

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI
WARSZAWA · MIEDZESZYN

PROBLEMY

BIBLIOTEKA
Instytutu Łączności

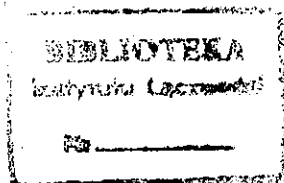
ŁĄCZNOŚCI

146

1976

MINISTERSTWO ŁĄCZNOŚCI

PROBLEMY ŁĄCZNOŚCI



ROK 16

WARSZAWA 1976

NR 146

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 13.01.1976 r.
Druk ukończono w kwietniu 1976 r.

PROBLEMY ŁĄCZNOŚCI

Edward Dumania

AKTUALNY STAN TECHNIKI LINII RADIOWYCH

SPIS TREŚCI

	Str.
1. Wstęp	1
2. Rozwój urządzeń linii radiowych	1
3. Podstawowe cechy współczesnej generacji urządzeń linii radiowych	7
3.1. Powiększona przepustowość i lepsze wykorzystanie widma fal radiowych	7
3.2. Poprawa jakości i niezawodności transmisji	18
3.3. Usprawnienia eksploatacyjne	20
3.4. Małe wymiary	21
3.5. Mały pobór mocy	22
3.6. Automatyzacja i zdalne kierowanie	22
3.7. Rodziny urządzeń	23
4. Niektóre współczesne układy mikrofalowe	26
4.1. Mikrofalowe układy scalone	26
4.2. Elementy półprzewodnikowe	26
4.3. Generacja drgań wielkiej częstotliwości	29
4.4. Wzmacnianie mocy mikrofalowej	31
5. Opisy przykładowych urządzeń linii radiowych	32

	Str.
5.1. Ujednolicony system zakresów częstotliwości 4 i 11 GHz [16, 21]	33
5.2. Urządzenie uniwersalne analogowo-cyfrowe na zakres częstotliwości 13 GHz [22, 23, 24]	40
Wykaz literatury	52

AKTUALNY STAN TECHNIKI LINII RADIOWYCH

1. WSTĘP

W pracy niniejszej jest przedstawiony zarys rozwoju urządzeń linii radiowych i są omówione najbardziej istotne cechy współczesnej generacji tych urządzeń ze szczególnym uwzględnieniem ich właściwości użytkowych i osiągnięć w dziedzinie techniki mikrofalowej. W zakończeniu podano informacje o dwóch systemach urządzeń linii radiowych, które zdaniem autora charakteryzują się cechami typowymi dla urządzeń tak zwanej II-ej generacji, produkowanych w pierwszej połowie bieżącego dziesięciolecia.

2. ROZWÓJ URZĄDZEŃ LINII RADIOWYCH

Rozwój urządzeń linii radiowych jest stymulowany przez rosnące potrzeby i coraz ostrzejsze wymagania techniczne stawiane przez administracje łączności. Rozwój ten umożliwia postęp w dziedzinie układów elektronicznych i technologii elektronowej, ale jest limitowany przez warunki fizyczne, z których podstawowy to ograniczenie będące aktualnie do dyspozycji pasma częstotliwości fal radiowych oraz przez właściwości ich propagacji. Dzisiejszy stan techniki, w szerokim rozumieniu tego słowa, w dziedzinie linii radiowych jest wynikiem optymalizacji i kompromisu pomiędzy powyższymi czynnikami.

W historii rozwoju urządzeń linii radiowych można wydzielić jak dotąd dwa etapy, zwane często generacjami, a mianowicie urządzenia lampowe i półprzewodnikowe. Oczywiście granice między tymi etapami-generacjami są nieprecyzyjne i płynne, gdyż urządzenia jednej generacji stale ulepszane przechodzą stopniowo do generacji następnej - wyższej.

W początkowym okresie, tj. w latach pięćdziesiątych produkowane były przez różne firmy urządzenia linii radiowych lampowe, o małej lub średniej pojemności transmisyjnej, przewidziane do budowy raczej pojedynczych linii o jednym kanale radiowym, nie stanowiących jeszcze złożonych systemów i sieci, o małym stopniu ujednoczenia układowego i konstrukcyjnego i wymagające stałego dozoru przez personel stacyjny. W okresie tym linie radiowe były wykorzystywane głównie do przesyłania sygnałów telewizyjnych wobec braku innych, przydatnych do tego celu środków transmisyjnych o odpowiednio szerokim pasmie przenoszenia. Zapotrzebowanie na przesyłanie tym sposobem sygnałów telefonicznych, poza przypadkami szczególnymi, było wówczas raczej niewielkie. W trakcie rozwoju powiększała się przepustowość zarówno kanałów radiowych jak i systemów, wprowadzana była w coraz szerszym zakresie automatyzacja pracy i stopniowo ujednoczano podstawowe parametry techniczne systemów.

Warto zwrócić uwagę, że do postępu, szczególnie w ostatnio wymienionym zakresie, walczy przyczynił się Międzynarodowy Konsultacyjny Komitet Radiokomunikacji - CCIR, który w czasie swej VIII Sesji Plenarnej w 1956 r. w Warszawie przyjął zalecenia precyzujące podstawowe parametry systemów linii radiowych, a w szczególności rozkłady kanałów radiowych dla tych systemów. Za-

lecenia te, później uzupełniane i ulepszone, stanowią do dziś podstawę i zakreślają ramy rozwoju linii radiowych na całym świecie. Konieczność korekcji zaleceń CCIR wynika między innymi stąd, że w pewnych przypadkach ograniczają one w jakimś stopniu możliwości, jakie stwarza nowa technologia.

Dobrą ilustracją kierunku i etapów rozwoju linii radiowych w początkowym okresie może być wykaz urządzeń produkowanych w NRD podany w tabeli 1 i etapy rozwoju amerykańskiego systemu TD-2 przedstawione w tabeli 2.

Jak widać z powyższych tabel, rozwój linii radiowych idzie w kierunku powiększania przepustowości poszczególnych kanałów radiowych i powiększania liczby tych kanałów w systemie, co jest umożliwiane między innymi przez powiększanie mocy nadajników i zajmowanie coraz wyższych zakresów częstotliwości.

Podstawową, z punktu widzenia dzisiejszej techniki, "wadą" urządzeń pierwszej generacji, mimo której do dziś jeszcze pracują one z powodzeniem w sieciach telekomunikacyjnych, było korzystanie z lamp elektronowych, co pociągało za sobą między innymi duże wymiary konstrukcyjne urządzeń i duże pobory mocy oraz stwarzało trudności eksploatacyjne i ograniczało możliwości rozwojowe.

Przełom i możliwość dokonania skoku w rozwoju stworzyły dopiero opanowanie techniki półprzewodnikowej i budowę początkowo pojedynczych podzespołów, a następnie całych urządzeń i systemów z wykorzystaniem elementów ciała stałego zarówno biernych, jak i czynnych. W efekcie zaczęły się rozwijać urządzenia tak zwanej drugiej generacji, różniące się od urządzeń generacji poprzedniej

Tabela 1

Zestawienie urządzeń linii radiowych produkowanych w NRD [1]

Typ	Rodzaj modulacji	Zakres częstotliwości GHz	Liczba kanałów w				Rok produkcji	Uwagi
			telef.	wizja	dźwięk rf.	stuzb.		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
RVG 902	FDM-FM	1,2-1,46	12	-	-	-	1948	
RVG 903	"	1,2-1,47	24	-	-	1	1950	
RVG 904	FM	1,5-1,65	-	1	-	-	1951	
RVG 905	FM	1,075-1,145	-	-	1	-	1953	
RVG 908	FM	1,48-1,6	-	1	-	-	1957	
RVG 924A	FDM-FM	1,29-1,97	8	-	-	1	1961	
RFG 924C	"	1,79-1,97	12	-	-	1	1964	
RVG 934B	PPM-AM	2,45-2,7	22	-	-	1	1961	
RVG 935	PPM-AM	2,1-2,3	-	-	7	-	1963	
RVG 937A	PPM-AM	1,75-2,0	12	-	-	2	1966	
RVG 937B	"	1,75-2,0	12+12	-	-	3	1966	
RVG 950	FDM-FM	0,28-0,328	4	-	-	1	1966	
RVG 951	FDM-FM	0,132-0,144	8	-	-	1	1957	

c. d. tabeli 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
RVG 955	FDM-FM	1,7-1,79	-	-	4	-	1956	
RVG 958	FDM-FM	3,45-3,81	600	1	1	-	1963	
RVG 960	FDM-FM	3,45-3,81	1020	-	-	-	1966	
RVG 962	FDM-FM	10,7-11,7	240	-	-	-	1967	
	PPM		-	-	7	-	1967	
			24	-	-	1		
RVG 963	FDM-FM	10,7-11,7	12/24+2	-	-	-	w pro- dukcji	System u- jednoli- cony
RVG 964	FDM-FM	3,42-3,83	960/1800	-	2	-		
RVG 965	FDM-FM	3,4-3,86	12/24+2	-	-	-		

Tabela 2

Etapy rozwoju systemu linii radiowych TD-2 [2]

Rok	Liczba kanałów tf w kan. radio	Liczba kanałów radio w systemie	Pojemność ogólna systemu /kan.tf/	Moc nadajnika /W/
1950	480	5	2400	0,5
1953	600	5	3000	0,5
1960	600	10	6000	0,5
1967	900	10	9000	1
1968	1200	10	12000	2
1973	1500	11	16500	5

zasadniczo eliminowaniem lamp elektronowych i zastępowaniem ich elementami półprzewodnikowymi i ferrytowymi. Pociągnęło to za sobą radykalne usprawnienia techniczne i eksploatacyjne. Pierwsze w pełni półprzewodnikowe urządzenia linii radiowych powstały na przełomie lat sześćdziesiątych i siedemdziesiątych. Obecnie są one produkowane przez wszystkie firmy światowe i nadal ciągle usprawniane, głównie w kierunku stosowania układów scalonych o coraz wyższym stopniu integracji, dążąc do urządzeń, które można zaliczyć do generacji trzeciej.

Uwagi powyższe dotyczą zasadniczo linii transmitujących informację analogową o modulacji częstotliwości. Nieco inaczej przebiega rozwój linii radiowych przekazujących informację cyfrową ze względu na ich start z wyższego poziomu techniki elektronowej. Te linie omówione będą oddzielnie.

3. PODSTAWOWE CECHY WSPÓŁCZESNEJ GENERACJI URZĄDZEŃ LINII RADIOWYCH

Poniżej zostaną przedstawione podstawowe cechy współczesnej, tzw. drugiej generacji urządzeń linii radiowych w porównaniu z cechami generacji poprzedniej.

3.1. Powiększona przepustowość i lepsze wykorzystanie widma fal radiowych

Problematyka ta zostanie omówiona oddzielnie dla linii analogowych i dla linii cyfrowych ze względu na różny stopień zaawansowania ich rozwoju.

3.1.1. Szerokopasmowe linie analogowe

Aktualnie firmy światowe produkują urządzenia na wszystkie zakresy częstotliwości przydzielone dla linii radiowych i o pojemnościach transmisyjnych, prawie optymalnie wykorzystujące kanały radiowe i zakresy częstotliwościowe określone przez uzgodnienia międzynarodowe, a w szczególności przez zalecenia CCIR.

Wyciąg z zaleceń CCIR, obrazujący wykorzystanie widma fal radiowych przez linie radiowe, przeznaczone do przesyłania sygnałów analogowych telefonii nośnej o średniej i dużej krotności lub telewizji, jest podany w tabeli 3. Należy zaznaczyć, że zalecenia te zostały opracowane przy założeniu stosowania modulacji częstotliwości fali nośnej szerokopasmowym sygnałem telefonii o zwielokrotnieniu częstotliwościowym.

Z zestawienia widać, że dla linii radiowych tego typu jest przewi-

dziane wykorzystywanie szeregu pasm częstotliwości w zakresie od około 1,7 do około 15 GHz. Częstotliwości nośne mniejsze niż około 1,7 GHz nie nadają się do przesyłania szerokopasmowych sygnałów analogowych ze względu na ograniczenia będących do dyspozycji szerokości pasm częstotliwościowych oraz na trudności techniczne i niektóre właściwości propagacyjne, co razem powoduje niedopuszczalny wzrost zniekształceń transmitowanego sygnału. Częstotliwości natomiast większe niż kilkanaście GHz również nie mogą być wykorzystywane do przesyłania na większe odległości szerokopasmowych sygnałów analogowych ze względu na zbyt duże tłumienie fal tego zakresu przez opady atmosferyczne, które narzuca konieczność budowy linii o krótkich odcinkach przekaźnikowych z dużą liczbą stacji retransmisyjnych, co z kolei powoduje nadmierne wzrost szumów w sygnale transmitowanym w wyniku sumowania się szumów z poszczególnych stacji. Już w górnej części przeznaczonego do tych celów zakresu częstotliwości powyżej 10 GHz zachodzi z powyższych względów konieczność skracania odcinków linii radiowej, na przykład do około 25-30 km przy częstotliwościach około 11 GHz, co ogranicza jego wykorzystanie raczej dla linii bliskiego zasięgu.

