

MINISTERSTWO ŁĄCZNOŚCI

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI
BIBLIOTEKA NAUKOWA

Nr _____

PRACE
INSTYTUTU ŁĄCZNOŚCI

ROK XX

ZESZYT 4(72)

WARSZAWA

WYDAWNICTWA KOMUNIKACJI i ŁĄCZNOŚCI

SPIS TREŚCI

<i>Daniel Józef Bem</i> — Projektowanie telewizyjnych anten nadawczych dla zakresu fal decymetrowych	3
<i>Andrzej Pilatowicz, Jerzy Zieliński</i> — Zagadnienia zakłóceń radioelektrycznych powodowanych przez urządzenia elektroenergetyczne	32

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Д.Ю. Бем</i> — Проектирование телевизионных передающих антенн для диапазона дециметровых волн	
<i>А. Пилатович, Я. Зелински</i> — Вопросы радиопомех, вызываемых электроэнергетическими устройствами	

CONTENS

<i>D. J. Bem</i> — Projecting of television transmitting antennas for decimetric wave range. . .	3
<i>A. Pilatowicz, J. Zieliński</i> — Problems of radio interferences caused by electrical energy instalations.	32

SOMMAIRE

<i>D. J. Bem</i> — Projets des antennes émetteurs de télévision sur les ondes décimétriques. . .	3
<i>A. Pilatowicz, J. Zieliński</i> — Problèmes des perturbations causées par les installations du réseau d'énergie électronique.	3

INHALTSVERZEICHNIS

<i>D. J. Bem</i> — Projektierung der Fernsehseantennen für Dezimeterwellenbereich. . . .	3
<i>A. Pilatowicz, J. Zieliński</i> — Probleme der Funkstörungen von Starkstromeinrichtungen	32

MINISTERSTWO ŁĄCZNOŚCI

PRACE
INSTYTUTU ŁĄCZNOŚCI

ROK XX

ZESZYT 4(72)

WARSZAWA

WYDAWNICTWA KOMUNIKACJI i ŁĄCZNOŚCI

Komitet Redakcyjny

Redaktor Naczelny — *prof. mgr inż. Lesław Kędziński*

Redaktorzy działów:

adj. mgr inż. Aleksy Brodowski, doc. mgr inż. Jerzy Wójcikiewicz
Sekretarz Redakcji — *Janina Janicka*

Adres Redakcji:

Institut Łączności, Warszawa — Miedzeszyn, ul. Szachowa 1

WSZELKIE PRAWA ZASTRZEŻONE

Printed in Poland

Opracowano w Dziale Wydawniczym Instytutu Łączności

DANIEL JÓZEF. BEM

621.396.67:621.39

PROJEKTOWANIE TELEWIZYJNYCH ANTEN NADAWCZYCH DLA ZAKRESU FAL DECYMETROWYCH

Wyzyskanie zakresu fal decymetrowych na potrzeby telewizji stwarza nowe możliwości oraz stawia nowe wymagania w stosunku do urządzeń antenowych. Choć istnieje możliwość osiągnięcia dużych zysków energetycznych, to istotną sprawą staje się ukształtowanie dolnego zbocza pionowej charakterystyki anteny, zapewniające równomierny w przybliżeniu rozkład natężenia pola w funkcji odległości.

Praca zawiera metody kształtowania charakterystyki promieniowania anteny w płaszczyźnie pionowej i poziomej oraz charakterystyki promieniowania anten typowych, przewidzianych do stosowania w krajowej sieci telewizyjnej. Podane są również wymagania co do sztywności podpory, na której jest umocowana antena.

1. WSTĘP

Szybki rozwój telewizji programowej i związane z nim wyzyskanie kanałów, leżących w zakresie fal metrowych (VHF), spowodowały konieczności przejścia do zakresu fal decymetrowych (UHF), obejmującego częstotliwości od 470 do 790 MHz (kanały 21 do 60)*). Wyzyskanie zakresu fal decymetrowych stwarza nowe możliwości oraz stawia dodatkowe wymagania w stosunku do urządzeń antenowych stosowanych w zakresie fal metrowych [17]. Istnieje przede wszystkim możliwość osiągnięcia znacznie większych zysków energetycznych, o wartościach przekraczających nawet 50 (względem dipola półfalowego). Przy tak dużym zysku energetycznym istotną sprawą staje się odpowiednie ukształtowanie dolnego zbocza pionowej charakterystyki promieniowania, zapewniające w przybliżeniu równomierny rozkład natężenia pola w funkcji odległości. Jednocześnie należy zapewnić dostateczną sztywność podpory, na której jest umocowana antena, aby utrzymać w dopuszczalnych granicach wahania natężenia pola w miejscach odbioru, spowodowane odkształceniami podpory pod wpływem parcia wiatru i nasłonecznienia.

