

1 9 6 4
Nr 7 (34)

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI
WARSZAWA — MIEDZESZYN

Biblioteka

PRZEGLĄD ZAGADNIENI ŁĄCZNOŚCI

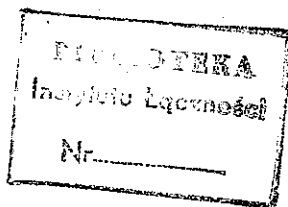
BIBLIOTEKA
Instytutu Łączności
Nr _____





MINISTERSTWO ŁĄCZNOŚCI

PRZEGLĄD ZAGADNIENI ŁĄCZNOŚCI



ROK 4

WARSZAWA 1964

NR 7(34)

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI

Ośrodek Informacji Techniczno-Ekonomicznej

Kolegium Redakcyjne:

Przewodniczący - mgr inż. Zenon Szpigler
Z-ca Przewodniczącego - mgr inż. Władysław Cetner

Członkowie:

inż. Edmund Janowski, prof. 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

Redaktor: J. Borkowska

Montaż tekstu: B. Drabik

Dział Wydawniczy OKW Instytutu Łączności
Format B5. Nakład 480. Druk ukończono
w marcu 1965 r.

PRZEGLĄD
ZAGADNIEŃ ŁĄCZNOŚCI

Zakłócenia radioelektryczne

SPIS TREŚCI

Str.

Sy Vogel: Zakłócenia radioelektryczne.
Przyczyny, skutki i środki zaradcze -
Opracował E. Dumania.

1



ZAKŁÓCENIA RADIOELEKTRYCZNE¹⁾

Przyczyny, skutki i środki zaradcze

Sy Vogel: RFI - Causes, Effects, Cures.
Electronics, June 21, 1963, str.37-60.

1. WPROWADZENIE

1.1. Otoczenie elektromagnetyczne i kompatybilność

W związku z szybkim rozwojem telekomunikacji na całym świecie coraz ostrzej występuje problem zakłóceń radioelektrycznych.

Wzrastająca liczba urządzeń elektrycznych i elektronicznych, zarówno przemysłowych jak i telekomunikacyjnych, pracujących z coraz większymi mocami w coraz szerszym zakresie częstotliwości, wytwarza coraz większą ilość zakłóceń, które rozchodzą się bądź to po przewodach, bądź są promieniowane w postaci fal elektromagnetycznych. Z drugiej strony odbiorniki komunikacyjne mają coraz większą czułość i przez to są bardziej podatne na zakłócenia.

Przy obecnym stopniu rozwoju urządzeń technicznych właśnie zakłócenia są czynnikiem ograniczającym lub

¹⁾ Na podstawie oryginału opracował E. Dumania.

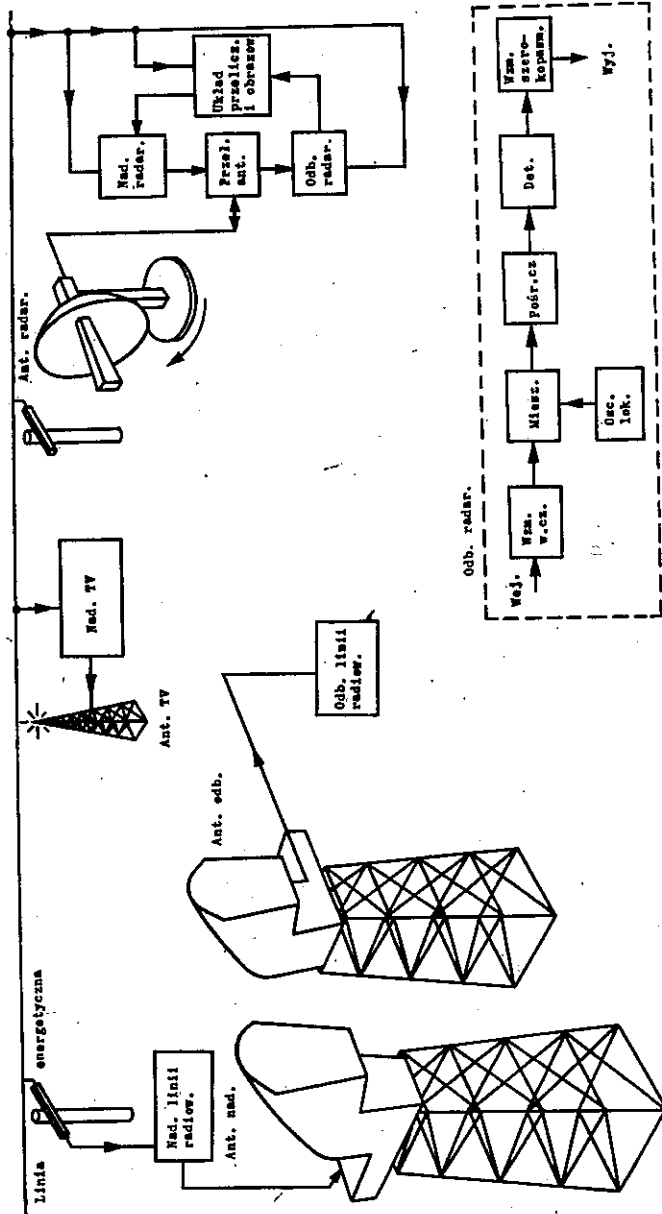
wręcz uniemożliwiającym w pewnych przypadkach nawiązanie łączności.

Systemy telekomunikacyjne i poszczególne urządzenia znajdują się pod tym względem w pewnym stopniu w podobnej sytuacji co społeczeństwa i poszczególne grupy, a nawet jednostki ludzkie. Muszą one mianowicie pracować w otoczeniu innych systemów i urządzeń nie przeszkadzając sobie nawzajem lub przynajmniej przeszkadzając sobie w stopniu możliwym do przyjęcia. To, co w stosunkach międzyludzkich określamy mianem koegzystencji lub współistnienia różnych systemów społecznych w świecie lub jednostek w mniejszych społecznościach, w odniesieniu do systemów lub urządzeń komunikacyjnych będziemy nazywać k o m p a t y b i l n o ś c i ą (ang. compatibility) lub zgodnością z otoczeniem elektromagnetycznym.

Kompatybilnym będziemy nazywać system komunikacyjny lub urządzenie elektroniczne względnie elektryczne, które może pracować i zadowalająco spełniać swoje zadania w otoczeniu innych systemów lub urządzeń nie przeszkadzając jednocześnie w pracy tym ostatnim.

Otoczeniem elektromagnetycznym systemu (lub urządzenia) komunikacyjnego nazywać będziemy zespół innych systemów (lub urządzeń), z którymi ma on współpracować, względnie z którymi istnieje możliwość ich wzajemnego oddziaływania.

Przykład otoczenia elektromagnetycznego obejmującego trzy systemy, które powinny spełniać wymaganie kompatybilności, pokazano na rys. 1. Systemy uwidocznione



Rys. 1. Otoczenie elektromagnetyczne. W dolnym prawym rogu pokazano układ funkcjonalny odbiornika radarowego

na rysunku to: stacja mikrofalowej przekaźnikowej linii radiowej, nadajnik telewizyjny oraz stacja radaru przeszukującego. Zakładamy, że urządzenia tych systemów rozmieszczone są dostatecznie blisko siebie, tak że mogą zakłócać wzajemnie swoją pracę, o ile nie zostaną przedsięwzięte odpowiednie środki zabezpieczające i nie zostaną wykonane odpowiednie pomiary wstępne.

By współistnieć ze sobą, systemy te muszą nie tylko wykorzystywać różne częstotliwości pracy, ale i ich promieniowania niepożądane, jak na przykład promieniowania harmoniczných przez nadajnik, muszą być ograniczone do osiągalnego minimum. Poza tym odbiorniki muszą być w dostatecznym stopniu nieczułe na sygnały o częstotliwościach różnych od właściwej częstotliwości ich pracy tak, by nie reagowały na niepożądane zakłócające sygnały elektromagnetyczne. Sygnał właściwy dla jednego systemu będzie sygnałem zakłócającym dla innych systemów.

Wszystkie niepożądane dla danego systemu sygnały, zarówno pochodzenia naturalnego jak i wytwarzane przez urządzenia elektryczne i elektroniczne w otoczeniu, są dla tego systemu zakłóceniami radioelektrycznymi.

Analizując otoczenie elektromagnetyczne w rodzaju pokazanego na rys. 1, specjalista od zakłóceń wyróżni w nim nadajniki (źródła) zakłóceń i odbiorniki zakłóceń, niezależnie od rzeczywistego ich charakteru w systemie. Na przykład zarówno nadajnik, jak i odbiornik linii radiowej można rozpatrywać jako odbiorniki zakłóceń pochodzących od impulsów radarowych o dużej mocy.

Odbiornik linii radiowej jest w tym przypadku bardziej narażony na zakłócające działanie impulsów radarowych. Jeżeli jednak impulsy te będą oddziaływały również na obwody nadajnika linii radiowej, np. na jego stopnie małej mocy powielacza częstotliwości, to nie będzie on pracował w sposób właściwy i transmitowane przez niego sygnały będą zakłócone.

Należy zdawać sobie sprawę z tego, że zakłócenia od źródła zakłóceń do odbiornika zakłóceń mogą dochodzić różnymi drogami, nie tylko za pośrednictwem promieniowania elektromagnetycznego. Na przykład pokazana na rysunku linia energetyczna może przewodzić niepożądaną, zakłócającą energię wielkiej częstotliwości, pochodzącą od iskrzenia w nadajniku telewizyjnym, do układów zasilających stacji linii radiowej i stacji radarowej i tą drogą nadajnik telewizyjny może zakłócać funkcjonowanie podatnych na zakłócenia zespołów stacji linii radarowej lub stacji radarowej.

W zasadzie otoczenie elektromagnetyczne każdego systemu, a więc i systemów pokazanych na rys. 1, stanowi cała kula ziemską z pracującymi na niej urządzeniami, a nawet cały wszechświat. Każde źródło zakłóceń, które może oddziaływać na system, jak również każdy odbiornik, na który może oddziaływać energia wytwarzana przez system muszą być brane pod uwagę i mogą być uważane za część składową otoczenia elektromagnetycznego tego systemu. Praktycznie wielu z tych źródeł i odbiorników nie uwzględnia się przy określaniu potencjalnych zakłóceń. Dzięki temu znacznie upraszczają się analiza i pomiary zakłóceń.

Zakłócenia między systemami stanowią tylko jeden z aspektów problemu kompatybilności. Inne aspekty to: zakłócenia między urządzeniami wchodzącymi w skład tego samego systemu (np. interferencje między nadajnikiem a urządzeniami kontrolno-sterującymi systemu radarowego), zakłócenia wytwarzane przez części urządzeń (np. źródłem zakłóceń mogą być częstotliwości niepożądane wytwarzane przez oscylator lokalny odbiornika).

1.2. Źródła zakłóceń

Zakłócenia radioelektryczne pochodzą ze źródeł naturalnych i z generatorów zakłóceń stworzonych przez człowieka, zwanych poniżej zakłóceniami przemysłowymi. Naturalne źródła zakłóceń to: zakłócenia galaktyczne pochodzące od Słońca i innych gwiazd, zakłócenia atmosferyczne, zakłócenia opadowe (np. powodowane przez zawieję śnieżną), zakłócenia powodowane przez wyładowania koronowe. Zakłócenia naturalne mają zwykle charakter przypadkowy. Amplitudy składowych o różnych częstotliwościach wchodzących w skład zakłóceń naturalnych zmieniają się w sposób przypadkowy w czasie i zajmują z reguły szerokie widmo częstotliwości (rys. 2a). Poziom zakłóceń naturalnych zmienia się w szerokich granicach. Duże zmiany zachodzą w czasie dnia i nocy, w zależności od pory roku i z roku na rok. Występują również znaczne różnice w poziomach zakłóceń naturalnych w różnych strefach geograficznych.

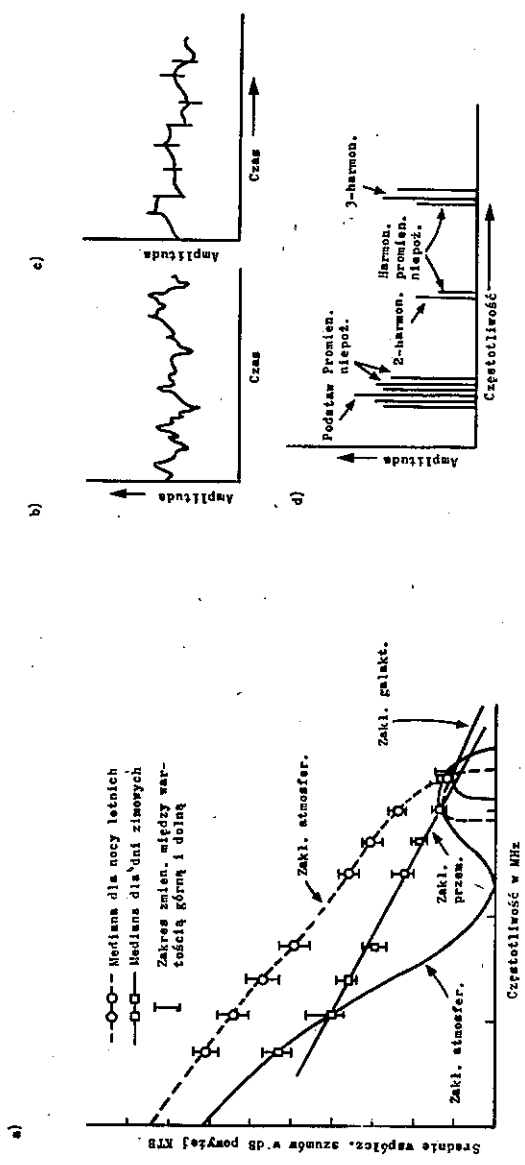
Źródła zakłóceń stworzone przez człowieka (zakłóce-

nia przemysłowe) można podzielić na dwie grupy: generatory szerokopasmowe i generatory wąskopasmowe. Typowymi źródłami zakłóceń szerokopasmowych są silniki, przełączniki, urządzenia diatermii oraz upływność linii wysokiego napięcia. Zakłócenia wytwarzane przez generatory szerokopasmowe mogą być całkowicie przypadkowe (rys. 2b) lub też wykazywać pewną okresowość (rys. 2c). Zasadniczo amplitudy składowych widma zakłóceń przypadkowych zmieniają się w sposób przypadkowy z upływem czasu, jednak czasami amplitudy widma zakłócenia (pokazanego na rys. 2d) mogą wykazywać mniejszą lub większą powtarzalność fazy.

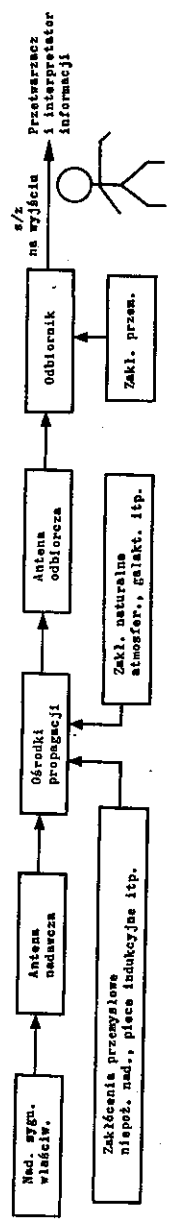
Typowym przykładem zakłóceń wąskopasmowych są harmoniczne napięcia sygnału wyjściowego nadajnika radarowego. Mimo że niepożądane promieniowania nadajnika mogą zajmować szeroki zakres częstotliwości, wykazują one charakterystyczny dla zakłóceń wąskopasmowych rozkład energii na ściśle określone częstotliwości (rys. 2d).

W artykule niniejszym nie będą rozpatrywane zakłócenia wytwarzane przez człowieka celowo. Zakłada się natomiast, że zakłócenia przemysłowe są wytwarzane w sposób niezamierzony.

Na rysunku 3 pokazano, jakimi drogami zakłócenia mogą dostawać się do systemu telekomunikacyjnego (górnny rząd bloków) i zakłócać jego pracę. Warunki transmisyjne w ośrodku propagacyjnym mogą mieć istotny wpływ na podatność systemu na zakłócenia. Na przykład w przypadku gdy pożądaný sygnał jest transmitowany do odbiornika za pośrednictwem rozproszenia troposferycznego, może wy-



Rys. 2a) Poziomy szumów atmosferycznych, galaktycznych i przemysłowych, b) zakłócenia przemysłowe o charakterze przypadkowym, c) zakłócenia przemysłowe typu impulsowego, d) promieniowanie podstawowe pożądane i promieniowania zakłócające niepożądane nadajnika radarowego



Rys. 3. Łącze komunikacyjne (górny szereg bloków) może być zakłócone przez różne źródła

stąpić taka zmiana warunków propagacyjnych, która stworzy warunki odbioru nadajnika zakłócającego na trasie o bezpośredniej widoczności. Wtedy sygnał zakłócający przewyższy sygnał pożądaný i spowoduje przerwę w transmisji.

Ważnym ogniwem łańcucha telekomunikacyjnego jest odbiorca i interpretator informacji, którym może być człowiek lub maszyna. Od jego zdolności odczytania i interpretacji sygnału w obecności zakłóceń zależy wielkość dopuszczalnych wartości stosunku sygnału do zakłóceń, który umożliwia zadowalające funkcjonowanie systemu przy zakłóceniach.

Możliwość właściwej interpretacji informacji na wyjściu odbiornika zależy od stosunku sygnału do zakłóceń (s/z) na zaciskach wyjściowych odbiornika. Stosunek ten z kolei zależy od poziomu zakłóceń wewnętrznych wprowadzanych przez odbiornik oraz od poziomu zakłóceń zewnętrznych naturalnych i przemysłowych dochodzących do odbiornika.

Istnieje więc wiele czynników wpływających na stopień oddziaływania zakłóceń na jakość przenoszenia systemu.

Nie ma prostych sposobów rozwiązania problemu zakłóceń. W każdym razie konieczne jest staranne zaplanowanie systemu z uwzględnieniem oddziaływań między systemami i odpowiednie zaprojektowanie urządzeń. Dla spełnienia powyższego potrzebne są przede wszystkim dane o otoczeniu elektromagnetycznym, które można uzyskać

przez wykonanie pomiarów zakłóceń za pomocą odpowiednich przyrządów pomiarowych.