Szerokość pasma częstotliwości kanału radiowego zgodnie z zaleceniami CCIR wynosi w większości przypadków 28 do 29 MHz, co umożliwia przesyłanie w nim telefonii o zwielokrotnieniu częstotliwościowym o krotności do 960 lub z pewnymi ograniczeniami o krotności 1800 względnie sygnałów telewizji łącznie z czterema sygnałami dźwiękowymi. Wynikający z powyższego współczynnik wykorzystania widma kanału radiowego / szerokość pasma kanału

Tabela 3

Wykorzystanie zakresu częstotliwości wg zaleceń CCIR [5]

Nr zalece- nia	Zakres częstotli- wości MHz	Szer. pasma zakresu MHz	Cz. środk. zakresu MHz	Szerokość pa- sma kanału radiowego MHz	Liczba kanałów radiowych		Pojemność kanału radiowego /kan. telefonicznych/	Współcz. wyko- rzystania kan. radiowego /kHz/k.telefon./	Pojemność maks. syste- mu /kan. telef./	Współcz. wy- korzystania systemu /kHz/k.tele- fon./
					podst.	przes.				
283-2	1700-1900	200	1808	14	6	6	60/120/300	46,5	3600	55,7
	1900-2100	200	2000	14	5	6	60/120/300	46,5	3600	55,7
	2100-2300	200	2203	14	6	6	60/120/300	46,5	3600	55,7
	2500-2700	200	2586	14	6	6	60/120/300	46,5	3600	55,7
382-2	1700-2100 lub 1900-2300	400	1903 lub 2101	29	6	6	600/1800	16,1	21600	18,7
	3800-4200	400	4003,5	29	6	6	600/1800	16,1	21600	18,7
382-2 ^{x/}	3710-4200	500	-	40	6	6	1260	35	15120	33,0
383-1	5925-6425	500	6175	29,65	8	-	1800	16,5	14400	34,7
384-2	6430-7110	680	6770	40	8	-	2700	14,8	21600	31,5
	6430-7110	680	6770	20	16	-	1260	15,8	20160	33,8
385	7425-7725	300	7575	7	20	-	60/120/300	23,3	6000	50
386-1	8200-8500	300	8350	11,662	12	6	300	39	3600	83,3
	8200-8500	300	8350	23,324	6	6	960	24,3	11520	26
	8200-8500	300	8000	29,65	8	8	1800	16,5	14400	20,8
387-2	10700-11700	1000	11200	40	12	12	1800	22,2	43200	23,2
497-	12750-13250	500	12996	28	8	8	960	29,3	7680	29,3
		300	-	-	8	8	300	93,3	10080	49,5

x/ Aneks

radiowego przypadająca na jeden kanał telefoniczny/ wynosi około 30 kHz na kanał tf. przy transmisji 960-krotnej lub około 16 kHz na kanał tf. przy transmisji 1800-krotnej, a współczynnik wykorzystania widma zakresu /szerokość pasma zakresu podzielona przez całkowitą pojemność systemu/ wynosi od około 18 do około 35 kHz na jeden kanał tf. Przy tym wartość współczynnika wykorzystania zakresu zależy w dużym stopniu od rozkładu kanałów radiowych w zakresie, a nie tylko od pojemności transmisyjnej tych kanałów. W rzeczywistości wykorzystanie zakresów jest mniejsze niż podane, ponieważ część kanałów radiowych w systemie nie jest wykorzystywana do przesyłania sygnałów aktualnie użytecznych, a jest pozostawiona jako rezerwa włączająca się do pracy w przypadku przerwy transmisji w którymś z kanałów roboczych.

Należy zwrócić uwagę, że zalecenia CCIR przewidują możliwość przesyłania sygnałów o jeszcze większej krotności 2700 /stosowanej już w systemach przewodowych/ tylko w jednym zakresie częstotliwości 6,425 do 7,125 GHz, w którym przewidziano wystarczające do tego odstępstwa między kanałami radiowymi wynoszące 40 MHz. Wartość współczynnika wykorzystania kanału radiowego wynosi w tym przypadku 14,8 kHz na kanał tf., a współczynnika wykorzystania zakresu 31,5 kHz na kanał tf.

Porównując powyższe z możliwościami technicznymi urządzeń linii radiowych, oferowanych przez przemysł elektroniczny, na przykład z możliwościami urządzeń produkowanych przez przemysł japoński, zestawionymi w tabeli 4, można stwierdzić, że z punktu widzenia analogowej transmisji sygnałów szerokopasmowych została

już osiągnięta granica określona przez CCIR w aktualnie obowiązujących zaleceniach. Produkowane urządzenia oferują możliwości, jak na przykład przesyłanie sygnałów telefonii 2700-krotnej, których nie można wykorzystać w innych zakresach częstotliwości.

Dalszy postęp w kierunku powiększenia przepustowości transmisyjnej systemów analogowych linii radiowych i polepszenia wykorzystania widma fal radiowych, wymagałby nowelizacji zaleceń CCIR i wprowadzenia istotnych zmian systemowych, jak na przykład zastosowania jednowstęgowej modulacji amplitudy zamiast stosowanej powszechnie modulacji częstotliwości.

3.1.2. Radiowe linie cyfrowe

W odniesieniu do linii radiowych przeznaczonych do przesyłania informacji cyfrowych sytuacja wygląda nieco inaczej. Można powiedzieć, że znajdują się one jeszcze w początkowej fazie rozwoju podobnej do stanu, jaki był w dziedzinie linii analogowych 10-20 lat temu z tą różnicą, że urządzenia obecne są opracowywane z wykorzystaniem najnowszych osiągnięć techniki i technologii.

Urządzenia linii radiowych cyfrowych rozwijają się równolegle z systemami cyfrowymi przewodowymi, wykorzystującymi technikę zwielokrotnienia impulsowo-kodowego, zwaną potocznie modulacją impulsowo-kodową PCM, stwarzając możliwości przesyłania sygnałów liniowych PCM drogą radiową. Stąd też pierwsze opracowane i zastosowane przed niewiele laty urządzenia miały przepustowość 1,544 Mbit/s /24 kanały telefoniczne w systemie amerykańskim/ lub 2,048 Mbit/s /30/32 kanały telefoniczne w systemie europejskim/. Urządzenia te początkowo z bezpośrednim kluczowa-

niem amplitudy, fazy lub częstotliwości za pomocą unipolarnego sygnału impulsowego charakteryzowały się maksymalną prostotą układową, konstrukcyjną i eksploatacyjną, co stanowiło podstawową zaletę w porównaniu ze złożonymi już układami linii analogowych.

Rozwój urządzeń i systemów cyfrowych linii radiowych idzie również w kierunku powiększania ich przepustowości na wyższe stopnie hierarchii systemów PCM do 8,448 Mbit/s /120 kanałów telefonicznych/, 17,152 Mbit/s /240 kanałów telefonicznych/, 34,304 Mbit/s /480 kanałów telefonicznych/ i więcej, z czym wiąże się większe skomplikowanie układów, oraz w kierunku wykorzystywania zakresów większych częstotliwości powyżej 10 GHz.

Obecnie są przez różne firmy opracowywane i produkowane urządzenia dla linii radiowych cyfrowych o różnej przepustowości, na różne zakresy częstotliwości, zarówno wykorzystywane przez linie radiowe analogowe fale centymetrowe jak i na fale milimetrowe, o różnych rozwiązaniach układowych i konstrukcyjnych i niewielkim stopniu ujednoczenia. Brak jest jeszcze uzgodnień międzynarodowych, na przykład zaleceń CCIR, dotyczących całości parametrów tych linii.

Z punktu widzenia wykorzystania widma fal radiowych linie cyfrowe były początkowo /i są jeszcze częściowo/ lokowane w kanałach i zakresach częstotliwości wykorzystywanych przez linie analogowe przy przyjmowaniu takich samych rozkładów kanałów radiowych. Podstawowe informacje o kilku typach aparatów dla tego rodzaju linii produkowanych na świecie zestawiono w tabeli 5.

Tabela 5

Aparatury cyfrowe linii radiowych pracujące w zakresach częstotliwości wykorzystywanych przez linie analogowe [2]

Firma	Zakres częstotliwości GHz	Przepustowość kanału radiowego	
		Mbit/s	kan. telefon. PCM
NTT Japonia	patrz tab.4		
Avantek USA	2	1,544	48
Bell USA	4-6	1,544	-
Terracom USA	1,7-12,7	1,544-7,72	24-120
Post Office	6	6,33	-
Anglia	11	100	-
Thomson CSF Francja	7	8,5	120
Telettra Włochy	13	1,8	24
Philips Holandia	7	1,8	24
GTE Włochy	13	34	480

Wykorzystanie kanałów radiowych jest jednakże w tym przypadku mniej ekonomiczne niż przy dotychczasowych transmisjach analogowych.

W uznawanym dosyć powszechnie za optymalne rozwiązaniu linii

cyfrowej z kluczowaniem fazy fali nośnej za pomocą impulsów sygnału cyfrowego optymalna szerokość kanału radiowego /odstęp między sąsiednimi kanałami radiowymi/ przy kluczowaniu dwupoziomowym wynosi, jak wynika z dokumentów CCIR, 1,5 do 2 x szybkość transmisji, co przy przesyłaniu sygnałów telefonicznych o zwielokrotnieniu impulsowo-kodowym odpowiada wartości współczynnika wykorzystania kanału radiowego:

100 do 135 kHz na kanał telefoniczny.

Współczynnik ten można poprawić dwukrotnie, stosując czteropoziomowe kluczowanie fazy, i uzyskać wykorzystanie kanału radiowego:

50 do 66,7 kHz na kanał telefoniczny.

Dalszą dwukrotną poprawę daje korzystanie w danej linii z dwu fal o tej samej częstotliwości, ale o prostopadłych polaryzacjach /nie jest to możliwe przy transmisjach analogowych/, co pozwala uzyskać wartość współczynnika wykorzystania kanału:

25 do 33,3 kHz na kanał telefoniczny.

Pozwala to na "zmieszczenie" na przykład w kanale radiowym o szerokości 29.MHz tylko 217 do 290 kanałów telefonicznych przy dwupoziomowym kluczowaniu fazy lub 435 do 580 kanałów telefonicznych przy kluczowaniu czteropoziomowym, wobec 1800 kanałów telefonicznych, jakie można zmieścić w takim kanale radiowym przy transmisjach analogowych. Nawet przy korzystaniu dodatkowo ze skrzyżowanych polaryzacji, kiedy przy transmisji cyfrowej można w takim kanale radiowym zmieścić 870 do 1160 kanałów telefonicznych wykorzystanie jego jest gorsze niż przy transmisji analogowej. Przy kluczowaniu o większej liczbie poziomów wyraźnie zanikają już zalety transmisji cyfrowych.

Sytuację mogłoby poprawić wykorzystanie tej cechy linii radiowych cyfrowych, że są one na ogół bardziej odporne na zakłócenia i potrzebne są mniejsze moce nadajników niż w liniach analogowych, co umożliwia większe "zagęszczenie" sieci niż w przypadku linii analogowych. Właściwości tej nie można jednak w pełni wykorzystać w mieszanych sieciach analogowo-cyfrowych pracujących w tych samych zakresach częstotliwości.

Obserwuje się również praktykę przesyłania sygnałów cyfrowych za pośrednictwem urządzeń linii analogowych przez stosowanie po prostu "analogowej" modulacji częstotliwości fali nośnej impulsowym sygnałem cyfrowym, jak na przykład zaproponowano w [6], względnie dwu- lub wielopoziomowego kluczowania częstotliwości. Na przykład w jednym z systemów kanadyjskich przyjęto ośmiopoziomowe kluczowanie częstotliwości.

Przy omawianiu przesyłania sygnałów cyfrowych w liniach radiowych w zakresach poniżej częstotliwości około 10 GHz warto wspomnieć o możliwościach przesyłania sygnałów cyfrowych o małej szybkości razem z sygnałem analogowym telefonii nośnej o dużej krótkości przez zestawienie ich w jeden sygnał zbiorczy, który moduluje "analogowo" częstotliwość nośną nadajnika linii radiowej, co polepsza wykorzystanie kanałów radiowych. Praktyka taka jest stosowana od dawna przy przesyłaniu dodatkowych sygnałów służbowych, sterowania i nadzoru w rozbudowanych systemach analogowych.

Amerykańska firma Bell Lab. opracowała na przykład specjalną przystawkę umożliwiającą umieszczenie sygnału cyfrowego o szybkości 1,544 Mbit/s /24 kanały telefoniczne PCM/ po odpowiednim

jego przekształceniu /przekodowaniu/ na sygnał siedmiopoziomowy w ograniczonym pasmie częstotliwości do około 500 MHz, mieszczącym się poniżej pasma sygnału telefonii nośnej o dużej krotności [7]. Taki kombinowany cyfrowo-analogowy sygnał zbiorczy może być przesyłany w liniach amerykańskiego systemu TD-2.