W zakresie fal decymetrowych stosuje się głównie dwa rodzaje anten: anteny szczelinowe oraz anteny złożone z płaszczyznowych elementów antenowych.

Anteny szczelinowe są licznie stosowane w Stanach Zjednoczonych A. P. Anteny te odznaczają się prostą konstrukcją, możliwością doprowadzania bardzo dużej

*) W niektórych krajach zakres fal decymetrowych obejmuje częstotliwości 470-854 MHz (kanały 21 do 68).

mocy w. cz., dużą niezawodnością oraz niską ceną. Wady anten szczelinowych to: wąskopasmowość, ograniczająca zakres pracy anteny do jednego kanału, oraz utrudnione strojenie.

W Europie stosuje się przede wszystkim anteny złożone z płaszczyznowych elementów antenowych. W projekcie polskiej sieci telewizyjnej dla zakresu fal decymetrowych założono, że jedna antena będzie wyzyskiwana do emisji programów telewizyjnych w dwóch lub trzech kanałach. W tej sytuacji pasmo robocze anteny powinno obejmować cały zakres fal decymetrowych (470–790 MHz), co przesądza o stosowaniu anten złożonych z płaszczyznowych elementów antenowych. W dalszych partiach artykułu będą omówione problemy związane z projektowaniem tego rodzaju anten.

2. KSZTAŁTOWANIE CHARAKTERYSTYKI PROMIENIOWANIA W PŁASZCZYŹNIE PIONOWEJ

2.1. Optymalny kształt pionowej charakterystyki promieniowania

Kształt pionowej charakterystyki promieniowania anteny decyduje o jej zysku energetycznym oraz o rozkładzie natężenia pola w funkcji odległości od anteny. Największy zysk energetyczny osiąga się w jednorodnych układach antenowych*). W pionowej charakterystyce promieniowania takich układów występują jednak miejsca zerowe, w których natężenie pola spada teoretycznie do zera, a praktycznie — osiąga głębokie minima. Największe znaczenie ma pierwsze miejsce zerowe γ_1 , którego położenie jest określone zależnością

$$\gamma_1^0 \approx 57,3 \frac{\lambda}{L} = \frac{70}{G_{\lambda/2}} \quad (1)$$

przy czym:

λ — długość fali

L — wysokość anteny

$G_{\lambda/2}$ — zysk energetyczny anteny względem dipola półfalowego

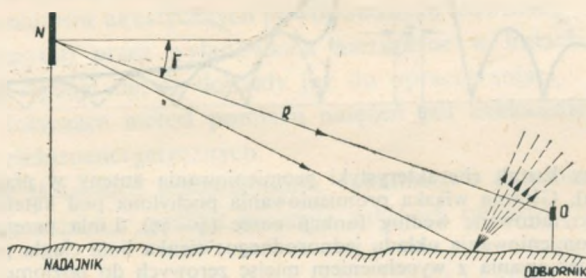
Występowanie miejsc zerowych w charakterystyce promieniowania anteny prowadzi do pojawienia się stref martwych, w których nie ma odbioru telewizyjnego. Odległość stref martwych od anteny nadawczej jest w przybliżeniu proporcjonalna do zysku energetycznego i wysokości zawieszenia anteny H . W strefie martwej związanej z pierwszym miejscem zerowym obowiązuje następującą zależność

$$R_{sm1} = 0,82 G_{\lambda/2} \cdot H \quad (2)$$

*) Przez jednorodny układ antenowy rozumie się taki układ, w którym wszystkie źródła charakteryzują się jednakową mocą przy jednostajnej progresji fazy. Podane stwierdzenie nie dotyczy superkierunkowych układów antenowych

W przypadku anten o zyskach energetycznych nie przekraczających 10 i wysokości zawieszenia nie większej niż 250 m strefy martwe występują tak blisko anteny, że praktycznie nie wpływają na warunki odbioru. W miarę zwiększania zysku energetycznego strefy martwe oddalają się od anteny i obejmują swym zasięgiem większą liczbę odbiorców programu telewizyjnego. Aby zapewnić poprawne warunki odbioru, należy w tym przypadku odpowiednio ukształtować dolne zbcze pionowe charakterystyki promieniowania anteny.

