Dla specjalistów z dziedziny łączności stało się jasne, że wielu z tych trudności można by często uniknąć przez stosowanie zamiast linii kablowych - radiowych środków komunikacji. Jednakże jednoczesne nadawanie kilku setek informacji było nawet w zakresie krótkofalowym praktycznie niemożliwe. W zakresie tym mogłaby pracować bez przeszkód wzajemnych zaledwie niewielka liczba szerokopasmowych systemów łączności, bowiem zakres krótkofalowy mieści się jedynie w granicach 6 MHz do 30 MHz, a szerokość przesyłanego pasma może wynosić, jak powiedzieliśmy do kilku MHz. Odbiór informacji na falach krótkich jest poza tym bardzo utrudniony ze względu na zmienne warunki propagacyjne, a poziom zakłóceń, przy przesyłaniu pasma szerokiego w stosunku do częstotliwości fali nośnej, stosunkowo duży.

Przesyłanie szerokiego pasma przestało nastrożać trudności dopiero z chwilą rozwoju techniki mikrofalowej i wprowadzenia do eksploatacji urządzeń pracujących na falach decymetrowych i centymetrowych. Szerokość tego zakresu, niewielki wpływ zakłóceń przemysłowych i atmosferycznych oraz szczególne cechy rozchodzenia się fal ultrakrótkich pozwalające na uniknięcie wzajemnej interferencji niezależnych sieci radiowych sprawiły, że otworzyła się szeroka perspektywa rozwoju komunikacji mikrofalowej dla wielu służb łączności. Na skutek jednak właściwości prostoliniowego rozchodzenia się fal radiowych w zakresie mikrofalowym łączność na tych falach może być realizowana na odległości przekraczające zasięg bezpośredniej widoczności anten stacji nadawczych i odbiorczych zasadniczo tylko przy zastosowaniu wielokrotnej retransmisji sygnału, dokonywanej przez stacje przekaźnikowe /patrz p. 2.1/. Ponieważ promieniowanie energii fali nośnej przez każdą stację nadawczą jest kierunkowe, przeto transmisja sygnału odbywa się drogą radiową tylko po wytyczonej trasie i dlatego przez analogię do linii przewodowej powstało pojęcie linii radiowej. Linia radiowa o dalekim zasięgu składa się więc z łańcucha odbiorczo-nadawczych stacji radiowych umieszczonych w takim odstępie, aby była zachowana bezpośrednia widoczność między antenami sąsiednich stacji. /Przy założeniu gładkiej powierzchni ziemi i wysokości umieszczenia anten 50 - 60 m otrzymujemy stąd odstęp między stacjami przekaźnikowymi około 50 km/. W każdej stacji przekaźni-

kowej sygnał osłabiony w procesie teletransmisyjnym zostaje zamieniony na nowy silny sygnał, przesyłany do następnej stacji /rys. 1/.



Rys. 1. Łańcuch stacji nadawczo-odbiorczych tworzących linię radiową

Zasada wielokrotnej transmisji przez linię radiową różni się od zasady transmisji przez linię przewodową przede wszystkim tym, że w przypadku linii przewodowej /kablowej/ zbiorczy sygnał jest przesyłany bezpośrednio, a przy nadawaniu przez linię radiową moduluje on drgania nośne. Linia radiowa jest szerokopasmowym kanałem łączności, przez który można nadawać dowolne sygnały, zajmujące określone pasmo częstotliwości. Służą one przede wszystkim do przesyłania programów telewizyjnych i radiofonicznych oraz sygnałów zbiorczych telefonii i telegrafii wielokrotnej. Linie radiowe telefoniczne budowane są jako duplexowe; stacje przelotowe muszą zapewniać nadawanie i odbiór sygnałów w dwóch przeciwnych sobie kierunkach. Linie radiowe przeznaczone do przesyłania programów telewizyjnych i radiofonicznych, bądź sygnałów służb specjalnych są przeważnie jednokierunkowe.

Pierwsze próby nad wykorzystaniem nowego systemu łącz-

ności radiowej rozpoczęły się już przed drugą wojną światową i prowadzone były na falach metrowych. Jednakże dopiero doskonalsze opanowanie techniki mikrofalowej, związane z udoskonaleniem urządzeń radiowych w okresie wojny, pozwoliło na pełne wykorzystanie zalet systemu i spowodowało szybki jego rozwój we wszystkich cywilizowanych krajach. Linie radiowe stały się równorzędnym, a w wielu przypadkach, zwłaszcza przy niesprzyjających warunkach terenowych, nawet bardziej dogodnym i ekonomicznym od linii kablowych, systemem łączności na duże i średnie odległości.

1.2. Linie radiowe o zasięgu optycznym i pozahoryzontowym

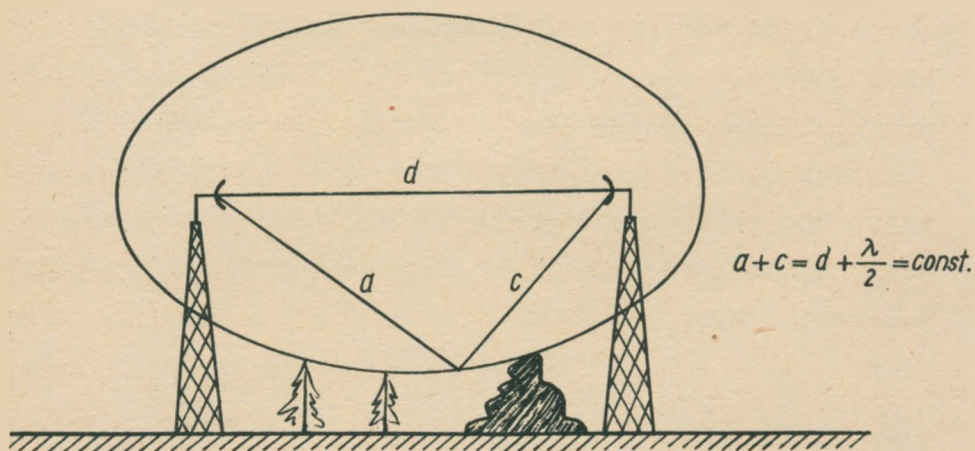
Podział linii radiowych można przeprowadzić z różnych punktów widzenia. Można dokonać klasyfikacji ze względu na zastosowanie linii, ich zasięg, szerokości przesyłanego pasma, rodzaj przesyłanych sygnałów itp. Zasadniczy jednak podział polega na uwzględnieniu różnic w zasadzie pracy systemów linii radiowych, wynikających z wykorzystania różnych zjawisk propagacji mikrofal. Z tego punktu widzenia linie radiowe można podzielić na dwa rodzaje:

- 1/ linie radiowe o zasięgu optycznym, odznaczające się tym, że dla otrzymania łączności niezbędna jest bezpośrednia widoczność anten nadawczej i odbiorczej sąsiednich stacji;

2/ linie radiowe o zasięgu pozahoryzontowym, wynoszącym do kilkuset kilometrów poza zasięg bezpośredniej widoczności, pracujące na fali rozproszonej w warstwach troposferycznych. Poznanie zjawiska odbioru fal ultrakrótkich poza zakresem bezpośredniej widoczności jest przy tym odkryciem dopiero ostatnich lat.

W przypadku linii radiowych o zasięgu optycznym odstęp między sąsiednimi stacjami przy założeniu dostatecznej mocy promieniowanej i odpowiedniej czułości odbiornika jest zależny od wysokości umieszczenia anten i ukształtowania terenu, ale średnio nie przekracza 40 - 50 km. Taka niewielka odległość wynika nie tylko z właściwości nieuginania się mikrofal wzdłuż powierzchni ziemi, ale również z konieczności zapewnienia właściwych warunków rozchodzenia się tych fal. Założeniem przy projektowaniu trasy linii radiowej jest bowiem, aby przynajmniej pierwsza, tzw. strefa Fresnela, mająca kształt elipsoidy i obejmująca obszar między sąsiednimi stacjami /rys. 2/, była wolna od wszelkich przeszkód terenowych. /Dla każdego punktu położonego na powierzchni elipsoidy suma odległości od odbiornika i nadajnika jest większa o pół długości fali od długości osi łączącej antenę stacji nadawczej z odbiorczą/. Istnienie bowiem tego rodzaju przeszkód prowadziłoby do tego, iż do anteny odbiorczej stacji poza sygnałem bezpośrednim docierałyby również sygnały odbite od przeszkód terenowych. Na skutek różnych zależności fazowych między odbieranymi sy-

gnałami /różnica długości dróg/ dawałoby to w efekcie ciągle wahania sumarycznego poziomu odbieranego sygnału, a w pewnych przypadkach mogłoby prowadzić do zupełnych zaników. Zachowanie warunku wolnej 1. strefy Fresnela jest tym łatwiejsze, im mniejsza jest długość fali. Dla

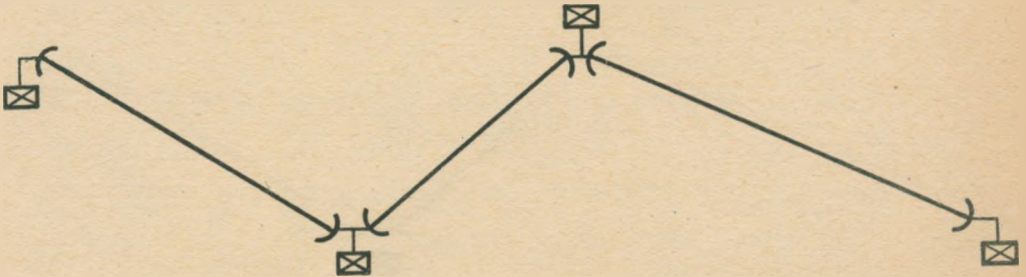


Rys. 2. Zasada konstrukcji pierwszej strefy Fresnela

odcinka o długości 50 km i założeniu gładkiej powierzchni ziemi spełnienie tego warunku przy fali o długości np. 20 cm wymaga podwyższenia punktu umieszczenia anten o około 50 m w stosunku do wysokości podanych w punkcie 1.1. Ażeby uniknąć trudności związanych z budową wysokich masztów i wież, staramy się zawsze umieszczać stacje przekaźnikowe linii radiowych na dogodnych wzniesieniach terenowych.

Przy pewnych, wyjątkowo sprzyjających warunkach propagacji, zasięg fal ultrakrótkich może znacznie przekro-

czyć zasięg bezpośredniej widoczności /duky powietrzne/. W przypadku ustawienia stacji przekaźnikowej linii radiowej wzdłuż linii prostej sygnał promieniowany przez antenę kierunkową stacji pierwszej mógłby wówczas do- trzeć wprost do anteny odbiorczej stacji trzeciej a na- wet dalej, interferując z właściwym sygnałem odbieranym przez tę antenę z poprzedniej stacji. Aby tego uniknąć, poza różnymi częstotliwościami fal nośnych, na których pracują poszczególne stacje przekaźnikowe, stosuje się rozmieszczenie stacji przekaźnikowych wzdłuż linii łama- nej, przy czym stacje przekaźnikowe umieszcza się w punk- tach najbardziej dostępnych lub dogodnych pod względem terenowym /rys, 3/.



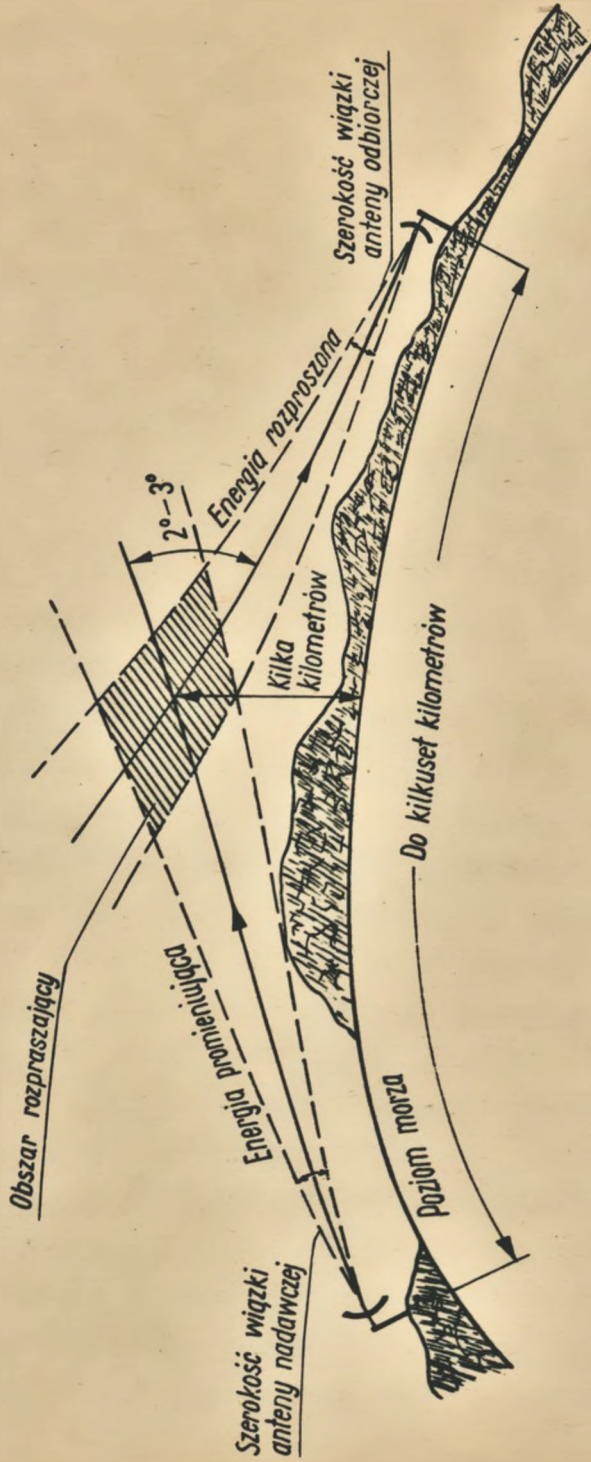
Rys. 3. Sposób rozmieszczenia stacji przekaźnikowych linii radiowej

W przypadku linii radiowych o zasięgu pozahoryzonto- wym wykorzystuje się zupełnie inne zjawisko rozchodzenia się fal ultrakrótkich. Liczne badania wykazały, że na- tężenie pola fal zakresu mikrofalowego w dużej odległości od stacji nadawczej, aczkolwiek liczbowo bardzo małe,

jest jednak znacznie większe od tego, jakie wynikałoby z teorii dyfrakcji i refrakcji atmosferycznej. Zjawisko to nie zostało dotychczas jednoznacznie wyjaśnione i istnieje na ten temat wiele dość sprzecznych teorii. Najbardziej przyjęła się ta, która zakłada, że w górnych warstwach atmosfery istnieje ciągły bezładny ruch większych lub mniejszych mas powietrza, wywołany zmianami warunków atmosferycznych. Doprowadza to do przypadkowych wahań gęstości, temperatury i wilgotności, a w konsekwencji i współczynnika załamania mas powietrza w różnych punktach przestrzeni. Jeżeli na taki zmienny ośrodek będzie teraz padał strumień energii elektromagnetycznej, to ulegnie ona rozproszeniu w różnych kierunkach, przy czym z pewnych względów główna ilość energii zostaje rozproszona do przodu. Część jej dociera do anteny stacji odbiorczej i może być dzięki temu wykorzystywana do przenoszenia informacji /rys. 4/.