Autor niniejszego opracowania zaproponował procedurę odwrotną, umożliwiającą za pomocą zmodernizowanego urządzenia typu Korab 5 /lub innego urządzenia 300-kanalowego/ łączne przesyłanie sygnałów cyfrowych o szybkości 2,048 Mbit/s i telefonii nośnej o krotności 60 /lub 120/, przy czym sygnał telefonii nośnej mógłby być przesyłany w pasmie częstotliwości do 252 kHz /lub 552 kHz/ poniżej sygnału cyfrowego po ograniczeniu jego pasma od dołu, co byłoby możliwe przy przesyłaniu go bezpośrednio w postaci bipolarnej /np. w kodzie HDB 3/, zamiast w postaci unipolarnej, jak się powszechnie stosuje przy radiowej transmisji sygnałów cyfrowych.

Wszystkie te rozwiązania, oprócz może dwóch ostatnich, które umożliwiają dodatkowe zwielokrotnienie kanałów radiowych, dają jednak mniej ekonomiczne wykorzystanie kanałów i zakresów częstotliwości poniżej 10 GHz, przeznaczonych dla linii radiowych analogowych, rozdzielonych zgodnie z zaleceniem CCIR i w całości wykorzystywanych przez takie linie. Rozkłady kanałów zalecane przez CCIR zostały opracowane mniej lub bardziej optymalnie dla linii analogowych i nie pasują optymalnie do transmisji cyfrowych. W dotychczasowych zaleceniach CCIR jedynie w dwóch przypadkach uwzględniono przesyłanie sygnałów cyfrowych alternatywnie z sygnałami analogowymi i to na częstotliwościach powyżej 10 GHz, a

mianowicie w zakresach: 10,7 do 11,7 GHz, przy odstępach międzykanałowych 40 GHz i w zakresie 12,75 do 13,75 GHz przy odstępach międzykanałowych 28 GHz. Jeden z takich systemów omówiono w zakończeniu niniejszego opracowania.

W związku z tym obserwuje się tendencję wykorzystywania dla linii cyfrowych wyższych zakresów częstotliwości - powyżej 10 GHz, których wykorzystanie dla linii analogowych jest niepraktyczne z powodów omówionych już poprzednio, a charakterystyczne dla tych częstotliwości skrócenie odcinków i związana z tym duża liczba stacji przekaźnikowych w linii może nie szkodzić przy transmisjach cyfrowych ze względu na niesumowanie szumów z poszczególnych odcinków przy tego rodzaju transmisji i regeneracji sygnału cyfrowego na każdej stacji przekaźnikowej. W końcowej części opracowania jest opisany bardziej zaawansowany system linii cyfrowych, "kompatybilny" z systemami analogowymi, a w tabeli 6 zestawiono informacje o kilku urządzeniach na fale milimetrowe, opracowanych przez różne firmy.

3.2. Poprawa jakości i niezawodności transmisji

Współczesne urządzenia linii radiowych, produkowane przez czołowe firmy światowe, zapewniają jakość transmisji /poziom szumów i zniekształceń/ w pełni spełniającą odpowiednie zalecenia CCIR. Na przykład poziom szumów wprowadzanych przez urządzenia, gwarantowany w wielu przypadkach przez producentów urządzeń, nie przekracza wartości 1 pW/km /przez 80% czasu/ wobec wymaganego przez CCIR 3 pW/km.

Tabela 6

Cyfrowe linie radiowe na fale milimetrowe [9]

Firma	Typ urządzenia	Zakres częstotliwości GHz	Przepustowość kanału radiowego Mbit/s	Długość odcinka km	Moc nadajnika mW	Wsp. szumów odbiornika dB
Królewski Inst. Radiolokacji Anglia		33,5-34,5	100	3,2	100	11
		30	120	1,6	10	12
		38-40	10	2-2,5	100	20
Resalab Inc USA	MWC-100			3,2	100	
Norden USA		22; 39	1,544/ /6,312	4-8	50	
Japonia		30	800		100	11
Bell		110				
Raytheon	AN/GRC-173	36-38	200		20	18
		60	200	0,8 /10 lu-ster/		
Hytuyghes		6			1	
Sylvania		36-38		28	100	
Martu-Morietta		36,25-38,25	100			
			236			10

Bardzo duży postęp obserwuje się również w zakresie niezawodności pracy urządzeń. Powiększenie niezawodności w stosunku do urządzeń dawniejszych uzyskano między innymi przez uproszczenie ich struktury, stosowanie materiałów i elementów o dużej niezawodności i stabilności pracy, zastosowanie układów szerokopasmowych i aperiodycznych nie zawierających elementów regulacyjnych i dostrojczych, zmniejszenie rozproszenia ciepła oraz przez stosowanie układów o mniejszej liczbie elementów o wydłużonym czasie życia. Wszystko to zostało umożliwione głównie przez stosowanie w układach elementów półprzewodnikowych, a w szczególności przez coraz szersze korzystanie z układów scalonych.

O stopniu postępu w tym zakresie może świadczyć chociażby to, że obecnie dla zapewnienia ciągłości pracy wystarcza zastosowanie w linii wielokanałowej jednego kanału rezerwowego, włączającego się automatycznie w przypadku uszkodzenia jednego z kilku kanałów roboczych. We współczesnych systemach przyjmuje się jeden kanał rezerwowy na całą grupę 6 lub 8 kanałów radiowych, możliwych do wykorzystania w całym danym zakresie częstotliwości. Mówi się również o tym, że już w niedalekiej bliskiej przyszłości stopień niezawodności urządzeń linii radiowych będzie na tyle wysoki /np. jedno uszkodzenie na kilka lat/, że nie będzie uzasadnione korzystanie z kanałów czy urządzeń rezerwowych w linii, co między innymi znacznie usprawni rozwiązania systemowe i eksploatację.

3.3. Usprawnienia eksploatacyjne

Poza dobrymi parametrami transmisyjnymi i niezawodnościowymi urządzenia współczesnej generacji linii radiowych mają w stosunku

do urządzeń dawniejszych godne wymienienia udogodnienia eksploatacyjne, wynikające głównie z wykorzystania nowoczesnej techniki półprzewodników i ciała stałego.

3.4. Małe wymiary

Zastosowanie nowoczesnych materiałów, elementów i miniaturowych podzespołów umożliwiło znaczne uproszczenie konstrukcji i zmniejszenie wymiarów oraz ciężaru stojaków. We współczesnej aparaturze linii radiowych obserwuje się wyraźną tendencję do ujednoczenia konstrukcji w postaci bloków konstrukcyjnych czy stojaków wysmukłych o szerokości 120 do 135 mm i głębokości 225 mm, zamiast stosowanych dawniej stojaków o szerokości około 600 mm, w których są umieszczane wymienne płytki lub kasety zawierające układy spełniające określone funkcje. Przy tym w takim wysmukłym "ministojaku" mieści się praktycznie tyle samo nowoczesnych bloków funkcjonalnych, co dawnych bloków lampowych w stojaku o wymiarach tradycyjnych. Ministojaki takie mogą być zestawiane zarówno ściankami bocznymi jak i tylnymi w zestawy o praktycznie nieograniczonej liczbie, co umożliwia budowę dużych wielofunkcyjnych systemów i ich dalszą rozbudowę w ograniczonej objętości. Taką konstrukcję ma między innymi system BES, omówiony w końcowej części opracowania.

Miniaturyzacja bloków funkcjonalnych umożliwiła również montaż urządzeń linii radiowych w niewielkich hermetycznych i klimatyzowanych pojemnikach przystosowanych do pracy na wolnym powietrzu, co w wielu przypadkach jest bardzo pożądane.

3.5. Mały pobór mocy

Inną cechą dodatnią nowoczesnych urządzeń jest bardzo małe w stosunku do urządzeń dawniejszych zapotrzebowanie na energię zasilania, wynikające głównie z zastosowania tranzystorów zamiast lamp elektronowych. Ponadto urządzenia te mogą być zasilane niskim napięciem stałym, na przykład z baterii akumulatorów. Uprościło to znakomicie zagadnienie bezprzerwowego zasilania stacji linii radiowych. Zamiast dawniejszych skomplikowanych układów stabilizacji napięcia i agregatów spalinowo-elektrycznych, włączających się w przypadku przerwy w dopływie energii elektrycznej z sieci, wystarcza obecnie doładowywana z sieci bateria akumulatorów o odpowiedniej pojemności, zapewniająca ciągłość pracy na przykład przez kilka godzin, tj. na czas zaniku napięcia w sieci.

3.6. Automatyzacja i zdalne kierowanie

Współczesne urządzenia linii radiowych są z zasady przystosowane do w pełni automatycznej pracy bez obecności personelu obsługowego na stacjach oraz do zdalnego nadzoru i sterowania.

W przypadku zaistnienia uszkodzenia następuje automatyczne przełączenie na urządzenie lub kanał rezerwowy, a usunięcie uszkodzenia przez zwykłą wymianę zidentyfikowanego zdalnie bloku, ponieważ bloki aparatury są z reguły w pełni wymienne. Czynności obsługowe, takie jak na przykład włączanie lub wyłączanie, przełączanie na inny kanał lub rodzaj pracy, czy pomiary kontrolne są realizowane zdalnie i w dużym stopniu zautomatyzowane.

Do automatyzacji i zdalnego kierowania systemy linii radiowych są wyposażone w specjalne systemy zdalnego kierowania i łączności służbowej, związane z konkretnym systemem lub niezależne.

3.7. Rodziny urządzeń

Następną cechą charakterystyczną współczesnych urządzeń linii radiowych jest bardzo duży stopień ich unifikacji pod względem parametrów i konstrukcji, co pozwala na zestawianie z podstawowych bloków funkcjonalnych /jak na przykład modulatory, zespoły nadawczo-odbiorcze, układy falowodowo-antenowe, zespoły rezerwowania itp./ stacji linii radiowych, zgodnie z potrzebami, na przykład o potrzebnej przepustowości, pracujących w żądanym zakresie częstotliwości.

Za przykład takiej rodziny może służyć węgierski zestaw urządzeń linii radiowych, średniej przepustowości, pracujący w zakresie częstotliwości 8 GHz. Zestaw obejmuje 18 urządzeń:

1. Kompletne urządzenie nadawczo-odbiorcze SRF-8 na 300 kanałów telefonicznych lub kanał telewizyjny, łącznie z modemami.
2. Kompletne urządzenie nadawczo-odbiorcze KRF-8, na 24 kanały telefoniczne łącznie z modemami.
3. Kompletne urządzenie nadawczo-odbiorcze 8000/6 na 6 kanałów telefonicznych o modulacji delta,
4. Kompletne urządzenie nadawczo-odbiorcze DM 8000/S na 6 kanałów telefonicznych o modulacji delta.
5. Urządzenie modulacyjno-demodulacyjne "Modem" na 300 kana-

- łów telefonicznych lub kanał telewizyjny z 4 kanałami dźwiękowymi.)
6. Urządzenie końcowe telewizyjne TVB.
 7. Urządzenie automatycznego rezerwowania MA 3/1 na 3 kanały radiowe robocze + 1 kanał rezerwowowy.
 8. Urządzenie automatycznego wydzielania sygnałów telewizyjnych na częstotliwości pośredniej na stacji przekaźnikowej LA 2/1.
 9. Urządzenie zakończeń liniowych kanałów telefonicznych VS na 24 kanały.
 10. Urządzenie zdalnego kierowania TK 71/9.
 11. Urządzenie zdalnego kierowania TK 168/9.
 12. Urządzenie zdalnego kierowania TK 3216/9.
 13. Aparatura dyspozytorska.
 14. Dyspozytorski komutator telefoniczny DMT.
 15. Urządzenie bezprzerwowego zasilania z sieci T 200.
 16. Urządzenie zasilające bateryjno-buforowe T 30 A.
 17. Zespół antenowo-falowodowy z anteną paraboliczną PA-8.
 18. Płaski reflektor o wymiarach 3,4 x 4,8 m PE-8.

Urządzenia te mogą być zestawiane w zależności od potrzeby w 6 systemów, wymienionych w tabeli 7.

Cechy takich rodzin mają również urządzenia opisane w końcowej części pracy.

4. NIEKTÓRE WSPÓŁCZESNE UKŁADY MIKROFALOWE

4.1. Mikrofalowe układy scalone

Uzyskanie omówionych powyżej dodatnich cech urządzeń i systemów linii radiowych zostało umożliwione głównie przez opanowanie techniki półprzewodników i ciała stałego, co dało podstawy do konstrukcji układów małej i pośredniej częstotliwości, o małych wymiarach, montowanych na płytkach drukowanych, a w szczególności miniaturowych mikrofalowych układów scalonych z odcinkami linii mikropasmowych, którymi zastąpiono stosowane dawniej układy złożone z odcinków linii współosiowych lub falowodowych. Na układach scalonych opracowywane są generatory i wzmacniacze mikrofalowe, mieszacze nadawcze i odbiorcze, modulatory analogowe i cyfrowe, powielacze częstotliwości, transformatory i sprzęgacze, rezonatory i filtry, cyrkulatory i izolatory, przesuwniki fazy.