Stwierdzono eksperymentalnie, że w zakresie fal decymetrowych średnia wartość natężenia pola jest w przybliżeniu równa natężeniu pola fali bezpośredniej, ponieważ wskutek nieregularności terenu fala odbita ulega prawie całkowitemu rozproszeniu [13]. Przy założeniu płaskiej ziemi i izotropowej anteny nadawczej, natężenie pola w punkcie odbioru O (rys. 1) jest odwrotnie proporcjonalne do odległości R między anteną nadawczą a anteną odbiorczą, a więc jest proporcjonalne do sinususa kąta γ , jaki tworzy prosta NO z płaszczyzną poziomą. Wynika stąd, że antena, której charakterystyka promieniowania w płaszczyźnie pionowej jest proporcjonalna do $\cos \gamma$, będzie wytwarzała równomierne pole w obszarze, w którym można pominąć krzywiznę ziemi.



Rys. 1. Fala bezpośrednia i fala rozproszona w zakresie fal decymetrowych

W przypadku wysoko umieszczonych anten kąt widzenia horyzontu radiowego γ_r różni się od zera i może być określony na podstawie zależności

$$\gamma_r^\circ = 57,3 \sqrt{\frac{2H}{a_r}} \quad (3)$$

przy czym $a_r = 8500$ km jest zastępczym promieniem ziemi przy średniej refrakcji.

Wartości kąta widzenia horyzontu radiowego dla kilku wysokości zawieszenia anteny nadawczej podano w tabl. 1

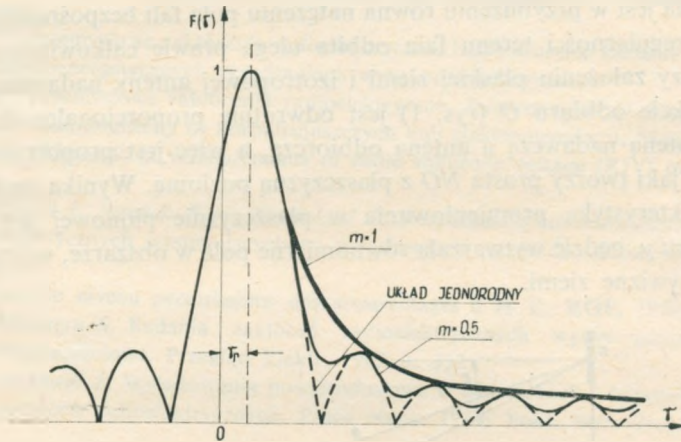
Tablica 1

Kąt widzenia horyzontu radiowego

H m	100	200	300	400	500	600
γ_r°	0,28	0,39	0,48	0,56	0,62	0,68

W celu zapewnienia możliwie optymalnego rozkładu pola w funkcji odległości od anteny należy więc pochylić ku ziemi główną wiązkę promieniowania pod kątem θ oraz ukształtować jej dolne zбочe według funkcji cosec $(\gamma - \gamma_r)$.