W przypadku łączności na fali rozproszonej anteny stacji korespondujących kieruje się w taki sposób, aby obie wiązki fal przecinały się ze sobą na pewnej, z góry założonej wysokości nad powierzchnią ziemi. Obszar atmosfery objętej wspólnie przez obie wiązki służy jako obszar rozpraszający energię fal elektromagnetycznych, rozchodzących się w obu kierunkach transmisji, a stopień rozproszenia obszaru stanowi natężenie pola sygnału odbieranego. Tak samo jak następują fluktuacje stałej dielektrycznej i zmiany niejednorodności w powyższym obszarze, tak zmianie ulega i poziom sygnału odbieranego.

Mimo tych ciągłych zmian warunków propagacji i wyni-



Rys. 4. Zasada łączności dalekosiężnej na fali rozproszonej

kającej stąd małej pewności pracy, system linii radiowej pracującej na fali rozproszonej ma zasadniczą zaletę utrzymywania łączności na odległości do kilkuset kilometrów za pomocą pojedynczego "skoku", co pozwala na łączność dalekosiężną przy użyciu zaledwie kilku stacji przekaźnikowych. Linie radiowe pracujące na tej zasadzie są jak dotychczas stosowane raczej na stosunkowo niewielką skalę. Chociaż więc w dalszym ciągu niniejszej pracy zagadnienie rozwoju tych linii zostanie jeszcze szerzej omówione, to trzeba jednocześnie zaznaczyć, że rozważania zawarte w niniejszej pracy odnoszą się głównie do linii radiowych przekaźnikowych o zasięgu optycznym i używając określenia "linie radiowe" mamy głównie je na myśli.

1.3. Wybór częstotliwości roboczej linii radiowych

Jak wspomniano na wstępie, linie radiowe służące do przesyłania sygnałów telewizyjnych i telefonii wielokrotnej muszą przenosić pasmo częstotliwości rzędu kilku megaherców w każdym z kierunków transmisji. Ponieważ jednocześnie większość systemów linii radiowych wykorzystuje modulację częstotliwości fali nośnej i współczynnik dewiacji jest zawsze większy od jedności dla poprawienia stosunku sygnału do szumów, można przyjąć, że szerokość pasma jednego kanału nie jest mniejsza od kilkunastu MHz. Zakładając ponadto, że w wielu przypadkach magistralna linia radiowa powinna umożliwiać łączność na kilku kanałach szerokopasmowych równocześnie /patrz pkt.

2.5/ staje się oczywiste, że dla właściwej pracy systemu niezbędne jest używanie fal nośnych powyżej 1000 MHz. Fale o tych częstotliwościach wykazują mniej więcej stałe własności propagacyjne, zbliżone do rozchodzenia się fal świetlnych aż do zakresu około 10000 MHz, gdzie dalej się zauważył duże tłumienie w przypadku wystąpienia opadów atmosferycznych. Dla częstotliwości jeszcze wyższych występuje zjawisko absorpcji przez parę wodną i tlen zawarty w atmosferze.

Z punktu widzenia technicznego ze wzrostem częstotliwości fali nośnej wzrasta zysk energetyczny i kierunkowość anten. Zysk anteny jest bowiem zależny od stosunku jej powierzchni do długości fali. Zwiększając przeto dwukrotnie częstotliwość pracy przy zachowaniu tych samych wymiarów anteny otrzymuje się wzrost zysku o 6 dB. Wzrost zysku i kierunkowości jest bardzo pożądanym nie tylko ze względu na obniżenie mocy nadajnika i zmniejszenie czułości odbiornika, lecz również pozwala na zmniejszenie interferencji między niezależnymi systemami mikrofalowych linii radiowych. Zmniejsza się również niebezpieczeństwo docierania do odbiornika sygnału pochodzącego z odbicia promieniowanej fali od przeszkód terenowych, maleje obszar przestrzeni zajęty pierwszą strefą Fresnela /rys.2 /, co pozwala na łatwiejszy wybór punktów rozmieszczenia stacji i uniknięcia wpływu przeszkód na trasie linii. Niestety, jednak wzrost częstotliwości pociąga za sobą pogorszenie się własności propagacyjnych i zwiększenie prawdopodobieństwa występowania zaników, ponadto urządzenia nadawczo-odbiorcze

wymagają stosowania coraz nowszych, doskonalszych rozwiązań technicznych. Z tych i wielu innych względów przyjęło się powszechnie, że dla linii radiowych o zasięgu optycznym najbardziej właściwy jest zakres częstotliwości od 1000 MHz do 10000 MHz. Dla systemów łączności dalekosiężnej najczęściej wykorzystane są przy tym częstotliwości leżące w pasmach 2000 MHz, 4000 MHz i 7000 MHz.

Nie wyklucza to jednak stosowania fal roboczych o częstotliwościach niższych, aż do około 30 MHz, gdy wchodzi w grę transmisja stosunkowo wąskiego pasma, zwłaszcza przy urządzeniach ruchomych. Zastosowanie fal dłuższych pozwala bowiem w tych przypadkach na uniknięcie wielu kłopotów związanych z przeszkodami terenowymi i upraszcza aparaturę nadawczo-odbiorczą.

Częstotliwości powyżej 10000 MHz nie są na razie prawie stosowane, jednak należy przypuszczać, że z czasem "tłok w eterze" zmusi do wykorzystania i wyższego zakresu częstotliwości, przynajmniej do 15000 MHz.

Linie radiowe o zasięgu pozahoryzontowym zasadniczo mogą pracować na tych samych częstotliwościach co linie o zasięgu optycznym. Jednakże zaobserwowano, że na skutek pewnych właściwości rozproszenia troposferycznego sygnał uzyskiwany w antenie odbiorczej wzrasta nieco ze wzrostem długości promieniowanej fali. Dzieje się to głównie dlatego, że w miarę zmiany długości fali zmienia się stosunek tej długości do rozmiarów obszaru niejednorodności i mechanizm rozproszenia ulega zmianie. Dlatego też, ponieważ szerokość przenoszonego pasma na to pozwala /patrz p. 4.1/, stosuje się tu na ogół czę-

stotliwości w granicach od 200 MHz do 1000 MHz. Należy przy tym zaznaczyć, że ze względu na duży zasięg propagacji fal w tych systemach i konieczność uniknięcia wzajemnych interferencji między poszczególnymi odcinkami linii dalekosiężnej niezbędne jest stosowanie dużego odstępu częstotliwości fal roboczych poszczególnych stacji, co znacznie zwiększa szerokość ogólnego pasma wykorzystywanego przez urządzenie. Ponadto należy tak dobierać częstotliwości robocze, aby uniknąć oddziaływania na linie radiowe o zasięgu optycznym, które mogą znaleźć się w obszarze oddziaływania fali rozproszonej. Z tych też powodów liczba linii o zasięgu pozahoryzontowym pracującym na danym obszarze musi być wielokrotnie mniejsza od liczby linii o zasięgu optycznym przy użyciu tego samego zakresu częstotliwości fal roboczych.

2. LINIE RADIOWE O ZASIĘGU OPTYCZNYM

2.1. Cechy charakterystyczne linii radiowych

Linie radiowe o zasięgu optycznym odznaczają się pewnymi charakterystycznymi zaletami i wadami, które z góry określają zakresy stosowania tych systemów. Jako zasadnicze zalety można wymienić:

1. Małe zużycie metali kolorowych i na ogół niższe koszty instalacji i eksploatacji niż w przypadku linii kablowych dalekiego zasięgu, przy zachowaniu tej samej szerokości przesyłanego pasma i prawie

tych samych własności transmisyjnych obu systemów. Dozór na ogół o wiele łatwiejszy.

2. Szybkość instalowania linii radiowej jest większa niż w przypadku linii kablowej. Ponadto linia radiowa jest środkiem łączności o wiele elastyczniejszym zarówno z punktu widzenia wyboru trasy linii, jak i jej pojemności. Z chwilą bowiem uruchomienia linii nie stoi na przeszkodzie stopniowemu powiększaniu pojemności systemu przez instalowanie na tej samej trasie urządzeń następnych linii radiowych, pracujących na innych częstotliwościach, z wykorzystaniem tych samych wież antenowych i pomieszczeń stacyjnych.
3. Wszelkie zalety linii radiowej w stosunku do kablowej ukazują się tym wyraźniej, im bardziej niedogodne są warunki terenowe na przewidywanej trasie linii.

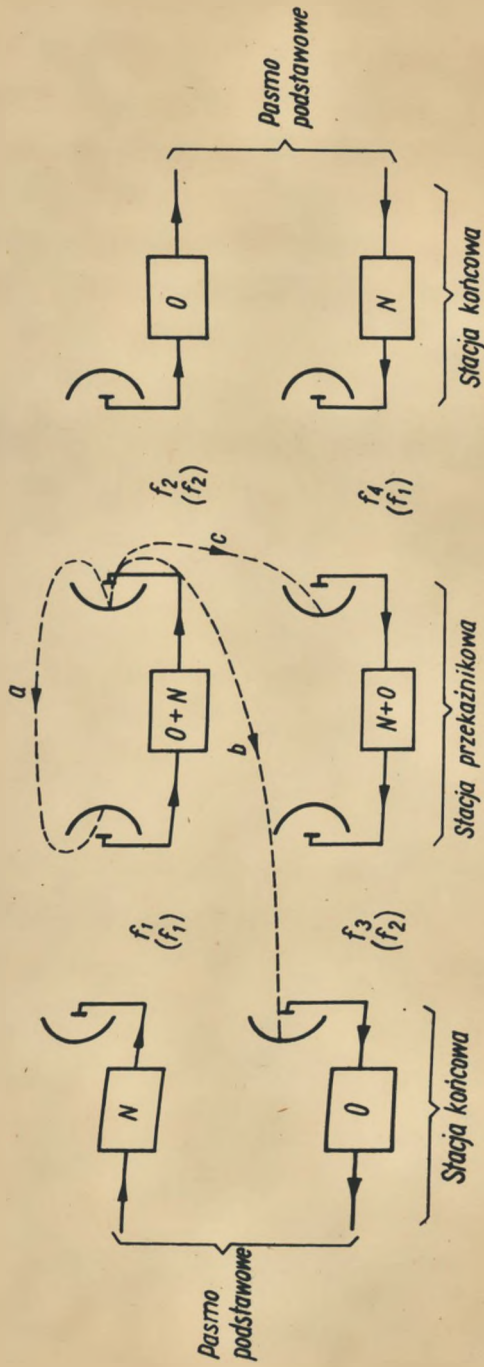
Wady łączności przy pomocy linii radiowych są częściowo związane z zasadą działania systemu a częściowo wynikają z dotychczasowej niedoskonałości samego sprzętu. Głównymi cechami ujemnymi są:

1. Zmiany warunków propagacyjnych prowadzą do mniejszych lub większych zaników. Odpowiedni wybór trasy i zaprojektowanie urządzeń może zmniejszyć głębokość tych zaników, ale nie może ich kompletnie wyeliminować.

2. Pewność łączności jest ściśle związana ze sprawnością i pewnością działania urządzeń linii radiowej. Ze względu na zakres częstotliwości urządzeń te, jak dotychczas, działają mniej pewnie niż np. wzmacniaki kablowe, co zmusza do stosowania urządzeń rezerwowych, automatycznie przełączanych /patrz p.2.4/.

Koszty instalacji są bardzo różne w zależności od konkretnych warunków, gdyż o kosztach tych decydują nie tyle same urządzenia stacji przekaźnikowych, co konieczna wysokość wież /również od tego czy wieża jest przeznaczona tylko dla umieszczenia anten linii radiowej czy też wykorzystują ją równocześnie stacje rozgłaszające radia i telewizji/, dostępność dróg komunikacyjnych, źródła zasilania itd.

Zasadniczy schemat łączności przy pomocy linii radiowej o zasięgu optycznym przedstawia rys. 5. Linia taka składa się z dwóch stacji końcowych i odpowiedniej ilości stacji przekaźnikowych, zależnej od długości trasy i ukształtowania terenu. W nadajniku stacji końcowej wytwarzana jest fala nośna wielkiej częstotliwości, która po zmodulowaniu przez przesyłany, szerokopasmowy sygnał i wzmocnieniu do odpowiedniego poziomu jest doprowadzona do anteny. Należy przy tym zaznaczyć, że ze względu na małe odległości stacji a dużą kierunkowość anten nadawczych i odbiorczych moc nadajnika jest stosunkowo mała, przeważnie nie przekracza kilku watów. Urządzenia stacji przekaźnikowej są na ogół takie same,



Rys. 5. Schemat łączności przy pomocy przekąźnikowej linii radiowej

jak stacji końcowych, z tym że gdy stacja przekaźnikowa pełni tylko rolę stacji przelotowej, tzn. bez wydzielenia i odgałęziania części przesyłanych wiadomości /np. kanałów telefonicznych/, to jej wyposażenie ogranicza się do aparatury wielkiej częstotliwości bez urządzeń modulacji i demodulacji do pasma podstawowego. Odebrany przez taką stację sygnał zostaje wzmocniony i po odpowiednim przesunięciu częstotliwości fali nośnej wypromieniowany w kierunku następnej stacji przekaźnikowej /metody połączeń patrz p. 3.3/. Po osiągnięciu w ten sposób stacji końcowej następuje tam demodulacja odebranego sygnału najpierw do pasma podstawowego, a następnie /choć nie zawsze w obrębie aparatury stacyjnej/ rozdzielanie na różne kanały informacji /np. rozdzielenie sygnału zbiorczego telefonii wielokrotnej na sygnały rozmówne poszczególnych kanałów/. Właściwe zaprojektowanie systemu łączności wymaga odpowiedniego rozplanowania częstotliwości fal roboczych poszczególnych stacji w celu uniknięcia wzajemnego oddziaływania obu kierunków transmisji, zwłaszcza przy równoległej pracy na danej trasie kilku niezależnych systemów linii mikrofalowych. W przypadku systemu pokazanego na schemacie dla uniknięcia interferencji urządzenia nadawczo-odbiorcze pracują na niezależnych czterech częstotliwościach. Przy dużej kierunkowości anten można zadowolić się użyciem tylko dwóch częstotliwości /w nawiasach na schemacie/, ale wówczas możliwe są wzajemne oddziaływania według dróg zaznaczonych liniami przerywanymi.