4.2. Elementy półprzewodnikowe

Jako elementy czynne w tych układach są stosowane nowoczesne elementy półprzewodnikowe, których przykłady wykorzystania we współczesnych systemach mikrofalowych przedstawiono w tabeli 8.

Ogólnie można stwierdzić, że obecnie produkowane i stosowane już w wielu urządzeniach linii radiowych tranzystory mogą dawać moc wyjściową do około 5 W w zakresie częstotliwości do około 4 GHz, diody typu Impatt mogą generować moc do około 2 W w zakresie częstotliwości do około 10 GHz oraz diody Gunna i Impatt mo-

Tabela 8

Wykorzystanie mikrofalowych elementów półprzewodnikowych
[19]

Lp.	Element/układ	Parametry	Zastosowanie
1a	Wzmacniacz tranzystorowy	20 W mocy ciągłej przy 2,3 GHz	
b	Wzmacniacz tranzystorowy	175 W mocy impulsowej przy 1 GHz	
2a	Generator z diodą Gunna	400 mW mocy ciągłej w zakresie 10 GHz	
b	Generator z diodą Gunna	100 mW mocy ciągłej przy 20 GHz	
3a	Generator z diodą Impatt	1,2 W mocy ciągłej w zakresie 10 GHz	
b	Generator z diodą Impatt	100 mW mocy ciągłej przy 80 GHz	
4a	Wzmacniacz z diodą Impatt	10 W mocy ciągłej przy 13 GHz	
b	Wzmacniacz z diodą Impatt	260 mW mocy ciągłej przy 60 GHz	
5a	Generator z diodą Trapatt	10 W mocy ciągłej przy 1 GHz	
b	Generator z diodą Trapatt	600 mW mocy impulsowej przy 20 GHz	
6a	Wzmacniacz z diodą Trapatt	50 W mocy impulsowej przy 2,6 GHz	
b	Wzmacniacz z diodą Trapatt	40 W mocy impulsowej w zakresie 10 GHz	

Lp.	Element/układ	Parametry	Zastosowanie ¹
7.	Powielacz waraktorowy	1 W mocy ciągłej w zakresie 10 GHz	
8a	Mieszacz z diodą Schotky'ego	Współczynnik szumów 4,5 dB przy 12 GHz	
b	Mieszacz z diodą Schotky'ego	Współczynnik szumów 13 dB przy 80 GHz	
9.	Małoszumny generator z diodą Gunna, ze wzmacniaczem z diodą Impatt	0,5 W mocy wyjściowej w zakresie 10,7-11,7 GHz	Linia radiowa dużej pojemności 400 Mbit/s/ /kanał
10a	Generator z diodą Gunna, ze wzmacniaczem z diodą Gunna	200 mW mocy wyjściowej w zakresie 17,7-21 GHz	Linia radiowa PCM, 10 kanałów radiowych o pojemności 400 Mbit/s/ /kanał
b	Mieszacz z diodą z bariery Schotky'ego	Współczynnik szumów mniejszy niż 10 dB	
11a	Generator z diodą Gunna z pętlą stabilizacji fazy z podwajaczem częstotliwości	Moc 20 dBm przy 23,75 GHz Moc 13 dBm przy 47,5 GHz	System falowodowy 52 kanałów radiowych o pojemności 800 Mbit/s/ /kanał
b	Mieszacz z diodą z barierą Schotky'ego	Współczynnik szumów mniejszy od 16 dB	
12	Generator tranzystorowy 1,4 GHz ze wzmacniaczem z podziałem wzmocn. i. podwajaniem częstotl.	Moc wyjściowa 2W w zakresie 2,8 - 2,83 GHz	Urządzenie radarowe

gą pracować z małą mocą w zakresie częstotliwości większych niż około 100 GHz. Ogranicza to możliwość uzyskania moc wyjściową półprzewodnikowych nadajników linii radiowych, a tym samym ogranicza łącznie ze współczynnikiem szumów mieszacza odbiorczego, i pojemność transmisyjną na kanał radiowy do około 960 kanałów telefonicznych.

Stopniem końcowym nadajników tych urządzeń jest obecnie z reguły mieszacz nadawczy, przesuwający modulowany sygnał pośredniej częstotliwości w zakres mikrofalowy za pomocą nadawczego lokalnego generatora mikrofalowego o odpowiedniej mocy wyjściowej.

W celu uzyskania większej mocy wyjściowej nadajnika, umożliwiającego przesyłanie sygnałów o szerszym pasmie /o większej niż około 960 krotności/, stosuje się na jego wyjściu wzmacniacz budowany z reguły z lampą o fali bieżącej.

W ostatnich latach dużo pracuje się na całym świecie nad opracowaniem półprzewodnikowych generatorów i wzmacniaczy mikrofalowych.

W tej dziedzinie istnieje wiele interesujących propozycji i osiągnięć praktycznych w zakresie rozwiązań układowych /technologia przyrządów półprzewodnikowych jakby natrafiła barierę, której na razie nie może przekroczyć/, które warto zreferować.

4.3. Generacja drgań wielkiej częstotliwości

W "klasycznych" urządzeniach linii radiowych stabilne drgania mikrofalowe uzyskiwano przez wielostopniowe powielanie częstotliwości sygnału o odpowiedniej mocy, uzyskiwanego ze stabilizowa-

nego kwarcem generatora, pracującego na częstotliwości do kilkudziesięciu MHz. Obecnie obserwuje się tendencję bezpośredniego generowania mocy na coraz większych częstotliwościach do około 2 GHz, co wymaga stosowania mniejszego mnożnika powielania dla uzyskania żądanej częstotliwości. Na przykład dla uzyskania częstotliwości 4 lub 6 GHz z częstotliwości 2 GHz wymagane jest 2- lub 3-krotne powielenie, co można zrealizować za pomocą jedno-stopniowego powielacza.

Przy częstotliwościach powyżej około 10 GHz stosuje się prawie powszechnie bezpośrednią generację mocy z wykorzystaniem na przykład diod typu Impatt.

Takie rozwiązania dają uproszczenie układu generatora, powiększają jego sprawność energetyczną dzięki zmniejszeniu liczby stopni i elementów, co rzutuje na zmniejszenie poboru mocy i powiększenie niezawodności całego urządzenia.

W powyższych układach generacyjnych stosuje się zwykle samowzbudne generatory tranzystorowe, kontrolowane napięciowo, których częstotliwość można zmieniać w pewnych granicach za pomocą napięcia stałego. Dzisiejsze tranzystory umożliwiają budowę takich generatorów o odpowiednio dużej mocy, pracujące przy częstotliwości do około 2 GHz. Korzystając z wnęki inwarowej jako elementu kontrolującego częstotliwość można w takich generatorach uzyskać stałość częstotliwości rzędu $1 \cdot 10^{-4}$, odpowiadającą stałości dawnych generatorów klistronowych. /Układ taki pracujący na częstotliwości około 3 GHz znajduje się na przykład w urządzeniach japońskich firmy NEC, zainstalowanych w polskiej sieci linii radiowych/.

W przypadku potrzeby większej stałości stosuje się układ z tak zwaną pętlą stabilizacji fazy, w którym częstotliwość generatora kontrolowanego napięciowo jest porównywana z częstotliwością sygnału odniesienia, wyprowadzoną z kwarcu, i uzyskane tym sposobem w detektorze fazy napięcie błędu jest wykorzystywane zwrotnie do odpowiedniej korekcji częstotliwości generatora.

4.4. Wzmacnianie mocy mikrofalowej

Prowadzone są prace nad wzmacniaczami półprzewodnikowymi, mogącymi zastąpić lampy o fali bieżącej w wyjściowych stopniach nadajników szerokopasmowych linii radiowych.

Wzmacniacze te powinny wzmacniać skutecznie i bez zniekształceń drgania zmodulowane i oddawać odpowiednio dużą moc. Pod tym względem współcześnie dostępne układy półprzewodnikowe, mimo że już niekiedy stosowane, nie dorównują jeszcze wzmacniaczom z lampą o fali bieżącej. Wzmocnienie tranzystorowego stopnia wzmacniającego w zakresie mikrofal przy częstotliwości około 4 GHz wynosi tylko około 5 do 7 dB wobec wzmocnienia 40 dB wzmacniacza z lampą o fali bieżącej, a oddawana moc nie wystarcza dla nadajnika szerokopasmowego.

Przy częstotliwościach powyżej 4 GHz znalazły praktyczne zastosowanie również wzmacniacze z opornością ujemną i diodami typu Impatt, które mogą dać 1 do 2 W mocy wyjściowej.

Większe niż przy wzmocnieniu bezpośrednim wzmocnienie mikrofal można uzyskać za pomocą tak zwanego wzmacniacza oscylującego, którego zasada działania polega na synchronizowaniu za pomocą sygnału wzmacnianego częstotliwości generatora samowzbudnego,

pracującego na diodzie lub tranzystorze. Wykorzystywany jest przy tym fakt, że dany tranzystor /lub dioda/ może wytworzyć większą moc przy większej częstotliwości, pracując jako generator, niż pracując jako wzmacniacz. We wzmacniaczu oscylującym można wykorzystywać również generator kontrolowany napięciowo z pętlą stabilizacji fazy, dla którego sygnał wzmacniany pełni rolę sygnału synchronizacji i odniesienia.

Proponowane są również układy wzmacniaczy z dzieleniem częstotliwości, w których sygnał wzmacniany o częstotliwości f_0 jest najpierw przekształcany przez dzielnik częstotliwości na sygnał o mniejszej częstotliwości f_0/n , który może być wzmacniany z dużą sprawnością we wzmacniaczu półprzewodnikowym. Częstotliwość tego wzmocnionego sygnału jest następnie powielana do wartości początkowej f_0 . Układ taki zastosowano na przykład we włoskim urządzeniu CTR 144, uzyskując w zakresie częstotliwości 4 GHz moc 5 W, wystarczającą do transmisji sygnału telefonii nośnej i krotności 1800.

5. OPISY PRZYKŁADOWYCH URZĄDZEŃ LINII RADIOWYCH

Dla ilustracji przeprowadzonych rozważań zostaną poniżej opisane rozwiązania elektryczne i konstrukcyjne oraz omówione podstawowe właściwości dwóch aktualnie produkowanych systemów linii radiowych: niemieckiego i włoskiego. Systemy te, zdaniem autora, mogą być traktowane jako reprezentatywne dla urządzeń linii radiowych, tak zwanej drugiej generacji, produkowanych seryjnie przez firmy światowe w latach 1971-75. Wszystkie one mają powyżej omówione cechy nowoczesności, chociaż niektóre szczegóły układowe lub konstrukcyjne są jeszcze tradycyjne.

5.1. Ujednolicony system zakresów częstotliwości 4 i 11 GHz [16, 21]

5.1.1. Cechy ogólne

Za przykład nowoczesnego jednolitego systemu urządzeń linii radiowych dużej i średniej pojemności, wykorzystującego dwa zakresy częstotliwości 4 i 11 GHz, może służyć opracowany w NRD system, zwany BES /Breitbandeinheitssystem/.

System ten poza właściwymi urządzeniami transmisyjnymi obejmuje wszystkie urządzenia niezbędne do eksploatacji i nadzoru linii radiowych, tworzące jednolitą rodzinę. Zawiera on:

1. Urządzenie nadawczo-odbiorcze dużej pojemności typu F 0001 FM 1800/TV + 4T - 3600, pracujące w zakresie 4 GHz i przystosowane do transmisji sygnałów telefonii nośnej o krotności do 1800 kanałów telefonicznych lub sygnałów telewizyjnych, łącznie z czterema sygnałami dźwiękowymi.
2. Urządzenie nadawczo-odbiorcze dużej lub średniej pojemności typu F 0003 FM 300/TV + 4T - 11000, pracujące w zakresie częstotliwości 11 GHz o takich samych możliwościach transmisyjnych jak urządzenie poprzednie w sieciach bliższego zasięgu.
3. Urządzenie nadawczo-odbiorcze małej pojemności typu F 0002 FM 24-3600, pracujące w zakresie częstotliwości 4 GHz, przystosowane do przesyłania w kanale radiowym sygnałów telefonii nośnej o krotności do 24 kanałów telefonicznych lub równoważnych i przeznaczone w zasadzie do przesyłania sygnałów służbowych i nadzoru w liniach szerokopasmowych.

4. Urządzenie małej pojemności typu F 004 FM 24-1100, pracujące w zakresie częstotliwości 11 GHz o możliwościach transmisyjnych i przeznaczeniu takim samym jak urządzenia poprzednie.