Na rysunku 2 przedstawiono przykład optymalnej charakterystyki promieniowania w płaszczyźnie pionowej. Na tym samym rysunku pokazano również charakterystykę promieniowania układu jednorodnego. Zauważmy, że charakterystyka kosekansowa pokrywa się z obwiednią listków bocznych charakterystyki układu



Rys. 2. Optymalny kształt charakterystyki promieniowania anteny w płaszczyźnie pionowej (gruba linia ciągła). Główna wiązka promieniowania pochylona pod kątem γ_r ; dolne zбочe charakterystyki ukształtowane według funkcji cosec $(\gamma - \gamma_r)$. Linia przerywana przedstawia charakterystykę promieniowania układu jednorodnego; cienka linia ciągła przedstawia charakterystykę promieniowania z wypełnieniem miejsc zerowych do poziomu $m = 0,5$

jednorodnego. Wprowadzimy pojęcie współczynnika wypełnienia miejsc zerowych charakterystyki promieniowania układu jednorodnego. W charakterystyce kosekansowej współczynnik ten przyjmuje wartość równą jedności, w praktycznie realizowanych charakterystykach może on przyjmować zarówno mniejsze, jak i większe wartości. Na tym samym rysunku pokazano także kształt charakterystyki promieniowania, gdy współczynnik wypełnienia miejsc zerowych m jest równy 0,5.

2.2. Sposób uzyskania kosekansowej charakterystyki promieniowania

Zadanie syntezy kosekansowej charakterystyki promieniowania można rozwiązać różnymi metodami [1, 7, 8, 9]. Z teorii anten wiadomo, że charakterystyka promieniowania anteny i rozkład pola w aperturze są ze sobą związane poprzez transformację Fouriera. Znając charakterystykę promieniowania można więc wyznaczyć rozkład pola w aperturze anteny. W celu jednoznacznego określenia rozkładu

poła w aperturze trzeba jednak znać zarówno charakterystykę amplitudową, jak i fazową. W omawianym przypadku jest zadany tylko kształt charakterystyki amplitudowej, można więc narzucić dodatkowy warunek na rozkład pola w aperturze. Ze względu na uproszczenie sposobu zasilania anteny dogodnie będzie zażądać, aby wszystkie elementy anteny były zasilane jednakową mocą. Zadanie to sprowadza się do znalezienia rozkładu fazy w aperturze, zapewniającego kosekansową charakterystykę promieniowania anteny. Zadanie to można rozwiązać metodą stacjonarnej fazy [8, 9].

Przede wszystkim należy rozważyć aperturę o długości L z ciągłym rozkładem pola (rys. 3). Zespólna charakterystyka promieniowania takiego źródła wyraża się następującym wzorem:

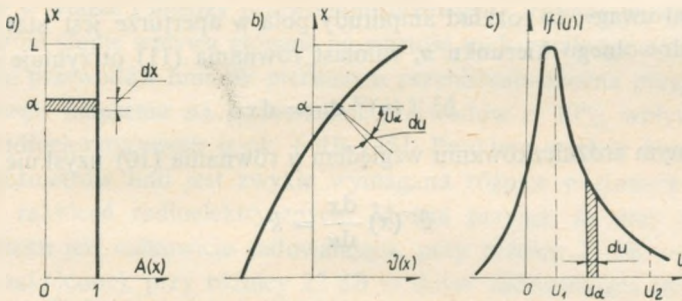
$$f(\gamma) = \int_0^L A(x) e^{j\theta(x)} e^{-jkx \sin \gamma} dx \quad (4)$$

przy czym:

$A(x) e^{j\theta(x)}$ — rozkład pola w aperturze

$k = 2\pi/\lambda$ — stała propagacji w swobodnej przestrzeni

γ — kąt mierzony od normalnej do płaszczyzny apertury w kierunku ujemnych wartości x



Rys. 3. Synteza kosekansowa charakterystyki promieniowania metodą stacjonarnej fazy
 a) rozkład amplitudy pola w aperturze, b) rozkład fazy pola w aperturze, c) charakterystyka promieniowania; α — punkt stacjonarnej fazy, odpowiadający kierunkowi u_α ; u_1, u_2 — granice syntezowanej charakterystyki promieniowania

Wprowadzając nową zmienną

$$u = \sin \gamma \quad (5)$$

oraz narzucając warunek stałości amplitudy pola w aperturze

$$A(x) = \text{const} \quad (6)$$

można wyrażenie (4) przepisać w postaci

$$f(u) = \frac{1}{b} \int_0^L e^{j[\theta(x) - kux]} dx \quad (7)$$

w której b jest współczynnikiem proporcjonalności.