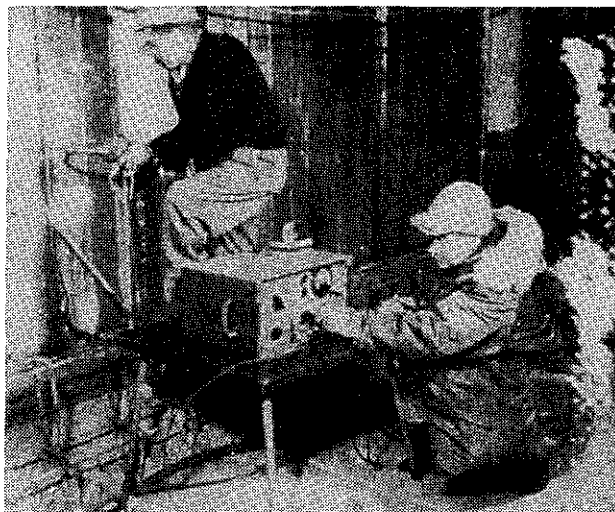
2. POMIARY I PRZYRZĄDY POMIAROWE

Analizując zakłócenia radioelektryczne zachodzi potrzeba dokładnego określenia wielkości tych zakłóceń, które mogą być pomierzone odpowiednimi przyrządami.

Pomiary powinny być wykonywane w trakcie wszystkich etapów opracowywania i budowy jakiegoś układu. Szczególnie ważne jest wykonanie pomiarów zakłóceń na samym początku pracy, dla uzyskania informacji o otoczeniu elektromagnetycznym. Rozważając zagadnienie lokalizacji skomplikowanego układu, należy przede wszystkim sprawdzić otoczenie elektromagnetyczne. Nie zawsze zachodzi potrzeba dokonywania w tym celu szczegółowych pomiarów, ponieważ potrzebne wstępnie informacje można uzyskać z innych źródeł - z raportów i publikacji. Dane te trzeba jednakże zweryfikować przez dokonanie wyrzykowych pomiarów sprawdzających. W wielu przypadkach otoczenie elektromagnetyczne nie jest jedynym czynnikiem określającym lokalizację, jest to jednak czynnik bardzo ważny.

W trakcie budowy układu prowadzi się równolegle różne badania. Z określenia przewidywanych zakłóceń, ustala się jakie pomiary należy wykonać, a dane pomiarowe potwierdzają przewidywania lub dają materiał do wprowadzenia modyfikacji. Podobnie, po zaprojektowaniu i skonstruowaniu części składowych układu są przeprowadzane pomiary zakłóceń, sprawdzając poszczególne urządzenia

i konstrukcje systemu (rys. 4) pod względem ich wrażliwości na zakłócenia w otoczeniu elektromagnetycznym, w którym będą pracowały.



Rys. 4. Sprawdzenie skuteczności ekranowania ściany w jednym z tuneli łączących w ośrodku komunikacyjnym

2.1. Przyrządy pomiarowe

Podstawowym zadaniem przyrządów do pomiarów zakłóceń jest wykrywanie i wskazywanie wartości niepożądanych pól energii elektromagnetycznych. Do niektórych pomiarów sprawdzających nie są potrzebne specjalnie do tego celu opracowane przyrządy. Na przykład przenośny odbiornik telewizyjny może być wykorzystany do zlokalizowania źródła zakłóceń kanału telewizji. Inne pomiary, jak np. pomiary kompatybilności dla celów wojskowych, muszą być

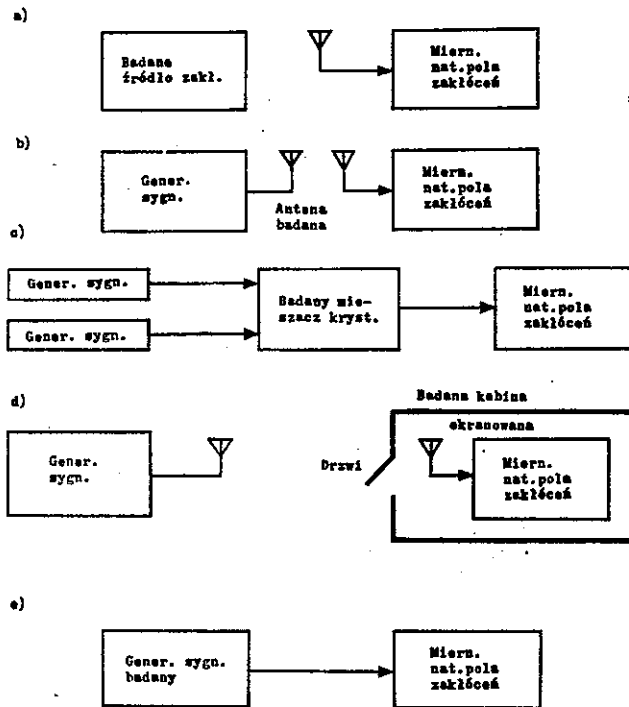
natomiast wykonywane za pomocą przyrządów określających dokładnie nie tylko lokalizację źródła, ale i charakter zakłóceń.

Większość przyrządów stosowanych do pomiarów zakłóceń stanowi zestaw standardowych urządzeń elektronicznych, takich jak anteny, tłumiki, generatory sygnałów, układy sprzęgające, woltomierze selektywne i odbiorniki. Niektóre przyrządy, np. używane w celu uzyskania danych statystycznych o zakłóceniach, są urządzeniami specjalnymi. Podstawowymi przyrządami dla techniki przeciwwzakłóceniewej są mierniki natężenia pola zakłóceń i analizatory widma.

2.1.1. Miernik natężenia pola zakłóceń

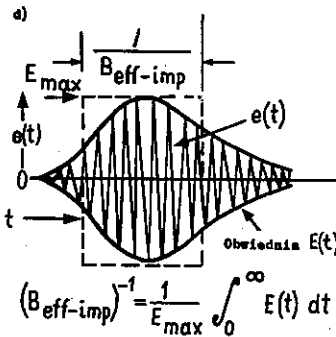
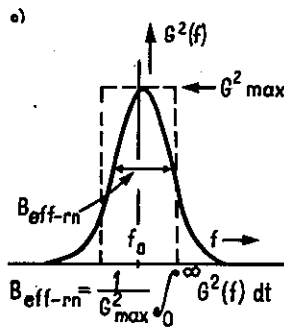
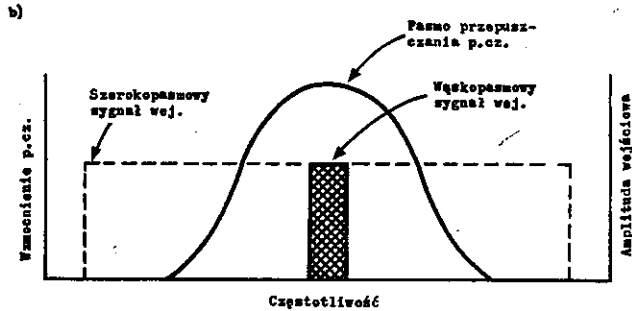
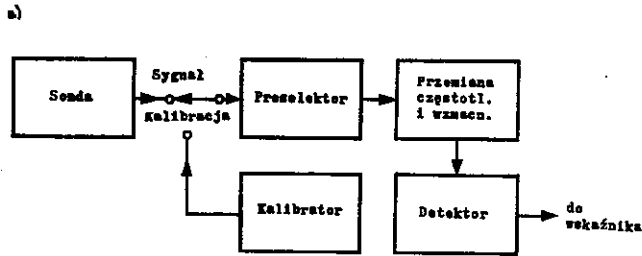
Miernik natężenia pola zakłóceń jest kalibrowanym odbiornikiem wskazującym wielkość mocy doprowadzonej na jego wejście. Typowe zastosowania miernika natężenia pola zakłóceń pokazano na rys. 5. Miernik natężenia pola zakłóceń z kalibrowaną anteną odbiorczą (rys. 5a) służy do pomiaru przypadkowych zakłóceń promieniowanych przez badane źródło. Na rys. 5b) pokazano zestaw do pomiaru charakterystyki kierunkowej anteny. Duża czułość miernika natężenia pola zakłóceń wykorzystywana jest w układzie z rys. 5c) do określania pracy mieszacza kryształicznego małej mocy. Na rys. 5d) pokazano zastosowanie miernika natężenia pola zakłóceń służącego do sprawdzania skuteczności ekranowania pomieszczenia ekranowanego. Mierzony jest poziom sygnału przy drzwiach otwar-

tych, a następnie przy drzwiach zamkniętych. Skuteczność ekranowania wyraża się różnicą tych dwu poziomów w dB. W układzie z rys. 5e) miernik natężenia pola jest stosowany jako analizator harmonicznych.



Rys. 5. Pomiary zakłóceń za pomocą miernika natężenia pola zakłóceń

Na rysunku 6a) pokazano typowy układ miernika natężenia pola. Sygnał badany pobierany za pośrednictwem sondy antenowej lub sondy prądowej doprowadzany jest do preselektora (układ selekcji wstępnej), który oddziela wszystkie częstotliwości różne od częstotliwości sygnału badanego. Po przemianie częstotliwości i wzmocnieniu



Rys. 6. Miernik natężenia pola zakłóceń: a) zasada układu miernika, b) wpływ szerokości pasma wzmacniacza pośredniej częstotliwości miernika na odpowiedź na szerokopasmowe sygnały wejściowe, to jest na sygnały o szerszym widmie niż pasmo przenoszone przez obwody pośredniej częstotliwości, c) odpowiedzi miernika na zakłócenia przypadkowe, d) odpowiedzi miernika na zakłócenia impulsowe
 sygnał doprowadzany jest do układu detekcyjnego, a następnie do wskaźnika wyjściowego. Kalibrator, który może stanowić konstrukcyjną część miernika lub być oddzielnym przyrządem, służy jako źródło porównawczego sy-

gnału standardowego dla dokładnego określenia wielkości sygnału mierzonego.

2.1.2. Obwody wejściowe i szerokość pasma

Sygnał zakłócający może dostać się do urządzenia lub wyjść z niego za pośrednictwem pola indukcyjnego wytworzonego na skutek przepływu prądu w przewodniku, za pośrednictwem pola elektrostatycznego wytworzonego ruchem ładunków i za pośrednictwem promieniowania pola elektromagnetycznego. W miernikach natężenia pola zakłóceń są w związku z tym stosowane różne sposoby pobierania energii do pomiaru, a mianowicie sondy prądowe i sondy napięciowe do wykrywania zakłóceń przewodnościowych oraz sondy antenowe do wykrywania zakłóceń promieniowanych.

Sygnał doprowadzony na wejście miernika natężenia pola zakłóceń z anteny lub sondy może mieć wąskie lub szerokie pasmo częstotliwości. W zależności od tego szerokość pasma sygnału wejściowego może być większa lub mniejsza od szerokości pasma samego miernika. Ogólną szerokość pasma miernika natężenia pola określa szerokość pasma jego wzmacniacza pośredniej częstotliwości, ponieważ szerokość pasma obwodów wielkiej częstotliwości jest duża w porównaniu do szerokości pasma filtrów pośredniej częstotliwości.

Sygnały wejściowe wąskopasmowe lub fala ciągła przechodzą przez miernik natężenia pola bez zniekształceń, sygnały zaś wejściowe szerokopasmowe są przez miernik zniekształcone. Na rys. 6b) pokazano zależność wąskopasmowego i szerokopasmowego sygnału wejściowego od cha-

rakterystyki częstotliwościowej filtrów pośredniej częstotliwości miernika. Częstotliwości składowe sygnału szerokopasmowego, które leżą poza pasmem częstotliwości pośredniej oraz składowe, które trafiają na zbocza charakterystyki częstotliwości pośredniej są obcinane lub wzmocnione znacznie słabiej niż częstotliwości składowe leżące w pobliżu środka pasma przepuszczania. W wyniku tego mierniki natężenia pola zakłóceń są kalibrowane w ten sposób, że sygnały szerokopasmowe mogą być określone w jednostkach gęstości spektralnej, na przykład w mikrowoltach na megahertz ($\mu\text{V}/\text{MHz}$). Uzyskuje się to przez podzielenie wskazania maksymalnego miernika przez jego tzw. impulsową szerokość pasma. Impulsową szerokość pasma określa się przez kalibrowanie przyrządu za pomocą standardowego generatora impulsów. Jeżeli więc szerokopasmowy sygnał jest przykładany na miernik natężenia pola zakłóceń, posiadający impulsową szerokość pasma 5 MHz, i miernik wskazuje 10 μV , gęstość spektralna sygnału wynosi 2 $\mu\text{V}/\text{MHz}$ lub 6 dB powyżej 1 $\mu\text{V}/\text{MHz}$. Sygnały wejściowe wąskopasmowe są określane wprost w μV lub w dB względem 1 μV .

Praktycznie impulsem nazywamy przebieg, którego czas trwania jest bardzo krótki w porównaniu z czasem odpowiedzi obwodu, który odbiera impuls.

Zakłócenia przypadkowe i zakłócenia typu impulsowego są ogólnie biorąc dwoma podstawowymi typami zakłóceń szerokopasmowych, mierzonymi przez mierniki natężenia pola zakłóceń. Wynik pomiaru w tych przypadkach uzależniony jest nie tylko od samego sygnału wejściowego, ale i od

odpowiedzi miernika na ten sygnał. Zarówno zakłócenia przypadkowe jak i impulsowe charakteryzują się wielką liczbą składowych w widmie.

Istnieje jednak pewna różnica. Podczas gdy amplituda składowej widma zakłóceń przypadkowych zmienia się w sposób przypadkowy w czasie, to amplituda składowej widma jednego impulsu ciągu identycznych impulsów jest równa amplitudzie tej samej składowej innych impulsów ciągu. Można uważać, że każda składowa widma zakłóceń przypadkowych jest wytwarzana przez wiele generatorów, z których każdy daje lub nie daje tę składową w sposób zupełnie przypadkowy, a każda składowa widma zakłócenia impulsowego jest wytwarzana przez jeden generator (to znaczy jeden generator na każdą składową widma), którego amplituda jest mniej lub więcej stała.

Miernik natężenia pola zakłóceń reaguje inaczej na zakłócenia przypadkowe, a inaczej na zakłócenia impulsowe. Odpowiedź przyrządu na zakłócenia przypadkowe opisana jest przez krzywe pokazane na rys. 6c). Krzywa pełna obrazuje kwadrat wartości wzmocnienia przyrządu $/G^2(f)/$ w zależności od częstotliwości. Szerokość prostokąta narysowanego linią przerywaną, którego wysokość równa jest wysokości krzywej $G^2(f)$, a powierzchnia jest równa powierzchni objętej krzywą $G^2(f)$, obrazuje efektywną szerokość pasma zakłóceń przypadkowych $B_{\text{eff-rn}}$. Odpowiedź przyrządu na zakłócenia typu impulsowego opisana jest krzywymi pokazanymi na rys. 6d). Krzywa pełna obrazuje tu obwiednię $/E(t)/$ odpowiedzi przyrządu na impuls w funkcji czasu. Szerokości prostokąta narysowa-

nego linią przerywaną, którego wysokość równa jest wysokości krzywej $|E(t)|$, a powierzchnia równa powierzchni obejmowanej krzywą $E(t)$, jest odwrotnością efektywnej szerokości impulsu ($B_{\text{eff-imp}}$). Zwraca się uwagę, że $\frac{1}{B_{\text{eff-imp}}}$ jest równe efektywnemu czasowi trwania efektywnego impulsu wyjściowego pośredniej częstotliwości.

Dla obliczenia szerokości pasma danego rodzaju w zależności od szerokości pasma innego rodzaju mogą być stosowane tabele przeliczeniowe w rodzaju tabl. 1.

T a b l i c a 1

Tabela przeliczeniowa szerokości pasm
Mnożniki dla pasm względnych

W celu uzyskania pasma Z pasma danego		3 dB		Efektywne		
		6 dB	Fala sinusoidalna	Zakłócenia przypadkowe	Impulsy	
Efektywne	3 dB	1	1,20	1,24	1,01	1,03
	6 dB	0,833	1	1,03	0,841	0,858
	fala sinusoidalna	0,806	0,967	1	0,816	0,830
	zakłócenia przypadkowe	0,991	1,19	1,23	1	1,02
	impulsy	0,971	1,17	1,20	0,980	1

Mierząc więc zakłócenia przypadkowe miernikiem natężenia pola zakłóceń, którego impulsowa szerokość pasma jest znana, należy pomnożyć impulsową szerokość pasma (w MHz) przez 0,98, by uzyskać $B_{\text{eff-rn}}$ a następnie podzielić odczyt w μV przez $B_{\text{eff-rn}}$ w celu otrzymania wartości $\mu\text{V}/\text{MHz}$.

2.2. Pomiary promieniowania

W przypadku gdy miernik natężenia pola zakłóceń stosowany jest do pomiarów promieniowania, potrzebna jest antena i kabel lub falowód do połączenia anteny z wejściem miernika (rys. 5a). Przy pomiarach promieniowania interesuje nas wielkość natężenia pola lub gęstość mocy w polu promieniowania, a nie napięcie na wejściu odbiornika, które mierzy miernik. W celu umożliwienia przeliczenia producenci mierników natężenia pola zakłóceń dołączają do nich zwykle współczynniki korekcyjne, które umożliwiają dołączenie kabla lub falowodu i anteny. Natężenie pola (E) promieniowania wąskopasmowego, które wyrażone jest w $\mu\text{V}/\text{m}$ lub w dB względem $1 \mu\text{V}/\text{m}$, uzyskuje się przez dodanie współczynnika korekcyjnego do wskazań miernika, który pokazuje μV lub dB względem $1 \mu\text{V}$. Podobnie natężenie pola (E) promieniowania rozłożonego w paśmie częstotliwości szerokim w stosunku do pasma przenoszenia miernika oblicza się przez dodanie tego samego współczynnika korekcyjnego do wartości $\mu\text{V}/\text{MHz}$ (lub dB względem $1 \mu\text{V}/\text{MHz}$), aby otrzymać wartości $\mu\text{V}/\text{m}/\text{MHz}$ (lub dB względem $1 \mu\text{V}/\text{m}/\text{MHz}$).

Wskaźniki wyjściowe niektórych mierników natężenia pola zakłóceń wykalibrowane są wprost w $\mu\text{V}/\text{MHz}$ i $\mu\text{V}/\text{m}/\text{MHz}$.