2.2. Zastosowania linii radiowych

Linie radiowe mogą być zastosowane jako sieć łączności stała lub czasowa, przy czym w pierwszym przypadku urządzenia linii będą z reguły typu stacjonarnego, a w drugim - przewoźnego.

Linie radiowe stałe mogą z kolei być albo częścią ogólnej sieci łączności krajowej czy międzynarodowej, lub też stanowić niezależną sieć łączności. W przypadku włączenia w ogólną sieć łączności, linie radiowe są ściśle powiązane z liniami przewodowymi i służą do transmisji w ruchu telekomunikacyjnym sygnałów telewizji lub telefonii wielokrotnej. Zasięg i szerokość pasma przesyłanego będzie zależała od tego, czy będą one pracowały w sieci magistralnej czy lokalnej. W zależności od tego możemy, że mamy do czynienia z linią radiową dalekosiężną lub okręgową. Mogą one stanowić przy tym albo niezależny środek łączności między dwoma określonymi punktami, lub też łączyć tylko ze sobą na pewnej długości trasy dwa odcinki kablowe. W niektórych przypadkach mogą linie radiowe służyć również do dublowania odcinków kablowych, np. gdy dany odcinek jest wyjątkowo narażony na uszkodzenia lub też wymagana szerokość przesyłanego pasma na danym odcinku nagle wzrosła.

Liniami stacjonarnymi innego typu są również linie nie włączone do ogólnej sieci telekomunikacyjnej, lecz służące do przesyłania informacji dla innych służb, jak np. policji, wojska, służby przeciwpożarowej, dozoru linii komunikacyjnych i energetycznych itp. Do tego typu

można również zaliczyć krótkie linie stałe łączące, np. studio telewizyjne z nadajnikiem.

Przebieżnikowe linie radiowe typu przewodowego służą do czasowego, na ogół nie przekraczającego kilku dni, połączenia dwóch odległych punktów, przy czym odległość ta jest przeważnie mniejsza niż w przypadku linii typu stacjonarnego. Mogą one przy tym również stanowić albo całkowicie samodzielny środek łączności, albo być włączane w sieć łączności przewodowej czy radiowej. Typowym przykładem tego typu linii są linie łączące wozy transmisyjne telewizji z centrum nadawczym, linie ruchome służb wojskowych i specjalnych. Do tego samego rodzaju linii należy również zaliczyć linie awaryjne, służące do zastąpienia na pewien czas na danym odcinku uszkodzonej linii przewodowej. W tym przypadku okres pracy linii zależy od czasu potrzebnego na usunięcie uszkodzenia lub wymianę odcinka linii przewodowej.

Z punktu widzenia rodzaju przesyłanego sygnału przyjął się podział na linie wielokanałowe telefoniczne /przez które każdy z kanałów telefonicznych może służyć do przesyłania różnego rodzaju informacji, np. kilku sygnałów telegraficznych lub odwrotnie miejsce kilku kanałów telefonicznych może zajmować jeden kanał dla przesyłania programów radiofonicznych/ oraz linie telewizyjne. Podział ten jest nieco sztuczny, uwzględniający raczej rzeczywiste użytkowanie danego systemu linii na trasie niż jej własności przesyłowe. Z tego ostatniego punktu widzenia należałoby przeprowadzić podział w zależności od szerokości przesyłanego pasma. Linie radiowe dalekosiężne o

odpowiedniej szerokości pasma mogą służyć, i na ogół służą, do przesyłania albo sygnału telewizyjnego, albo zbiorczego sygnału telefonii wielokrotnej, lub też obu tych rodzajów transmisji równocześnie, przy czym w miarę potrzeby jeden kanał telewizyjny można zastąpić 600 kanałami telefonicznymi. Najnowocześniejsze linie mogą przesyłać do 1800 kanałów telefonicznych lub kanał telewizyjny i odpowiednio mniejszą ilość kanałów telefonicznych.

Linie o mniejszej szerokości pasma mogą przesyłać tylko odpowiednio mniejszą liczbę sygnałów telefonicznych lub innych informacji, przy czym liczby te są zawarte zawsze w pewnych określonych przedziałach, jak to zostanie bliżej wyjaśnione w p. 3.2. W przypadku zwiększenia się ruchu na danej trasie należy albo zainstalować równoległą nową linię radiową pracującą na innej częstotliwości fali nośnej lub też zastosować inny typ linii, o większej szerokości przesyłanego pasma.

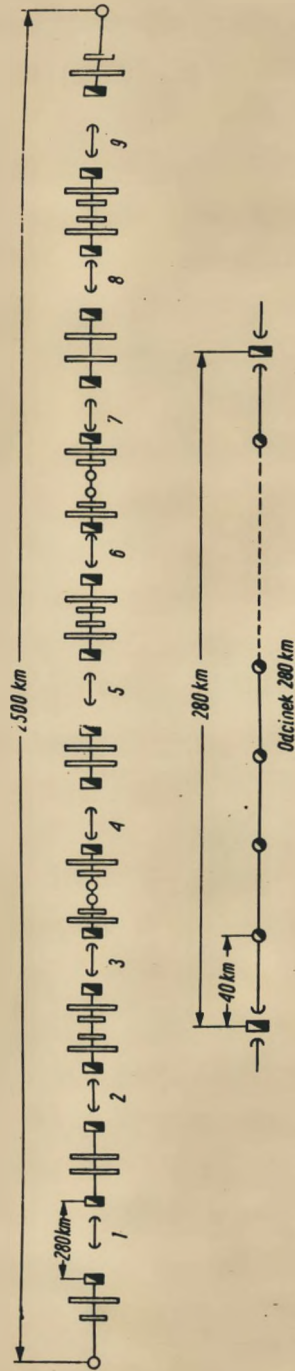
2.3. Wymagana jakość transmisji i standaryzacja systemów linii radiowych

Z chwilą gdy linia radiowa zostaje włączona w normalną sieć łączności krajowej lub międzynarodowej musi ona co do takich parametrów, jak: poziom szumów, szerokość przesyłanego pasma, stabilność wzmocnienia, pewność działania itp. spełniać wszelkie wymagania dotyczące systemu łączności przewodowej dla takiej samej trasy i rodzaju przesyłanego sygnału, bowiem użytkownika nie obchodzi, jaką drogą dotarła do niego odbierana informa-

cja . Dlatego też międzynarodowa organizacja radiokomunikacyjna CCIR musiała zająć się ustaleniem niezbędnych wymagań, które powinny spełniać szerokopasmowe linie radiowe, aby mogły być włączone w sieć dalekosiężnej komunikacji międzynarodowej. Wymagania te co do jakości transmisji są bardzo zbliżone do tych, które międzynarodowa organizacja telekomunikacyjna CCITT ustaliła dla dalekosiężnych linii przewodowych, biorą jednak pod uwagę pewne specyficzne właściwości łączności mikrofalowej, jak np. możliwość chwilowego wzrostu poziomu szumów na skutek występowania zaników na trasie.

Ażeby móc określić wymagania dla poszczególnych systemów linii radiowych, należało najpierw usystematyzować poszczególne rodzaje linii. W tym celu CCIR ustaliła tzw. łącza odniesienia dla wielokanałowych linii radiowych przy różnych metodach zwielokrotniania i różnej liczby kanałów telefonicznych oraz dla linii służących do przesyłania sygnałów telewizji. Dla wszystkich przypadków długość takiego łącza odniesienia wynosi 2500 km, przy czym łącze podzielone jest na trzy zasadnicze, równe odcinki, tylko na końcach których następuje całkowita demodulacja przesyłanego sygnału. Liczba punktów demodulacji do pasma podstawowego zależy natomiast od przesyłanego sygnału i krotności systemu /patrz rys. 6/.

Ustalenie łącza odniesienia pozwoliło na określenie parametrów transmisyjnych linii, które przyjęto jako odnoszące się do końca linii o długości i układzie odpowiadającym łączu odniesienia, a międzynarodowa normalizacja



Rys. 6. Złącze odniesienia radiowej linii telefonicznej o liczbie kanałów większej niż 60

systemów ułatwiła dokonywanie połączeń między liniami radiowymi pracującymi w sąsiadujących ze sobą krajach.

Najważniejszym parametrem transmisyjnym jest dopuszczalny poziom szumów na wyjściu kanału, ponieważ wielkość ta rzutuje w sposób bezpośredni na moc nadajnika, kierunkowość anten, dewiację częstotliwości i inne dane systemu. Dla łączy odniesienia o dużej liczbie kanałów telefonicznych przyjęto, że psometryczna moc szumów wprowadzona przez część radiową nie może przekraczać w punkcie o zerowym poziomie odniesienia 7500 pW wartości średniej dla każdej dowolnej godziny /większe poziomy szumów dopuszczalne dla bardzo krótkich okresów czasu nie zostały jeszcze ściśle zdefiniowane/, a moc szumów całkowitych w kanale telefonicznym nie może być większa od 10000 pW. Odpowiada to stosunkowi mocy sygnału do mocy szumów psometrycznych, przy poziomie zerowym odniesienia, wynoszącemu 63 dB. W przypadku łączy telewizyjnego stosunek wartości międzyszczytowej sygnału do wartości skutecznej napięcia szumów nie może być mniejszy od 40 dB dla okresu czasu większego od 0,1% ogólnego czasu transmisji /szumy rosną w kanale telewizyjnym liniowo ze wzrostem częstotliwości transmitowanego pasma/. Dalsze zalecenia określają zarówno parametry jakościowe odnoszące się do samej transmisji sygnału, jak np. tłumienie przesłuchu, zniekształcenia liniowe i nielinowe itd., jak i cechy charakteryzujące urządzenia takiej linii, np. szerokość pasma transmitowanego, dewiacja, częstotliwości pośrednie, poziomy napięć w punktach połączeń itp.

Dla linii telewizyjnych poza stosunkiem sygnału do szumu niezmiernie ważna jest wielkość dopuszczalnych zniekształceń transmitowanego sygnału telewizyjnego. W celu ich określenia ustalono dopuszczalne zniekształcenia standardowych przebiegów impulsowych, tzw. sygnałów kontrolnych, za pomocą których można pomierzyć właściwości transmisyjne linii. Częstotliwość i kształt tych przebiegów zależą przy tym od standardu transmitowanego sygnału telewizyjnego.

Zakres niniejszej pracy nie pozwala na ogólne nawet omówienie wszystkich zaleceń co do jakości przesyłanego przez linię radiową sygnału telewizyjnego i telefonicznego. Zainteresowanych odsyła się do odpowiednich dokumentów, będących głównie wynikiem konferencji CCIR w Warszawie w 1956 r i w Los Angeles w 1959 r. Na tym miejscu należy tylko podkreślić, że wszystkie wymienione zalecenia odnoszą się do linii radiowych, które pracują lub mogą pracować w połączeniu z sieciami łączności międzynarodowej. Co do linii wewnątrz krajowych, żadne międzynarodowe zalecenia nie są do tej pory przyjęte i w takich przypadkach zainteresowane kraje mogą sobie pozwolić na znaczne nawet obniżenie parametrów jakościowych transmisji kierując się jedynie użytecznością przesyłanego sygnału. Dotyczy to zwłaszcza linii radiowych nie włączonych na stałe do normalnej sieci telekomunikacyjnej oraz linii radiowych dla służb specjalnych.

2.4. Sposoby zapewnienia dużej pewności pracy linii radiowej

Maksymalny czas przerwy w kanale telefonicznym nie powinien przekraczać 0,01% ogólnego czasu transmisji. Dla spełnienia wymagań dużej pewności pracy stacje linii radiowych muszą być wyposażone w odpowiednie urządzenia kontrolne i aparaturę rezerwową. Urządzenia kontrolne alarmują w przypadku nieprawidłowej pracy urządzeń pracujących w torze transmisji, a analogiczne do roboczych urządzenia rezerwowe pozwalają na przejęcie przez nie pracy na okres czasu, niezbędny do usunięcia uszkodzeń w urządzeniach roboczych /Urządzenia rezerwowe mogą być oddzielne dla każdego kanału w.cz. lub może być jeden kanał rezerwowy dla kilku kanałów w.cz., tj, dla całego systemu/. Ponieważ w większości przypadków stacje przelotowe pracują bez obsługi, a ponadto bardzo istotna jest szybkość przełączania, przełączanie to musi odbywać się automatycznie za pomocą odpowiednich urządzeń działających samoczynnie na zasadzie oceny jakości działania urządzeń roboczych lub też sterowanych zdalnie ze stacji węzłowych, posiadających stałą wykwalifikowaną obsługę. Metody przełączania i zakres przełączanych urządzeń mogą być bardzo różne, zależnie od wymaganej pewności pracy linii, rodzaju przesyłanej transmisji, cech charakterystycznych aparatury itp. Czasami urządzenia rezerwowe, w przypadku możliwości pracy na innej częstotliwości nośnej, pracują równocześnie z urządzeniami roboczymi, w układzie częstotliwościowego odbioru zbiorczego, co po-

zwala zmniejszyć wpływ zaników. Bliższy opis takich metod i urządzeń znajdzie czytelnik w Numerze 2 "Przeglądu Zagadnień", 1961 r, Instytut Łączności.

W tym miejscu warto jedynie wspomnieć o najczęściej stosowanej metodzie zdalnego dozoru stacji przekaźnikowych. Polega ona na tym, że specjalny sygnał kontrolny jest przesyłany w torze transmisji powyżej lub poniżej zasadniczego pasma podstawowego. Wskaźnikiem nieprawidłowej pracy urządzeń jest wzrost poziomu szumów w kanale kontrolnym powyżej normalnej wielkości. Częstotliwość tego sygnału dozoru zależy od szerokości pasma oraz rodzaju przesyłanego sygnału i jest ujęta również w odpowiednich zaleceniach CCIR.

Poza uszkodzeniem właściwych urządzeń nadawczo-odbiorczych stacji możliwa jest również przerwa w pracy na skutek przerwy w dopływie prądu. W celu uniknięcia tego stacja powinna posiadać możliwość przyłączenia do przynajmniej dwóch niezależnych źródeł zasilania. Mogą to być albo dwie różne sieci energetyczne lub też rezerwowy zespół spalinowo-elektryczny. W zależności od wymaganej pewności pracy linii radiowej /dopuszczalnej długości przerwy w transmisji/ zespół ten pracuje w sposób ciągły lub jest uruchamiany dopiero z chwilą przerwy w energetycznej sieci zasilającej. W rzadkich przypadkach pracy stacji przelotowej, w miejscach odległych od sieci energetycznych, zespoły mogą również służyć jako stałe źródła napięcia zasilającego.

Urządzeniem usprawniającym pracę i zwiększającym pewność działania linii radiowej jest również kanał służ-

bowy, umożliwiając porozumiewanie się między obsługami różnych stacji niezależnie od tego, czy obsługa przebywa na danej stacji stale czy też znajduje się tam tylko chwilowo w celu konserwacji urządzeń lub naprawy uszkodzeń. Zwykle linia radiowa wyposażona jest w dwa kanały służbowe, z których jeden przeznaczony jest do przesyłania stałych sygnałów o różnych częstotliwościach informując stację węzłową o stanie pracy nieobsługiwanych stacji przelotowych, a drugi pełni rolę kanału rozmównego.