Jeżeli długość apertury jest bardzo duża w porównaniu z długością fali, to funkcja podcałkowa w wyrażeniu (7) jest funkcją szybko oscylującą wszędzie, z wyjątkiem otoczenia punktu stacjonarnej fazy. Punkt stacjonarnej fazy, odpowiadający określonemu kierunkowi u_α , znajduje się obliczając pochodną wykładnika funkcji eksponencjalnej i przyrównując ją do zera.

$$\frac{\partial}{\partial x} [\vartheta(x) - ku_\alpha x] = 0 \quad (8)$$

stąd

$$\vartheta'(x)|_{x=\alpha} = ku_\alpha \quad (9)$$

przy czym α jest punktem stacjonarnej fazy odpowiadającym kierunkowi u_α . Dla dowolnego kierunku u

$$\vartheta'(x) = ku \quad (10)$$

Stosownie do podanego wyżej założenia można uważać, że energia zawarta w elemencie apertury dx w otoczeniu punktu stacjonarnej fazy α jest wypromieniowana w elemencie kąta du w otoczeniu kierunku u_α . Słuszne jest więc następujące równanie

$$|A(\alpha)|^2 dx = |f(u_\alpha)|^2 du \quad (11)$$

Biorąc pod uwagę, że rozkład amplitudy pola w aperturze jest stały oraz przechodząc do dowolnego kierunku u , zamiast równania (11) otrzymuje się

$$b^2 |f(u)|^2 du = dx \quad (12)$$

Po obustronnym zróżniczkowaniu względem u równania (10) uzyskuje się

$$\vartheta''(x) \frac{dx}{du} = k \quad (13)$$

stąd

$$du = \frac{1}{k} \vartheta''(x) dx \quad (14)$$

Podstawiając zależność (14) do równania (12) otrzymuje się

$$b^2 |f(u)|^2 \vartheta''(x) - k = 0 \quad (15)$$

Jest to równanie różniczkowe, na podstawie którego można wyznaczyć rozkład fazy $\vartheta(x)$ zapewniający żądany kształt charakterystyki promieniowania $f(u)$. Przy syntezie kosekansowej charakterystyki promieniowania

$$f(u) = \frac{1}{u} \quad (16)$$

równanie (2-15) sprowadza się więc do postaci

$$b^2 \vartheta''(x) - ku^2 = 0 \quad (17)$$

Korzystając z zależności (10) zamiast równania (17) otrzymuje się

$$\vartheta''(x) - \frac{1}{b^2 k} [\vartheta'(x)]^2 = 0 \quad (18)$$

Przyjmując

$$\vartheta'(x) = \frac{1}{z} \quad (19)$$

oraz

$$\vartheta''(x) = \frac{\partial}{\partial x} \vartheta'(x) = -\frac{1}{z^2} \frac{\partial z}{\partial x} = -\frac{z'}{z^2} \quad (20)$$

Równanie (18) można sprowadzić do postaci

$$-\frac{z'}{z^2} - \frac{1}{b^2 k} \frac{1}{z^2} = 0 \quad (21)$$

albo

$$z' = -\frac{1}{b^2 k} \quad (22)$$

Całkując równanie (22) otrzymuje się

$$z = -\frac{1}{b^2 k} x + C \quad (23)$$

przy czym C jest stałą całkowania.

Stosownie do zależności (19) pochodna funkcji rozkładu fazy wyraża się wzorem

$$\vartheta'(x) = \frac{1}{C - \frac{x}{b^2 k}} \quad (24)$$

Charakterystykę kosekansową można uzyskać tylko w ograniczonym obszarze

$$u_1 \leq u \leq u_2 \quad (25)$$

Dla dolnego krańca apertury ($x = 0$) z równania (9) otrzymuje się

$$\vartheta'(x)|_{x=0} = ku_1 \quad (26)$$

Podstawiając $x = 0$ do równania (24) oraz korzystając z zależności (26) można wyznaczyć stałą całkowania C

$$C = \frac{1}{ku_1} \quad (27)$$

Wstawiając wyrażenie (27) do równania (24) otrzymuje się

$$\vartheta'(x) = \frac{ku_1}{1 - \frac{u_1}{b^2} x} \quad (28)$$

Całkując równanie (28) wyznacza się rozkład fazy zapewniający kosekansową charakterystykę promieniowania w zakresie

$$u_1 \leq u \leq u_2$$

Stałą całkowania można przy tym pominąć.