5. Urządzenia automatycznego przełączania na rezerwę:

5a/ typu F 2001 ES 5 + 1 - 70, realizujące automatyczne włączanie rezerwowego kanału radiowego w przypadku uszkodzenia w jednym z pięciu kanałów czynnych; przełączanie odbywa się na sygnale częstotliwości pośredniej systemu - 70 MHz;

5b/ typu F 2002 ES 5 + 1 - 70, realizujące automatyczne miejscowe włączanie rezerwowego modulatora lub demodulatora w przypadku uszkodzenia w jednym z pięciu urządzeń czynnych;

5c/ typu F 2003 ES 4+1 - 70, umożliwiające automatyczne rezerwowanie odgałęzienia sygnału telewizyjnego z jednego z czterech kanałów radiowych na stacjach przekaźnikowych, nie wyposażonych w inne urządzenia rezerwowania; przełączanie odbywa się na częstotliwości pośredniej 70 MHz. Przy niepełnym wyposażeniu powyższych urządzeń można realizować również rezerwowanie różnego stopnia od typu 1 + 1 począwszy.

6. Urządzenie odbioru zbiorczego typu F 2004 DG 1 + 1 - 70, realizujące odbiór zbiorczy sygnałów pośredniej częstotliwości z dwóch kanałów radiowych.

7. Urządzenie zdalnego sterowania i nadzoru typu F 3001 FW. 400, umożliwiające zdalne kierowanie do jedenastu stacji w linii, przy czym do każdej ze stacji kierowanej można nadać do 200 różnych rozkazów binarnych przełączania oraz odebrać z niej do 400 różnych meldunków.
8. Urządzenie kanału służbowego typu F 7001, umożliwiające prowadzenie do 5 telefonicznych rozmów służbowych w sieci obejmującej 25 stacji, z wywołaniem selektywnym do 100 numerów.
9. Łącznica typu F 7002 umożliwiająca na stacjach węzłowych miejscowe lub zdalne przełączanie kanałów na sygnałe częstotliwości pośredniej; liczba zarówno wejść jak i wyjść łącznicy wynosi po 5 z możliwością rozbudowy do 25.
10. Urządzenie zasilające typu F 4001, umożliwiające w połączeniu z baterią 48 V bezprzerwowo zasilanie innych urządzeń z sieci prądu przemiennego 220 V.
11. Urządzenie osuszania powietrza typu 7003 do utrzymywania nadciśnienia w traktach falowodowych.
12. Anteny na zakresy 4 i 11 GHz.

Wszystkie urządzenia są w pełni półprzewodnikowe /z wyjątkiem wzmacniacza z lampą o fali bieżącej w stopniu wyjściowym nadajnika dużej pojemności/, przystosowane do pracy w pełni zautomatyzowanej i zmontowane w blokach - stojakach wysmukłych o ujednoczonych wymiarach 135 /szerokość/ x 225 /głębokość/ x 2060 /wysokość/ mm, które mogą być zawieszane obok siebie we wspólnej ramie, jak pokazano na rys. 1^{x/}.

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

Parametry techniczne i konstrukcyjne poszczególnych urządzeń są tak dobrane, że można je zestawiać w sposób pokazany na rysunku w zespoły umożliwiające realizację stacji zarówno końcowych jak i przekaźnikowych czy węzłowych o potrzebnej konfiguracji, pojemności i stopniu zautomatyzowania, zarówno dla sieci magistralnych dalekiego zasięgu, jak i sieci mniejszego zasięgu.

Dokładniej zostaną omówione tylko podstawowe urządzenia systemu, a mianowicie szerokopasmowe urządzenia nadawczo-odbiorcze. Opisy pozostałych urządzeń można znaleźć w literaturze.

5.1.2. Podstawowe parametry techniczne

Typ	F 001 FM 1800/TV + + 4T - 3600	F 003 FM 300/TV + + 4T - 11000
1	2	3
<u>Urządzenia radiowe</u>		
Zakres częstotliwości	3,42...3,83 GHz	10,7...11,7 GHz
Liczba kanałów radiowych	6+6	12+12
Odstęp między sąsied. kan. rad.	29 MHz	40 MHz
Odstęp między częst. nadawania i częst. odbioru	213 MHz	530 MHz
Stołość częstotliwości	$\pm 2 \cdot 10^{-4}$	$\pm 2 \cdot 10^{-4}$
Nominalna długość odcinka	56 km	35 km
Moc nadajnika	≥ 15 W	≥ 3 W

1	2	3
Współczynnik szumów odbiornika	≤ 8 dB	≤ 10 dB
Częstotliwość po-średnia	70 MHz	70 MHz
Zakres regulacji wzmacnienia pośr. częstotliwości	+5... -50 dB	+10... -33 dB
<u>Modemy</u>		
Telefonia nośna		
Liczba kanałów	1800 960	1800 960 300
Pasmo częstotliwości	0,3... 0,06... ...8,248 ...4,287 MHz MHz	0,3- 0,06- 0,06- 8,248 4,287 1,364 MHz MHz MHz
Preemfaza	8 dB	8 dB
Rodzaj modulacji	częstotliwości	częstotliwości
Dewiacja skuteczna	140 kHz 200 kHz	140 200 200 kHz kHz kHz
Telewizja		
Górna częstotliwość graniczna pasma wizji	5 lub 6 MHz	5 lub 6 MHz
Preemfaza	8 lub 14 dB	8 lub 14 dB
Rodzaj modulacji	częstotliwości	częstotliwości
Dewiacja przy 1,3 MHz	8 MHz przy preemf. 14 dB	8 MHz przy preemf. 14 dB
i nomin. poz. wejść.	2,5 MHz przy preemf. 8 dB	2,5 MHz przy preemf. 8 dB
Kanały dźwiękowe		
Liczba kanałów dźwiękowych	1...4	1...4

1	2	3
Zakres częstotliwości	30 Hz...15 kHz	30 Hz...15 kHz
<u>Zasilanie</u>		
Napięcie zasilania	48 V $\begin{matrix} +20\% \\ -10\% \end{matrix}$	
Pobór mocy		
urządzenia radiowe	ok. 300 W	
modem telef.	ok. 60 W	
modem telew.	ok. 110 W	

5.1.3. Opis działania układu

Schemat blokowy szerokopasmowego urządzenia typu F 001 FM 1800/TV + 4T - 3600 pokazano na rys. 2.

Przy transmisji telefonicznej sygnał telefonii nośnej jest doprowadzany do układu wejściowego /U. we/ zawierającego między innymi filtr dolnoprzepustowy, układ rozwidlający, przez który jest doprowadzany sygnał pilotowy z odpowiedniego generatora /G.pil. trzystopniowy wzmacniacz i układ preemfazy.

Sygnał telewizyjny jest doprowadzany do innego układu wejściowego o podobnym działaniu, w którym ponadto są dołączane podnośne sygnałów dźwięku, zmodulowane uprzednio w modulatorach dźwiękowych /Mod. dźw./ i połączone w układzie łączenia nośnych /U. łącz./.

Sygnał pasma podstawowego uzyskany z układu wejściowego jest doprowadzany do modulatora częstotliwości pośredniej /Mod.p.cz./, gdzie po dodatkowym wzmocnieniu moduluje on częstotliwość multiwibratora 70 MHz, który jest stabilizowany częstotliwościowo przez

porównanie z częstotliwością generatora kwarcowego i temperaturowo za pomocą układu regulacyjnego. Zmodulowany sygnał pośredniej częstotliwości po wielostopniowym wzmocnieniu i korekcji jest doprowadzany na wejście nadajnika.

Pierwszym blokiem nadajnika jest mieszacz nadawczy /M.nad./, w którym sygnał p.cz. jest wzmacniany we wzmacniaczu szerokopasmowym i doprowadzony do właściwego układu przemiany częstotliwości, łącznie z sygnałem mikrofalowym dostarczanym przez generator nadawczy /Gen. nad./ za pośrednictwem 3 obwodowego filtra pasmowego i cyrkulatora.

Generator nadawczy zawiera samowzbudny oscylator mocy, pracujący na częstotliwości około 225 MHz, którego częstotliwość jest stabilizowana przez porównanie fazy z sygnałem generatora kwarcowego oraz łańcuch powielaczy częstotliwości.

Uzyskany w wyniku przemiany częstotliwości, zmodulowany częstotliwościowo sygnał mikrofalowy po przejściu przez filtr pasmowy jest wzmacniany we wzmacniaczu nadawczym /Wzm.nad./ z lampą o fali bieżącej, filtrowany przez filtr nadawczy /F.nad./ i doprowadzany przez cyrkulator i filtr polaryzacyjny /F.pol./ do anteny.

W kierunku odbiorczym sygnał mikrofalowy odebrany przez antenę jest poprzez wspomniane powyżej: filtr polaryzacyjny i cyrkulator oraz filtr odbiorczy /F.odb./ doprowadzany do obwodu wejściowego odbiornika składającego się z układu rozwidlającego z filtrem pasmowym dla częstotliwości sygnału odbieranego i filtrem pasmowym dla częstotliwości generatora lokalnego, do którego jest doprowadzony również sygnał z lokalnego generatora odbiorczego

/Gen. odb./, pracującego w sposób podobny jak generator nadawczy. Oba te sygnały dochodzą następnie do mieszacza odbiorczego /M.odb./ wytwarzającego z nich sygnał pośredniej częstotliwości 70 MHz. Sygnał ten jest wzmacniany we wzmacniaczach pośredniej częstotliwości /Wzm.p.cz./ wstępnym i głównym, zawierających układy korekcji i regulacji wzmocnienia i doprowadzany do demodulatora /Dem.p.cz./. W demodulatorze sygnał pośredniej częstotliwości jest dodatkowo wzmacniany, korygowany, ograniczany i poddawany demodulacji w układzie dyskryminatora przeciwsobnego. Uzyskany tym sposobem sygnał pasma podstawowego po dodatkowym wzmocnieniu jest doprowadzany do układów wyjściowych /U.wy./ telefonicznego lub telewizyjnego, w których jest przeprowadzana deemfaza, wzmocnienie i rozdział sygnałów w kierunku odwrotnym, jak na wejściu modulatora.

W przypadku stacji przekaźnikowej bez demodulacji wejście nadajnika /We.nad./ jest łączone bezpośrednio z wyjściem odbornika /Wy.odn./ na sygnale częstotliwości pośredniej.

W omawianym układzie przewidziano szereg wyjść kontrolnych /Kontr./, służących do kontroli pracy poszczególnych sygnałów. Sygnały z wyjść kontrolnych mogą być wykorzystywane do sterowania pracą urządzeń automatycznego przełączania na rezerwę i urządzeń zdalnego kierowania.

5.2. Urządzenie uniwersalne analogowo-cyfrowe na zakres częstotliwości 13 GHz [22, 23, 24]

5.2.1. Cechy ogólne

Za przykład rozwiązania tego rodzaju urządzeń może służyć urządzenie nadawczo-odbiorcze typu CTR-142, produkcji włoskiej

firmy GTE, które w połączeniu z odpowiednim urządzeniem modularyjno-demodularyjnym /modemem/ może być stosowane do przesyłania sygnałów telefonii nośnej o zwielokrotnieniu częstotliwościowym /FDM/ o krotności do 960 z modemem typu CMF 18, sygnałów telewizji kolorowej łącznie z 4 sygnałami dźwiękowymi z modemem typu CMF 18 lub sygnałów cyfrowych o szybkości do 34,304 Mbit/s, odpowiadającej pojemności 480 kanałów telefonicznych o zwielokrotnieniu impulsowo-kodowym /PCM/ z modemem typu CMF 19. Połączenie pomiędzy urządzeniem nadawczo-odbiorczym i urządzeniem modemowym jest realizowane na częstotliwości pośredniej 70 MHz. Należy dodać, że wymienione modemy pasują pod względem parametrów i konstrukcji również do innych urządzeń nadawczo-odbiorczych na inne zakresy częstotliwości, produkowanych przez firmę GTE, wchodzą więc do "rodziny" urządzeń linii radiowych tej firmy.

Urządzenia są w pełni półprzewodnikowe, skonstruowane w postaci zwartych wymiennych bloków i mogą być montowane w stojaku o wymiarach 600 x 225 x 2100 mm, w którym mieszczą się dwa komplety nadawczo-odbiorcze, dwa komplety modemowe, układ rezerwowania typu CCA 22, typu 1+1 z przełączaniem na pasmie podstawowym, układ zasilania i ewentualnie układ zwielokrotnienia impulsowo-kodowego trzeciego stopnia typu MP30+3, stanowiące kompletne wyposażenie stacji końcowej.

Schemat blokowy wyposażenia takiego stojaka dla linii cyfrowej PCM pokazano na rys. 3. /Możliwe jest również inne skompletowanie zawartości stojaka, na przykład dla stacji przekaźnikowej/.

W skład systemu mogą wchodzić również dodatkowe urządzenia, nie pokazane na rysunku, na przykład układy zwielokrotnienia toru

antenowego do pracy kilku urządzeń nadawczo-odbiorczych na jedną antenę, rezerwowania na częstotliwości pośredniej, rezerwowania typu n+1, urządzenia łączności służbowej i zdalnego nadzoru itp., zapewniające automatyczną pracę stacji.