Wpływ anteny na wskazania miernika jest niekiedy wyrażony w zależności od jej wysokości skutecznej H_{sk} (w metrach). Jeżeli stosowany jest ten parametr, natężenie pola uzyskuje się z zależności:

$$E = E_r / H_{sk}$$

gdzie E_r jest napięciem na wejściu miernika.

Wysokość skuteczną anteny bierze się z danych dostarczonych przez producenta lub można ją obliczyć z wymiarów anteny. Na przykład wysokość skuteczna dipola półfalowego o długości l wynosi: $H_{sk} = l/\pi$.

Wskazania przyrządu mogą być również przeliczane na napięcie "otwartego obwodu" lub napięcie indukowane w antenie przez zastosowanie współczynników korekcyjnych podanych przez producenta. Napięcie indukowane w antenie wskazywałby miernik natężenia pola zakłóceń, gdyby jego oporność wejściowa była nieskończenie wielka.

Napięcie indukowane w antenie można obliczyć i z zależności

$$E_{ai} = E_r \cdot (1 + Z_{ant}/Z_{obc})$$

gdzie:

- E_{ai} - napięcie indukowane w antenie
- E_r - napięcie wejściowe na mierniku
- Z_{ant} - oporność anteny
- Z_{obc} - oporność obciążenia anteny.

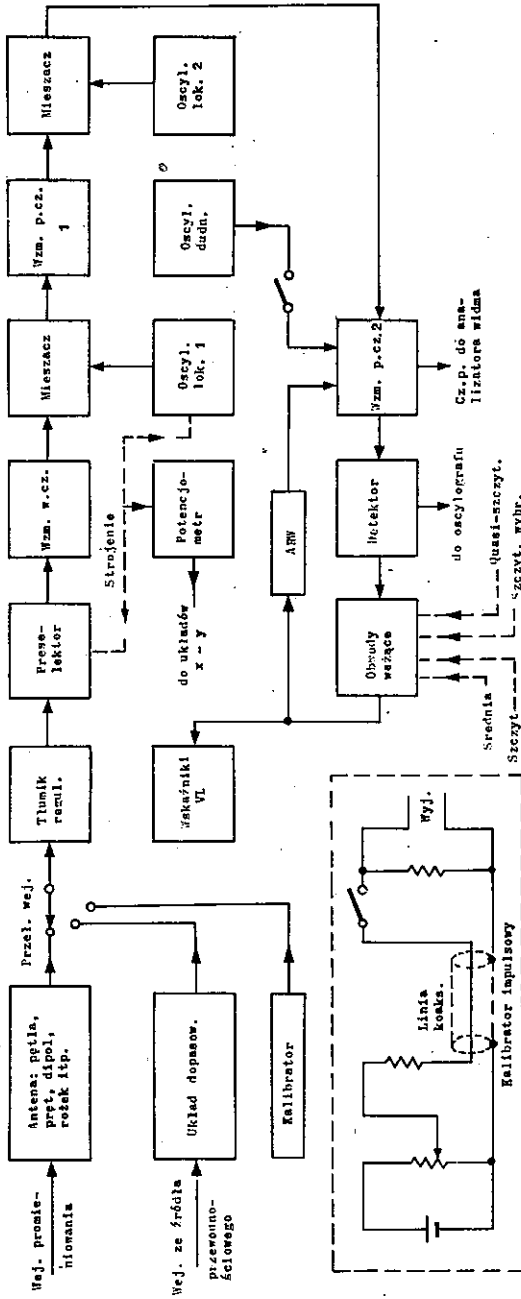
2.3. Zasada pracy miernika natężenia pola zakłóceń

Typowy układ miernika natężenia pola zakłóceń pokazano na rys. 7. Na wejście miernika może być doprowadzany mierzony sygnał wielkiej częstotliwości bezpośrednio z pola promieniowania lub przewodnościowo względnie sygnał wielkiej częstotliwości z wewnętrznego lub zewnętrznego źródła sygnału kalibrującego. Źródłami sygnału kalibrującego są generatory fali ciągłej lub generatory impulsowe (na rysunku pokazano generator impulsowy). Stosowane są również generatory szumów przypadkowych. Preselektor, zwykle obwód strojony w miernikach małej częstotliwości, lub strojona wnęka w miernikach większych częstotliwości przepuszcza wybrany sygnał wejściowy do wzmacniacza wielkiej częstotliwości.

Słownik wzmacniacza wielkiej częstotliwości stawiane są następujące wymagania: duży zakres dynamiki (zakresem dynamiki nazywamy odstęp pomiędzy najslabszym a najsilniejszym sygnałem, jakie mogą być przeniesione w sposób właściwy), mały poziom szumów własnych oraz stałość wzmocnienia i selektywności w zakresie przestrajania.

Wzmocniony sygnał wielkiej częstotliwości doprowadzany jest na pierwszy mieszacz, w którym zachodzi przemiana częstotliwości. Mieszacz i generator lokalny nie powinny wytwarzać ani przenosić sygnałów niepożądanych.

Filtry pasmowe pośredniej częstotliwości muszą być węższe od krzywej selektywności obwodów wielkiej częstotliwości, tak by wypadkowa szerokość pasma miernika, c



Rys. 7. Miernik natężenia pola zakłóceń. W lewym dolnym rogu pokazano układ typowego źródła kalibracji w postaci Generatora impulsów

której decyduje pasmo pośredniej częstotliwości, była stała w całym zakresie przestrajanania. Wzmacniacze pośredniej częstotliwości muszą również posiadać duży zakres dynamiki. Typową wartością zakresu dynamiki jest 60 dB.

Na drugi stopień pośredniej częstotliwości może być dołączony analizator widma w celu otrzymania wizualnego obrazu rozkładu sygnałów w widmie.

Dla ułatwienia identyfikacji sygnałów o fali ciągłej może być włączany oscylator dudnieniowy.

Detektor i układ ważący może dać odpowiedź na jedną z czterech wartości sygnału, wybraną przez operatora: wartość średnią, wartość szczytową, wartość quasi-szczytową lub wybraną wartość szczytową (slide-back). Rodzaj odpowiedzi jest wybierany w zależności od rodzaju informacji, jaką chcemy uzyskać o sygnale mierzonym.

Przy odpowiedzi na wartość średnią sygnału obwód detekcyjny reaguje na wartość średnią fali nośnej modulowanej lub niemodulowanej. Stałe czasu ładowania i rozładowania detektora wynoszą po 600 msek.

Przy odpowiedzi na wartość szczytową sygnału układ detekcyjny ma krótki czas ładowania i długi czas rozładowania, dzięki czemu reaguje on na wartości szczytowe.

Przy odpowiedzi na wartość niby szczytową sygnału stała czasu ładowania wynosi zwykle 1 msek, a stała czasu rozładowania 600 msek.

Odpowiedź na wybraną wartość szczytową (slide-back) sygnału wybierana jest w tych przypadkach, gdy sygnał zawiera różne poziomy szczytowe i operator chce spraw-

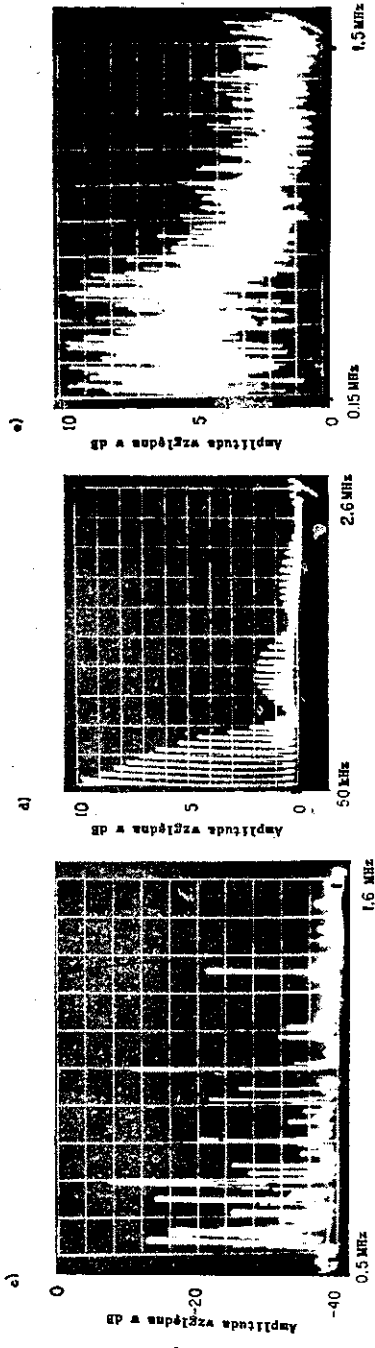
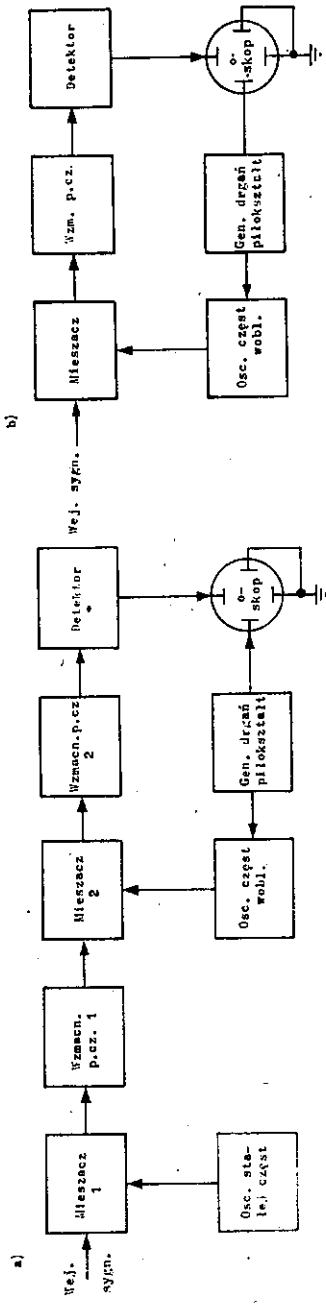
dzić jedną wartość szczytową nie uwzględniając innych, które są większe (lub mniejsze). W tym celu przykłada się na detektor ujemne przedpięcie i reguluje się go tak, by było ono równe poziomowi szczytowemu, który nas interesuje. Stan ten rozpoznaje się przez zastosowanie wskaźnika wizualnego lub akustycznego. Napięcie przedpięcia równe wartości szczytowej sygnału wskazuje woltomierz lampowy.

W lewym dolnym rogu rys. 7 pokazano układ typowego impulsowego generatora kalibrującego do miernika natężenia pola zakłóceń. Włącznik generatora jest napędzany mechanicznie. Jest on włączany z małą częstotliwością powtarzania i rozładowuje naładowaną linię współosiową wytwarzając impulsy o czasie trwania 0,0005 μ sek. Widmo tych impulsów zawiera składowe, które mają jednakowe amplitudy w zakresie częstotliwości od 150 kHz do 1000 MHz. Ponieważ napięcie zasilające jest stabilizowane i wszystkie elementy generatora pracują stabilnie, generator daje napięcie wyjściowe o stałej amplitudzie w funkcji czasu. Produkowane są również generatory impulsowe wytwarzające płaskie widmo do 10 GHz.

Do kalibracji generatora impulsowego stosuje się standardowe napięcia z generatora fali ciągłej.

2.4. Analizatory widma

Analizatory widma stanowią pożyteczne narzędzie dla techniki przeciwzakłóceńowej o wielostronnym zastosowaniu. Układ analizatora widma z wobulowaną (modulowaną



Rys. 8a) Analizator widma analizujący składowe widma sygnału wejściowego na częstotliwości pośredniej, b) analizator widma analizujący sygnał wejściowy wielkiej częstotliwości doprowadzony bezpośrednio na jego wejście, c), d) i e) obrazy widm na ekranie analizatora

przebiegiem piłokształtnym) częstotliwością pośrednią pokazano na rys. 8a). Sygnał wejściowy jest heterodynowany w mieszaczu 1 za pomocą pierwszego oscylatora lokalnego. Pierwszy oscylator lokalny wytwarza stałą częstotliwość. Uzyskiwana z mieszacza pierwsza częstotliwość pośrednia jest wzmocniona, a następnie heterodynowana ponownie w mieszaczu drugim za pomocą drugiego generatora lokalnego o wobulowanej częstotliwości.

Napięcie piłokształtne z generatora napięcia piłokształtnego zmienia w czasie częstotliwość drugiego oscylatora lokalnego w sposób liniowy. Uzyskane napięcie drugiej częstotliwości pośredniej jest wzmocniane, detektowane i przykładane na płytki odchylenia pionowego lampy oscyloskopowej. Na płytki odchylenia poziomego lampy przykładane jest napięcie piłokształtne z tego samego generatora. Dzięki temu na ekranie rysowane są amplitudy składowych sygnału wejściowego w zależności od częstotliwości.

Układ analizatora widma z bezpośrednim wobulowaniem napięcia wejściowego pokazano na rys. 8b), w którym częstotliwość oscylatora wobulującego mieszana jest z sygnałem wejściowym w mieszaczu pierwszym. Układ ten umożliwia większą dyspersję, to znaczy obrazuje szerszy zakres częstotliwości niż układ analizatora widma z wobulowaną częstotliwością pośrednią.

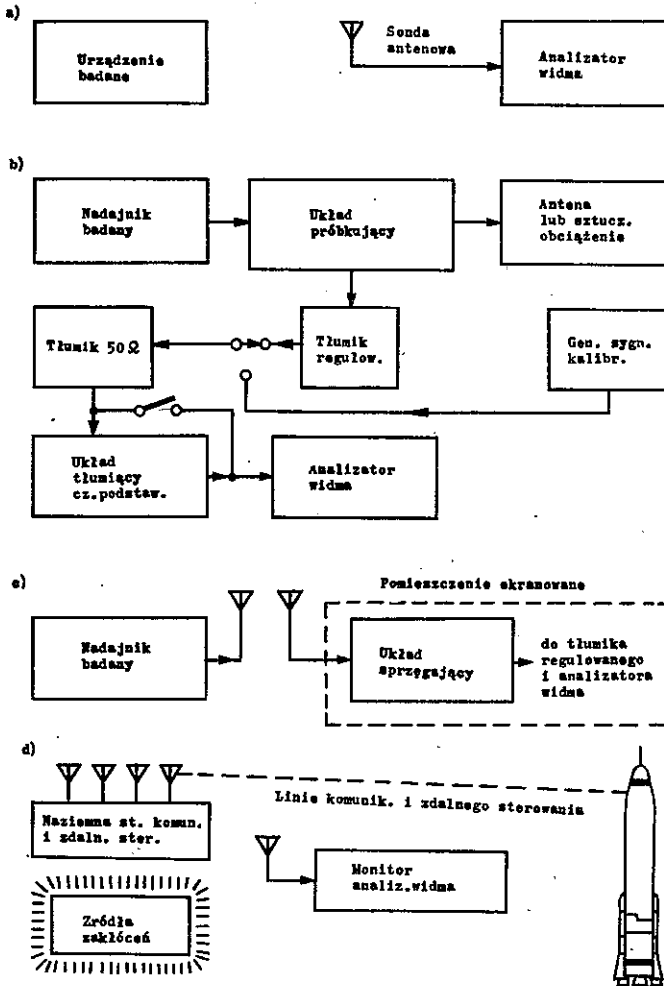
Typowe obrazy uzyskiwane na ekranie analizatora widma pokazano na rysunkach 8c) i 8e). Rysunek 8c) obrazuje widmo pasma radiofonicznego, rysunek 8d) obrazuje widmo impulsu prądu stałego o długości 1,3 μ s, a rys.

8e) widmo zakłóceń radioelektrycznych promieniowanych przez silnik elektryczny ze szczotkami.

Rysunek 9 ilustruje niektóre zastosowania analizatora widma do badania zakłóceń radioelektrycznych. W przypadku jak na rys. 9a) analizator widma jest używany do wykrywania niepożądanych promieniowań jakiegoś urządzenia i jego połączeń. Sonda analizatora jest zbliżana do różnych części urządzenia, a szczególnie do tych, które zwykle są źródłami niepożądanych promieniowań, jak: elementy kontrolne, drzwi łączówki wyjściowe i otwory chłodzenia.

Na rysunku 9b) pokazano zestaw do badania charakterystyk wyjściowych nadajnika. Przy otwartym przełączniku S_1 tłumiona jest częstotliwość podstawowa o dużej mocy i analizator widma mierzy tylko częstotliwości niepożądane na wyjściu nadajnika. Przełączając przełącznik S_2 na pozycję B włącza się standardowy generator sygnałowy, który służy do kalibrowania różnych częstotliwości wskazywanych przez analizator. Jeżeli przełącznik S_1 jest zwarty, analizator pokazuje zarówno częstotliwość podstawową, jak i inne częstotliwości składowe sygnału wejściowego, które mają dostatecznie dużą amplitudę mieszczącą się w zakresie dynamiki analizatora. Analizator może służyć do pomiaru amplitud harmonicznych oraz stabilności częstotliwości podstawowej, które są ważnym składnikiem charakterystyk zakłóceń.

Zestaw pokazany na rys. 9b) może być modyfikowany do pomiarów charakterystyk całego systemu nadawczego, to znaczy nadajnika z dołączoną anteną, jak pokazano na

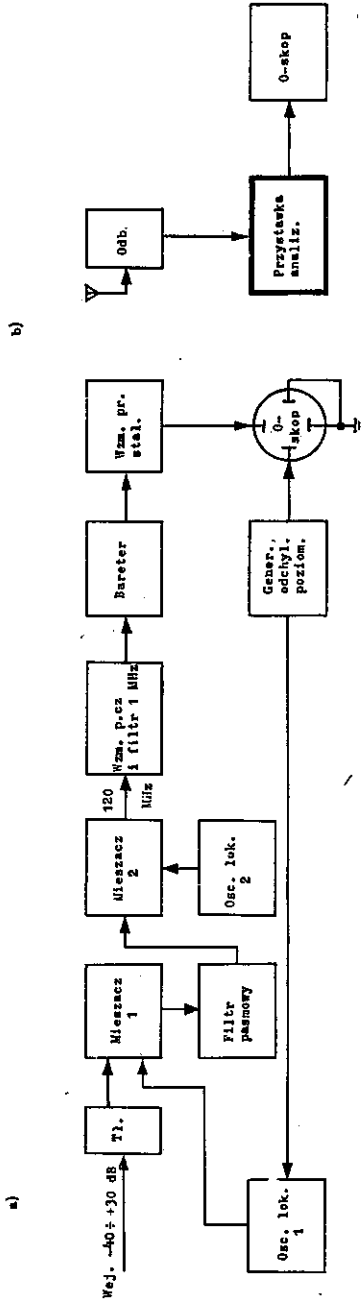


Rys. 9. Zastosowanie analizatora widma do pomiarów zakłóceń

rys. 9c). W układzie tym zastąpiono próbnik sygnału anteną odbiorczą i układem sprzęgającym. Ekran eliminuje promieniowania niepożądane układu pomiarowego.