$$\vartheta(x) = -kb^2 \ln \left(1 - 2\pi \frac{u_1}{kb^2} \frac{x}{\lambda} \right) \quad (29)$$

Współczynnik proporcjonalności b wyznacza się z warunku, że górny kraniec apertury ($x = L$) powinien być punktem stacjonarnej fazy dla kierunku u_2 , otrzymuje się więc

$$\vartheta'(x)|_{x=L} = ku_2 \quad (30)$$

oraz

$$\vartheta'(x)|_{x=L} = \frac{ku_1}{1 - \frac{u_1}{b^2} L} \quad (31)$$

Porównując wyrażenia (30) i (31) znajduje się

$$b^2 = \frac{L}{\frac{1}{u_1} - \frac{1}{u_2}} \quad (32)$$

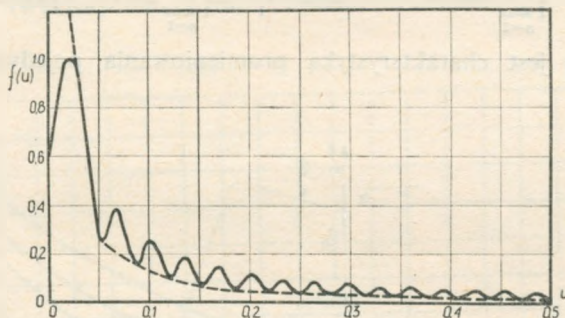
Wzory (29) oraz (32) określają rozkład fazy zapewniający kosekansową charakterystykę promieniowania w przedziale od $\gamma_1 = \arcsin u_1$ do $\gamma_2 = \arcsin u_2$. Kąt γ_2 przyjmuje się zwykle równy 30° . Dobór kąta γ_1 zależy od poziomu, do jakiego należy wypełnić miejsca zerowe; współczynnik wypełnienia miejsc zerowych jest bowiem proporcjonalny do pierwiastka kwadratowego z $\sin \gamma_1$. Przy $\sin \gamma_1 = \lambda/2L$ współczynnik wypełnienia dla pierwszego miejsca zerowego jest nieco większy niż 100% i rośnie do około 140% dla 3, 4 i 5 miejsca zerowego.

Przedstawione wyżej rozumowanie może być stosowane również do dyskretnych układów antenowych. W tym przypadku fazę prądu w źródłach wyznacza się również na podstawie wzoru (29) przyjmując jako x współrzędną źródła. Przykładowo na rys. 4 przedstawiono charakterystykę promieniowania układu antenowego złożonego z 32 źródeł izotropowych z wypełnieniem miejsc zerowych do poziomu $m = 0,8$.

Wypełnienie miejsc zerowych charakterystyki promieniowania powoduje zmniejszenie zysku energetycznego anteny. Zysk energetyczny anteny z wypełnieniem

miejsce zerowych można w przybliżeniu określić na podstawie szerokości głównej wiązki promieniowania α_v (dla spadku 3 dB).

$$G_{\lambda/2} = \frac{62,3}{\alpha_v^0} \quad (33a)$$



Rys. 4. Charakterystyka promieniowania układu antenowego złożonego z 32 źródeł izotropowych, rozmieszczonych w odległościach równych długości fali, z wypełnieniem miejsc zerowych do poziomu $m = 0,8$

Wzór (33a) jest słuszny, jeśli odległości między źródłami są równe połowie długości fali; przy większych odległościach między źródłami, współczynnik we wzorze (33a) należy zmniejszyć. Do spotykanych w praktyce układów można stosować następujący wzór:

$$G_{\lambda/2} = \frac{55}{\alpha_v^0} \quad (33b)$$

Do budowy anten telewizyjnych stosuje się wielodipolowe elementy antenowe. Jako fazę zasilania elementu antenowego przyjmuje się fazę odpowiadającą położeniu środka elementu.