Parametry systemowe, jak moc nadajnika i współczynnik szumów odbiornika, zapewniają przy transmisji cyfrowej zapas mocy na zaniki do 40 dB, z uwzględnieniem ograniczenia długości odcinka do 20 km i tłumienia fali o częstotliwości 13 GHz przez opady.

5.2.2. Podstawowe parametry techniczne systemu

Pasmo podstawowe przy transmisji analogowej /modem CMF 18/

- pojemność transmisyjna	960 kan.tf. w pasmie 60-4287 kHz lub 1 kan.tv + 4 kan. dźwięku
+ kanały służbowe	0,3 - 44 kHz
- dewiacja	200 kHz/kan.tf. dla telefonii lub 8 MHz p-p dla telewizji
- poziomy	zgodnie z zaleceniami CCIR
- typ modulacji	modulacja częstotliwości

Pasmo podstawowe przy transmisji cyfrowej /modem CMF 19/

- pojemność transmisyjna	8,448 Mbit/s /120 kan.tf. PCM/ lub 17,152 Mbit/s /240 kan.tf. PCM/ lub 34,304 Mbit/s /480 kan.tf. PCM/
- rodzaj sygnału	bipolarny, RZ, wypełnienie 50%
- poziom na wejściu modulatora	0,15 do 6 Vp-p

- poziom na wyjściu demodulatora 6 V_{p-p}
- impedancja 75 Ω
- typ modulacji 2-poziomowe kluczkowanie fazy przy szybkościach transmisji 8,448 lub 17,152 Mbit/s
- 4-poziomowe kluczkowanie fazy przy szybkościach transmisji 17,152 Mbit/s lub 34,304 Mbit/s
- modulacja różnicowa
- demodulacja koherentna

Kanał służbowy

- pasmo 4 - 16 kHz
- modulacja częstotliwości
- dewiacja nominalna 50 kHz sk.
- poziom wej. -42 dBm
- poziom wyj. -15 dBm

Parametry w punkcie styku pośredniej częstotliwości

- częstotliwość pośrednia 70 MHz
- dokładność cz. pośredniej ±2 kHz
- poziom na wyjściu modulatora +5 dBm
- poziom na wejściu demodulatora +1 dBm
- impedancja 75 Ω

Parametry urządzeń w.cz.

- zakres częstotliwości 12,7 do 13,25 GHz
- rozkład kanałów radiowych dowolny, spełniający warunki
- odstęp między kanałami sąsiednimi 28 MHz,

	- odstęp między najwyższym kanałem nadawania /odbioru/ i najniższym kanałem odbioru /nadawania/ 56 MHz
- stałość częstotliwości	$\pm 5 \cdot 10^{-6}$
- pasmo w.cz. nadajnika	± 20 MHz/3 dB
-	± 34 MHz/40 dB
- pasmo w.cz. odbiornika	± 30 MHz/3 dB
- pasmo p.cz. w odbiorniku	± 10 MHz/0,1 dB
	± 13 MHz/3 dB
- moc nadajnika nomin.	100 mW
- współcz. szumów odbiornika	≤ 9 dB

Zasilanie

- z baterii prądu stałego	-19 do -29 V /nominalne -24 V/ lub -37 do -75 V /nominalne -48/60 V/
- z sieci prądu zmiennego	110 - 125 lub 220-250 V $\pm 10\%$ 48 do 60 Hz

Temperatura pracy 0 do + 45°C

Wymiary stojaka 600 x 225 x 2100 mm

5.2.3. Opis konstrukcji i działania bloków

Modem analogowy typu CMF 18

Modem typu CMF 18 jest zespołem modulatora i demodulatora o pojemności transmisyjnej do 2700 kanałów telefonicznych lub równoważnej, przeznaczony do współpracy na sygnale częstotliwości pośredniej 70 MHz z szerokopasmowymi urządzeniami nadawczo-

-odbiorczymi o odpowiedniej szerokości pasma przenoszenia. Realizuje on analogową modulację częstotliwości pośredniej 70 MHz /lub 140 MHz/ w kierunku nadawczym i demodulację tego sygnału w kierunku odbiorczym.

Konstrukcyjnie /rys. 4a/ modem jest wykonany w postaci zwanego panela o wymiarach 191 x 552 x 225 mm, przystosowanego do zamieszczenia w standardowym stojaku. Istnieje również wersja tego modemu o konstrukcji ministożkowej, w tym przypadku w wysmukłym stojaku o wymiarach 120 x 225 x 2064 mm mieszczą się dwa komplety modulacyjno-demodulacyjne. Schemat blokowy modemu pokazano na rys. 4b.

Modulator

Sygnał telefonii nośnej /tf./ lub telewizji /tv./ z dźwiękami fonicznymi oraz sygnał pilotowy /Pil/ linii radiowej są poprzez wejściowe układy liniowe /U.we/ doprowadzane do wzmacniacza pasma podstawowego /Wzm.p.p./ innego dla telewizji i innego dla telefonii, w którym jest przeprowadzany również proces preemfazy. Do wzmacniacza dla telefonii jest ponadto doprowadzany sygnał zbiorczy łączności służbowej /Sł./, mieszczący się w pasmie częstotliwości 0,3 - 44 kHz.

Sygnał zbiorczy pasma podstawowego po wzmocnieniu dochodzi do właściwego modulatora /Mod./ . Modulacja jest realizowana w układzie przeciwfazowej modulacji częstotliwości dwóch oscylatorów półprzewodnikowych /nie pokazanych na schemacie/, których częstotliwość może być regulowana napięciowo za pomocą diody warkatorowej /oscylator kontrolowany napięciowo/ ,

Sygnaly wyjściowe oscylatorów są następnie zdudniane, dając w efekcie sygnał o częstotliwości różnicowej 70 MHz, równej częstotliwości pośredniej systemu. Stałość tej częstotliwości jest kontrolowana przez generator kwarcowy w układzie pętli stabilizacji fazy /Stab. faz./. Napięcie błędu uzyskane z pętli stabilizacji fazy odpowiednio dostraja oscylatory modulowane. Dzięki temu uzyskuje się bardzo dużą stałość częstotliwości pośredniej, równą stałości generatora kwarcowego.

Zmodulowany sygnał pośredniej częstotliwości jest następnie wzmacniany, ograniczany, poddawany korekcji fazy /Wzm. p. cz./ i doprowadzany do gniazda wyjściowego /Wyjście p. cz./.

Demodulator

W kierunku odbiorczym sygnał pośredniej częstotliwości odbiornika radiowego jest wzmacniany, korygowany i poddawany demodulacji częstotliwościowej w układzie konwencjonalnym. Uzyskany w wyniku demodulacji sygnał zbiorczy pasma podstawowego jest wzmacniany, poddawany deemfazie i rozdzielony na sygnał telewizyjny lub telefoniczny i sygnał służbowy. Ponadto we wzmacniaczu pasma podstawowego jest wydzielony sygnał pilotowy.

Sygnał telefoniczny lub telewizyjny są poprzez liniowy układ wyjściowy /Ukł. wy./ doprowadzane do gniazd wyjściowych.

Kontrola

Do kontroli pracy modemu przewidziano cały szereg punktów /gniazd/pomiarowych /kontr./, pokazanych na schemacie.

Modem cyfrowy typu CMF 19

Modem typu CMF 19 jest zespołem modulatora i demodulatora o szybkości transmisji do 34,304 Mbit/s, przeznaczony do współpracy na sygnale częstotliwości pośredniej 70 MHz z urządzeniami nadawczo-odbiorczymi o odpowiedniej szerokości pasma przenoszenia, w szczególności z urządzeniami typu CTR-142. Realizuje on dwu- lub czteropoziomowe kluczowanie fazy sygnału częstotliwości pośredniej w kierunku nadawczym i odpowiednią demodulację tego sygnału w kierunku odbiorczym.

Konstrukcyjnie modem jest wykonany w postaci zwartego panela o wymiarach 171x560x225 mm, zawierającego dwa niezależne identyczne układy modulatoryjno-demodulatoryjne, przystosowanego do umieszczenia w standardowym stojaku /rys. 5a/. Schemat blokowy zespołu modulatoryjno-demodulatoryjnego pokazano na rys. 5b. Przez wymianę odpowiednich bloków układ może być przystosowany do przesyłania sygnałów PCM o pojemności 30, 120 lub 240 kanałów telefonicznych przy dwupoziomowym kluczowaniu fazy względnie 240 lub 480 kanałów telefonicznych przy kluczowaniu czteropoziomowym.

Modulator

Zespół modulatoryjny zawiera regenerator wejściowy, właściwy modulator PSK i generator sygnału częstotliwości pośredniej. Zadaniem regeneratora jest odtworzenie i ponowne ukształtowanie wejściowych impulsów bipolarnych typu RZ sygnału PCM w celu eliminacji szumów i zniekształceń wprowadzanych przez linię łączącą z urządzeniami przewodowymi PCM. Regenerator na swoim

wejściu ma dodatkowo układ dopasowujący, umożliwiający dopasowanie do linii łącznikowej - sztuczne wydłużenie tej linii do długości odpowiadającej odległości między regeneratorami liniowymi.

Zregenerowany sygnał bipolarny jest doprowadzany do transkodującego układu logicznego, którego zadaniem jest przekształcenie /przekodowanie/ i przygotowanie go do postaci potrzebnej do modulacji. Układ ten przekształca między innymi sygnał dochodzący na sygnał różnicowy, w którym zmiana stanu /z "0" na "1" lub z "1" na "0"/ następuje przy "1" sygnału dochodzącego; natomiast przy "0" sygnału dochodzącego stan sygnału wyjściowego pozostaje bez zmiany.

W przypadku przewidywanego czteropozomowego kluczenia fazy układ logiczny realizuje ponadto tak zwane przekształcenie szeregowo-równoległe, które rozdziela dochodzący ciąg impulsów PCM na dwa ciągi o dwukrotnie mniejszej szybkości bitowej.

W modulatorze PSK jest realizowane dwustanowe kluczenie fazy sygnału o częstotliwości pośredniej 70 MHz w układzie modulatora pierścieniowego z inwersją fazy za pomocą sygnału impulsowego uzyskanego z układu logicznego. Kluczenie czterostanowe jest uzyskiwane przez dodawanie sygnałów wyjściowych z dwóch modulatorów dwustanowych, z których każdy jest zasilany falą nośną pośredniej częstotliwości z przesunięciem fazy o 90° .

Sygnał 70 MHz jest wytwarzany przez oscylator kontrolowany napięciowo, którego częstotliwość jest stabilizowana za pomocą pętli stabilizacji fazowej, sterowanej z generatora kwarcowego.

Częstotliwość generatora 70 MHz jest dodatkowo modulowana sygnałami łączności służbowej, wzmocnionymi uprzednio we wzmacniaczu łączności służbowej.

Demodulator

W demodulatorze zastosowano synchroniczną demodulację sygnałów pośredniej częstotliwości o kluczowanej fazie, uzyskiwanego z wyjścia odbiornika radiowego. Potrzebny do tego celu sygnał wzorcowy 70 MHz jest wytwarzany przez oscylator kontrolowany napięciowo z pętlą stabilizacji fazowej, przy czym sygnał odniesienia dla pętli jest uzyskiwany z sygnału odbieranego za pomocą remodulacji likwidującej kluczowanie fazy.

Przy odbiorze sygnałów o czteropoziomowym kluczowaniu fazy układ demodulacji działa w sposób analogiczny, ale jest bardziej skomplikowany i daje na wyjściu dwa ciągi impulsów PCM.

Sygnał z wyjścia demodulatora PSK przez filtr dolnoprzepustowy i ogranicznik jest doprowadzany do regeneratora wyjściowego i układu logicznego, których zadaniem jest regeneracja sygnału PCM o kodzie różnicowym, a następnie przekształcenie go w sygnał bipolarny o poziomie wymaganym do włączenia na linię lub krotnicę PCM.

W przypadku kluczowania czterostanowego układ logiczny realizuje ponadto przekształcenie równoległo-szeregowo, które łączy dwa ciągi impulsowe, uzyskane z układu demodulacji, w jeden ciąg o podwójnej szybkości bitowej. Z pętli stabilizacji fazowej jest ponadto pobierany zdemodulowany sygnał łączności służbowej, który po wzmocnieniu we wzmacniaczu łączności służbowej jest doprowadzany do odpowiednich urządzeń łączności służbowej.

Urządzenie nadawczo-odbiorcze typu CTR 142

Urządzenie typu CTR 142 jest zespołem nadajnika i odbiornika mikrofalowego, przystosowanym do współpracy na sygnale często-

tliwości pośredniej z urządzeniem modemowym /np. CMF 18 lub CMF 19/ z jednej strony i mikrofalowym zespołem antenowym z drugiej strony. Realizuje ono "przesunięcie" modulowanego /analogowo lub cyfrowo/ sygnału o częstotliwości pośredniej 70 MHz w zakres mikrofalowy 13 GHz w kierunku nadawczym i przesunięcie odwrotne w kierunku odbiorczym.