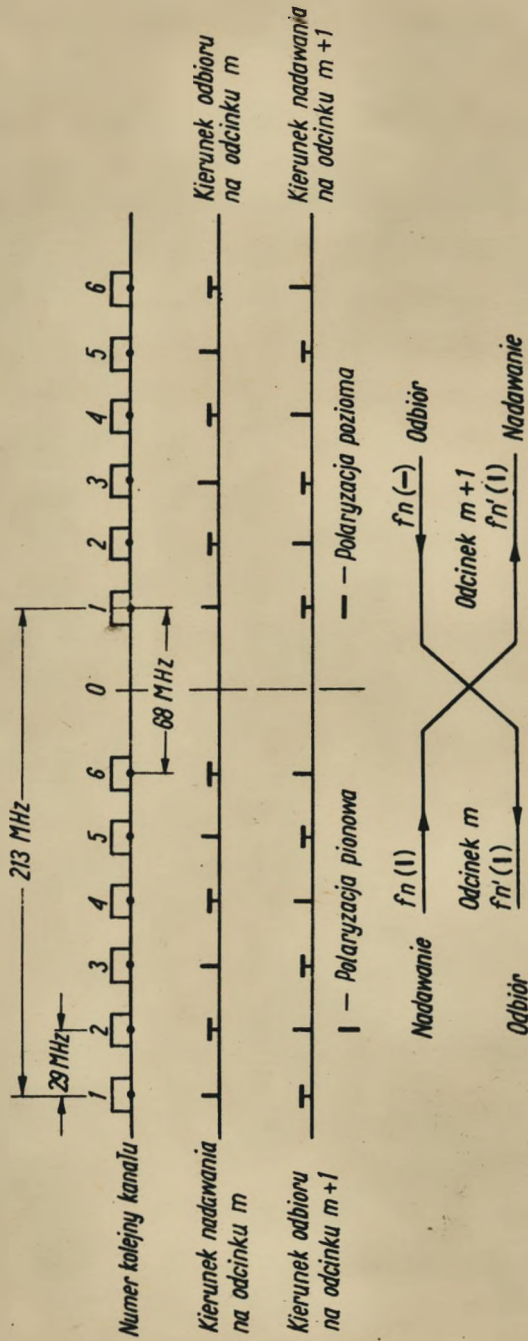
Należy podkreślić, że wszystkie te metody kontroli i dozoru, aczkolwiek układowo dość skomplikowane, nie są technicznie zbyt trudne do rozwiązania i obecnie większość dalekosiężnych linii radiowych może służyć jako wzór systemu zabezpieczenia linii telekomunikacyjnej. Zastosowanie tych systemów jest bardzo ważne, pozwalają one bowiem konkurować liniom radiowym z liniami kablowymi nawet z punktu widzenia pewności pracy; pod tym względem linie kablowe miały przez długi czas wyraźną przewagę. Skomplikowane układy dozoru i automatycznego przełączania są jednak ekonomicznie uzasadnione jedynie na liniach magistralnych szczególnej wagi, sieci okręgowe są pod tym względem wyposażone o wiele słabiej i pewność pracy zależy tu głównie od jakości sprzętu i konserwacji.

2.5. Rozmieszczenie kanałów wielkiej częstotliwości dla szerokopasmowej linii radiowej

W przypadku żądania dużej pojemności linii transmisyjnej może okazać się konieczne przesyłanie po tej samej trasie kilku niezależnych kanałów szerokopasmowych. W takich przypadkach celowe jest stosowanie wspólnych układów anten nadawczo-odbiorczych dla kilku fal nośnych jednocześnie.

W celu rozdzielenia kanałów poza różnymi częstotliwościami roboczymi i układami filtrów pasmowych stosuje się również odpowiednią polaryzację promieniowanej fali. W celu uniknięcia wzajemnych interferencji kanałów wielkiej częstotliwości należy zapewnić odpowiedni odstęp między nimi, uwzględniający zarówno szkodliwe oddziaływanie urządzeń nadawczych na urządzenia odbiorcze innych kanałów, jak i warunki współpracy nadajników różnych kanałów. Należy również wziąć pod uwagę wpływ częstotliwości zwierciadlanych, tzn. częstotliwości różniących się od częstotliwości danego kanału podwójną wartością częstotliwości pośredniej.

Uwzględniając te warunki CCIR opracowało w zależności od ilości kanałów i wykorzystywanego pasma częstotliwości rozmieszczenie kanałów wielkiej częstotliwości, które podano przykładowo na rys. 7, dla systemu złożonego z 6 kanałów szerokopasmowych, z których każdy przeznaczony jest do transmisji zbiorczego sygnału 600 kanałów telefonicznych lub jednego sygnału telewizyjnego w obu kierunkach transmisji dla zakresów częstotliwości 2000 MHz



Rys. 7. Podział kanałów wielkiej częstotliwości dla linii radiowej umożliwiającej przenoszenie 6 x 600 kanałów telefonicznych

i 4000 MHz. Częstotliwość pośrednia urządzeń stacji wynosi 70 MHz. Odstęp między środkowymi częstotliwościami sąsiednich kanałów dobrano równy 29 MHz, a odstęp między współpracującymi kanałami obu kierunków transmisji wynosi stale 213 MHz. Sąsiednie kanały radiowe pracują przy tym na różnej polaryzacji fali nośnej. Taki rozkład zapobiega wszelkim możliwym interferencjom w ramach jednego systemu.

Na tej samej zasadzie można ustalić rozkład częstotliwości dla założonej innej liczby kanałów wielkiej częstotliwości linii radiowej.

2.6. Współpraca linii radiowych z systemami przewodowymi

W przypadku przesyłania sygnału telewizyjnego obie współpracujące ze sobą linie łączności, przewodowa i radiowa, muszą posiadać pasmo transmisyjne odpowiadające górnej częstotliwości sygnału telewizyjnego, tzn. w zależności od standardu od 5 do 8 MHz. Połączenie między obu systemami może mieć jedynie miejsce na częstotliwościach pasma podstawowego z tym, że możliwe jest ewentualne rozdzielenie, przy przejściu z linii radiowej na kablową lub odwrotnie, toru wizji i toru dźwięku.

Znacznie więcej możliwości dostarcza współpraca linii radiowej z liniami przewodowymi w przypadku telefonii zwielokrotnianej częstotliwościowo. Możliwości te wynikają z zasady stopniowego uzyskiwania tego zwielokrotnienia /patrz p. 3.2/. Zasadniczo linie radiowe,

przeznaczone do przenoszenia sygnałów zbiorczych telefonii wielokrotnej, współpracują wprost z krotnicami telefonii nośnej, stanowiąc niezależny od kabla system łączności. Przy współpracy z układem szerokopasmowej linii kablowej pozwalającej na przenoszenie całego pasma podstawowego, połączenie może mieć miejsce wprost na tym pasmie, przy czym mamy tu na myśli pasmo podstawowe nie szersze od koniecznego do przeniesienia telefonii 600-krotnej. Gdy kabel pozwala na przeniesienie tylko bardziej ograniczonego pasma częstotliwości, połączenie może się odbywać na zakresie częstotliwości odpowiadającej pasmu grupy podstawowej lub wtórnej kanałów telefonicznych, przy czym na stacji stanowiącej połączenie linii radiowej z przewodową musi najpierw nastąpić rozdział pasma podstawowego na węższe pasma odpowiadające grupom pierwotnym i wtórnym. Wreszcie całkowita demodulacja pasma podstawowego na stacji końcowej linii radiowej, połączona z rozdziałem sygnału zbiorczego na poszczególne kanały telefoniczne, pozwala na współpracę z dowolnymi systemami przewodowymi. Połączenie na częstotliwości akustycznej stosuje się jednak przy częstotliwościowej metodzie zwielokrotniania kanałów niezmiernie rzadko i to tylko w przypadku, gdy linia radiowa nie przenosi pasma szerszego niż odpowiadające 60-kanałom telefonicznym.

Inaczej przedstawia się sprawa w przypadku przesyłania przez linię radiową sygnału telefonii wielokrotnej, zwielokrotnionej czasowo. Przy zwielokrotnieniu czaso-

wym w praktyce stosuje się wyłącznie połączenie od razu na częstotliwości akustycznej każdego kanału telefonicznego /na ogół za pośrednictwem centrali/ i współpracujące z linią radiową linie przewodowe mogą być wówczas dowolnego rodzaju.

3. URZĄDZENIA LINII RADIOWYCH O ZASIĘGU OPTYCZNYM

3.1. Aparatura nadawcza i odbiorcza

Przy wykorzystywaniu linii radiowej do przesyłania sygnałów telewizyjnych lub sygnałów zbiorczych telefonii zwielokrotnionej częstotliwościowo prawie powszechnie stosowana jest modulacja częstotliwości fali nośnej. W przypadku małej liczby kanałów zwielokrotnionych czasowo impulsy kanałowe moduluje generator nadajnika w amplitudzie.

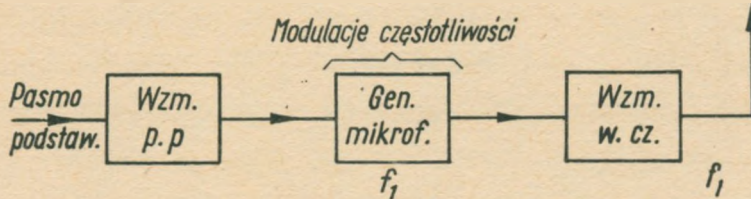
Zastosowanie modulacji częstotliwości zamiast prostszej technicznie modulacji amplitudy ma przede wszystkim na celu poprawienie stosunku sygnału do szumów, co można uzyskać przez dobranie odpowiedniej wielkości dewiacji. W przypadku modulacji amplitudy zajmowane pasmo byłoby mniejsze, ale dla uzyskania tego samego stosunku sygnału do szumów moc promieniowana musiałaby być większa. Poza tym w przypadku telefonii wielokrotnej można uzyskać większą liniowość procesów modulacji, co jest niezmiernie korzystne ze względu na zmniejszenie prawdopodobieństwa powstania przesłuchów międzykanałowych. Jednocześnie jednak wymagana jest duża liniowość

charakterystyki przesunięcia fazowego w zakresie przenoszonych częstotliwości. Ponieważ w przypadku modulacji częstotliwości wszelkie zmiany sygnału pasma podstawowego są wyrażane przez odpowiednie przesunięcie częstotliwości fali nośnej, przeto gdyby przesunięcie fazowe było zależne od częstotliwości, po demodulacji po stronie odbiorczej otrzymany z powrotem sygnał pasma podstawowego byłby zniekształcony. Przy przenoszeniu sygnału telewizyjnego dałoby to zniekształcenie obrazu, a sygnału zbiorczego telefonii zwielokrotnionej częstotliwościowo - przesłuchy międzykanałowe.

Bardzo ważne jest również dlatego odpowiednie dopasowanie urządzeń nadawczo-odbiorczych do linii zasilających i anteny. Brak dopasowania prowadzi bowiem do powstania fali odbitej, co wyraża się odpowiednio powstaniem "duchów" na ekranie telewizora lub też wzajemnymi przesłuchami i wzrostem poziomu szumów w kanałach telefonicznych.

Modulacja częstotliwości fali nośnej nadajnika może odbywać się bezpośrednio lub pośrednio. W pierwszym przypadku sygnał pasma podstawowego moduluje wprost generator pracujący na częstotliwości fali nośnej /rys. 10a/, a w drugim następuje początkowo modulacja na częstotliwości pośredniej i dopiero następnie częstotliwość ta zostaje zdudniona z częstotliwością generatora mikrofalowego nie modulowanego w celu wytworzenia właściwej częstotliwości promieniowanej fali /rys. 10b/. System drugi jest bardziej skomplikowany, ale zaletą jego jest to,

że modulacja odbywa się zawsze na tej samej częstotliwości, niezależnie od częstotliwości fali nośnej stacji
a)



b)



Rys. 8. Dwie zasadnicze metody modulacji częstotliwości fali nośnej nadajnika mikrofalowego

linii radiowej, co pozwala na standaryzację aparatury modulacyjnej. Ponadto, ponieważ zasadniczy generator mikrofalowy nie jest modulowany, system ten pozwala na zwiększenie stabilności częstotliwości pracy systemu.

W przypadku przesyłania sygnału zbiorczego telefonii przy modulacji stosuje się powszechnie układy tzw. preem-

fazy i deemfazy dla uzyskania równomiernego rozdziału mocy szumów na wszystkie kanały. Ostatnio daje się zauważyć tendencja do stosowania takich samych układów i do przesyłania sygnałów telewizyjnych, co pozwoliłoby na stosowanie tych samych modulatorów i demodulatorów przy przesyłaniu obu rodzajów sygnałów. W przypadku wielokanałowych linii radiowych pracujących w sieci połączeń magistralnych lub międzynarodowych niezbędne jest przy tym, niezależnie od metody modulacji częstotliwości, włączenie między wyjście generatora modulowanego a wejście antenowe, stopnia separacyjnego wielkiej częstotliwości. Ma on na celu uniknięcie szkodliwego wpływu odbić i niedopasowań w kablu zasilającym antenę na pracę generatora mikrofalowego. Nie jest to konieczne w przypadku linii o charakterze lokalnym, pracującej na jednym kanale wielkiej częstotliwości, chociaż zawsze zalecane.

Odbiorniki stacji końcowych i większości stacji przekaznikowych pracują w konwencjonalnych układach przemiany częstotliwości, różniąc się od normalnych odbiorników radiokomunikacyjnych tylko zakresem częstotliwości pracy i w związku z tym inną techniką wykonania obwodów. Posiadają one generator lokalny, dostrajany często automatycznie do częstotliwości odbieranej fali nośnej, wzmacniacze pośrednich częstotliwości z układem automatycznej regulacji wzmocnienia, ograniczniki i detektory pasma podstawowego.

Dane charakteryzujące szczegółowiej poszczególne parametry transmisji wielkiej częstotliwości, jak: szerokość pasm, częstotliwość pośrednia, poziomy sygnałów,

charakterystyki przenoszenia obwodów itd, zawarte są w odpowiednich zaleceniach CCIR.

3.2. Systemy zwielokrotniania kanałów telefonicznych

Jak wiadomo, istnieją dwa zasadnicze sposoby zwielokrotniania kanałów telefonicznych nadawanych na tej samej fali nośnej: częstotliwościowy i czasowy.