W rozkładzie fazy określonym wzorem (29) punktem odniesienia jest podstawa anteny ($x = 0$), dla której $\vartheta(0) = 0$. Największe nachylenie rozkładu fazy występuje przy wierzchołku anteny ($x = L$). Charakterystyka promieniowania nie ulega zmianie, jeśli przyjmie się odwrotny rozkład fazy $-\vartheta(L-x)$. Największe nachylenie występuje teraz przy podstawie anteny, a fazy poszczególnych elementów antenowych wyrażają się zależnością

$$\vartheta_n = kb^2 \ln \left[1 - 2\pi \frac{u_1}{kb^2} \frac{d}{\lambda} \left(N - n + \frac{1}{2} \right) \right] \quad (34)$$

$n=1, 2, \dots, N$

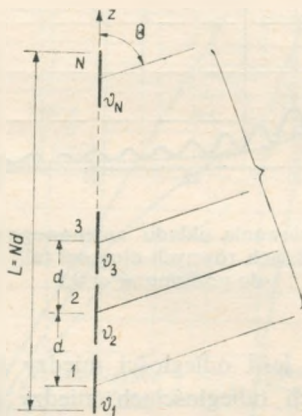
przy czym d jest odległością między elementami antenowymi.

Charakterystyka promieniowania układu antenowego złożonego z N elementów antenowych (rys. 5) jest określona wzorem

$$f(\Theta) = V(\Theta) \left| \sum_{n=1}^N e^{j(\vartheta_n + nkd \cos \Theta)} \right| =$$

$$= V(\Theta) \sqrt{\left[\sum_{n=1}^N \cos(\vartheta_n + nkd \cos \Theta) \right]^2 + \left[\sum_{n=1}^N \sin(\vartheta_n + nkd \cos \Theta) \right]^2} \quad (35)$$

przy czym $V(\Theta)$ jest charakterystyką promieniowania pojedynczego elementu antenowego.



Rys. 5. Układ antenowy złożony z N elementów antenowych

2.3. Obliczenia charakterystyk promieniowania

Korzystając ze wzoru (34) obliczono rozkład faz dla układu antenowego złożonego z 16 pięter, przyjmując odległość między piętrami $d = 1164$ mm oraz $\gamma_2 = 30^\circ$ ($u_2 = 0,5$). Obliczenia wykonano dla częstotliwości 600 MHz i dla kilku wartości parametru kb^2 . Wyniki obliczeń przedstawiono w tabelicy 2.

Charakterystyki promieniowania obliczone według wzoru (35) dla rozkładów podanych w tabelicy 2 przedstawiono na rys. 6. Na rysunku pokazano także charakterystyki promieniowania układu jednorodnego ($kb^2 = 0$). Ze zmianą parametru kb^2 zmienia się kształt, wartość maksymalna oraz pochylenie charakterystyki promieniowania.

Pochylenie głównej wiązki promieniowania jest na ogół większe niż kąt widzenia horyzontu radiowego. Do rozkładu określonego wzorem (34) należy więc dodać następującą poprawkę:

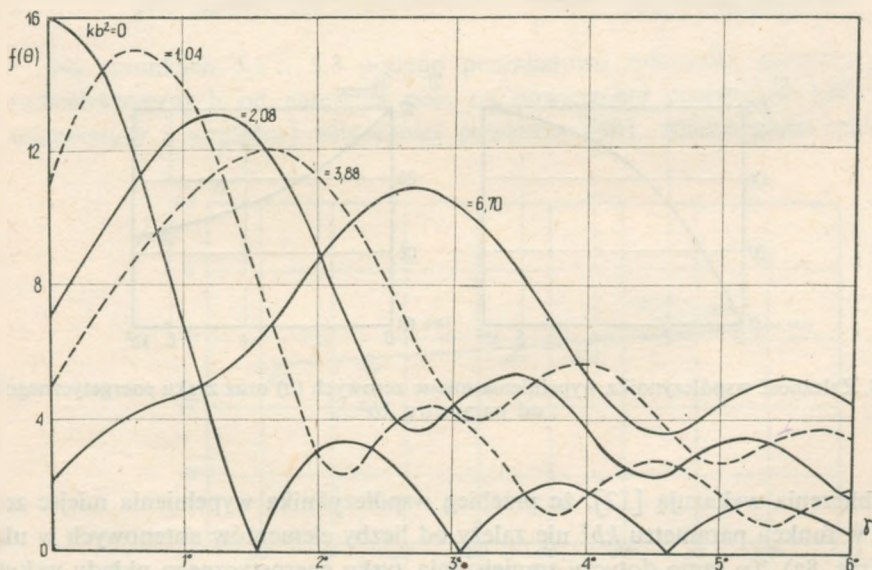
$$\Delta \vartheta_n = kd(N-n) \sin(\gamma_m - \gamma_r) \quad (36)$$

przy czym γ_m jest kątem maksymalnego promieniowania dla rozkładu fazy według wzoru (34).