Wyjście o częstotliwości pośredniej z odbiornika może być połączone bezpośrednio z wejściem odbiornika na stacji przekaźnikowej linii radiowej z pominięciem demodulacji. Konstrukcyjnie zespół jest wykonany w postaci zwartego panela o wymiarach 520 x 225 x 440 mm /rys. 6a/, przystosowanego do umieszczenia w stojaku o standardowych wymiarach, zajmując 1/3 jego objętości. Schemat blokowy zespołu nadawczo-odbiorczego pokazano na rys. 6b.

Nadajnik

Sygnał pośredniej częstotliwości pochodzący z modulatora /lub z wyjścia odbiornika/ o nominalnym poziomie 0,3 V jest doprowadzany do trzystopniowego układu wzmacniacza - ogranicznika z diodami ładunkowymi, gdzie ulega 5-krotnemu wzmocnieniu mocy. Sygnał ten jest następnie korygowany i jeszcze raz wzmacniany do poziomu 9 V, potrzebnego doysterowania mieszacza nadawczego, który pracuje w hybrydowym układzie zrównoważonym, wykonanym w technice współosiowo-falowodowej z dwoma diodami waraktorynymi. Sygnał pośredniej częstotliwości jest przy tym doprowadzany przez środkowy przewód linii współosiowej, sygnał mikrofalowy generatora nadawczego jest przyłożony na gałąź szeregową układu, a sygnał wyjściowy /przesunięty/ jest pobierany z gałęzi

równoległej i poprzez cyrkulator i 7-obwodowy mikrofalowy filtr nadawczy doprowadzany do wyjścia antenowego.

Mikrofalowy generator nadawczy jest sterowany oscylatorem kwarcowym pracującym na częstotliwości około 100 MHz, którego sygnał jest w szeregu stopni wzmacniany i powielany częstotliwościowo do mocy około 4 W przy częstotliwości około 800 MHz. Częstotliwość tego sygnału jest następnie jeszcze powielana 16-krotnie w trzech stopniach z diodami typu "step recovery", rozdzielonych cyrkulatorami. Uzyskany tym sposobem sygnał o częstotliwości około 13 GHz jest wykorzystywany do sterowania mieszacza nadawczego.

Odbiornik

Sygnał mikrofalowy uzyskiwany z anteny przez 7-obwodowy mikrofalowy filtr odbiorczy jest doprowadzany do mieszacza odbiorczego, pracującego w układzie zrównoważonym z diodami Schottky'ego, do którego jest doprowadzony również sygnał z mikrofalowego generatora odbiorczego. Uzyskany w wyniku przemiany częstotliwości sygnał pośredniej częstotliwości po wstępnym wzmocnieniu we wzmacniaczu wstępnym jest wzmacniany w głównym wzmacniaczu pośredniej częstotliwości, zawierającym układy korekcji automatycznej regulacji wzmocnienia, filtry i ogranicznik.

W skład zespołu wzmacniacza pośredniej częstotliwości wchodzi ponadto generator zastępczy 70 MHz, włączający się automatycznie w przypadku zaniku sygnału odbieranego. Na wyjściu wzmacniacza uzyskuje się sygnał o poziomie potrzebnym do współpracy z wejściem modulatora /lub wejściem nadajnika/.

Sygnal mikrofalowy odbiorczego generatora lokalnego jest wytwarzany w sposób podobny jak w generatorze nadawczym, poczynając od oscylatora kwarcowego o częstotliwości około 100 MHz, z tą różnicą, że nie jest stosowany wzmacniacz mocy o częstotliwości około 800 MHz, a tylko powielanie tego sygnału o mniejszym poziomie.

Łączność służbowa

W zespole nadawczo-odbiorczym przewidziano możliwość doprowadzenia i wydzielenia sygnałów łączności służbowej na stacjach bez demodulacji. Sygnały te w kierunku nadawczym modułują częstotliwość oscylatora 100 kHz generatora nadawczego, a w kierunku odbiorczym są wydzielane ze wzmacniacza pośredniej częstotliwości.

Kontrola pracy

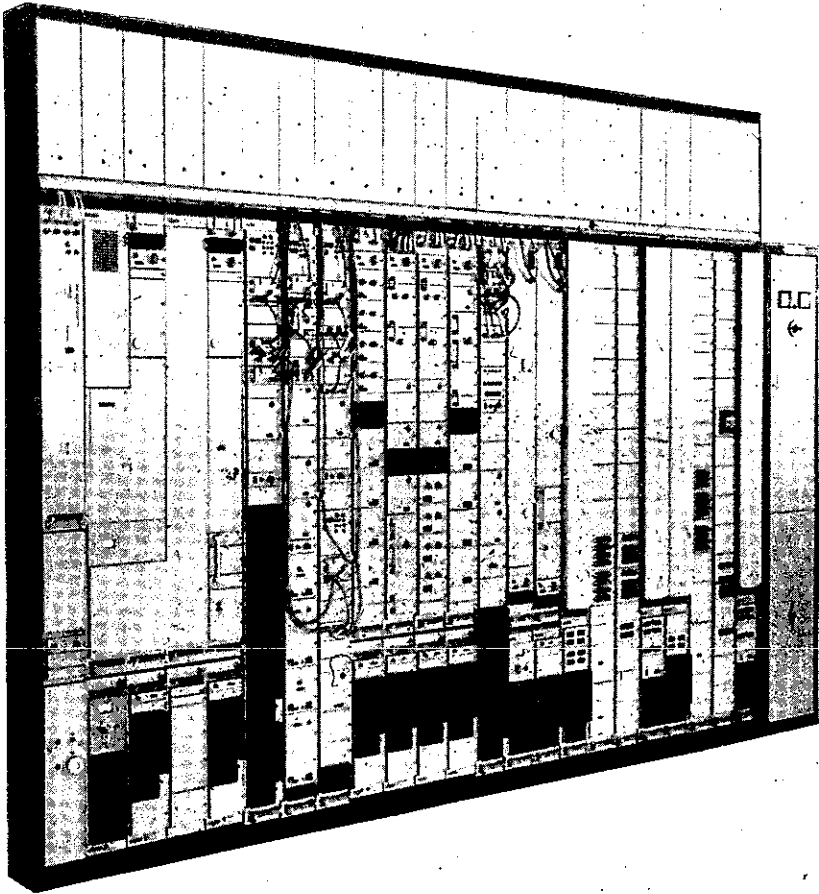
W zespole wyprowadzono szereg pokazanych na schemacie gniazd kontrolnych, umożliwiających kontrolę poszczególnych podzespołów.

WYKAZ LITERATURY

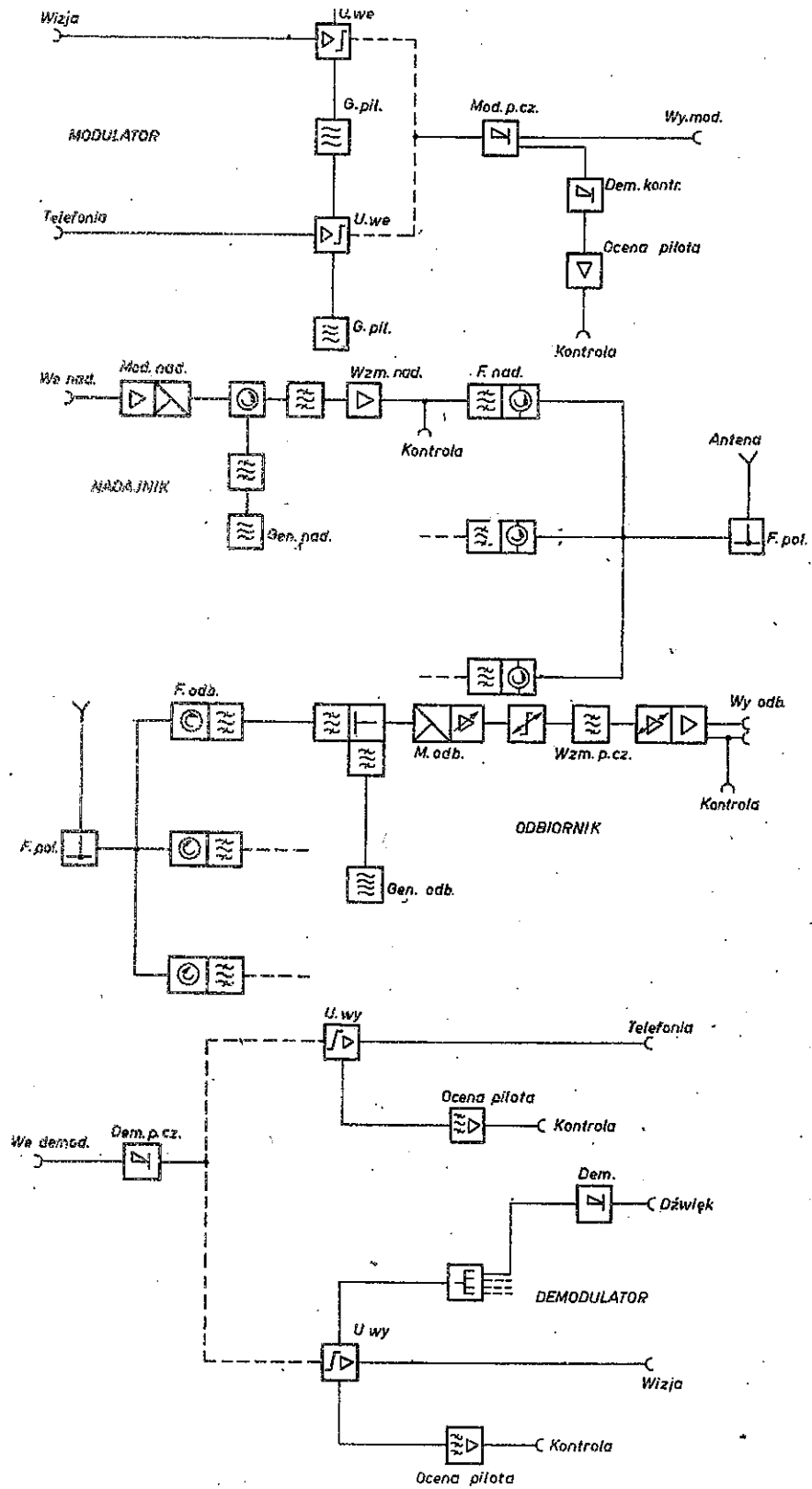
1. Dumania E.: Linie radiowe. Analiza stanu rozwoju telekomunikacji w krajach socjalistycznych z uwzględnieniem stanu w Polsce. Warszawa: IŁ 1974, s. 253.
2. Lichačeva G.G.: Sostojanie i tendencii razvitija tehniki radio-relejnoj svjazi prjamoj vidimosti za rubežom. Ekspr. Inf. Zarub. Tech. Radiosvjaz', Radioveščanie, Televidenie 1975 vyp. 1 s. 3-22.

3. Laaf O.: Możliwości i ograniczenia przesyłania szerokopasmowych sygnałów analogowych w liniach radiowych. Tłum. E. Dumania. Przekł. telekom. Lit. Zagr. 1975 nr 36.
4. Langer O.: Stan i możliwości transmisji radiowej sygnałów cyfrowych. Tłum. E. Dumania. Przekł. telekom. Lit. Zagr. 1975 nr 36.
5. Dokumenty plenarnej sesji CCIR. Służby stałe, wykorzystujące systemy przekaźnikowych linii radiowych. Genewa: CCIR 1974, t. IX.
6. Czajka B., Zientalski M.: Badania możliwości wykorzystania linii radiowej "Korab 4" do transmisji PCM. Prz. telekom. 1974 nr 5 s. 168-170.
7. Grady R.R., Knapp J.W.: IA radio digital terminals put "data under voice". Bell Lab. Rec. 1974 t. 52 nr 5 s. 161-166.
8. Kędziński L.: Automatyka we współczesnych sieciach linii radiowych. Radio i telewizja w Publ. Zagr. 1974 nr 2,3,4.
9. Vizel A.A.: Radiolinii millimetrovogo diapazona. Zarub., Radioelektron. 1975 nr 3.
10. CCITT: Digital transmission system over existing FM microwave radio systems. Genewa: CCITT 1974, 7 s., COM Sp.D - -Nr 151-E.
11. A new generation of microwave radio. Milan: GTE Telecomunicazioni 1973.
12. Andreev V.S.: Tverdotel'nye istočniki SVČ kolebanij v sistemach svjazi. Elektrosvjaz' 1974 nr 11 s. 38-48.