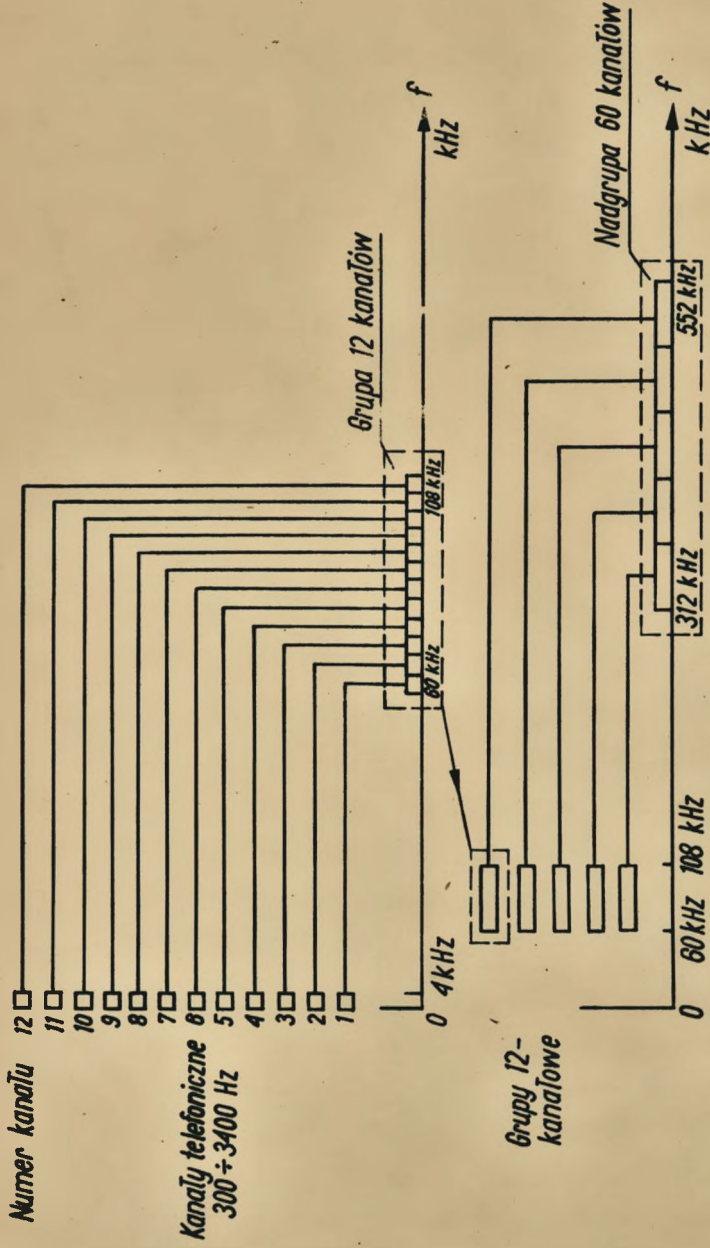
Obecnie w dalekosiężnych szerokopasmowych liniach radiowych prawie wyłącznie stosuje się metodę zwielokrotniania częstotliwościowego, pozwalającą na bezpośrednie wykorzystanie krotnie stosowanych w systemach wielokrotnej telefonii nośnej na liniach przewodowych. Ponadto tylko ta metoda pozwala praktycznie na uzyskanie krotności kanałów większej od 60. Zasada zwielokrotniania częstotliwościowego znana jest powszechnie. Pasma podstawowe modulujące falę nośną złożone jest w tym przypadku z położonych w odstępnie 4 kHz dolnych wstęp bocznych otrzymanych po stłumieniu częstotliwości podnośnych różnych dla każdego kanału telefonicznego, a modulowanych każdą niezależnymi sygnałami w pasmie 300 Hz - 3000 Hz. Zasadę tę wyjaśnia obrazowo rys. 9. Granice zajmowanego pasma dla różnej ilości kanałów telefonicznych podaje tabelka na str. 38.

Jak z powyższego widać, wymagania CCIR są zgodne z odpowiednimi zaleceniami CCITT dla systemów łączności przewodowej. Ostatnio są prowadzone zaawansowane próby z powiększeniem liczby kanałów przesyłanych na jednej fali nośnej do 1800 a nawet 2700, co zwiększyłoby szerokość przesyłanego pasma prawie do 10 MHz.

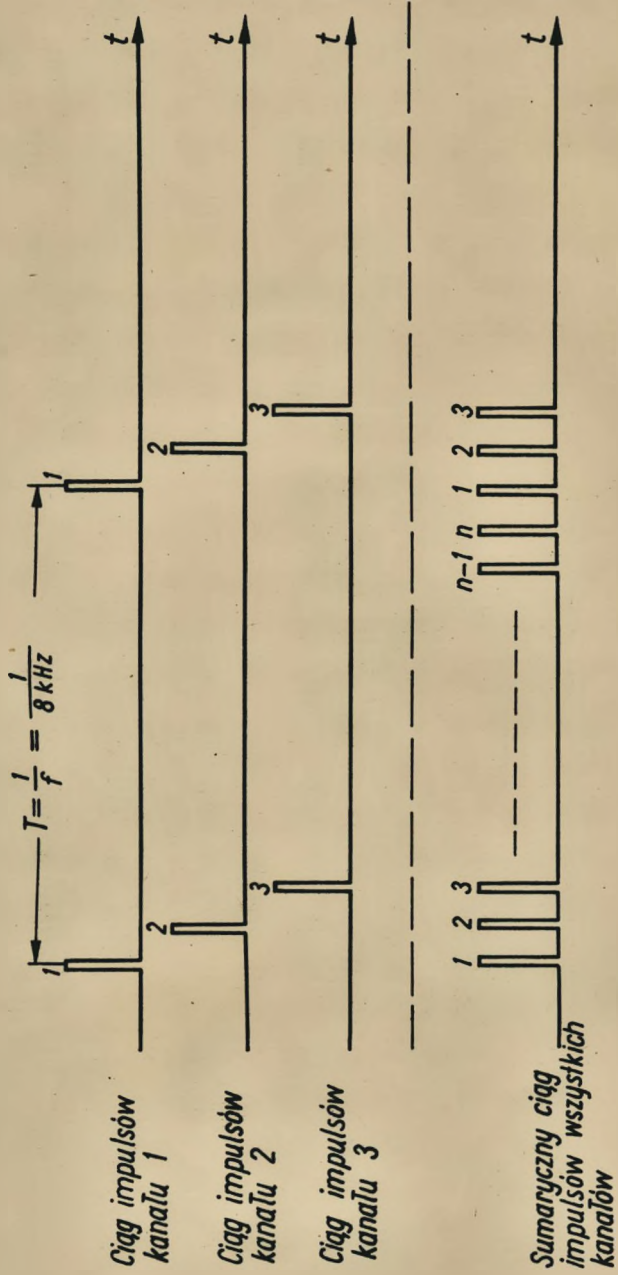
Liczba kanałów	Częstotliwości graniczne pasma podstawowego /kHz/
12 /1 grupa pierwotna/	12 - 60 lub 60 - 108
24 /2 grupy pierwotne/	12 - 108
60 /1 grupa wtórna/	12 - 252 lub 60 - 300
120 /2 grupy wtórne/	12 - 552 lub 60 - 552
240 /4 grupy wtórne/	60 - 1052
600 /10 grup wtórnych/	60 - 2540

Stosując metodę podziału częstotliwościowego kanałów uzyskuje się z punktu widzenia technicznego to, że urządzenia właściwej linii radiowej ograniczają się do urządzeń nadawczo-odbiorczych wielkiej częstotliwości. Aparatura wielokrotna jest tego samego typu jak dla kablowych systemów nośnych, zasada łączenia, dzielenia, wydzielenia i dołączania kanałów na stacjach końcowych i przekaźnikowych pozostaje w obu przypadkach niezmienna.

Metoda zwielokrotnienia czasowego pozwala na uzyskanie mniejszej krotności kanałów wynoszącej na ogół 24 lub 48, w przypadku wyłącznie niemal stosowanej modulacji położenia impulsów kanałowych. Zasada podziału opiera się na zjawisku, że dla odtworzenia sygnału akustycznego po stronie odbiorczej wystarczy przesłać tylko kilka punktów obwiedni sygnału na jeden okres częstotliwości modulującej. Każdy kanał telefoniczny o pasmie 300 - 3400 Hz ma przynależny mu ciąg wąskich impulsów o częstotliwości powtarzania 8 kHz, przy czym ciągi impulsów kolejnych kanałów



Rys. 9. Zasada wielokrotniania częstotliwościowego kanałów telefonicznych



Rys. 10. Zasada zwielokrotniania czasowego kanałów telefonicznych

są przesunięte w czasie względem siebie /patrz rys. 9/. Głównymi zaletami metody jest to, że na każdej stacji przekaźnikowej można stosunkowo łatwo wydzielić i dołączyć dowolną liczbę kanałów, nieistotna jest liniowość układów modulacyjnych wielkiej częstotliwości, a urządzenia wielokrotne są znacznie prostsze i tańsze. System ten jest przeto zalecany wszędzie tam, gdzie wymagana krotność nie jest zbyt duża i nie przewiduje się współpracy linii radiowej z systemami telefonii nośnej /w tym przypadku połączenie mogłoby mieć miejsce tylko na częstotliwości akustycznej poszczególnych kanałów/. System ten jest stosowany dlatego bardzo często na liniach okręgowych, podczas gdy linie magistralne pracują wyłącznie ze zwielokrotnieniem częstotliwościowym kanałów.

3.3. Metody połączeń na stacjach przekaźnikowych

W przypadku gdy na stacji przekaźnikowej ma miejsce odgałęzianie pewnej liczby kanałów telefonicznych, wówczas modulacja i demodulacja na takiej stacji musi mieć miejsce aż do pasma podstawowego i praca jej nie różni się zasadniczo od pracy stacji końcowej. Zagadnienie sposobu dokonywania połączeń między wyjściem urządzeń odbiorczych a wejściem nadawczych występuje dopiero wówczas, gdy stacja przekaźnikowa pełni tylko rolę stacji przelotowej. W miarę możliwości należy wówczas unikać demodulacji do pasma podstawowego, bowiem każda taka demodulacja i ponowna modulacja fali nośnej nadajnika retransmisyjnego wprowadza nieunikniony wzrost zniekształ-

ceń i szumów, które przy dużej liczbie stacji przekaźnikowych mogą osiągnąć niedopuszczalne wielkości.

W przypadku stacji przelotowych stosuje się przeto połączenie odbiornika z nadajnikiem nie wprost na częstotliwości pasma podstawowego, lecz na częstotliwości pośredniej lub wielkiej częstotliwości nośnej. Pierwsza metoda polega na tym, że w odbiorniku analogicznym jak na stacji końcowej następuje zamiana częstotliwości fali nośnej na częstotliwość pośrednią bez detekcji do sygnału pasma podstawowego. Wzmocniony sygnał o częstotliwości pośredniej zostaje doprowadzony do układu mieszacza, a następnie zdudniony z sygnałem lokalnego generatora mikrofalowego o takiej częstotliwości, aby produkt mieszania odpowiadał częstotliwości, jaką powinna mieć fala nośna promieniowana przez nadajnik retransmisyjny stacji. Odpowiednie układy a.f.w. i a.r.cz., ograniczniki amplitudy oraz synchronizacja obu generatorów służących do dwukrotnej przemiany częstotliwości w nadajniku i odbiorniku, zapewniają wymaganą stałość poziomów i częstotliwości pracy stacji.

Druga metoda, teoretycznie bardziej prosta, sprowadza się jedynie do bezpośredniego wzmocnienia odbieranego sygnału mikrofalowego, a następnie zdudnieniu go z sygnałem generatora lokalnego pracującego na takiej częstotliwości, aby otrzymać odpowiednie przesunięcie częstotliwości fali nośnej nadawanej w kierunku następnej stacji w stosunku do częstotliwości sygnału odbieranego. Zasadniczą trudność, z punktu widzenia technicznego, sprawiało jednak przez długi czas wzmocnienie sygnału o tak

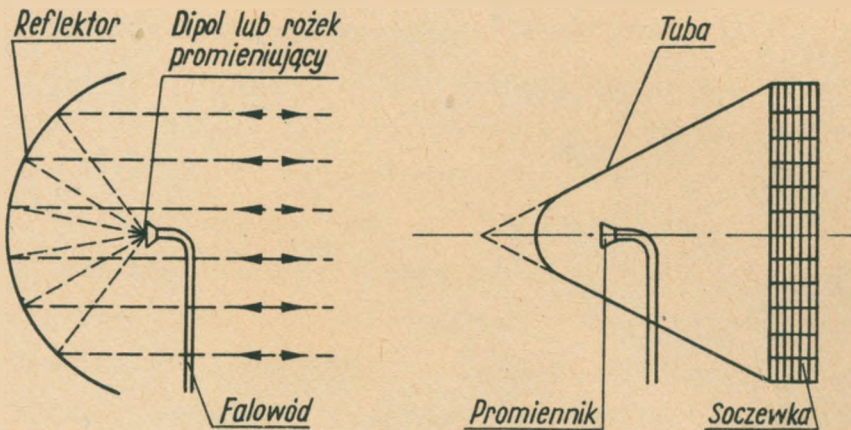
wielkiej częstotliwości przy zachowaniu małego poziomu szumów i odpowiedniej charakterystyce przenoszenia szerokiego pasma modulacyjnego. Dopiero wynalezienie lamp o fali bieżącej /i jej rozmaitych wariantów/ pozwoliło na zrealizowanie tego w zadowalający sposób i obecnie coraz więcej typów nowoczesnych radiowych linii dalekosiężnych, zwłaszcza pracujących jako niezależne systemy przechodzi na ten rodzaj połączeń na stacjach przekaźnikowych, co wiąże się z odpowiednim rozwiązaniem elektrycznym i konstrukcyjnym urządzeń mikrofalowych.

Ograniczona objętość monografii nie pozwala na wyczerpanie tego dość złożonego problemu. Zainteresowanych bliżej tym zagadnieniem odsyła się przeto do szczegółowego opisu metod połączeń na stacjach przekaźnikowych, zawartego w "Przeglądzie Zagadnień" Nr 2, 1961 r, Instytutu Łączności.

3.4. Anteny mikrofalowe i sposoby ich zasilania

Anteny stacji linii radiowych powinny promieniować i odbierać energię fal elektromagnetycznych tylko wzdłuż trasy linii. Z tego względu stosowane anteny mikrofalowe muszą mieć możliwie duży zysk i kierunkowość, co z jednej strony prowadzi do zredukowania niezbędnej dla uzyskania danego stosunku sygnału do szumów na wyjściu odbiornika mocy nadajnika, a z drugiej strony zabezpiecza przed odbiorem sygnałów niepożądanych z innych systemów mikrofalowych lub z innych odcinków danej linii. W pewnym stopniu zmniejsza to również wpływ sygnałów do-

cierających do anteny odbiorczej na skutek odbicia od przeszkód terenowych /patrz p.4.2/, zwłaszcza gdy przeszkoda odbijająca znajduje się blisko anteny odbiorczej.