Na rysunku 9d) pokazano zastosowanie analizatora do pomiarów widma. W tym przypadku analizator wskazuje am-

plitudy promieniowań elektromagnetycznych - pożądaných i niepożądaných, w obszarze sterowania pociskiem. Należy zwrócić uwagę, że dla uzyskania kompletnego i dokładnego obrazu otoczenia elektromagnetycznego potrzeba więcej niż jednego analizatora, ponieważ zakres pracy typowego analizatora szerokopasmowego wynosi tylko 4 GHz. Większość analizatorów widma reaguje na napięcie sygnału wejściowego i daje obraz zależności napięcie-częstotliwość. Jednakże analizator pokazany na rys. 10a) reaguje na moc sygnału wejściowego i obrazuje zależność moc-częstotliwość. Jest to specjalnie użyteczne dla kontroli widma, ponieważ błąd powodowany przez sygnał zakłócający może być lepiej określony przez poziom jego mocy niż przez poziom napięcia. Na przykład przy dwu interferujących promieniowaniach o tej samej częstotliwości, amplitudzie i długości impulsów, lecz o dziesięciokrotnie różnej częstotliwości powtarzania impulsów, zwykle analizator widma wskaże jednakowe amplitudy, chociaż jedno z promieniowań ma moc dziesięciokrotnie większą. W układzie z rys. 10a) bareter całkuje sygnał dochodzący ze wzmacniacza pośredniej częstotliwości, który ma szerokość pasma 1 MHz i wytwarza napięcie stałe, którego poziom jest proporcjonalny do mocy sygnału wielkiej częstotliwości. Wzmocnione napięcie stałe odchyła w kierunku pionowym promień lampy oscyloskopowej. Średnie odchylenie pionowe na ekranie lampy oscyloskopowej może być więc kalibrowane w gęstości mocy sygnału wejściowego (np. w mW/MHz).



Rys. 10a) Analizator widma reagujący na moc, b) przystawka analizująca do oscyloskopu stosowana w celu przekształcenia zwykłego oscyloskopu na analizator widm

Istnieje możliwość zaprojektowania odpowiedniej przystawki do standardowego oscyloskopu laboratoryjnego, by spełniał on zadania analizatora widma. Przystawka taka, jak pokazano na rys. 10b) pobiera badany sygnał ze wzmacniacza pośredniej częstotliwości odbiornika, analizuje go w ten sam sposób, jak konwencjonalny analizator widma i przekazuje wybrany sygnał do układów odchyłających oscyloskopu. Do przystawki może być doprowadzony dowolny sygnał w zakresie jej częstotliwości pracy.

Ponieważ typowe analizatory widma pracują w podobny sposób jak odbiorniki superheterodynowe i nie posiadają preselekcji częstotliwości, zachodzi konieczność stwierdzenia, czy analizator nie daje niepożądanych odpowiedzi. Te niepożądane odpowiedzi obejmują przypadki, gdy na wyjściu mieszacza pojawia się niepożądany sygnał o częstotliwości pośredniej. Odpowiedzi takie mogą być spowodowane przez: częstotliwości harmoniczne lub lustrzane oscylatora lokalnego, silny sygnał wejściowy o częstotliwości pośredniej, przesterowanie wejścia, intermodulacje w mieszaczu, detekcje bardzo krótkich impulsów.

Do sprawdzenia wątpliwych wskazań analizatora widma może być wykorzystany miernik natężenia pola zakłóceń. Istnieją również inne metody identyfikowania niepożądanych odpowiedzi (wskazań) analizatora widma. Opracowane również analizatory widma, które same kontrolują niepożądane odpowiedzi. Analizatory te mimo że nie eliminują niepożądanych odpowiedzi, a tylko je wykazują, zabezpieczają operatora przed błędnymi odczytami.

Analizatory widma z wielokrotnymi filtrami mogłyby dawać dobrą preselekcję, lecz byłyby zbyt drogie i nie dawałyby tej elastyczności w zastosowaniu jak analizatory widma o wobulowanej częstotliwości. W analizatorach z wielokrotnymi filtrami dla wybierania różnych składowych widma sygnału wejściowego stosowana jest na wejściu duża liczba filtrów.

Napięcia wyjściowe tych filtrów są kolejno wybierane i doprowadzane do układu obrazującego, który pokazuje zależność amplituda-częstotliwość.

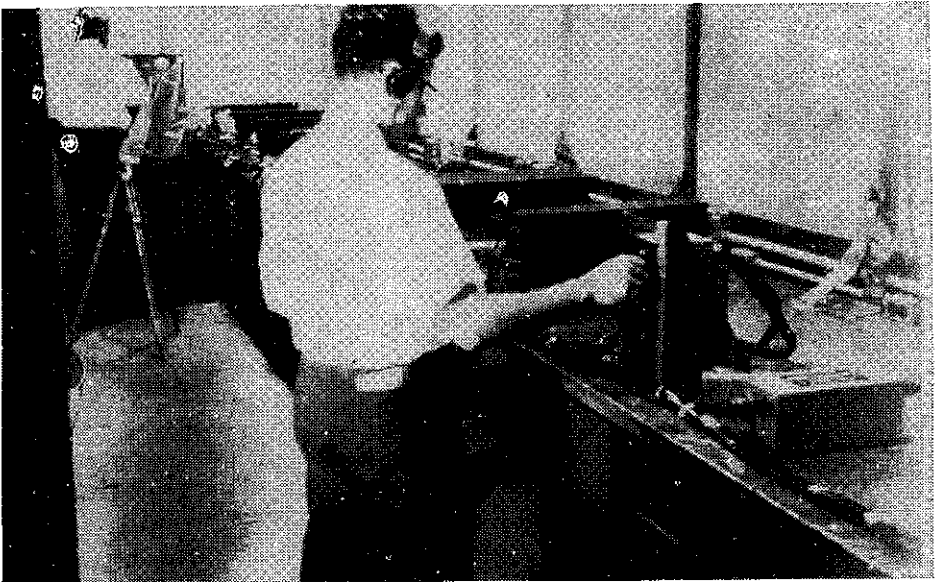
2.5. Tendencje rozwojowe i problemy miernictwa

Wykonywanie pomiarów zakłóceń jest często zadaniem pracochłonnym, zajmującym dużo czasu, i trudnym. Na przykład specyfikacje wojskowe dotyczące zakłóceń radioelektrycznych wymagają wykonania dostatecznie dużej liczby pomiarów urządzeń, aby była zapewniona ich kompatybilność z otoczeniem elektromagnetycznym.

Tego rodzaju pomiary (rys. 11) obejmują szeroko i wąskopasmowe pomiary zakłóceń przewodzonych i promieniowanych i mają określić, czy urządzenie będzie zakłócać pracę innych urządzeń i czy urządzenie będzie podatne na zakłócenia. Pomiary takie muszą być wykonywane w szerokim zakresie częstotliwości od częstotliwości akustycznych do 10 GHz i powyżej.

Amerykański plan opracowania zbioru charakterystyk widmowych (spectrum-signature), mający na celu uzyskanie dostatecznej ilości danych zakłóceńowych urządzeń

dla wykazania, czy będą one zakłócać lub czy będą zakłócone przez inne urządzenia tego samego otoczenia elektromagnetycznego, wymaga wykonania olbrzymiej ilości pomiarów nadajników i odbiorników. Charakterystyka widmowa zawiera dane opisujące zachowanie się urządzenia (lub systemu) w szerokim zakresie częstotliwości.



Rys. 11. Pomiary promieniowań upływowych. Sprawdzane są urządzenia anten sondujących

Istnieje więc realna potrzeba opracowania udoskonalonego oprzyrządowania, które by przyspieszyło lub zautomatyzowało pomiary zakłóceń i uzyskiwanie danych...

Jedną z metod umożliwiających przyspieszenie lub zautomatyzowanie uzyskiwania danych za pomocą mierników za-

klóceń jest stosowanie silnika napędzającego układ strojenia miernika i poszukiwanie w ten sposób całego zakresu częstotliwości. Wykres zależności amplitudy od częstotliwości i od czasu uzyskuje się za pomocą rekordera. Typowy układ przestrajania napędzany silnikiem przeszukuje pasmo od 7,3 do 10 GHz w czasie 2 min i 15 sek.

Dąży się do udoskonalenia mierników natężenia pola zakłóceń, a w szczególności zmniejszenia ich wrażliwości na niepożądane odpowiedzi i do zwiększenia szybkości obrazowania przez wobulowane częstotliwościowo analizatory widma. Ta tendencja wychodzi daleko poza szeroko stosowaną praktykę włączania analizatora widma na obwód częstotliwości pośredniej miernika natężenia pola zakłóceń w celu uzyskania obrazu ograniczonego pasmem pośredniej częstotliwości. Zestaw taki korzysta z preselekcji miernika natężenia pola w celu wyeliminowania niepożądanych odpowiedzi. Podstawowym przyrządem do pomiarów zakłóceń będzie w przyszłości prawdopodobnie zautomatyzowany miernik natężenia pola zakłóceń stanowiący jedną całość z analizatorem widma lub analizator widma niewrażliwy na odpowiedzi niepożądane, tak jak miernik natężenia pola zakłóceń. Zwraca się uwagę, że obrazy widm pokazane na rys. 8c), d) i e) uzyskano na nowym analizatorze widma, w którym zastosowano preselekcję.

Tendencje rozwojowe oprzyrządowania miernictwa przeciwwzakłócenieniowego ilustrują wojskowe wymagania na nowo budowane mierniki zakłóceń. Stawiają one szereg wymagań takich, jak: elektronicznie przestrajana preselekcja, dane wyjściowe przedstawione w absolutnych jednostkach

technicznych na rekorderze, np. na taśmie magnetycznej, automatyczne widzenie obrazu na ekranie lampy oscyloskopowej w zakresie kilku pasm pośredniej częstotliwości i automatyczna kalibracja.

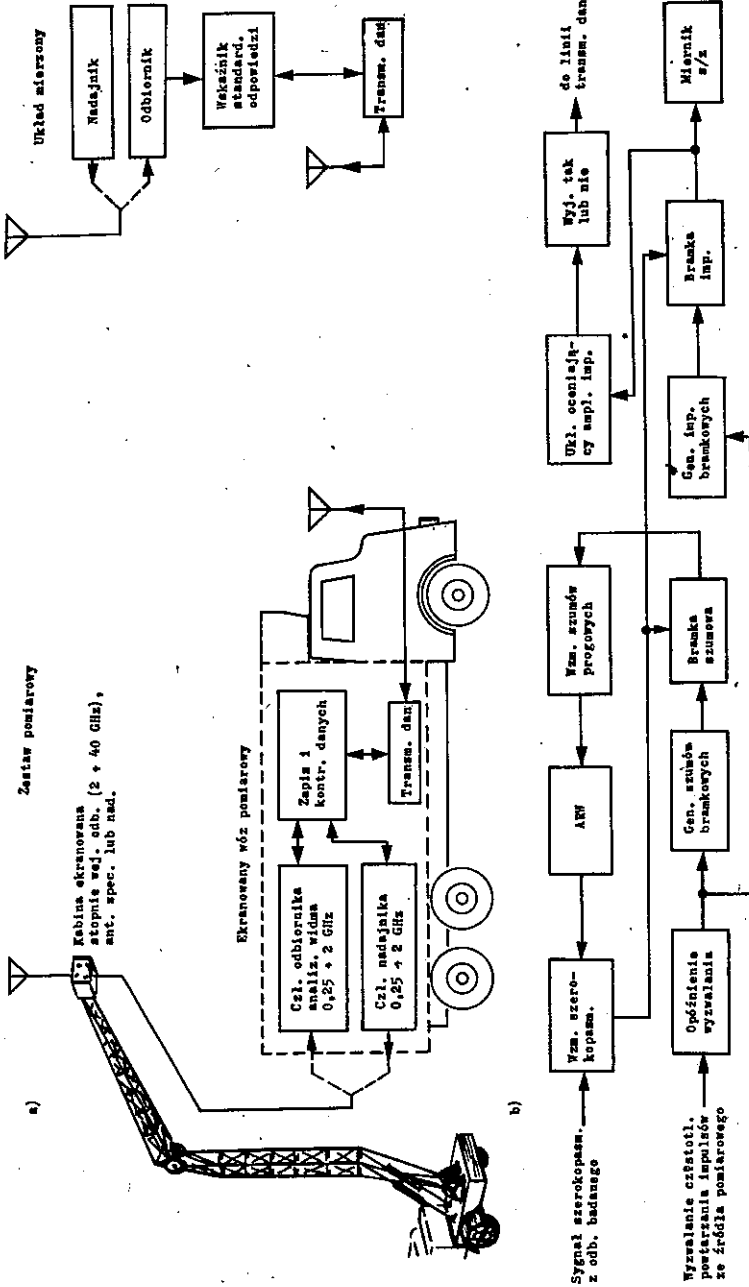
Inne wymagania, mające na celu udoskonalenie przyrządów przeciwzakłóceńowych, to:

- powiększona selektywność,
- powiększony zakres dynamiki,
- anteny o szerszym pasmie (dla umożliwienia mniej częstych zmian anten),
- lepsze, bardziej szerokopasmowe sondy prądowe,
- rozszerzenie zakresu częstotliwości pracy miernika,
- rozszerzenie zakresu częstotliwości pracy impulsowych generatorów kalibrujących,
- lepsza przenośność.

2.6. Oprzyrządowanie specjalne

Dużo pracy włożono w opracowanie specjalnych zestawów pomiarowych dla zdejmowania charakterystyk widmowych urządzeń w warunkach terenowych. Jeden z takich zestawów do pomiarów charakterystyk spektralnych nadajników i odbiorników w warunkach polowych pokazano w sposób uproszczony na rys. 12a). Zestaw pomiarowy (z lewej strony) umożliwia dokonywanie pomiarów w zakresie częstotliwości od 0,25 do 40 GHz.

Przy wykonywaniu pomiarów w zakresie od 0,25 do 2 GHz urządzenia pomiarowe nadawcze i odbiorcze umieszczone w



Rys. 12a) Pomiary charakterystyk widmowych odbiornika i nadajnika (pokazanych blokami w lewym górnym rogu rysunku) za pomocą zestawu pomiarowego, b) układ wskaźnika standardowej odpowiedzi

wozie ekranowanym połączone są kablem z anteną zmontowaną na szczycie ruchomego masztu. W przypadku zaś pomiarów w zakresie większych częstotliwości od 2 do 40 GHz człony wielkiej częstotliwości nadajnika i odbiornika umieszczane są w ekranowanej obudowie na szczycie masztu w bezpośrednim sąsiedztwie anteny. Nadajnik i odbiornik w obu przypadkach mogą być przestrajane ręcznie lub automatycznie.

Przy pomiarach za pomocą tego zestawu charakterystyk spektralnych odbiornika nadajnik może być przestrajany automatycznie. Antena na wieży promieniuje impulsowy sygnał pomiarowy w kierunku badanego odbiornika. Indykator odpowiedzi standardowej odbiera wzmocniony sygnał z szerokopasmowego wyjścia odbiornika. Układ spustowy (częstotliwości powtarzania impulsów), kontrolowany przez częstotliwość powtarzania impulsów nadajnika pomiarowego, otwiera bramkę impulsową przepuszczającą sygnał szerokopasmowy do miernika stosunku sygnału do szumów oraz do układu oceniającego amplitudę impulsów. Układ ten wytwarza również próbki szumów, które z kolei wytwarzają sygnał szumu do automatycznej regulacji wzmocnienia w celu utrzymania stałego średniego poziomu szumów na wyjściu wzmacniacza szerokopasmowego. Miernik amplitudy kontroluje obecność lub brak napięcia wyjściowego, które z kolei wskazuje czy poziom sygnału szerokopasmowego mieści się w granicach poziomów ustawionych na mierniku amplitudy. Poziomy te można ustawiać dowolnie. Na przykład poziom niższy może być ustawiony na stosunek sygnału do szumów równy 0 dB, a wyższy poziom na stosunek sy-

gnału do zakłóceń 20 dB. Ponieważ linia radiowa transmituje do systemu pomiarowego dane o obecności lub braku napięcia wyjściowego, przestrajanie nadajnika może być zatrzymane na częstotliwości, przy której odbiornik daje niepożądaną odpowiedź.

3. POCZYNNANIA ZMIERZAJĄCE DO ZWALCZANIA ZAKŁÓCEŃ I DO POPRAWY KOMPATYBILNOŚCI URZĄDZEŃ

Walka z zakłóceniami obejmuje bardzo szeroki zakres zagadnień. Dla zwalczania zakłóceń muszą być podejmowane akcje na różnych płaszczyznach; od współpracy między całym systemami do projektowania układów i elementów.

Akcje podejmowane na najwyższej płaszczyznie współpracy między systemami prowadzą do podejmowania decyzji i ustalania odpowiednich przepisów międzyresortowych i międzynarodowych. Przepisy te z kolei muszą być brane pod uwagę przy opracowywaniu systemów i urządzeń wchodzących w ich skład.

Problematyka zakłóceń musi uwzględniać cały szereg aspektów, z których najważniejsze wymienione są poniżej:

1. Zakłócenia między systemami. Jest to najszerszy i najbardziej kompleksowy aspekt problemu kompatybilności. Obejmuje on wzajemne oddziaływanie między sobą całych systemów w różnych warunkach pracy i w różnych otoczeniach elektromagnetycznych. Aspekt ten rzutuje między innymi na rozdział i przydział częstotliwości oraz obejmuje względy wojskowe.