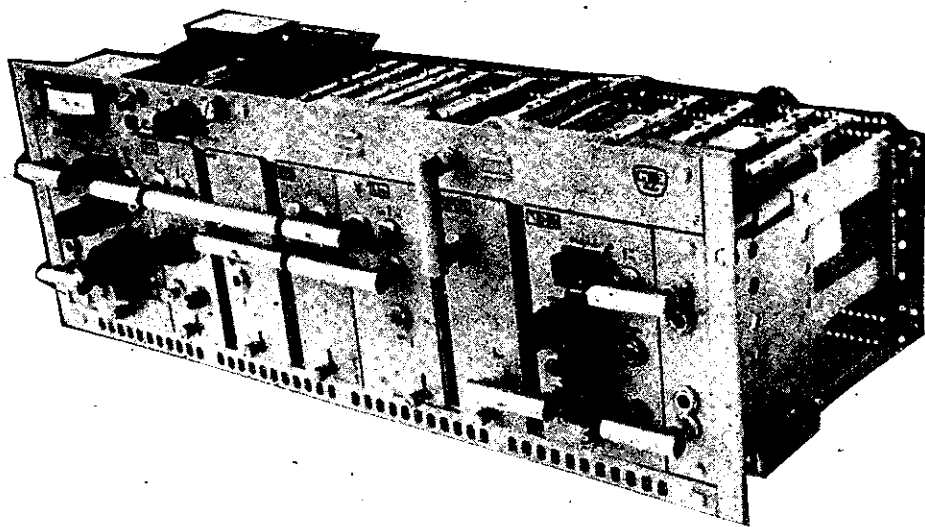
13. Douverne E: i in.: Das Richtfunksystem FM 2700/6700 in Schmallgestellbauweise TR. Tech. Mitt. AEG-Telefunken 1974 t. 64 nr 4.
14. 25 Jahre Entwicklung und Produktion von Richtfunkgeräten in der DDR. Radio Fernsehen Elektron. 1974 t. 23 nr 18.
15. Tjuljaev A.N.: Techničeskaja baza razvitija pervičnoj seti. Elektrosvjaz' 1975 nr 5.
16. Mansfeld V.: Unificirovannaja radiorelejnaja apparatura dlja diapazonov 4 i 11 GGz. Elektrosvjaz' 1974 nr 3.
17. Subramanian T.S.: Microwave systems. J. Inst. Electron. Telecomm. Eng. 1974 vol. 20 nr 6.
18. Sachdev D.K.: Future generation of microwave systems. J. Inst. Electron. Telecomm. Eng. 1974 vol. 20 nr 6.
19. Singh A.: New developments in microwave devices and technology. J. Inst. Electron. Telecomm. Eng. 1974 vol. 20 nr 6.
20. Kodali V.P.: Solidstate techniques and subsystems for microwave systems. J. Inst. Electron. Telecomm. Eng. 1974 vol. 20 nr 6.
21. Richtfunktechnik. Breitband-Einheits-System. VEB Robotron-Elektronik Radeberg III.9.157, 2.5, 11.72 4388-8 AG 27 424 72.
22. High performance FM modemodulator CMF 18. Societa Generale di Telefonia ed Elettronica, Milano, v.1, Sect. R2, SPR 1223.
23. PSK modem equipment CMF 19. Societa Generale di Telefonia ed Elettronica. Milano, v. 1, Sect. R.2, SPR 1224.
24. 13 GHz medium capacity transreceiver CTR 142. GTE Telecomunicazioni, Milano, 2500-3.72 SPR 1227.



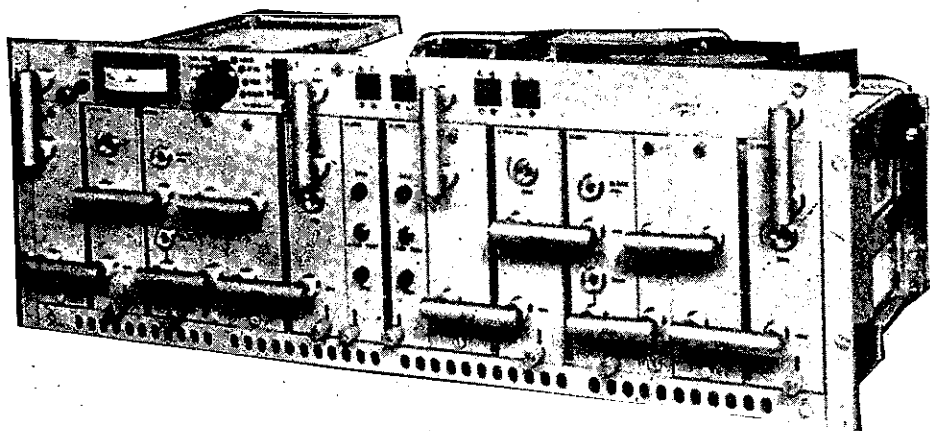
Rys. 1. Konstrukcja urządzeń systemu BES



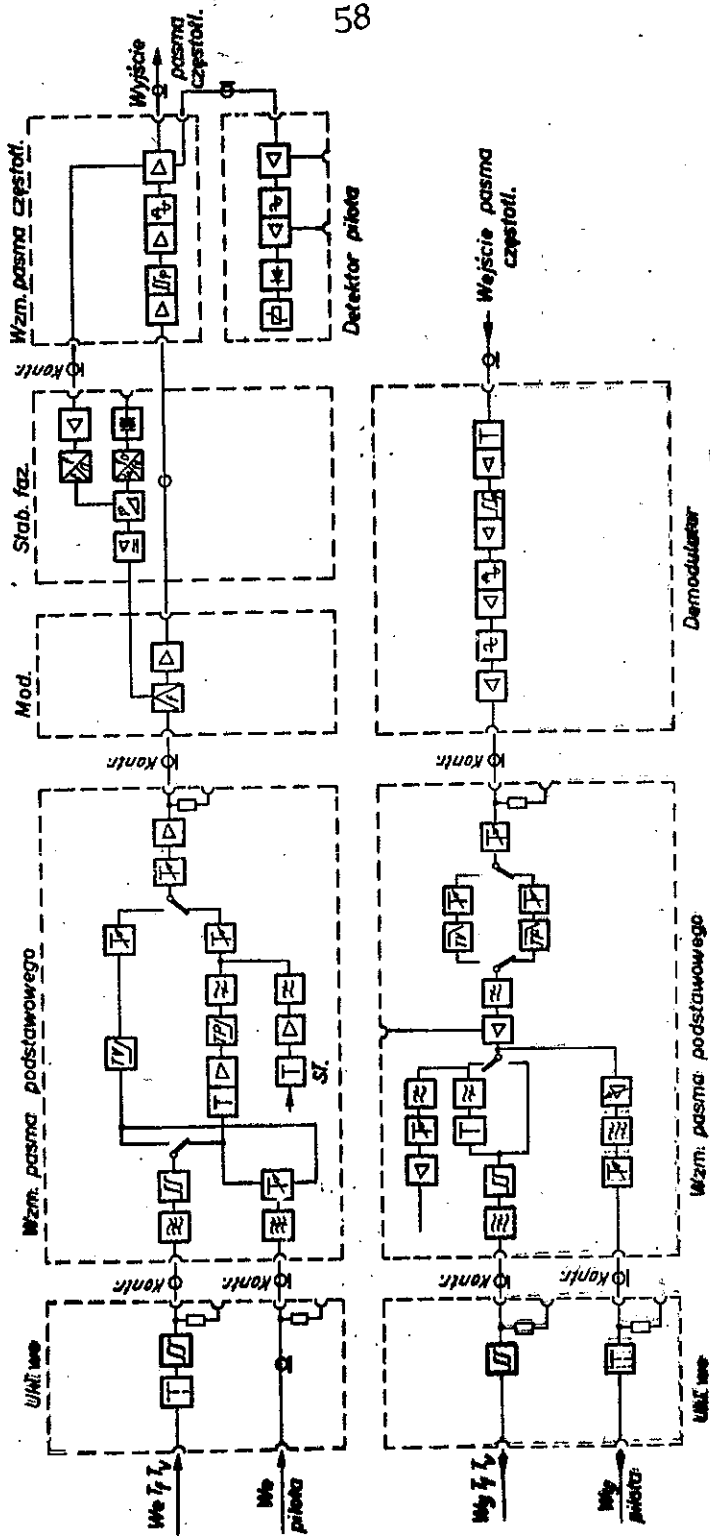
Rys. 2. Schemat blokowy urządzenia F 001 FM 1800/TV + 4 F - 3600



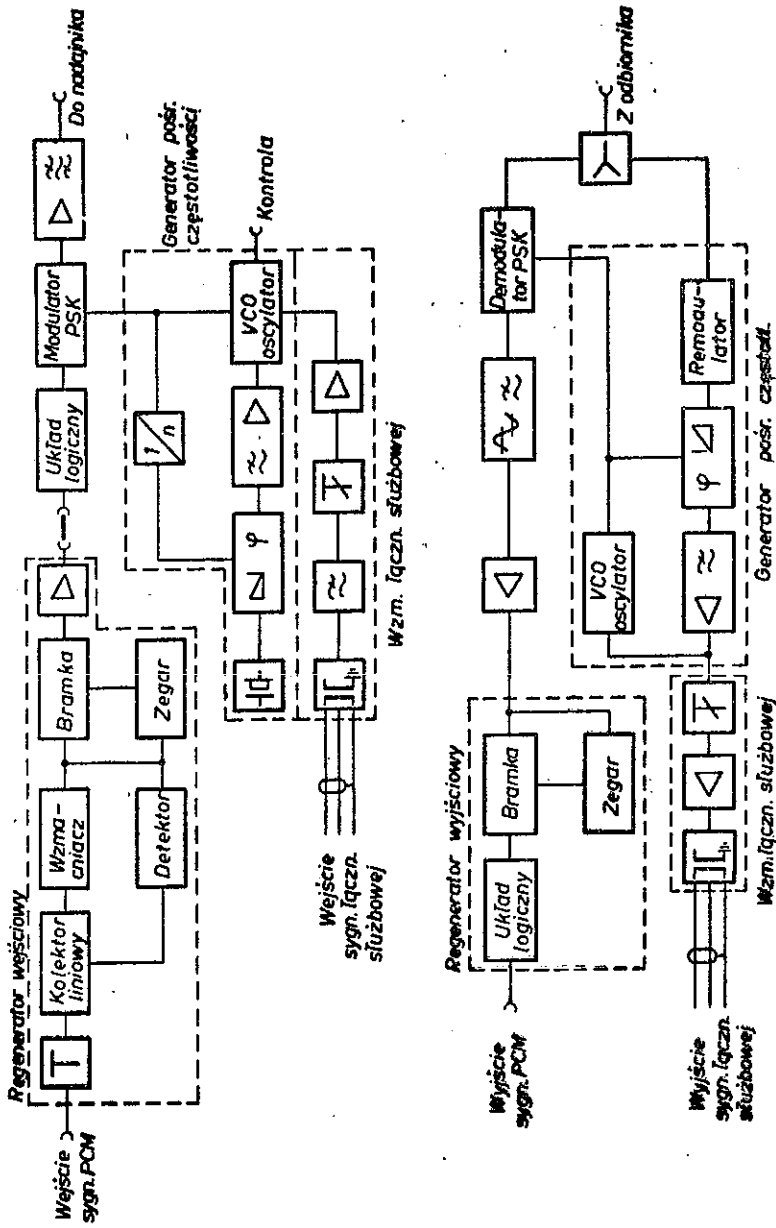
Rys. 4a/ Konstrukcja modemu CMF 18.



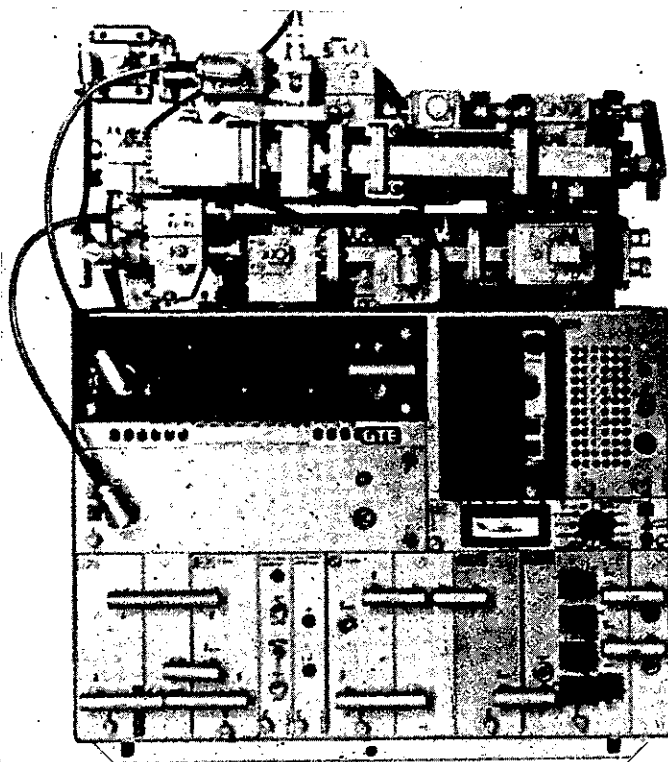
Rys. 5a/ Konstrukcja modemu CMF 19



Rys. 4b/ Schemat blokowy modemu CMF 1B



Rys. 5b/ Schemat blokowy modemu CMF 19



Rys. 6b/ Schemat blokowy urządzenia nadawczo-odbiorczego CTR 142