Rys. 11. Najczęściej stosowane anteny mikrofalowe

Najczęściej używanymi rodzajami anten w zakresie mikrofalowym są anteny paraboliczne oraz anteny tubowo-soczewkowe /rys. 11/. Anteny paraboliczne posiadają reflektory o średnicach praktycznie biorąc od około 1 m do 4 m, zależnie od rodzaju urządzenia /stacjonarne czy ruchome/ oraz od częstotliwości fali nośnej. Uzyskiwane w ten sposób zyski wahają się od 20 do 40 dB, a szerokość wiązki promieniowania odpowiednio od 2° do 5° . Szerokość pasma, jaką można przenieść przez antenę paraboliczną, zależy od częstotliwości nośnej i wynosi około $\pm 10\%$, co jest zupełnie wystarczające dla równoczesnego przeniesienia kilku kanałów wielkiej częstotliwości. W przy-

padkach gdy antena musi pracować jednocześnie przy kilku kanałach wielkiej częstotliwości wzajemnie znacznie odległych od siebie, np. leżących w zakresie od 2000MHz do 4000 MHz, to wówczas korzystne jest stosowanie bardziej technicznie skomplikowanej anteny tubowo-soczewkowej, która umożliwia dopasowanie w bardzo szerokim zakresie częstotliwości.

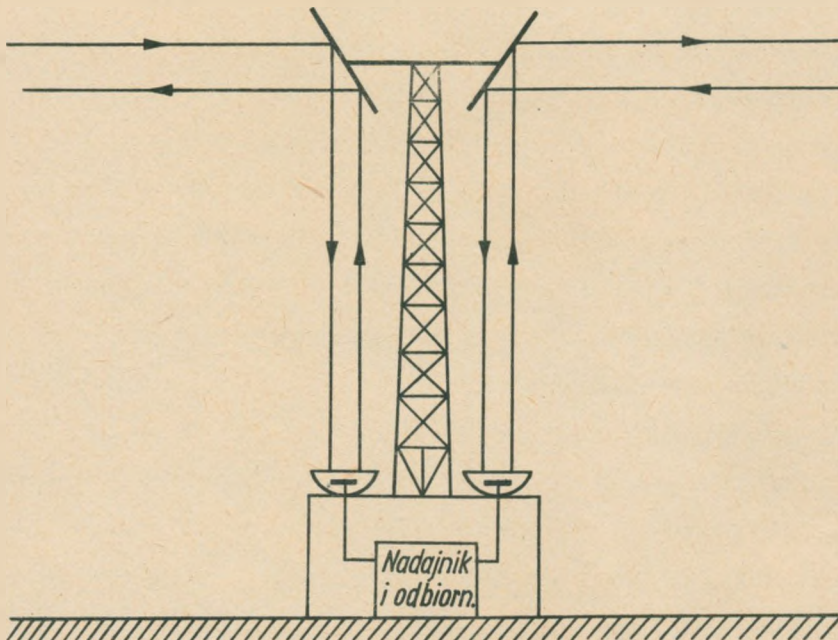
Separację poszczególnych kanałów szerokopasmowych zapewnia nie tylko właściwe rozmieszczenie częstotliwości ich fal nośnych, ale również stosowanie różnej polaryzacji promieniowanych fal sąsiednich kanałów, co następuje przez odpowiednie ustawienie w ognisku reflektora dipola promieniującego. W przypadku gdy ilość kanałów wielkiej częstotliwości linii jest mała, a zwłaszcza gdy linia służy do przesyłania jednego tylko kanału szerokopasmowego w każdym z kierunków transmisji, stosuje się wspólną antenę nadawczo-odbiorczą. Wówczas stacja przekaźnikowa zostaje wyposażona tylko w dwie anteny, z których każda pełni jednocześnie rolę anteny nadawczej i odbiorczej w stosunku do sąsiedniej stacji na trasie linii.

Energię wielkiej częstotliwości doprowadza się wówczas z nadajnika do anteny i z anteny do odbiornika za pomocą wspólnej linii zasilającej. Rozdzielenie obu kierunków transmisji odbywa się dopiero na wejściu aparatury nadawczo-odbiorczej za pomocą odpowiedniego układu filtrów pasmowych wielkiej częstotliwości tworzących wspólnie tzw. zwrotnicę antenową.

Bardzo ważną sprawą jest właściwy wybór linii zasilającej antenę mikrofalową. Idzie tu nie tylko o wprowadzane tłumienie /na ogół rzędu kilku dB na 100 m/, ale zwłaszcza o dobre dopasowanie między anteną, linią zasilającą i urządzeniem nadawczo-odbiorczym, bowiem wszelkie odbicia będą prowadziły w przypadku przesyłania sygnału telewizyjnego do powstawania ech, a przy telefonii wielokrotnej - przesłuchów międzykanałowych. Dla zakresu częstotliwości do około 2000 MHz powszechnie stosuje się zasilanie anten za pomocą kabla koncentrycznego, w zakresie od 2000 MHz do 4000 MHz równorzędne zastosowanie ma kabel koncentryczny i falowód kołowy czy prostokątny, dla częstotliwości powyżej 4000 MHz falowód jest już przeważnie niezastąpiony. W celu zmniejszenia wpływu niedopasowania stosuje się ferrytowe obciążenie kabli koncentrycznych i falowodów.

W każdym przypadku dla projektanta i konstruktora urządzeń stacji linii radiowej jest rzeczą bardzo ważną zmniejszenie niezbędnej długości kabli lub falowodów antenowych. W tym celu albo dąży się do ograniczeń wysokości wież /co również jest bardzo korzystne ze względu na zmniejszenie nakładów inwestycyjnych/ przez umieszczenie stacji na dogodnych wzniesieniach lub też odpowiednio konstruuje samo urządzenie. W tym celu aparatura nadawczo-odbiorcza wielkiej częstotliwości zostaje umieszczona na szczycie wieży lub masztu tuż obok anteny, tworząc z nią nawet niekiedy mechanicznie jedną całość, a połączenie z właściwymi urządzeniami stacji ma miejsce na częstotliwości pośredniej lub pasma podsta-

wowego. Inna metoda polega na tym, że antena paraboliczna znajduje się na ziemi i skierowana jest w kierunku szczytu wieży, gdzie umieszczone płaskie zwierciadło metalowe zapewnia odpromieniowanie energii wielkiej częstotliwości w pożądanym kierunku /ry. 12/.



Rys. 12. Kierunkowe odpromieniowywanie energii za pomocą płaskich reflektorów

4. LINIE RADIOWE O ZASIĘGU POZAHORYZONTOWYM

4.1. Cechy charakterystyczne łączności na fali rozproszonej

Zasady łączności na fali rozproszonej zostały ogólnie omówione w punkcie 1.2. Jedyną, tym niemniej bardzo

istotną zaletą systemu jest możliwość współpracy ze sobą stacji bardzo odległych od siebie. Łączność na odległość kilku tysięcy kilometrów może być uzyskana przy wykorzystaniu prawie 10-krotnie mniejszej ilości stacji przekaźnikowych, niż w przypadku linii radiowych o zasięgu optycznym. Największy zasięg, jaki można uzyskać przy pojedynczym skoku takiej linii zależy od kąta, który tworzą ze sobą wiązki obu anten, czyli pośrednio, od wysokości, na której występuje zjawisko rozproszenia troposferycznego. Przyjmując średnią wysokość punktu przecięcia się wiązki obu anten kierunkowych równą 5 km otrzymujemy średni zasięg rzędu 300 km, który może być uzyskany przy spełnieniu wymagań odnośnie dużej mocy promieniowania /duża moc nadajnika i bardzo duży zysk kierunkowy anten/ oraz małego współczynnika szumów odbiornika. Poza tym kąt zawarty między wiązką kierunkową anteny nadawczej i odbiorczej /rys. 4/ powinien być możliwie mały, bowiem w miarę wzrostu tego kąta efektywna moc fali rozproszonej w kierunku stacji odbiorczej bardzo szybko maleje. Dlatego też niezmiernie ważną sprawą jest taki wybór miejsca umieszczenia obu stacji, aby występujące w pobliżu wzniesienia nie ograniczały widzialnego horyzontu.

Mimo najdokładniejszego jednak spełnienia tych wszystkich warunków sygnał odbierany jest bardzo słaby, 50 do 100 dB poniżej poziomu sygnału odbieranego przez stację linii radiowej o zasięgu optycznym. Nie byłoby to jeszcze samo w sobie tak groźne, bowiem postępy w technice budowy wzmacniaczy o małym poziomie szumów /masery/

pozwalają przypuszczać, że z czasem odbiór słabych sygnałów nie będzie sprawiał takich kłopotów jak obecnie. Znacznie gorsze jest to, że na skutek samej zasady działania rozproszenia występuje ciągle, chwilowe i okresowe wahanie natężenia istniejącego w punkcie odbioru sygnału, dochodzące nawet do kilkudziesięciu decybeli. Stosując nawet odbiór zbiorczy na różnych częstotliwościach /występujące zaniki mają najczęściej charakter selektywny/ oraz sprawne działanie a.r.w. odbiorników, otrzymuje się ciągle zmiany stosunku sygnału do szumów na wyjściu odbiornika.

Dalszą wadą tego systemu łączności mikrofalowej, zmniejszającą zakres jego szerszego praktycznego zastosowania, są ograniczenia co do szerokości przesyłania pasma. Użyteczne pasmo przesyłane maleje bowiem bardzo szybko ze wzrostem odległości między stacjami, tak że przy odległościach powyżej 300 km nie można jak dotychczas przesyłać nawet telewizji o najniższym standardzie. Liczba przesyłanych kanałów telefonicznych nie przewyższa jak dotąd w stosowanych systemach 120, ale są czynione próby powiększenia tej liczby.

Ograniczenie szerokości pasma wynika ze zjawiska zmiany czasu opóźnienia grupowego ze wzrostem przesyłanych częstotliwości modulujących na skutek odbioru sygnału z dużego obszaru rozproszenia. Jedynymi środkami zaradczymi są: zmniejszenie szerokości promieniowanej wiązki i ograniczenie odległości między stacjami. Oba te sposoby prowadzą do jednakowego efektu zmniejszenia objętości obszaru rozproszenia troposferycznego.

Ostatnią wadą łączności na fali rozproszonej są zniekształcenia przesyłanego sygnału, wynikłe z wielopromieniowego rozchodzenia się fal radiowych. Powoduje to, że sygnał wypadkowy na wejściu odbiornika okazuje się wynikiem superpozycji dużej liczby sygnałów modulowanych jedną nadawaną wiadomością i przesuniętych w fazie względem siebie. Zniekształcenia te zależą również od wymiarów geometrycznych przestrzeni rozpraszającej, ale mogą wystąpić również przy stosunkowo wąskim pasmie częstotliwości przenoszonych. Dlatego też zysk kierunkowy anteny jest ważniejszy niż jej zysk energetyczny.

4.2. Metody zapewnienia dobrych warunków łączności

Jak wynika z powyższych rozważań, łączność na falach rozproszonych wymaga nadajników o dużych mocach i dużych zyskach układów anten nadawczych i odbiorczych. Moce wyjściowe urządzeń nadawczych są rzeczywiście, jeżeli weźmiemy pod uwagę zakres mikrofalowy, bardzo duże. Obecnie istniejące urządzenia posiadają nadajniki pracujące na fali ciągłej z mocą wyjściową do 50 kW. Uzyskanie tak dużych mocy stało się możliwe dopiero z chwilą opracowania lamp mikrofalowych o dużej mocy wyjściowej /klistrony i lampy o fali bieżącej/ oraz rozwoju techniki układów mikrofalowych. Istotnym zagadnieniem jest tu również dobór odpowiednich linii zasilających układy antenowe, pozwalających na przeniesienie dużych mocy /przeważnie stosuje się tu falowody, mniej podatne na przebicie przy przesyłaniu wysokich napięć/. Promienio-

wana fala nośna jest jak dotychczas z reguły modulowana częstotliwościowo przez sygnał zbiorczy telefonii wielokrotnej. Stosowanie tego rodzaju modulacji zamiast modulacji amplitudy ma na celu osiągnięcie tych samych korzyści, jak w przypadku transmisji przez linie radiowe o zasięgu optycznym. Ostatnio jednak czynione są również próby z modulacją jednowstęgową amplitudy. Pozwala to bowiem ograniczyć szerokość przesyłanego pasma /przy modulacji częstotliwości mamy korzyści tylko przy współczynniku dewiacji większym od jedności/, rzecz z punktu widzenia łączności na fali rozproszonej niezmiernie ważna, oraz zwiększa nieco, w krytycznych momentach złych warunków propagacji, czułość urządzeń odbiorczych ze względu na brak efektu progowego.

Anteny stosowane w łączności na falach rozproszonych posiadają reflektory odbijające w postaci wycinków paraboli, o rozmiarach dochodzących do 50 x 50 metrów, przy czym uzyskiwane zyski są rzędu 30 do 50 dB /patrz rys. 13/. Od pewnej wielkości reflektora wzwyż wzrost wymiarów nie idzie przy tym w parze z równomiernym wzrostem zysku antenowego. Dzieje się to na skutek tego, że przy tak dużych wymiarach zwierciadła odbijającego w stosunku do długości fali, promieniowana fala płaska może posiadać na powierzchni prostopadłej do kierunku rozchodzenia się fali składowe, będące w różnych fazach. Ze względu na duże wymiary i koszty budowy układów antenowych wykorzystuje się powszechnie jedną, wspólną antenę dla odbioru i nadawania w danym kierunku transmisji. Nie jest to wcale łatwe ze względu na duże różnice mocy nadawania i odbioru.

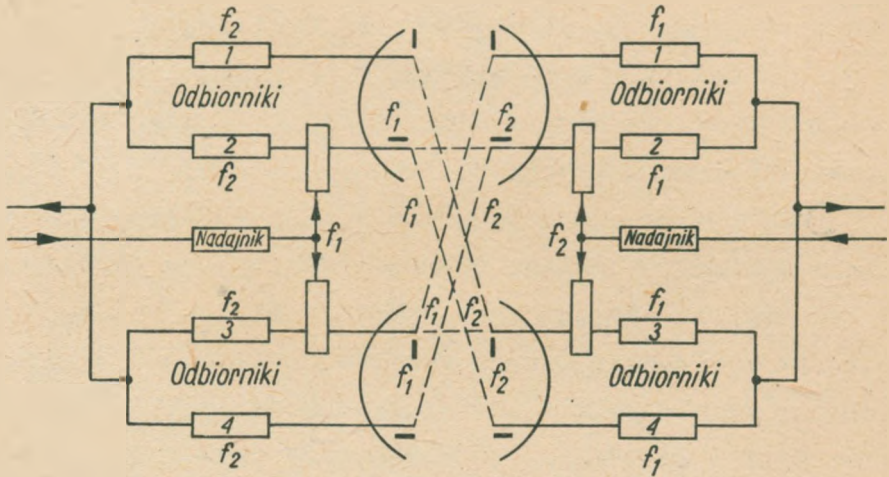


Rys. 13. Anteny stacji linii radiowej, pracującej
na fali rozproszonej

Dla uzyskania wysokiej jakości transmisji trzeba przy ustawieniu anteny regulować kierunkowość promieniowania energii. W tym celu anteny wyposażone są często w obrotowe mechanizmy, pozwalające na dokładne nastawienie anten według azymutu i kąta wzniesienia. Dla zmniejszenia ciężaru własnego i ułatwienia prac montażowych, anteny są zwykle wykonane z aluminium. Sztywność konstrukcji musi być przy tym bardzo duża, żeby mogły one wytrzymać ciężar oblodzenia i siłę wiatru.