2. Projektowanie systemu. Zakłócenia radioelektryczne muszą być brane pod uwagę już w początkowej fazie opracowywania podstawowych koncepcji systemu; przy wyborze lokalizacji stacji, przy opracowywaniu rozwiązań konstrukcyjnych, przy wyborze częstotliwości pracy, przy wyborze rodzaju modulacji, przy określaniu poziomów mocy, przy określaniu czułości itd. Parametry te decydują o kierunkach projektowania urządzeń i stanowią ważne lub najważniejsze czynniki określające kompatybilność systemu. W trakcie pracy nad układem w celu sprawdzenia podstawowych koncepcji projektowanych i samego projektu, powinny być przeprowadzane przewidywania i analizy zakłóceń oraz przeprowadzane pomiary na modelach.

3. Zwalczanie zakłóceń u ich źródła. Technika zwalczania zakłóceń u ich źródła obejmuje takie metody projektowania układów i urządzeń, by nie generowały one zakłóceń lub by tych zakłóceń dawały jak najmniej oraz metody likwidowania (np. przez ekranowanie) generowanych zakłóceń.

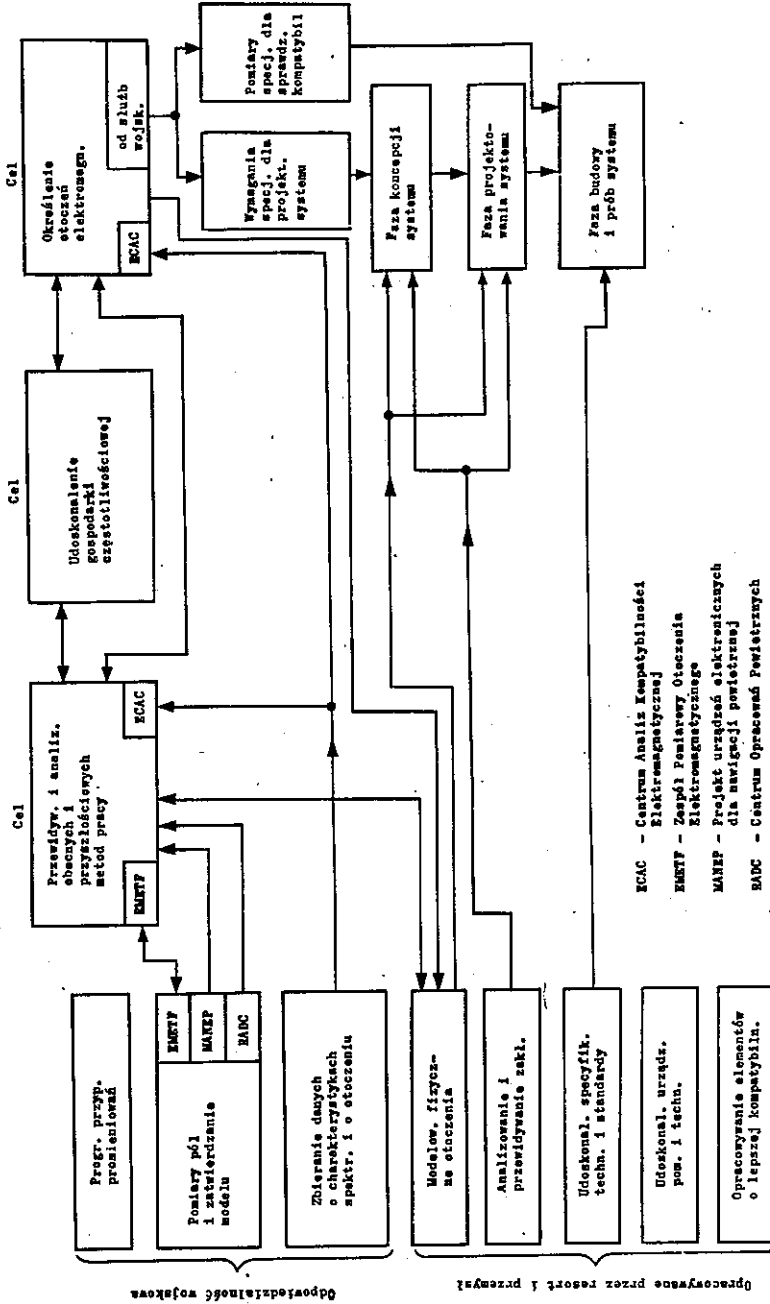
4. Zmniejszanie czułości urządzeń na zakłócenia. Technika zmniejszania czułości urządzeń na zakłócenia jest również brana pod uwagę przy projektowaniu układów i urządzeń.

W poniższym rozdziale będą przedyskutowane aspekty zagadnienia kompatybilności systemu i kompatybilności międzysystemowej.

3.1. Zakłócenia radioelektryczne a Departament Obrony

Departamenty Obrony są najpoważniejszymi użytkownikami urządzeń elektronicznych zarówno w Ameryce, jak i w innych krajach. Z tego powodu są one również najbardziej zainteresowane w zwalczaniu zakłóceń. Departament Obrony Stanów Zjednoczonych opracował program kompatybilności elektromagnetycznej. Celem tego programu jest (rys. 13) zapewnienie harmonijnej współpracy wojskowych urządzeń elektronicznych między sobą i z innymi urządzeniami w chwili obecnej oraz znalezienie możliwości jeszcze bardziej harmonijnej współpracy w przyszłości. Należy zaznaczyć, że Departament Obrony nie ma nadziei na całkowite wyeliminowanie zakłóceń przemysłowych. Nawet gdyby kiedyś było możliwe zlikwidowanie generacji wszystkich zakłóceń przemysłowych, koszty tego byłyby prawdopodobnie zbyt wysokie. Celem Departamentu Obrony jest utrzymanie generacji zakłóceń na możliwie niskim poziomie. Na poziomie takim, by nie było konieczności zabezpieczania przed nimi urządzeń elektronicznych i ludzi obsługujących te urządzenia.

Rysunek 13, obrazujący program Departamentu Obrony i wynikające z niego wymagania dla przemysłu, wykazuje złożoność problemu zwalczania zakłóceń. Głównym problemem Departamentu Obrony jest ocena kompatybilności urządzeń obecnie eksploatowanych i tych, które mają wejść do eksploatacji w przyszłości. Zagadnienie to wymaga analizy i przewidywania pracy urządzenia w różnych otoczeniach (patrz rys. 3). W tym celu służby wojskowe do-



Rys. 13. Program kompatybilności Departamentu Obrony

konują pomiarów charakterystyk widmowych urządzeń elektronicznych i zbierają dane o pracy urządzeń w różnych strefach geograficznych i w różnych warunkach meteorologicznych (lewa kolumna rys. 13).

Charakterystyki widmowe i dane o otoczeniu są zbierane przez Centrum Analiz Kompatybilności Elektromagnetycznej (Electromagnetic Compatibility Analysis Center, ECAC), które opracowuje metody analizy i przewidywania zakłóceń. Inne placówki Departamentu Obrony zajmujące się analizowaniem i przewidywaniem zakłóceń, jak np. wojskowy Zespół Pomiarowy Otoczenia Elektromagnetycznego (EMETF), też korzystają z charakterystyk widmowych i z danych o otoczeniu. W celu sprawdzenia słuszności różnych modeli przewidywania zakłóceń przeprowadzane są odpowiednie pomiary natężenia pola. Modelem przewidywania zakłóceń jest przedstawienie matematyczne urządzenia elektronicznego w otoczeniu. Składa się on z danych o urządzeniu i jego otoczeniu oraz z równań obrazujących pracę urządzenia.

Innym celem programu kompatybilności Departamentu Obrony jest udoskonalenie metod i procedury gospodarowania częstotliwościami oraz doprowadzenie do najbardziej ekonomicznego wykorzystania widma częstotliwości radiowych. Należy zaznaczyć, że cel ten (środkowy górny blok na rys. 13) i dwa cele boczne, które rozszerzają możliwości analizowania i przewidywania zakłóceń w określonej sytuacji i określonym otoczeniu elektromagnetycznym nawzajem się uzupełniają.

Nie jest możliwe określenie dokładnie otoczenia elektromagnetycznego, w skład którego będzie wchodził projektowany system, jak również sprecyzowanie zakresu pomiarów laboratoryjnych i przemysłowych, które byłyby wystarczające dla stwierdzenia, że projektowany system będzie kompatybilny. Gdyby było możliwe dokładne określenie otoczenia projektowanego systemu, ułatwione byłoby projektowanie i znalezienie najbardziej właściwego rozwiązania i zmniejszyłaby się konieczność wprowadzania zmian w trakcie badań terenowych.

Po opracowaniu podstawowej koncepcji projektu systemu powinien on być sprawdzony przez przeanalizowanie przewidywanych zakłóceń, względnie metodami modelowania otoczenia.

Departament Obrony opracował metody i odpowiednie urządzenia, które umożliwiają fizyczne odtworzenie (modelowanie) otoczenia elektromagnetycznego w warunkach laboratoryjnych. Zostały również opracowane metody modelowania analitycznego, tzn. przeprowadzanego w całości przez maszyny matematyczne.

Inne zamierzenia Departamentu Obrony w ramach programu kompatybilności obejmują opracowanie udoskonalonych specyfikacji technicznych i standardów zakłóceń, opracowanie udoskonalonych technik pomiarowych zakłóceń oraz opracowanie udoskonalonych elementów urządzeń, które dawałyby mniej zakłóceń lub były mniej podane na zakłócenia.

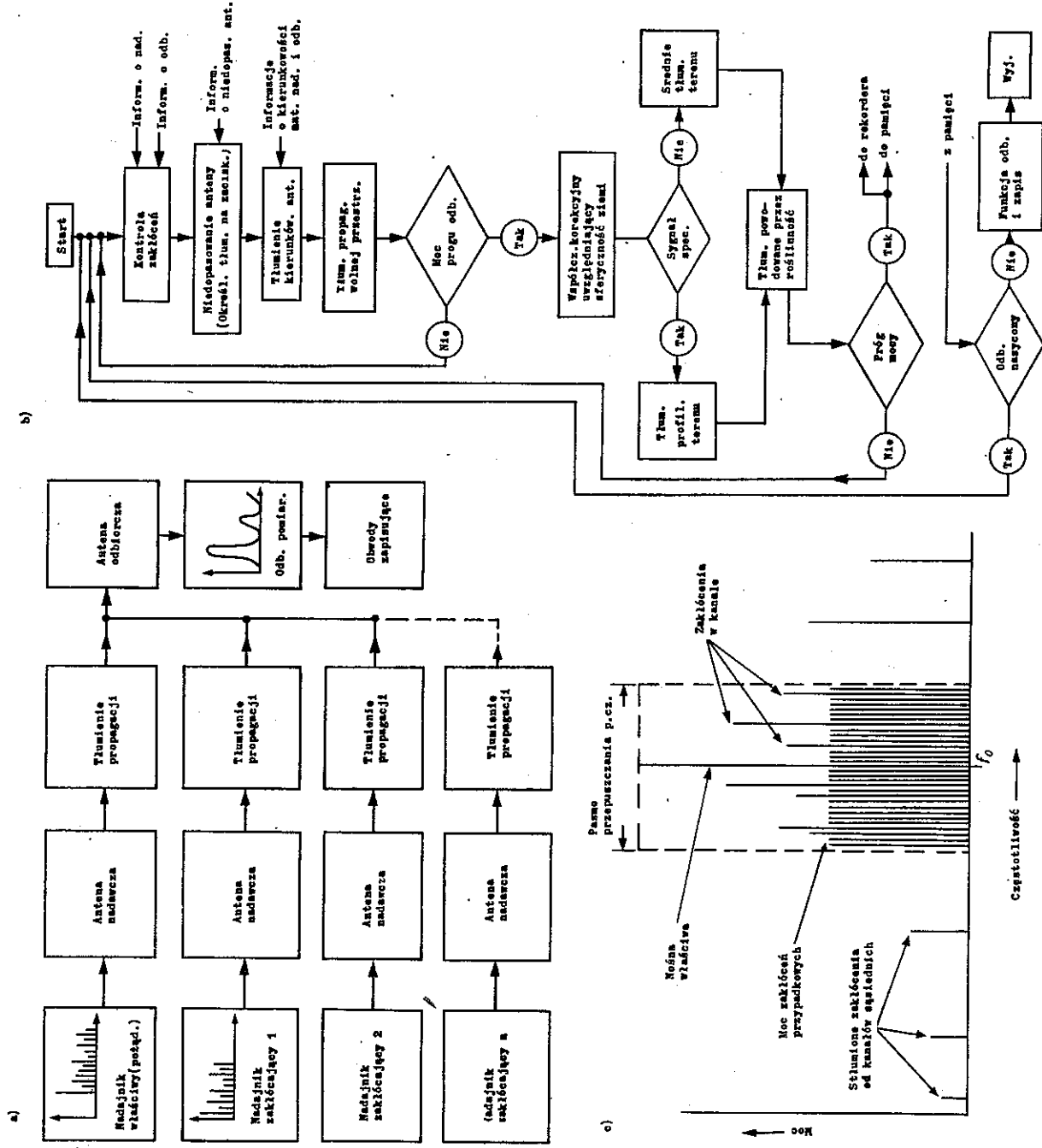
Przy rozważaniu problemu zakłóceń promieniowanych nie można pominąć względów bezpieczeństwa. Można tu wydzielić trzy aspekty, a mianowicie:

- niebezpieczeństwo dla obsługi (jako maksymalną wartość, którą może znieść organizm ludzki przyjęto próbnie promieniowanie o gęstości mocy 10 mW/cm^2),
- niebezpieczeństwo dla urządzeń zabezpieczających takich, jak np. bezpieczniki (projekt HERO i inne),
- niebezpieczeństwo dla płynów palnych (projekt SPARKS).

3.2. Przewidywanie zakłóceń

Podstawową metodą przewidywania oddziaływania wzajemnego systemów elektronicznych jest modelowanie ich modelami matematycznymi lub inne równoważne przedstawienie tych systemów i parametrów, mających wpływ na ich pracę. Na rys. 14a) pokazano model przewidywania zakłóceń opracowany przez wojskowy Zespół Pomiarowy Otoczenia Elektromagnetycznego (patrz bloki EMEFT na rys. 13). Bloki na tym rysunku obrazują wejścia danych, a strzałki reprezentują przepływ danych w maszynie matematycznej zaprogramowanej do przewidywania pracy systemu komunikacyjnego pokazanego górnym szeregiem bloków. Pozostałe bloki reprezentują źródła zakłóceń, które dostają się do odbiornika systemu różnymi drogami (patrz rys. 3).

Model ten (rys. 14) stosowany jest przy pomiarach terenowych w zestawach pomiarowych w celu sprawdzenia możliwości pracy urządzeń wojskowych i w celu znalezienia sposobów udoskonalenia ich pracy. Model analityczny pokazany na rys. 14a) i terenowy zestaw pomiarowy są w sta-



Rys. 14a) Model matematyczny otoczenia elektromagnetycznego systemu komunikacyjnego, b) programowanie maszyny matematycznej, c) widmo sygnałów, podanych na układ maszyny, która symuluje demodulator odbiornika

nie symulować 12000 nadajników stosowanych w jednostkach wojskowych, które w normalnych warunkach rozmieszczone są na obszarze o wymiarach tylko 40 x 60 mil. Badania analityczne i terenowe uzupełniają się nawzajem.

Na rysunku 14b) pokazano sposób programowania maszyny matematycznej do symulowania modelu matematycznego pokazanego na rys. 14a).

Dane wejściowe o odbiorniku i nadajniku doprowadzane do układu kontroli zakłóceń brane są z danych operacyjnych, jak lokalizacja i przydzielona częstotliwość i ze zbioru charakterystyk widmowych uzyskanych w laboratorium i zmagazynowanych w maszynie matematycznej.

Blok kontroli zakłóceń (Nr 1) opracowuje dane charakterystyki widmowej odbiornika i sporządza tabelę częstotliwości, zawierającą częstotliwości niepożądanych odpowiedzi, częstotliwości intermodulacji, częstotliwości zakłóceń wewnątrzkanalowych i od kanałów sąsiednich. Tak sporządzona tabela częstotliwości (tabela F) łącznie z uwzględnieniem czułości odbiornika na te częstotliwości magazynowana jest w pamięci maszyny matematycznej.

Blok kontroli zakłóceń analizuje z kolei charakterystykę widmową jednego z nadajników, np. nadajnika zakłócającego Nr 1 (NZ1) z rys. 14a), i porównuje składowe widma nadajnika zakłócającego NZ1 z częstotliwościami odpowiedzi odbiornika zebranych z tabeli F. Jeżeli żadna z częstotliwości nadajnika NZ1 nie pasuje do częstotliwości z tabeli F, blok kontroli zakłóceń eliminuje go jako źródło zakłóceń z dalszych rozważań i rozpatruje charakterystyki widmowe nadajnika drugiego (NZ2). Je-

żeli jednak jedna lub więcej ze składowych widma nadajnika nr 1 mają te same częstotliwości co któreś z częstotliwości zebranych w tabeli F, istnieje możliwość zakłóceń i każda z tych częstotliwości widma jest doprowadzana do bloku 2 w celu dalszej analizy.

Zadaniem bloku 2 jest dodanie w razie potrzeby współczynnika tłumienia do mocy wyjściowej składowej promieniowanej przez nadajnik przepuszczonej przez blok 1. Jest to konieczne, ponieważ pomiary charakterystyk widmowych zespołu nadajnik-antena są w wielu przypadkach wykonywane bez uwzględnienia tłumienia linii transmisyjnych i bez uwzględnienia niedopasowania oporności nadajnika i anteny. Istnienie tego niedopasowania jest możliwe przy częstotliwościach różnych od częstotliwości podstawowej.

Blok 3 uwzględnia tłumienie (lub zysk) wynikający z charakterystyk kierunkowych i zorientowania anten nadawczej i odbiorczej. Wejście na blok 4 odpowiada więc mocy, jaka była odbierana przez antenę odbiorczą przy braku tłumienia propagacji.

Blok 4 oblicza moc, jaką odbierałby odbiornik, gdyby pola wybranych poprzednio składowych rozchodziły się w wolnej przestrzeni.

Komparator (5) porównuje tę moc z czułością progową odbiornika. Jeżeli moc składowej widma jest mniejsza od mocy progowej odbiornika, składowa ta jest eliminowana z dalszych rozważań (kółko NIE) i blok kontroli rozpoczyna nowy cykl programowania, wysyłając inną składową widma nadajnika NZ1 do bloku 2, lub rozpoczyna

porównywanie składowych widma nadajnika NZ2z częstotliwościami tabeli F. Jeżeli natomiast moc składowej widma jest większa od progu odbiornika, jest ona przepuszczana do bloku 6.