W przypadkach gdy odległości między korespondującymi stacjami linii o zasięgu pozahoryzontowym są bardzo duże lub warunki propagacyjne wybitnie niekorzystne, i należy się spodziewać dużych zaników, zaleca się odbiór zbiorczy przy użyciu odpowiednio dużej liczby układów antenowych i urządzeń. Można stosować przy tym odbiór zbiorczy przestrzenny, częstotliwościowy, czasowy lub też kombinacje poszczególnych metod odbioru zbiorczego. Odbierane równoległe sygnały są następnie łączone na częstotliwości pośredniej lub częstotliwościach pasma podstawowego, bardzo rzadko od razu na wejściu odbiornika. W przypadku odbioru przestrzenno-zbiorczego najlepsze wyniki uzyskuje się przy rozstawieniu anten odbiorczych w odstępach równym 50 - 100 długości fali roboczej. Poprawa łączności zaznacza się wyraźnie w momentach występowania silnych zaników i przy odbiorze zbiorczym częstotliwościowo-przestrzennym wyraża się wówczas poprawą stosunku sygnału do szumów w kanale telefonicznym, dochodzącą do 15 - 20 dB.

Rys. 14. przedstawia schemat poczwórnego odbioru zbiorczego. Zastosowano tu nie tylko po dwie rozmieszczone w odpowiednim odstępie anteny na każdej stacji, ale rów-



Rys. 14. Poczwórny odbiór zbiorczy przy łączności mikrofalowej na fali rozproszonej przy użyciu tylko dwóch częstotliwości f_1 i f_2

nież dwie częstotliwości i dwie polaryzacje promieniowanych fal nośnych. W ten sposób sygnał między stacjami jest równolegle przesyłany po czterech niezależnych torach wielkiej częstotliwości, a połączenia następują dopiero na częstotliwości pośredniej.

Inne urządzenia stacji mikrofalowej pracującej na fali rozproszonej są takie same jak dla linii radiowych o zasięgu optycznym.

4.3. Zastosowanie linii radiowych o zasięgu pozahoryzontowym

Mniej więcej od roku 1954 linie radiowe pracujące na fali rozproszonej wyszły z etapu badań eksperymentalnych i zaczęto stosować je na niewielką skalę dla stałej łączności cywilnej i wojskowej. Zakres ich stosowania wynika wprost z omówionych w poprzednich rozdziałach zalet i wad systemu. Zasadniczą zaletą łączności na fali rozproszonej jest możliwość osiągnięcia za pomocą jednego skoku dużego zasięgu, tak że np. odległości rzędu 1000 km mogą być uzyskane przy użyciu zaledwie kilku stacji przekaznikowych. Jednocześnie jednak ogranicza to możliwości współpracy tego typu linii z innymi systemami łączności o mniejszym zasięgu; im mniej bowiem stacji przekaznikowych, tym mniej punktów, w których możliwe jest np. odłączanie i dołączanie pewnej ilości kanałów telefonicznych przesyłanych dalej drogą przewodową lub radiową. Dlatego też linie tego typu znajdują zastosowanie przede wszystkim tam, gdzie chodzi o uzyskanie łączności między dwoma odległymi miejscowościami oddzielonymi od siebie dużymi obszarami mórz lub lądów słabo zagospodarowanych i mało zamieszkałych. Nie przypadek przeto sprawił, że pierwsze tego typu linie zostały np. zainstalowane w Europie między wyspami Minorką i Sycylią, a na kontynencie Ameryki Północnej - dla uzyskania połączeń telefonicznych między Alaską i Kanadą oraz Kubą i Stanami Zjednoczonymi A.P.

W obecnym etapie rozwoju linie radiowe pracujące na fali rozproszonej są przewidywane jako uzupełnienie sieci łączności tam, gdzie poprowadzenie linii kablowych lub radiowych pracujących na fali bezpośredniej jest niemożliwe lub przynajmniej bardzo utrudnione i z tego względu mało opłacalne. Szerszemu zastosowaniu linii poziomohoryzontowych stoi na przeszkodzie wiele nie usuniętych dotychczas wad systemu. Należy tu przypomnieć takie, jak możliwość przesyłania tylko wąskiego pasma, co ogranicza krotkość kanałów telefonicznych do 120, możliwość interferencji z innymi systemami mikrofalowymi ze względu na duży obszar, na którym ma miejsce rozprzestrzenianie się rozproszonego sygnału, zwłaszcza gdy weźmie się jeszcze pod uwagę możliwość wzrostu zasięgu na skutek przypadkowych zmian warunków propagacji. Ponadto łączność tak jak dotychczas jest jeszcze mało stabilna; ciągłe wahania natężenia odbieranego sygnału prowadzą do tego, że przynajmniej w pewnym ułamku czasu pracy stosunek sygnału do szumów spada znacznie poniżej wymagań CCIR i CCITT dotyczących łączności dalekosiężnej w połączeniach międzynarodowych. W porównaniu do linii radiowej o zasięgu optycznym, o tej samej długości co linia radiowa pracująca na fali rozproszonej, ilość stacji przekaźnikowych jest oczywiście wielokrotnie mniejsza, ale za to stacje te są technicznie o wiele bardziej rozbudowane ze względu na niewspółmiernie dużą moc nadajników i olbrzymie rozmiary anten kierunkowych. Pomnaża to nie tylko nakłady inwestycyjne, ale i znacznie powiększa koszty eksploatacji. Niemożliwa jest pra-

ca stacji przekaźnikowych bez obsługi, dublowanie urządzeń stacyjnych w celu zwiększenia pewności pracy stacji jest bardzo kosztowne, a wymiana okresowa elementów urządzeń dość utrudniona.

Reasumując można powiedzieć, że aczkolwiek łączność na fali rozproszonej w pewnych przypadkach doskonale uzupełnia sieć łączności pracującej na liniach mikrofalowych o zasięgu optycznym, to jednak w przypadku łączności dalekosiężnej na terenach i w krajach gęsto zaludnionych i zagospodarowanych, to pozycja linii radiowych pracujących na fali bezpośredniej nie będzie na pewno przez długi czas zagrożona.

5. PERSPEKTYWY ROZWOJOWE LINII RADIOWYCH

5.1. Udział ilościowy linii radiowych w systemach łączności na świecie

We wszystkich krajach stojących na wysokim poziomie rozwoju technicznego linie radiowe już dawno wyszły ze stadium eksperymentów i teoretycznych rozważań na temat celowości ich wprowadzenia, znajdując szerokie zastosowanie jako szerokopasmowy tor transmisyjny dla przeniesienia wszelkiego rodzaju sygnałów telekomunikacyjnych. Natomiast różnie w rozmaitych krajach, w zależności od wielu czynników natury ekonomicznej, technicznej, a nawet politycznej, jest postawione zagadnienie ilościowego udziału linii radiowych w ogólnym systemie łączności. Jest rzeczą charakterystyczną, że im bardziej kraj jest od dawna technicznie rozwinięty, tym większe ma teore-

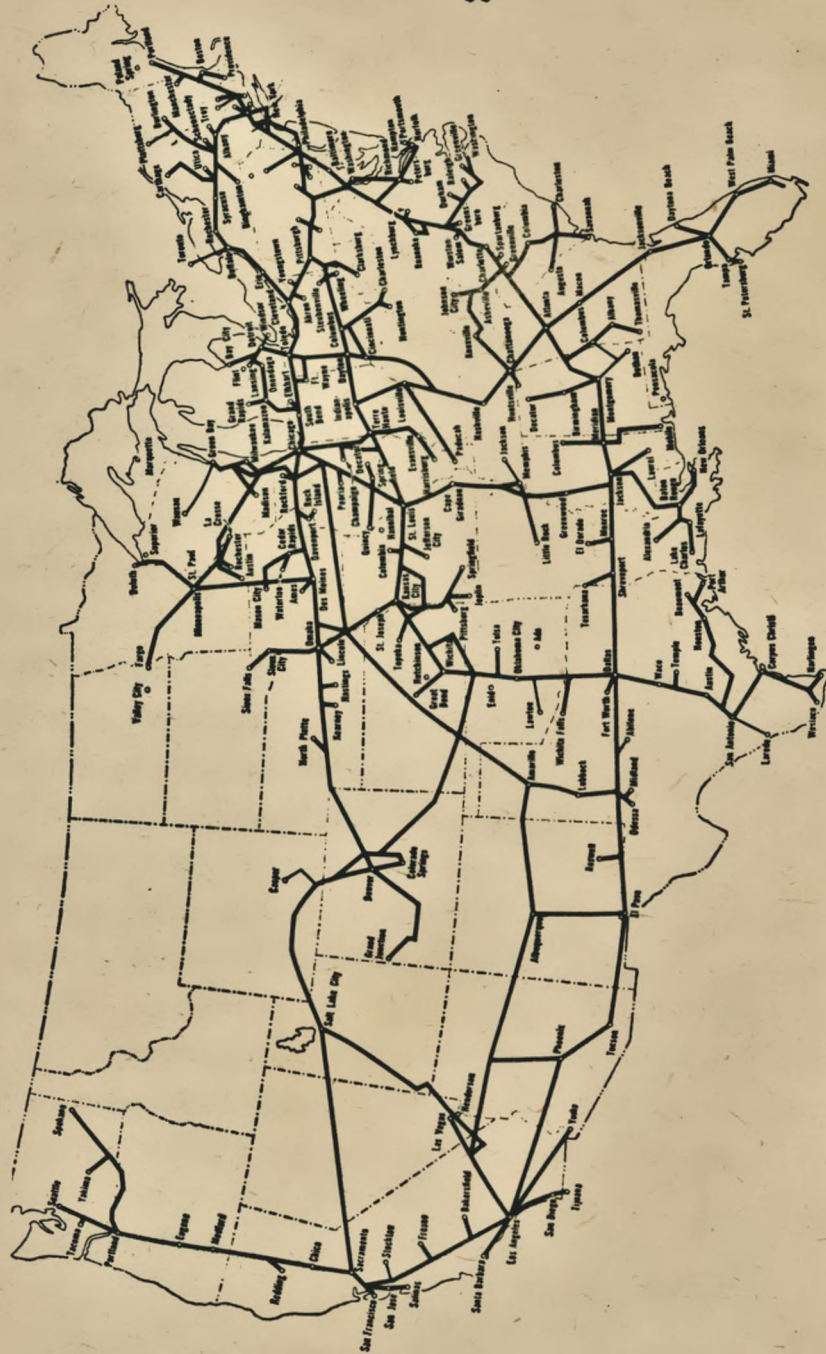
tycznie możliwości rozwoju sieci linii radiowych, ale z drugiej strony należy wziąć pod uwagę to, że kraje te mają już na ogół szeroko rozwiniętą sieć tradycyjnej łączności przewodowej. Między innymi z tego powodu linie radiowe znalazły obecnie szersze zastosowanie do przeniesienia sygnałów telewizji niż telefonii wielokrotnej, bowiem powstanie łączności mikrofalowej zbiegło się właśnie z żywiołowym rozwojem telewizji na świecie i linie radiowe mogły tu skutecznie konkurować z będącymi również w stadium rozwoju szerokopasmowymi kablami koncentrycznymi.

Ze względu na swe cechy charakterystyczne linie radiowe nadają się szczególnie do przesyłania sygnałów telewizyjnych. Linie kablowe wymagają bowiem stosowania specjalnych układów korekcyjnych dla zrównoważenia wpływu nierównomiernej charakterystyki transmisyjnej kabla w zakresie częstotliwości przesyłowych. Ze względu na rodzaj przesyłanego sygnału nie ma znaczenia to, że linia radiowa w porównaniu do linii przewodowej jest torem otwartym, o mniejszej na ogół tajności transmisji. To też w niektórych krajach, jak np. Francja, Polska, Szwecja itd., dalekosiężne i krótkodystansowe linie radiowe o zasięgu optycznym są praktycznie jedynymi środkami łączności umożliwiającymi przesyłanie sygnałów telewizyjnych w sieci połączeń wewnątrz krajowych i międzynarodowych. W innych krajach, jak np. Stanach Zjednoczonych A.P., Z.S.R.R., Wielkiej Brytanii, Niemiec Wschodnich i Zachodnich, linie radiowe są równorzędnym środkiem transmisji sygnału telewizyjnego z liniami kablo-

wymi i o zastosowaniu jednych czy drugich decydują lokalne warunki terenowe i względy ekonomiczne. Jednak i w tych krajach udział ilościowy linii radiowych staje się coraz większy, np. na olbrzymim obszarze Stanów Zjednoczonych A.P. przeszło 3/4 /120.000 km/ ogólnej długości połączeń telewizyjnych zrealizowane jest za pośrednictwem linii radiowych /rys. 5/^{1/}. W Z.S.R.R. długość telewizyjnych linii radiowych wynosi już około 10.000 km, podczas gdy szerokopasmowe linie dla wielokrotnej łączności telefonicznej są dopiero uruchamiane.

Udział linii radiowych przeznaczonych do przesyłania sygnałów telefonii wielokrotnej w ogólnej sieci łączności w wielu krajach jest jeszcze stosunkowo mały, aczkolwiek stale rosnący. Wpłynęło na to wiele czynników. Po pierwsze w przypadku połączeń telefonicznych przewaga linii radiowych nad przewodowymi jest mało wyraźna, aspekty ekonomiczne ustępują często miejsca względom technicznym. Dotyczy to zwłaszcza połączeń krótkodystansowych o charakterze lokalnym, gdzie potrzebna krotność systemu nie jest zbyt duża. Po drugie w krajach technicznie przodujących tradycyjna sieć łączności przewodowej jest już szeroko rozwinięta i dlatego nawet szybko postępująca tam budowa linii radiowych nie wprowadza na razie wyraźnych zmian w strukturze łączności. W krajach natomiast nie posiadających dobrze rozwiniętej sieci łączności telefonicznej, rozwój telefonicznych linii

^{1/}Electronic Engineering. May 1958, str. 227.
The Bell System Technical Journal. November 1961, str. 1459.