W bloku tym moc składowej jest dalej korygowana (ogólnie tłumiona) przez współczynnik korekcyjny uwzględniający sferyczność ziemi.

Sygnał wyjściowy z bloku 6 doprowadzony jest do bloku 7 lub 8 w zależności od tego, czy istnieje sygnał specjalny taki, jak sygnał podstawowy właściwego nadajnika lub sygnał typowy. Blok 7, który uwzględnia sygnały specjalne, przeprowadza bardziej dokładną analizę tłumienia trasy w zależności od właściwości terenowych niż blok 8.

Z kolei blok 9 dodaje składnik uwzględniający tłumienie wprowadzone na trasie przez roślinność. Komparator (blok 10) porównuje poziom sygnału z czułością progową odbiornika. Jeżeli moc sygnału jest mniejsza od czułości progowej odbiornika, sygnał nadajnika NZ1 jest eliminowany z dalszej analizy i blok kontrolny powtarza program dla innego sygnału zakłócającego. Jeżeli zaś sygnał jest większy od progu, zapisywana jest informacja określająca ten sygnał do wykorzystania przez człowieka i równocześnie jest ona magazynowana w pamięci maszyny matematycznej dla następnego wykorzystania w procesie zliczania zakłóceń, który ma miejsce po przeanalizowaniu przez maszynę sygnałów wszystkich częstotliwości, które mogą zakłócać odbiornik.

Po określeniu wszystkich składowych sygnałów, które mogą oddziaływać na odbiornik, sygnały te, wśród których są sygnały właściwe i sygnały zakłócające, są sumowane i doprowadzane do komparatora 11. Jeżeli ich moc całkowita przekracza poziom nasycenia, lub górną granicę zakresu dynamiki odbiornika, przyjmowane są warunki całkowitego zakłócenia badanego odbiornika. Jeżeli całkowita moc nie przekracza poziomu nasycenia, sygnały doprowadzane są do bloku 12, który jest częścią programu maszyny, symulującą demodulator odbiornika i uwzględnia zdolności rozumienia systemu.

Widmo sygnału na wejściu układu symulującego demodulator pokazano na rys. 14c). Widmo to odpowiada sygnałowi, który byłby przepuszczony przez wzmacniacze częstotliwości pośredniej odbiornika badanego i przekazywany do demodulatora. Składa się ono z sygnału właściwego, składowych zakłóceń nadawanych i szumów przypadkowych, które istnieją we wzmacniaczu pośredniej częstotliwości odbiornika badanego.

W celu przeanalizowania widma pokazanego na rys. 14c) maszyna matematyczna rozpatruje właściwą nośną (podstawową) i stosunkowo niewielką liczbę składowych sygnałów zakłócających, których amplitudy są znacznie większe od amplitud większości składowych zakłóceń jako składowe dyskretne. Zakłócenia natomiast o małym poziomie sumuje oraz dodaje do nich zakłócenia przypadkowe istniejące we wzmacniaczu pośredniej częstotliwości (takie, jak szumy śrutowe i zakłócenia atmosferyczne) i traktuje całość jako zakłócenia przypadkowe o rozkładzie normalnym,

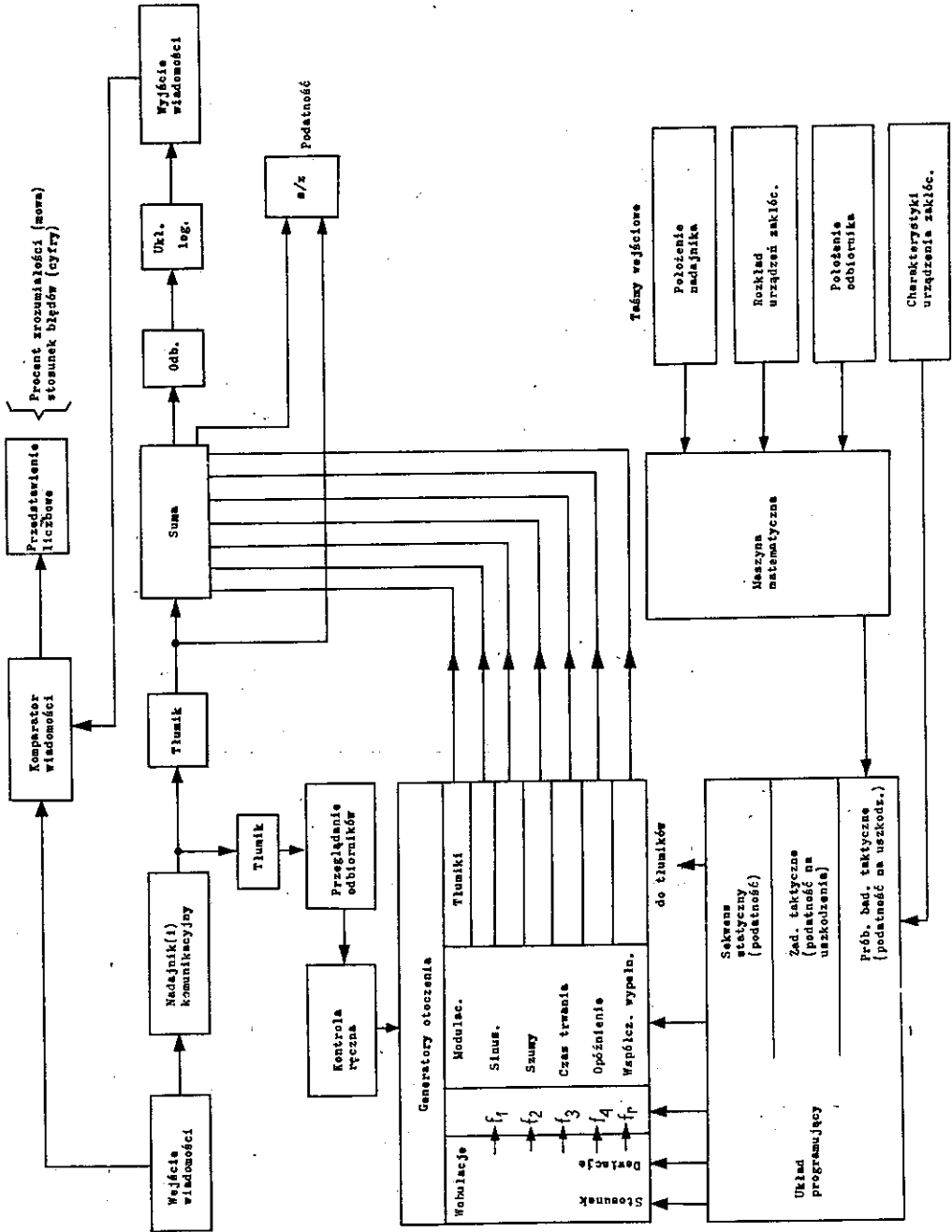
które pokazane są na rys. 14c), jako poziom zakłóceń przypadkowych. Jednakowa wysokość tych składowych reprezentuje całkowitą moc zakłóceń przypadkowych. Moc każdej składowej zakłóceń dyskretnych i podstawowej są dodawane do poziomu mocy zakłóceń przypadkowych.

Należy zwrócić uwagę, że procedura podejmowania decyzji przez maszynę matematyczną redukuje problem przewidywania zakłóceń do proporcji możliwych do opanowania. Gdyby na przykład było 15000 potencjalnych źródeł zakłóceń odbiornika (n równe 15000 na rys. 14a), z których każde emitowałoby 10 sygnałów zakłócających, maszyna matematyczna musiałaby przeprowadzić pełną analizę 150000 sygnałów, jeżeli nie byłoby procedur eliminujących w blokach 1,5 i 10 na rys. 14b). Chociaż maszyny matematyczne pracują szybko i maszyna może przeprowadzić całkowite przebadanie jednego sygnału zakłócającego w ciągu minuty, to jednak przeprowadzenie pełnych 150000 prób zajęłoby 2500 godzin pracy maszyny.

3.3. Modelowanie fizyczne

Inną możliwością podejścia do problemu przewidywania kompatybilności urządzenia elektronicznego jest fizyczne modelowanie otoczenia zakłócającego w laboratorium. Różnorodność tego rodzaju układów symulujących rozciąga się od modeli, umożliwiających symulację jakiegoś złożonego typu otoczenia, do symulatorów w celu oceny i badania urządzenia dla celów ćwiczebnych.

Na rysunku 15 pokazano sposób modelowania, który mo-



Rys. 15. Model fizyczny otoczenia elektromagnetycznego

że być używany do oceny systemu komunikacyjnego (bloki zaciemnione) zarówno w trakcie opracowywania koncepcyjnego, jak również i w etapach późniejszych projektowania i budowy.

W systemie symulacji obiekt badany poddawany jest działaniu otoczenia, które sprawdza jego zdolność dawania na wyjściu odbiornika zrozumiałych sygnałów w warunkach zakłóceń.

Na wejście maszyny matematycznej doprowadzone są dane, dotyczące rozmieszczenia urządzeń zakłócających. Maszyna steruje układy programowania, które uruchamiają generatory otoczenia. Wyjścia generatorów otoczenia są sumowane w układach sumujących, do których doprowadzony jest również sygnał nadawany. Wejście układu badanego składa się więc z sygnału właściwego i sygnałów zakłócających. Zdolność systemu do transmitowania wiadomości mierzona jest przez porównanie wiadomości doprowadzonej do nadajnika z wiadomością uzyskiwaną na wyjściu odbiornika przy uwzględnieniu odpowiedniego wskaźnika zrozumiałości systemu.

Blok podatności (susceptibility) mierzy stosunek sygnału do zakłóceń (s/z) na wejściu odbiornika. Stosunek sygnału do zakłóceń i możliwość zrozumienia określają razem podatność systemu. Na przykład mały stosunek sygnału do zakłóceń i dużoprocetowa zrozumiałość (dla systemu komunikacji akustycznej) oznacza, że system charakteryzuje się stosunkowo małą podatnością na zakłócenia. Podatność złożonego systemu, na który mogą działać zakłócenia różnego typu może być określona kilkoma

wskaźnikami zrozumiałości i kilkoma stosunkami sygnału do zakłóceń.

Zmieniając informacje wejściowe i generatory otoczenia, tak by symulować aktualne warunki i zadania, podaje się system komunikacyjny próbie typu operacyjnego. Ten typ próby daje informacje o podatności systemu na zakłócenia przy wykonywaniu zadania.

Układ symulacji fizycznej może być również stosowany do sprawdzenia podstawowych koncepcji systemu przy ich opracowywaniu. W tym celu należy doprowadzić do maszyny matematycznej funkcję transferową systemu, która będzie zastępować system badany.

3.4. Koncepcje systemów a zakłócenia

Jak najbardziej ekonomicznie może być wykorzystane stojące do dyspozycji pasmo częstotliwości? Pytanie to stoi przed ludźmi odpowiedzialnymi za zagospodarowanie widma częstotliwości przydzielonego danemu państwu (np. Stanom Zjednoczonym) oraz przed inżynierami chcącymi projektować kompatybilne systemy, które muszą pracować w określonej i na ogół zagęszczonej części widma stojącego do dyspozycji.

Najprostszym rozwiązaniem jest wykorzystywanie węższego kanału transmisyjnego, co umożliwi rozmieszczenie większej liczby kanałów w widmie o danej szerokości. W obecnym stanie dąży się do maksymalnego, jak tylko jest to możliwe, zagęszczenia kanałów.

Czynnikami określającymi minimalny odstęp częstotli-

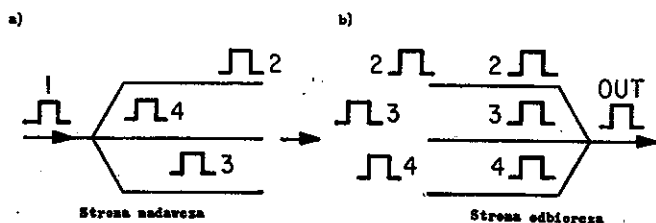
wości między kanałami są: stałość częstotliwości nadajników i lokalnych oscylatorów odbiorników, dokładność, z jaką można budować obwody strojone, charakterystyki filtrów pasmowych oraz wymagana izolacja między kanałami.

System wąskopasmowy jest na ogół bardziej podatny na zakłócenia niż system o szerszym pasmie. Przyjęcie szerokiego pasma może być w pewnym stopniu obiecujące dla układów, których stacje nadawcze pracują krótkimi okresami czasu. Metody które mogą być stosowane do nadawania w szerokim pasmie częstotliwości, to:

- 1) zmiany częstotliwości,
- 2) równoczesna transmisja tego samego sygnału na wielu częstotliwościach dzieląc moc równomiernie na wszystkie częstotliwości, a następnie składając sygnał w odbiorniku,
- 3) modulacja fali nośnej w ten sposób, by wstęgi boczne rozciągały się w szerokim pasmie częstotliwości po obu stronach nośnej.

Technika kodowania, wykorzystująca szerokie lub wąskie pasmo, może zapewnić duży stopień względnej nieczułości na zakłócenia. Na przykład system (RACEP - Random Access and Correlation for Extended Performance), który może obsługiwać kilkuset użytkowników w kanale 4 MHz, wykorzystuje kod czasowo-częstotliwościowy. Jeżeli nadajnik RACEP'u wysyła wiadomość do jednego z odbiorników w sieci, wybiera on kod odpowiadający danemu odbior-

nikowi i inne odbiorniki w sieci nie mogą odebrać tej transmisji. W nadajniku impulsy kodu (1 na rys. 16a) są doprowadzone do trzech linii opóźniających o różnych opóźnieniach. Impulsy na wyjściu linii opóźniających są przesunięte w czasie (2, 3, 4 na rys. 16a) i są transmitowane na trzech różnych częstotliwościach. Odbiornik,



Rys. 16. Jedna z koncepcji zwiększenia kompatybilności systemu

który ma właściwy "adres" czasu opóźnienia, wyposażony w dopełniające linie opóźniające, odbiera te impulsy (rys. 16b), które są rekombinowane na odpowiednim obwodzie bramkowym. Bramka wytwarza na wyjściu impuls odpowiadający impulsowi kodu. Inne odbiorniki systemu RACEP mają inny zestaw linii opóźniających i ich bramki pozostaną zamknięte.

4. TŁUMIENIE ZAKŁÓCEŃ RADIOELEKTRYCZNYCH I ZMNIEJSZANIE ICH SKUTKÓW

Uwzględnienie zakłóceń radioelektrycznych w systemie i między systemami, które było dyskutowane w poprzednim rozdziale stanowi tylko część problemu. Ogólne dążenie

do projektowania kompatybilnego systemu elektronicznego musi równocześnie brać pod uwagę właściwości przeciwnzakłócenieniowe urządzeń i zespołów wchodzących w skład systemu. W niniejszym rozdziale zostaną przedyskutowane możliwości zmniejszenia zakłóceń z dwu punktów widzenia:

- 1) zlikwidowania lub zmniejszenia generacji i propagacji zakłóceń przemysłowych,
- 2) zmniejszenia czułości urządzeń na zakłócenia istniejące w otoczeniu zarówno naturalne, jak i przemysłowe.

Chociaż kompletne stłumienie zakłóceń przemysłowych jest prawdopodobnie niemożliwe i nieekonomiczne względnie niekonieczne, można dużo zdziałać w kierunku zredukowania zakłóceń wprost u ich źródła, to znaczy w punkcie, w którym są one wytwarzane.

Istnieją trzy główne możliwości tłumienia zakłóceń przy ich źródle:

- polepszenie charakterystyk urządzeń lub zespołów generujących zakłócenia, by produkowały one mniej zakłóceń,
- tłumienie generowanych zakłóceń - tak blisko od urządzeń je generujących, jak to jest tylko możliwe - zanim zakłócenia dotrą do urządzeń czułych na nie,
- praca urządzenia w taki sposób, by zakłócenia, które ono generuje powodowały minimalne trudności.

4.1. Nadajniki

W idealnych warunkach nadajnik powinien transmitować energię tylko w przydzielonym pasmie częstotliwości i powinien wytwarzać tylko sygnał pożądaný. Jednakże nadajnik prócz właściwego wytwarza również sygnały o niepożądanych częstotliwościach.

Kilka przyczyn niepożądanych emisji nadajników komunikacyjnych lub radarowych podano poniżej, są to:

- oscylacje pasożytnicze,
- przesterowanie wzmacniaczy,
- praca w warunkach nieliniowości,
- intermodulacja, gdy częstotliwość niepożądana miesza się z częstotliwością właściwą na elemencie nieliniowym i wytwarza się trzecia (niepożądana) częstotliwość,
- modulacja skrośna, gdy niepożądana modulacja niepożądaney fali nośnej oddziałuje na właściwą modulację nadajnika,
- powielanie częstotliwości,
- promieniowanie poza pasmem, t.zn. emisje pojawiające się poza wstęgą przydzieloną nadajnikowi, które mogą być powodowane przez przemodulowanie, przez zbyt szerokie pasmo modulatora, przez krótkie impulsy modulatora lub przez nieliniowość modulacji.

Oscylacje pasożytnicze są eliminowane przez stosowanie sprzężeń neutralizujących lub tłumików.

Właściwe zaprojektowanie i właściwa praca urządzeń powinna zabezpieczać przed przesterowaniem wzmacniaczy i ich nieliniową pracą. W przypadku, gdy celowa jest praca w warunkach nieliniowych, emisje niepożądane mogą być zmniejszone przez właściwy dobór punktów pracy. Ponadto intermodulacja i modulacja skrośna mogą być spowodowane przez niepożądane częstotliwości dochodzące do nadajnika przez jego antenę, dla zredukowania tego źródła zakłóceń mogą być stosowane izolatory jednokierunkowe względnie filtry kierunkowe. Pomaga również dobór optymalnych warunków pracy lamp lub tranzystorów wyjściowych.

Bezpośrednia generacja właściwej częstotliwości daje mniej emisji niepożądanych niż metoda powielania częstotliwości. Jeżeli powielanie musi być stosowane, należy stosować możliwie najmniejsze współczynniki powielania, przeprowadzać powielanie w stopniach małej mocy oraz stosować podwójne obwody strojone i filtry. W nadajnikach są stosowane również syntetyzery częstotliwości dające mniej niepożądanych częstotliwości.

Promieniowania poza pasmem mogą być ograniczone przez staranne opracowanie obwodów modulatora, a w przypadku modulatora impulsowego przez odpowiednie kształtowanie impulsów. Impulsy modulujące o kształtach gaussowskich i kosinusoidalnych dają widma boczne węższe i o mniejszym poziomie składowych niż impulsy prostokątne.

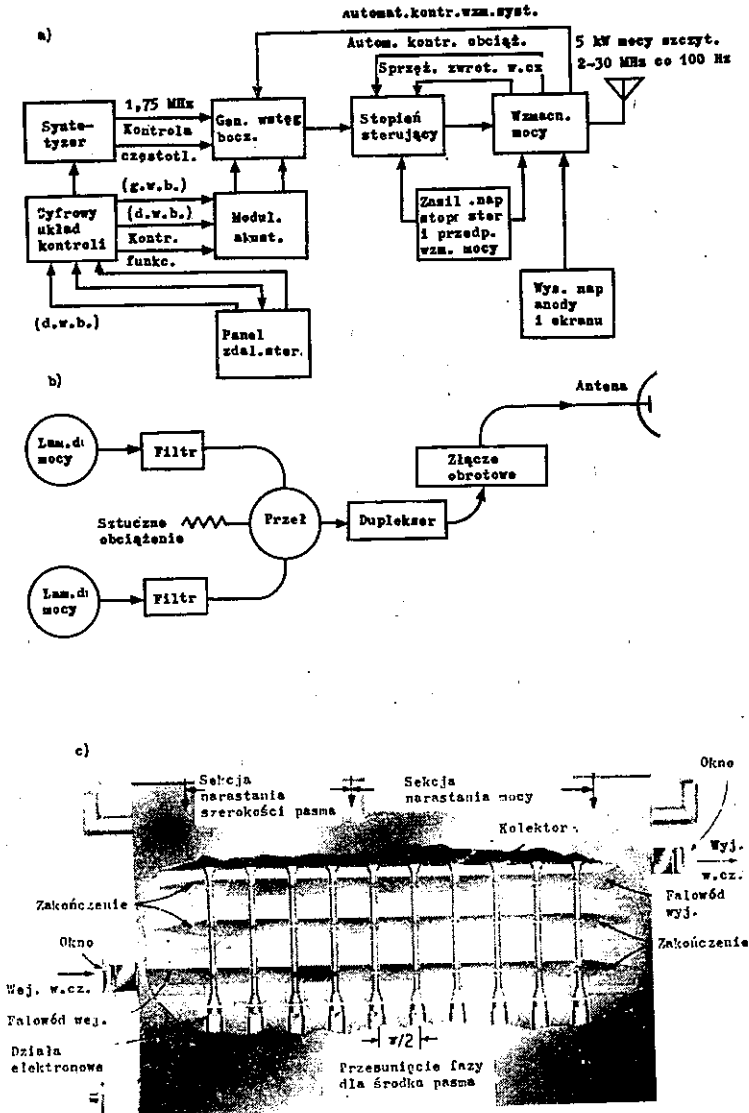
W celu zmniejszenia przeciągania częstotliwości w magnetronie, powodowanego zmianami impedancji obciążenia

nia, może być stosowany izolator. Zmiany częstotliwości powodowane zmianami prądu anodowego w magnetronach strojonych napięciowo mogą być ograniczone przez stabilizację napięć: anodowego, elektrody wewnętrznej i żarzenia. Oscylacje niepożądanych rodzajów drgań w magnetronie mogą być wyeliminowane przez staranne dopasowanie układu modulatora do magnetronu.

Do stabilizacji częstotliwości oscylatorów mikrofalowych mogą być stosowane układy automatycznej regulacji częstotliwości.

4.2. Lampy

Stosowane w urządzeniach radarowych magnetrony i klistrony dużej mocy dają niepożądane emisje o stosunkowo wysokim poziomie mocy. Na przykład harmoniczna o poziomie 30 dB poniżej podstawowej o mocy szczytowej 1 MW ma moc szczytową 1 kW. Poziom ten jest dostatecznie wysoki, by oddziaływać na odbiorniki odległe o setki kilometrów. Ponieważ typowe wymagania na promieniowania niepożądane nakładają ograniczenia odnoszące się do wyjścia nadajników, projektanci dążą do spełnienia tych wymagań przez stosowanie filtrów ograniczających te promieniowania (rys. 17b). Niestabilność częstotliwości w lampach oscylatora komplikuje zagadnienie promieniowań niepożądanych. Na przykład częstotliwość podstawowa nadajnika może zmieniać się w stopniu tak dużym, iż będzie ona stanowiła niepożądany sygnał wejściowy dla odbiornika, który w normalnych warunkach nie reagowałby na częstotliwość przydzieloną danemu nadajnikowi.



Rys.17a) Syntetyzer, b) stosowanie filtrów harmonicznych na wyjściu lamp nadawczych, c) nowa lampa - wielostrumieniowy klistron o fali bieżącej

Chociaż filtry stanowią dobry środek zabezpieczenia przed promieniowaniami niepożądanymi (typowy handlowy filtr na pasmo S może przepuszczać podstawową częstotliwość o mocy szczytowej 5 MW z tłumieniem 0,15 dB, a tłumić częstotliwości drugiej, trzeciej i czwartej harmonicznych o 50 dB), powodują one wzrost ciężaru (ten filtr na pasmo S waży 35 kg), wymiarów i kosztów instalacji. Idealem byłoby, gdyby oscylator dużej mocy ani lampy wzmacniające na wyjściu nadajnika nie dawały emisji niepożądanych.

Okazuje się jednak, że nie ma zgodnego działania resortów i przemysłu w kierunku opracowania lamp, które nie dawałyby niepożądanych częstotliwości na ich wyjściu. Mimo to zostały opracowane lampy, które dają mniej emisji niepożądanych i odznaczają się lepszą stabilnością częstotliwości niż ich typy poprzednie, chociaż cel rozwoju był inny, jak np. zwiększenie mocy.

Na rys. 17c) pokazano wzmacniacz na wielostrumieniowym klistronie o fali bieżącej, którego konstrukcja zmniejsza generację harmoniczných. Mimo że nie czyniono specjalnych wysiłków w tym kierunku zawartość harmoniczných wytwarzanych przez ten klistron jest o 10 do 15 dB mniejsza niż w klistronach jednostrumieniowych. Napięcie wejściowe rozchodzi się wzdłuż falowodu wejściowego, modulując kolejno w szybkości każdy ze strumieni elektronowych. Zmodulowane strumienie elektronowe indukują falę bieżącą w falowodzie wyjściowym. Każdy falowód posiada sić składającą się z 10 szczelin rezonujących, dających opóźnienie fazy $\pi/2$ na szczelinę przy właściwej często-

tliwości. Wymiary rezonatorów są dobrane tak, by uniknąć rezonansów dla fal harmoniczych. Klistron ten może dawać duże moce i szerokie pasmo. Z modelu eksperymentalnego uzyskiwano moc fali ciągłej 32 kW w pasmie X. W trakcie dalszego rozwoju będą przeprowadzane próby osiągnięcia lepszej stabilności i mniejszej zawartości harmoniczych.

4.3. Inne generatory zakłóceń radioelektrycznych

Najważniejszymi generatorami zakłóceń radioelektrycznych są nadajniki komunikacyjne i radarowe oraz lampy nadawcze. Oprócz nich istnieje jednak jeszcze wiele innych źródeł zakłóceń. Niektóre z nich zestawione są w tablicy 2 łącznie z sugerowanymi możliwościami wyeliminowania lub ograniczenia wytwarzanych przez nie zakłóceń. Należy mieć na uwadze, że omówione poniżej filtrowanie i ekranowanie zmniejsza zakłócenia już generowane.

Wybór metody tłumienia zakłóceń radioelektrycznych zależy od różnych założeń projektowych, to znaczy od uwzględnienia takich czynników, jak względne koszty, wymiary i sprawność oraz od stopnia, w jakim muszą być stłumione zakłócenia. Na przykład przetwornica obrotowa może generować mniej zakłóceń niż równoważny półprzewodnikowy konwerter prądu stałego. Mimo że przetwornica półprzewodnikowa wymaga lepszego filtrowania, może okazać się ona bardziej sprawna niż przetwornica obrotowa. Stopień kształtowania impulsów w przetwornicy obrotowej dla zmniejszenia zakłóceń zależy od założonej zależności sprawność - zakłócenia.

T a b l i c a 2

Generatory zakłóceń radioelektrycznych i sposoby zmniejszenia skutków tych zakłóceń

1 Generatory	2 Przyczyny i skutki zakłóceń	3 Metody zmniejszenia zakłóceń
Anteny	<p>Zła orientacja lub bliskość odbiornika, który nie powinien odbierać ich transmisijsji.</p> <p>Słabe wiązania lin, zanieszczone izolatory, skórodowane przewody wytwarzają zakłócenia w szerokim paśmie częstotliwości.</p>	<p>Zmiana orientacji lub lokalizacji anteny lub odbiornika; stosowanie anten o większej kierunkowości; filtr na wejściu odbiornika.</p> <p>Konserwacja zapobiegawcza i właściwa instalacja</p>
Elementy układów	Przeciążone elementy bierne (oporniki, kondensatory, cewki, transformatory) i czynne (lampy i tranzystory)	Praca z zapasem. Zabezpiecza to przed zakłóceniami powodowanymi takimi przyczynami, jak np. iskrzenie w dielektryku przeciążonego kondensatora

Tablica 2 (c.d.)

1	2	3
<p>Przeмиenniki częstotliwości i przetwornice prądu stałego na zmienny</p>	<p>Wytwarzanie i promieniowa- nie w szerokim paśmie za- kłóceń pochodzących od we- wnętrznych przełączy.</p>	<p>Lepsze są przetwornice obrotowe od elektronicznych. Stosowanie ekranowania i filtrowania. Stó- sowanie kształtowania impulsów w przetwornicach elektronicz- nych dla zmniejszenia zakłóceń.</p>
<p>Lampy fluore- scencyjne</p>	<p>Wytwarzanie zakłóceń, któ- re rozchodzą się po przewo- dach linii energetycznych i promieniowanie zakłóceń.</p>	<p>Zastąpienie lamp fluorescencyj- nych oświetleniem żarówkowym lub filtrowanie zakłóceń rozcho- dzących się po przewodach oraz stosowanie szkła przewodzącego dla ekranowania zakłóceń pro- mieniowanych.</p>
<p>Generatory i silniki</p>	<p>Wprowadzanie zakłóceń do linii energetycznych i pro- mieniowanie zakłóceń; gene- ratory prądu zmiennego wy- tworząją również harmonicz- ne.</p>	<p>Unikanie szczotek, komutatorów i pierścieni ślizgowych i stó- sowanie szczotek (lub przewo- dzących smarów) w łożyskach w celu zapobieżenia gromadzenia się ładunków w armaturze; ma- szyny powinny mieć dobrą kon- centryczność; ekranowanie otwo- rów wentylacyjnych i filtrowa- nie przewodów wyjściowych i wejściowych. W maszynach prądu stałego stosowanie konserwacji</p>

Tablica 2 (c.d.)

1	2	3
Systemy iskrowe (zapłonowe)	Promieniowanie w szerokim pasmie zakłóceń powodowanych iskrzeniem wewnętrznym.	zabezpieczającej; duża liczba segmentów komutatora zmniejsza zakłócenia.
Prostowniki rtęciowe	Wytwarzanie w przewodach zakłóceń promieniowanych w szerokim pasmie.	Ekranowanie części układu iskrowego. Kształtowanie (zakręglanie) impulsów iskrowych.
Zasilacze prądu stałego	Zakłócenia rozchodzące się wzdłuż przewodów. Stany przejściowe dają zakłócenia w szerokim pasmie; tętnienia, które są zwykle bardzo małe.	Ekranowanie i filtrowanie względnie zastąpienie w miarę możliwości prostownikami półprzewodnikowymi lub lampami próżniowymi.
Przekładniki	Zakłócenia w przewodach i zakłócenia promieniowane.	Tłumienie stanów przejściowych i filtrowanie tętnień.
Urządzenia chłodnicze	Kompresory silnikowe wytwarzają zakłócenia rozchodzą-	Włączanie układu R-C na kon-takt zabezpieczony lub na ob-ciążenie. Ekranowanie. Stosowanie chłodni termoelek-trycznych.

Tablica 2 (c.d.)

1	2	3
Przełączniki	<p>ce się po przewodach i promieniowane.</p> <p>Wytwarzanie zakłóceń w przewodach i promieniowanych.</p>	<p>Włączanie, jeżeli to jest możliwe, układu R-C na przełącznik.</p>
Termostaty	<p>Wytwarzanie zakłóceń w przewodach i zakłóceń promieniowanych</p>	<p>Uziemienie termostatu i wiązanie układu R-C. Ekranowanie.</p>
Linie i urządzenia energetyczne	<p>Zakłócenia w przewodach i zakłócenia promieniowane w szerokim pasmie powodowane przez: elementy rozdzielcze, źródła zakłóceń przy obciążeniu, zjawiska naturalne takie jak zjawisko korony.</p>	<p>Konserwacja zapobiegawcza (unikanie ostrych punktów linii) i właściwa instalacja; stosowanie w miarę możliwości filtrów; unikanie równoległego prowadzenia linii komunikacyjnych i linii energetycznych; stosowanie ekranowania korony na izolatorach.</p>

4.4. Technika pracy

Liczne problemy zakłóceńowe są rozwiązywane przez odpowiednie rozmieszczenie urządzeń, a w szczególności anten i kabli tak, by chwyciły one i promieniowały jak najmniej zakłóceń. Szczególne znaczenie mają odległości między antenami i orientacja anten.

Technika podziału czasowego lub przydzielania różnych czasów pracy dla urządzeń, które mogą się wzajemnie zakłócać w przypadku pracy równoczesnej, umożliwia praktyczne rozwiązanie wielu sytuacji zakłóceńowych.

Inną metodą stosowaną do wyeliminowania zakłóceń jest odpowiedni podział częstotliwości. Systemy o przestrajanej częstotliwości mają jakby własną ochronę przeciwzakłóceńową, ponieważ operator może uniknąć zakłóceń w zajęczonym kanale przez przestrojenie się na inną częstotliwość; pomaga to również innym użytkownikom kanału.

Dobra instalacja i konserwacja zapobiega wielu zakłóceńom. Znalezienie i wyeliminowanie źródeł zakłóceń w systemie o złej instalacji może być nadszwyczaj trudne i kosztowne. Plany konserwacji zapobiegawczych powinny przewidywać lokalizowanie i eliminowanie potencjalnych źródeł zakłóceń takich, jak iskrzące lampy, skoredowane połączenia między obudowami urządzeń a ziemią, szczotki silników, które powinny być regulowane lub wymienione.

4.5. Filtrowanie

Filtry stosowane są na wyjściach źródeł generujących zakłócenia dla zapobieżenia przedostawania się zakłóceń

z obwodów wewnętrznych. Są one również stosowane na wejściach odbiorników do tłumienia zakłóceń dochodzących łącznie z sygnałem pożądanym lub przez sieć energetyczną. Zakłócenia mogą dostawać się do odbiornika różnymi drogami: przez obwody wejściowe, przez linie zasilające, przez linie kontrolne i przez linie wyjściowe.

Nazwa filtr przeciwzakłóceńowy stosowana jest ogólnie do filtrów dolnoprzepustowych, które tłumią zakłócenia. Jednakże wszystkie filtry są same w sobie urządzeniami przeciwzakłóceńowymi. Tłumią one zakłócenia powstające poza urządzeniem, w którym się znajdują, zabezpieczają przed rozchodzeniem się zakłóceń generowanych wewnątrz urządzenia oraz zabezpieczają przed oddziaływaniem generowanych wewnątrz urządzenia zakłóceń na inne części tego samego urządzenia. Filtry, które tłumią zakłócenia są różnych rozmiarów i spełniają różne funkcje: od dużych filtrów dla dużych mocy stosowanych w nadajnikach (rys. 17b) do delikatnych filtrów kwarcowych stosowanych w obwodach małej mocy nadajników i w odbiornikach. Zakłócenia mogą być tłumione przez filtry zaporowe, pasmowe, dolnoprzepustowe, górnoprzepustowe, jak również przez filtry pułapek falowych.

4.6. Ekranowanie

Skuteczność ekranowania (S) pomieszczenia wynosi

$$S = A + R + B$$

gdzie:

A - jest tłumieniem wynikającym z absorpcji częstotliwości radiowych przez materiał ekranujący,

R - tłumieniem wynikającym z odbicia energii na płaszczyznach zewnętrznych ekranu,

b - tłumieniem wynikającym z odbić wewnętrznych w materiale ekranu (może ono być pominięte, jeżeli A jest większe od 10 dB).

Chociaż powiększanie grubości ekranu może teoretycznie dać pożądaną tłumienie, to jednak koszty, ciężar i wymiary zwykle ograniczają możliwość uzyskania żądanej skuteczności ekranowania. Skuteczność ekranowania ogólnie biorąc maleje ze zmniejszeniem częstotliwości. Wskutek tego typ i rodzaj materiału ekranującego określa najmniejsza częstotliwość, przy której uzyskuje się żądane S. Materiały ferromagnetyczne mające większą przenikalność magnetyczną niż materiały niemagnetyczne zapewniają większą skuteczność ekranowania na mniejszych częstotliwościach. Materiały o dużej przenikalności, takie jak Mu-metal, Permalloy, Netic lub Co-Netic mogą być stosowane dla powiększenia skuteczności ekranowania niskopięciowych pól małej częstotliwości. Miedź, aluminium na równi z materiałami ferromagnetycznymi zapewniają wystarczające ekranowanie dla częstotliwości ponadakustycznych. Nieciągłości w ekranie stwarzają możliwości przenikania zakłóceń. Na przykład pokrywy, łączówki elektryczne, otwory wentylacyjne, wystające drążki skali i mierniki na panelu umożliwiają przedostawanie się zakłóceń do wnętrza.

trza oraz na zewnątrz ekranu, jeżeli nie przewidziano wystarczających zabezpieczeń.

Dla zmniejszenia wpływów przy powierzchniach styku, takich jak drzwi kabiny lub pokrywy, mogą być stosowane osłony z siatki lub sprężyny kontaktowe.