Rys. 15. Sieć linii telewizyjnych w Stanach Zjednoczonych A.P.
/ogólna długość 160.000 km, 3/4 to linie radiowe/

radiowych poza konkretnymi względami technicznymi i ekonomicznymi może również wpływać i brak urządzeń przewodowej telefonii nośnej, które to urządzenia czynią dopiero zastosowanie linii radiowych o częstotliwościowym zwielokrotnieniu kanałów telefonicznych w pełni ekonomicznie uzasadnione.

Istnieją jednak kraje o wyraźnych tendencjach zastosowania linii radiowych do wszelkich form ruchu telekomunikacyjnego. Tak np. w Stanach Zjednoczonych 1/4 ogólnej liczby międzymiastowych połączeń telefonicznych realizowana jest za pomocą linii radiowych o łącznej długości 70.000 km^{1/}. Jeżeli weźmiemy pod uwagę, że kraj ten posiada 55% światowej ilości abonentów telefonicznych, to stanie się oczywiste, że w ten sposób udział procentowy linii radiowych w łączności telefonicznej, z punktu widzenia ogólnoświatowego, jest już tylko dzięki Stanom Zjednoczonym A.P. dosyć duży. Podobne zjawisko występuje i w Kanadzie. Kraj ten przeszedł w szybkim tempie z systemu dalekosiężnej napowietrznej łączności przewodowej na łączność telefoniczną za pośrednictwem linii radiowych. Ze względu na specyficzne warunki terenowe /duże obszary kraju pokryte gęstymi lasami, rzadko zaludnione/ nie bierze się tam pod uwagę możliwości szerszego zastosowania linii kablowych. Obecnie już prawie cały międzymiastowy półautomatyczny ruch telefoniczny w tym kraju opiera się na dobrze rozwiniętej sieci linii radiowych.

^{1/} patrz odnośnik na stronie 59.

Nie zawsze zresztą procentowy udział linii radiowych w sieciach łączności decyduje o ważności i przydatności. Tak np. takie kraje, jak Wielka Brytania i Japonia nie mają jeszcze szeroko rozwiniętych sieci linii radiowych, tym niemniej w krajach tych ten typ łączności odgrywa szczególnie ważną i często nieomal niezastąpioną rolę, umożliwiając łączność między poszczególnymi wyspami, a w przypadku Wielkiej Brytanii również łączność z kontynentem.

Na zakończenie należy podkreślić, że dane powyższe odnoszą się wyłącznie do linii radiowych o zasięgu optycznym. Udział linii radiowych pozahoryzontowych w sieciach łączności jest jeszcze minimalny, a wiele krajów w ogóle systemu tego dotychczas nie zastosowało w praktyce do łączności cywilnej.

5.2. Tendencje rozwojowe linii radiowych w świecie

Linie radiowe są środkiem łączności, który od lat powojennych wykazywał i wykazuje nadal niesłabnące tendencje rozwojowe. Procentowy wzrost udziału linii radiowych w sieciach telekomunikacyjnych rozmaitych krajów jest oczywiście różny, zależny od potrzeb i możliwości ekonomicznych. Należy przy tym podkreślić, że nie ma tu mowy o usuwaniu przez linie radiowe mocno już rozwiniętych i posiadających wiele zalet sieci przewodowych, zwłaszcza kabli koncentrycznych. Każdy z tych systemów łączności niewątpliwie znajdzie swoją dziedzinę

zastosowania. Tylko wspólne wykorzystanie łączności radiowej i przewodowej pozwala zaspokoić potrzeby gospodarki narodowej każdego rozwijającego się technicznie i ekonomicznie kraju. W przypadku budowy nowych linii i sieci bierze się zawsze pod uwagę względy techniczne i ekonomiczne, które bardzo często przemawiają na korzyść zastosowania nowocześniejszych systemów radiowych, dających więcej możliwości.

Dla przykładu można podać, że w Związku Radzieckim w planie 7-letnim przewidziano przeszło 8-krotne powiększenie długości dalekosiężnych, magistralnych linii radiowych, przy czym linie te będą brały coraz większy udział w międzymiastowym ruchu telefonicznym /linie posiadają 6 kanałów wielkiej częstotliwości, pasmo każdego pozwala na przesłanie 600 kanałów telefonicznych lub programu telewizyjnego/. W Stanach Zjednoczonych zakłada się, że do roku 1968 około 1/2 ogólnej ilości połączeń telefonicznych będzie realizowane za pośrednictwem linii radiowych. Podobne tendencje rozwojowe wykazują kraje obozu socjalistycznego oraz wiele krajów gospodarczo zacofanych, gdzie często opłaca się nawet ponieść do-rażnie pewne straty ekonomiczne, aby mieć zapewnione dzięki zastosowaniu linii radiowych perspektywy rozwojowe ruchu telekomunikacyjnego na długie lata. Tak jest np. w Indiach, gdzie potrzeby łączności wynikają głównie z konieczności powiązania ze sobą dużych miast i centrów gospodarczych, natomiast szerszy rozwój sieci telefonicznej na obszarze całego kraju jest na razie poza ekonomicznymi możliwościami.

Prace nad rozwojem systemów radiowych idą w dwóch niezależnych kierunkach. W przypadku linii o zasięgu optycznym dąży się przede wszystkim do powiększenia szerokości przesyłanego pasma, tak aby na jednej fali nośnej można było przesyłać do 1800 sygnałów kanałów telefonicznych lub jeden czy dwa programy telewizyjne plus odpowiednio mniejszą ilość kanałów telefonicznych. Daje to oszczędności ekonomiczne w porównaniu do konieczności przesyłania tego pasma na kilku równoległych kanałach wielkiej częstotliwości /wielokanałowe linie radiowe/.

Z drugiej strony zadaniem specjalistów łączności w wielu krajach jest opracowanie urządzeń linii radiowych dla przesyłania małej liczby sygnałów telefonicznych, rzędu 24 - 48, przy czym mogą tu być używane zarówno metody zwielokrotnienia częstotliwościowego jak i czasowego. Dąży się tu przez zastosowanie nowoczesnej techniki od zmniejszenia wymiarów, ciężaru, poboru mocy i w ogóle uproszczenia i zredukowania kosztów aparatury. Linie tego typu znajdują zastosowania w sieciach łączności okręgowej jako połączenia stałe lub okresowe, przy czym jest rzeczą charakterystyczną, że poza przesyłaniem sygnałów telefonicznych mają one względnie często zastosowanie do celów specjalnych.

Linie pozahoryzontowe są brane pod uwagę tylko w tych przypadkach, gdy warunki terenowe nie pozwalają na poprowadzenie linii kablowej lub linii mikrofalowej pracującej na fali bezpośredniej. Wady omówione szczegółowo w poprzednich rozdziałach ograniczają natomiast stosowanie ich w obszarach gęsto zaludnionych. Z zastosowań

ciekawych pod względem technicznym należy tu wymienić np. projekt dalekosiężnej linii pracującej na fali rozproszony, która połączyłaby Amerykę Północną z Europą. Trasa tej linii biegłaby przez Kanadę, Grenlandię, Islandię, Wyspy Færøer i Wyspy Szotlandzkie i byłaby podzielona na szereg odcinków, z których największy miałby długość około 450 km. W związku z rozwojem systemów łączności za pośrednictwem sztucznych satelitów ziemi projekt ten może się jednak okazać ekonomicznie nieopłacalny i nigdy nie będzie zrealizowany.

Rzeczywisty rozwój linii radiowych, a zwłaszcza tempo tego rozwoju, zależy przede wszystkim od względów ekonomicznych. O celowości i potrzebie stosowania takiego czy innego środka łączności decyduje jego jakość i koszt, a to wiąże się nieuchronnie z doskonałością i sprawnością techniczną produkowanych urządzeń.

O kosztach aparatury mikrofalowej decyduje głównie wielkość mocy promieniowanej przez urządzenia nadawcze, niezbędna dla zapewnienia po stronie odbiorczej wymaganego stosunku sygnału do szumów. Stosunek ten musi być utrzymany na pewnym minimalnym poziomie nawet przy założeniu chwilowego wzrostu tłumienia trasy na skutek zmiany warunków propagacyjnych /zaniki/. Wszelkie metody, które pozwalają utrzymać mały poziom szumów w kanale transmisji, są przedmiotem szczególnego zainteresowania.

Minimalna użyteczna wartość sygnału w miejscu odbioru jest określona szumami własnymi odbiornika, zwłaszcza wnoszonymi przez jego stopnie wejściowe wielkiej

częstotliwości. Przez długi czas stosowanie odpowiednich konstrukcji lamp elektronowych we wzmacniaczach wejściowych nie przynosiło radykalniejszych efektów. Musiano więc zrezygnować z bezpośredniego wzmocnienia odbieranej fali nośnej, doprowadzając sygnał z anteny wprost do układu mieszacza krystalicznego i ograniczyć się do wzmocnienia częstotliwości pośredniej. Dopiero próby z wykorzystaniem nowych typów wzmacniaczy, tzw. maserów i wzmacniaczy parametrycznych, dały pozytywne rezultaty i pozwalają przypuszczać, że problem ten z czasem zostanie całkowicie rozwiązany. Na razie jeszcze wzmacniacze te nie mogą być użyte do produkcji typowych urządzeń ze względu na ograniczone możliwości przesyłania szerszych pasm oraz zakres częstotliwości pracy leżący nieco powyżej górnej granicy częstotliwości stosowanych przy liniach radiowych, ale wszelkie te trudności są stopniowo pokonywane.

Zmniejszenie niezbędnego natężenia odbieranego sygnału pozwoli na uzyskanie tych samych właściwości transmisyjnych przy mniejszej mocy nadawania, co wyrazi się zmniejszeniem mocy stopni wyjściowych nadajników oraz przede wszystkim zmniejszeniem wymiarów anten kierunkowych /o ile nie będą istniały specjalne wymagania co do ich dużej kierunkowości/. Zmniejszenie mocy wyjściowej nadajników da zmniejszenie wymiarów, ciężaru i poboru mocy zasilania aparatury mikrofalowej.

Równocześnie wprowadza się specjalne lampy wzmacniające wielkiej częstotliwości, pozwalające na przesyłanie szerokich pasm, mianowicie lampy o fali bieżącej. Korzy-

ści płynące z ich zastosowania są widoczne zwłaszcza na stacjach przelotowych, pozwala to bowiem na bezpośrednio wzmocnienie fali nośnej z równoczesnym przesunięciem częstotliwości fali nośnej nadawania i odbioru /patrz p. 3.3/ bez potrzeby nawet częściowej demodulacji. Ilość tych lamp w urządzeniu jest przy tym niewielka, bo wykonane typy pozwalają uzyskać wzmocnienie rzędu 30dB na stopień. Uproszczenie aparatury stacji przelotowych obniży koszty inwestycyjne i eksploatacyjne linii radiowych.

Urządzenie zwielokrotniające kanały telefoniczne oraz aparatura pomocnicza mogą być znacznie uproszczone i zmniejszone wymiarowo dzięki zastosowaniu tranzystorów oraz obwodów drukowanych i sprzętu miniaturowego. Ponadto upraszcza się przez to problem zasilania i chłodzenia aparatury oraz zwiększa pewność działania całego urządzenia.

Wszystkie te osiągnięcia techniczne doprowadzą niewątpliwie z czasem do znacznego uproszczenia i zmniejszenia kosztów urządzeń stacji bez zmniejszenia, a przeciwnie przy równoczesnej poprawie własności transmisyjnych, co będzie oczywiście stanowiło nowy atut linii radiowych we współzawodnictwie z innymi systemami łączności dalekosiężnej.

W przypadku systemów linii radiowych o zasięgu poza-horyzontowym, udoskonalenia urządzeń mają na celu zwiększenie jakości i pewności transmisji. Wprowadzenie wzmacniaczy odbiorczych o małych szumach, spowoduje zmniejszenie mocy nadajników, co pozwoli w połączeniu ze

zwiększeniem czułości odbiorników na zwiększenie pewności transmisji. Jest nadzieja, że z czasem system będzie pozwalał na uzyskanie większej pewności pracy i wyższej jakości transmisji, i wówczas linie pozahoryzontowe znalazłyby szersze zastosowanie w normalnym ruchu telekomunikacyjnym w przypadkach, gdy zainstalowanie innych środków łączności dalekosiężnej jest niemożliwe lub nieopłacalne.

5.3. Stan obecny i perspektywy rozwojowe linii radiowych w Polsce

Ze względu na niewielki obszar kraju w warunkach polskich mogą mieć zastosowanie zasadniczo połączenia na liniach radiowych o zasięgu optycznym. Jak do tej pory wykorzystanie linii tego typu ograniczało się do potrzeb telewizji, ale w planach przyszłościowych stan ten ma ulec zmianie. Na taki stan rzeczy wpłynęło zarówno wielkie zapotrzebowanie na linie telewizyjne, jak również i brak w Polsce urządzeń telefonii nośnej przewodowej, co hamowało rozwój telefonicznych linii radiowych dalekiego czy średniego zasięgu. Rzeczywisty rozwój łączności na liniach radiowych może mieć poza tym miejsce tylko przy wyposażeniu stacji linii w urządzenia mikrofalowe produkcji krajowej. Do tej pory budowa linii w Polsce opierała się głównie na urządzeniach zagranicznych, przy czym ponadto stosowanych było równocześnie wiele różnych typów urządzeń. Od niedawna rozpoczęto pierwszą małoseryjną produkcję niedoskonałych je-

szcze urządzeń typu "Korab", przeznaczonych do przesyłania sygnałów telewizyjnych. W niedalekiej przyszłości rozpoczną się również prace nad produkcją urządzeń przeznaczonych dla przesyłania zarówno sygnałów telewizji jak i telefonii wielokrotnej, co ma również niewątpliwy związek z opracowaniem w Polsce pierwszych modeli urządzeń telefonii nośnej i perspektywami rozwoju łączności wielokanałowej. Urządzenia tego typu będą stosowane w liniach radiowych magistralnych, średniodystansowych o zasięgu krajowym, oraz długodystansowych, pracujących w połączeniu z sieciami łączności krajów bloku socjalistycznego. Prace prowadzone w tym kierunku pozwalają przypuszczać, że w niedalekiej przyszłości Polska będzie posiadała nowoczesną sieć szerokopasmowej łączności mikrofalowej.

Niezależnie od tego prowadzi się prace teoretyczne i praktyczne nad zastosowaniem linii radiowych krótkodystansowych, przeznaczonych dla telefonicznej sieci okręgowej i innych potrzeb gospodarczych. W tym celu między innymi Instytut Łączności opracował model aparatury linii radiowej 12-kanałowej o modulacji impulsowej, pracujący w zakresie 1500 - 1800 MHz. Linia ta w obecnej chwili jest eksploatowana doświadczalnie w telefonicznym węźle warszawskim i prowadzone są badania nad jej przydatnością w krajowym automatycznym ruchu telefonicznym. Na wyniki tych prób czeka wiele resortów naszej gospodarki narodowej.