Łączówki elektryczne wejściowe i wyjściowe powinny być uziemione do obudowy. Końce ekranu kabla powinny być dołączone do ich łączówek.

Otwory wentylacyjne powinny być zakryte siatką lub filtrem w kształcie plastra miodu. Poszczególne komórki filtru w kształcie plastra miodu działają jak odcinki falowodów i tłumią wszystkie częstotliwości poniżej ich częstotliwości granicznych.

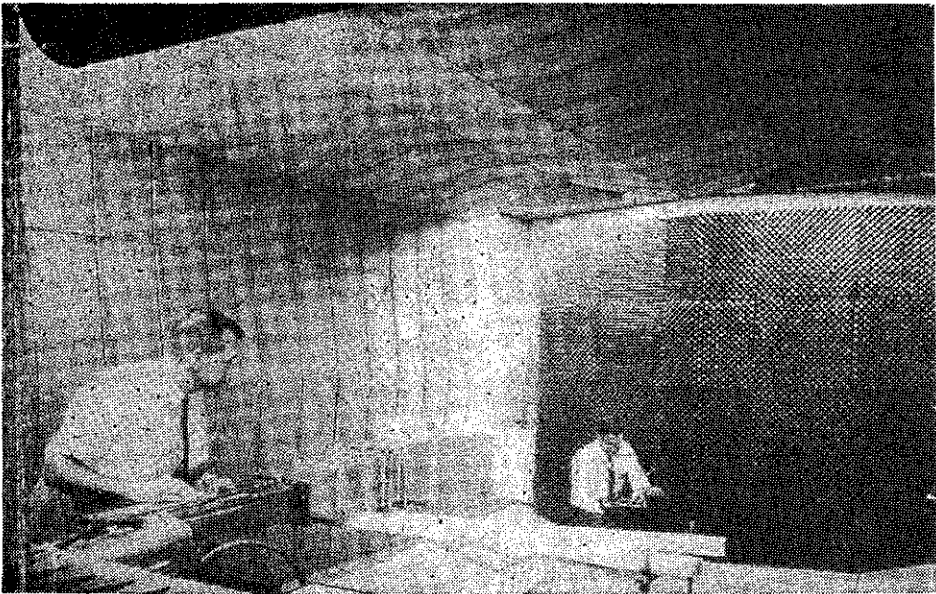
Uplywy przez otwory pomiędzy prętami pokręteł a obudową mogą być wyeliminowane przez przepuszczenie tych prętów przez metalową rurkę połączoną z obudową. Rurka taka działa jak falowód i tłumi zakłócenia o częstotliwościach mniejszych od częstotliwości granicznej.

Dla zapobieżenia wpływom zakłóceń przez bolce żelazne, takie jak śruby, można stosować gwiaździste podkładki lub osłony.

Tylne części mierników i wskaźników powinny być ekranowane (wewnątrz obudowy), a doprowadzenia do nich filtrowane. W celu zabezpieczenia przed wpływami przez wskaźniki stosowane jest również szkło przewodzące.

Należy zaznaczyć, że skutki zakłóceń wewnątrz obudowy mogą być zredukowane przez odpowiedni podział urządzeń na części, a mianowicie przez odizolowanie części podatnych na zakłócenia od części dających zakłócenia.

W pomieszczeniach "bezechowych", w których badane są urządzenia mikrofalowe znalazły zastosowanie materiały pochłaniające mikrofałe, takie jak: piana uretanowa, winyl i epoksydy. Materiałami tymi wykładane są ściany pomieszczenia dla absorpcji rozproszonej energii mikrofalowej. W wyniku tego energia mikrofalowa promieniowana przez urządzenia badane lub urządzenie pomiarowe (rys. 18), która nie została pochłonięta przez właściwe

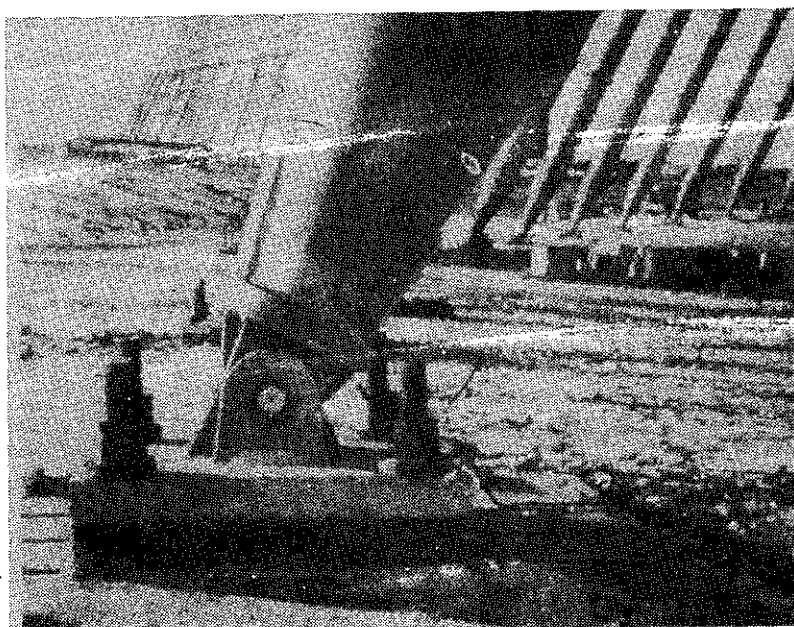


Rys. 18. Materiały absorbujące na ścianach pomieszczenia pomiarowego

urządzenia, jest pochłaniana przez ściany i nie ma odbić. Przy pomiarach w pomieszczeniach ekranowanych dla zmniejszenia odbić są również stosowane materiały absorbujące, ukształtowane w postaci stożków. Zwiększa to stopień powtarzalności i dokładności pomiarów.

4.7. Uziemienia

Ekwipotencjalna (lub tylko w przybliżeniu ekwipotencjalna) płaszczyzna "ziemi" zabezpiecza przed zakłóceniami wynikającymi z nierównych potencjałów ziemi i prądów wyrównawczych. Projekt urządzeń musi przewidywać takie uziemienia (rys. 19).



Rys. 19. Masywne podpory uziemiające anteny systemu. Niewidoczna jest sieć podziemna uziemień, która łączy uziemienia podpór anteny

Ekranowane pary skręconych przewodów promieniują i odbierają mniej zakłóceń. Montaż przewodami skręconymi zmniejsza odbiór pól elektromagnetycznych o małej częstotliwości i małej oporności (gdy składowa magnetyczna (II))

pola jest bardzo duża i promieniowanie nie jest falą płaską), a ekranowanie tłumi składową elektryczną (E) pola przy małych częstotliwościach oraz tłumi zarówno składową E, jak i H pola fali płaskiej przy wielkich częstotliwościach.

Jeżeli obwody dołączone do kabla o skręconych przewodach są podatne na zakłócenia wielkich częstotliwości lub wytwarzają takie zakłócenia oraz długość kabla jest większa od 15λ (gdzie λ jest długością fali o największej częstotliwości, która może interferować z obwodem) należy uziemiać ekran kabla na obu końcach i w punktach odległych co najmniej $0,15 \lambda$ wzdłuż kabla. Ten sposób uziemiania, zwany jest uziemieniem wielopunktowym. Należy również uziemić jedną linię skręconej pary.

Jeżeli natomiast obwody dołączone do kabla o skręconych przewodach są podatne tylko na zakłócenia małej częstotliwości lub wytwarzają takie zakłócenia, należy uziemić ekran tylko na jednym końcu, jest to tzw. uziemienie jednopunktowe. Należy również uziemiać jedną linię pary skręconej na jednym końcu kabla.

Uziemienie jednopunktowe jest w tym przypadku bardziej skuteczne od uziemienia wielopunktowego, ponieważ różne potencjały uziemienia na końcach kabla wytwarzają prąd zakłócający płynący przez uziemiony na obu końcach kabla ekran. Prąd ten indukuje prąd zakłócający w przewodach wewnątrz kabla. Poza tym pole magnetyczne o małej częstotliwości może indukować dostatecznie silne prądy w ekranie, który jest uziemiony w więcej niż w jednym punkcie.

Należy zwrócić uwagę, że zwykle ekran w postaci opłotu miedzianego daje bardzo słabe ekranowanie przy małych (akustycznych) częstotliwościach. Ekran ferromagnetyczne w postaci folii z mu-metalu, neticu i co-neticu lub rurek żelaznych tłumią małoopornościowe pola małej częstotliwości bardziej skutecznie niż opłoty miedziane.

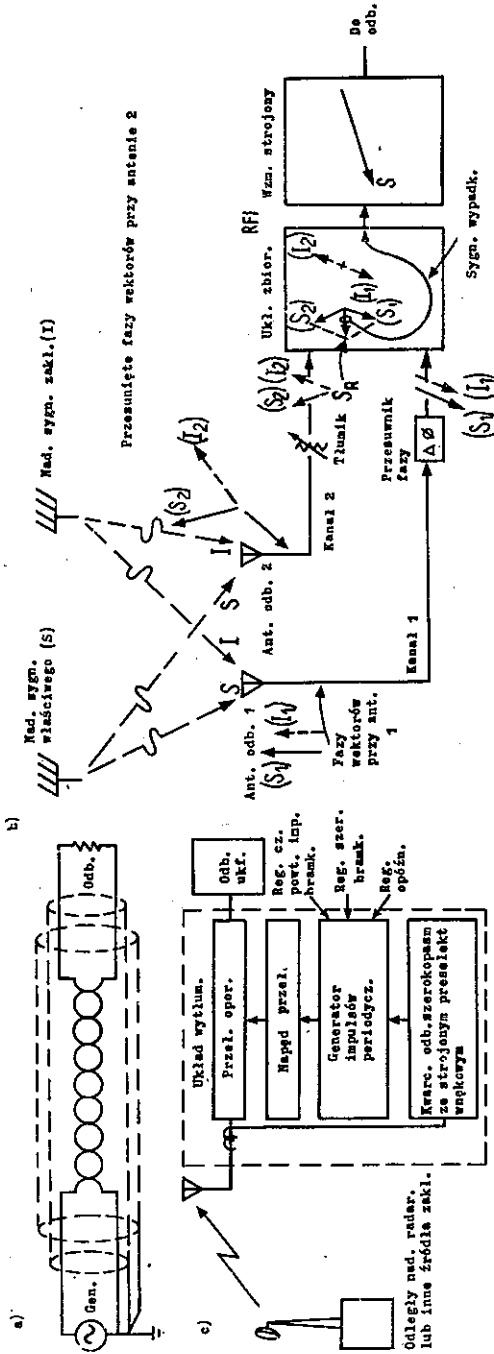
W przypadku stosowania kabli współosiowych należy uziemiać ekran na obu końcach zarówno od strony generatora, jak i odbiornika, jeżeli są one podatne na zakłócenia wielkich częstotliwości lub wytwarzają takowe.

Gdy natomiast kabel koaksjalny jest stosowany do połączenia urządzeń podatnych na zakłócenia małej (akustycznej) częstotliwości, należy uziemiać ekran tylko po jednej stronie.

Ekran podwójne (rys. 20a), gdy ekran wewnętrzny jest elektrycznie odizolowany od ekranu zewnętrznego, mogą być stosowane w celu uzyskania silniejszego ekranowania niż ekran pojedynczy. Należy w tym przypadku uziemiać oba końce ekranu zewnętrznego i jeden koniec ekranu wewnętrznego.

Oporność kabli i układów najlepiej dobierać w granicach od 300 do 600 Ω . Takie oporności są pod względem zakłóceń wartościami kompromisowymi. Przy większych opornościach maleje prąd zakłócenia indukowany w obwodach przez pole magnetyczne, przy mniejszych natomiast opornościach indukuje się mniejsze napięcie od pola elektrycznego.

Kabel należy tak układać, aby odbiór i promieniowanie zakłóceń były najmniejsze.



Rys. 20a) Układ uzienienia kabla, b) stłumienie sygnału zakłócającego metodą przesunięcia fazy, c) układ wytłumiający stosowany do zabezpieczenia odbiorników ultrakrótkofalowych i mikrofalowych przed impulsami radarowymi dużej mocy

4.8. Odbiorniki

W rozdziale tym omówione będą sposoby zmniejszenia czułości na zakłócenia odbiorników komunikacyjnych i radarowych.

Chociaż zakłócenia dochodzące do odbiornika i ich skutki mogą być eliminowane przy antenie odbiorczej oraz w stopniach wielkiej częstotliwości, w stopniach pośredniej częstotliwości, w detektorze, w stopniach małej częstotliwości lub na wyjściu odbiornika, najlepiej jednak stłumić je zanim przedostaną się one daleko w układ odbiornika.

Właściwa lokalizacja i orientacja anteny mogą zlikwidować lub znacznie zmniejszyć zakłócenia wchodzące do dalszych stopni odbiornika. Dla zmniejszenia listków tylnych i bocznych anteny mogą być stosowane materiały odbijające lub absorbujące.

Anteny kierunkowe, takie jak sieci syntazowe, w znacznym stopniu redukują zakłócenia. Należy zwrócić uwagę, że zarówno sposób zasilania, jak i reflektor anteny parabolicznej oddziałują na jej kierunkowość.

Właściwe dopasowanie anteny do odbiornika pomaga zmniejszyć wpływ zakłóceń, ponieważ przy niedopasowaniu maleje czułość odbiornika na sygnał właściwy, a przez to wzrasta czułość na zakłócenia. Ponieważ szerokopasmowe odbiorniki komunikacyjne mogą potrzebować kilku anten dla pokrycia zakresu pracy, należy przewidzieć obwody strojone dla dopasowania wejścia odbiornika do anten w całym zakresie pracy.

Jeżeli sygnał właściwy i zakłócenia mają różne polaryzacje, można uzyskać optymalne warunki odbioru przez zastosowanie anteny o właściwej polaryzacji.

Na rysunku 20 b) pokazano układ z "przesuwaniem fazy" stosowany do tłumienia zakłóceń na wejściu. Ponieważ nadajnik sygnału (S) i nadajnik zakłóceń (I) znajdują się zwykle w różnych odległościach od odbiornika, ich fale będą miały ogólnie biorąc różne fazy przy dwu antenach odbiorczych, oddalonych od siebie o część długości fali. Na przykład, faza sygnału właściwego S_2 przy antenie Nr 2 jest opóźniona w stosunku do fazy S_1 tego sygnału przy antenie Nr 1. Operator przesuwą fazę zakłóceń S_1 i odpowiednio je tłum, by znosiły się z zakłóceniami S_2 w układzie zbiorczym. Zostanie przy tym również przesunięta faza sygnału właściwego S_1 , jednakże nie na tyle, by była ona w fazie przeciwnej w stosunku do S_2 . W układzie zbiorczym powstanie pewien wypadkowy sygnał właściwy (suma wektorowa), który wzmocniony doprowadzony jest do odbiornika.

4.9. Wygaszanie

Zakłócające sygnały w odbiorniku radarowym mogą być stłumione metodą wygaszania listka bocznego (side-lobe blanking). Jeżeli główna wiązka promieniowania anteny radarowej skierowana jest w jakimś kierunku, ale nie w kierunku źródła zakłóceń, antena dookólna dołączona do odbiornika pomocniczego odbiera silniejszy sygnał zakłócający niż antena radarowa. Wyjście odbiornika pomocni-

czego dołączone jest podobnie jak i wyjście odbiornika radarowego na układ porównujący amplitudy, który wygasza radar, jeżeli sygnał odebrany przez antenę nicksrunkową jest silniejszy od sygnału odbieranego przez antenę radarową. W ten sposób tłumione są zakłócenia od listków bocznych.

W niektórych radarach dla wyeliminowania zakłóceń stosowana jest metoda wygaszania wycinkowego (sector-blanking). W tym przypadku zmniejszana jest czułość odbiornika radarowego, jeżeli antena jest skierowana na źródło zakłóceń.

Na rys. 20c) pokazano układ wygaszania, w którym zastosowano szerokopasmowy przełącznik półprzewodnikowy dla zabezpieczenia odbiornika mikro- lub ultrakrótkofalowego przed oddziaływaniem radaru o dużej mocy. Odbiornik pomocniczy otwiera przełącznik diodowy, gdy wspólna antena odbiera sygnał radarowy na tyle silny, by mógł on uszkodzić lub zmniejszyć czułość odbiornika właściwego. Odbiornik pomocniczy jest dostrojony raczej do częstotliwości źródła zakłóceń niż do częstotliwości pracy odbiornika właściwego. W przypadku gdy nadajnik radarowy znajduje się w pobliżu zakłócanego odbiornika mikro- lub ultrakrótkofalowego, impulsy synchronizujące radaru mogą być przesyłane bezpośrednio za pomocą kabla do generatora impulsów układu wygaszającego.

Radar może być zabezpieczony przed zakłóceniami od innych radarów pracujących z inną częstotliwością powtarzania impulsów metodą dyskryminacji częstotliwości powtarzania impulsów. Radar w tym przypadku próbuje czę-

stotliwości powtarzania impulsów z pewnej liczby odbieranych impulsów. Jeżeli częstotliwość powtarzania impulsów jest odpowiednia, urządzenie powiadamia układy odbierające informacje o obecności celu.

W przypadku gdy znana jest amplituda właściwego sygnału, możliwe jest stosowanie metody dyskryminacji amplitudowej do eliminowania sygnałów zakłócających o amplitudach zarówno dużo większych, jak dużo mniejszych od sygnału właściwego.

4.10. Ograniczanie i preselekcja

W celu zabezpieczania odbiornika przed niepożądanymi sygnałami o dużej mocy mogą być stosowane wprost na jego wejściu ograniczniki półprzewodnikowe lub lampowe. Ograniczniki półprzewodnikowe są w stanie ograniczyć moc szczytową rzędu setek kilowatów, dochodzącą na ich wejście, do dziesiątek miliwatów na wyjściu.

W celu wyeliminowania sygnałów zakłócających przy równoczesnym przepuszczeniu sygnału właściwego mogą być stosowane na wejściu odbiornika filtry wętkowe, krystaliczne lub LC. Stosowanie wzmacniaczy wielkiej częstotliwości z podwójnymi obwodami sprzężonymi dopomaga do wyeliminowania zakłóceń i równocześnie zmniejsza poziom promieniowania sygnałów o częstotliwości oscylatora lokalnego, które mogą dochodzić do anteny.