Tablica 2

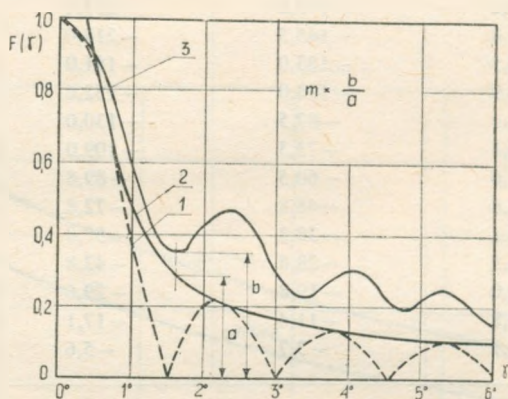
Rozkład fazy w 16-piętrowej antenie obliczony według wzoru (34)

Numer piętra	θ_n stopnie			
	$kb^2 = 1,04$	$kb^2 = 2,08$	$kb^2 = 3,88$	$kb^2 = 6,70$
1	-188,0	-362,0	-494,0	-910,0
2	-135,5	-262,0	-374,0	-737,0
3	-106,7	-209,0	-304,0	-607,0
4	-88,2	-173,0	-253,4	-512,0
5	-74,0	-145,5	-214,0	-434,0
6	-62,5	-123,0	-181,0	-372,0
7	-52,9	-104,0	-152,6	-314,0
8	-44,4	-87,5	-130,0	-286,0
9	-37,1	-73,3	-109,0	-227,0
10	-30,6	-60,5	-89,8	-185,0
11	-24,8	-48,8	-72,8	-150,0
12	-19,4	-38,3	-57,0	-124,0
13	-14,5	-28,8	-42,8	-88,3
14	-10,0	-19,8	-29,6	-60,8
15	-5,8	-11,4	-17,1	-35,4
16	-1,9	-3,7	-5,6	-9,7

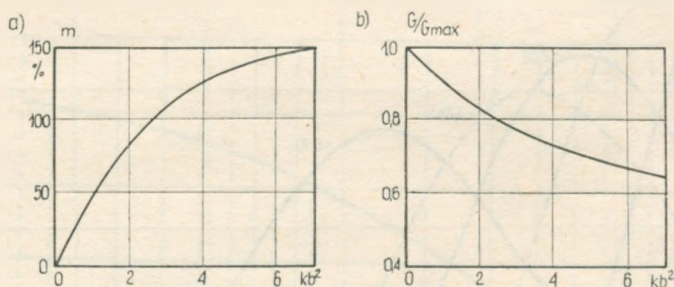


Rys. 6. Charakterystyki promieniowania 16-piętrowego układu antenowego

Sposób wyznaczenia współczynnika wypełnienia miejsc zerowych ilustruje rys. 7. Korzysta się przy tym z właściwości charakterystyki układu jednorodnego, której obwiednia przebiega według funkcji $\text{cosec } \gamma$. Charakterystykę z wypełnionymi miejscami zerowymi normuje się do jedności i wrysowuje na wykres tak, aby kąt maksymalnego promieniowania przypadał na 0° . Stosunek wartości charakterystyki z wypełnieniem miejsc zerowych do wartości charakterystyki kosekansowej odpowiedniego miejsca zerowego wyznacza współczynnik wypełnienia tego miejsca.



Rys. 7. Sposób obliczania współczynnika wypełnienia miejsc zerowych
 — charakterystyka promieniowania układu jednorodnego, 2 — charakterystyka kosekansowa, 3 — charakterystyka z wypełnieniem miejsc zerowych



Rys. 8. Zależność współczynnika wypełnienia miejsc zerowych (a) oraz zysku energetycznego (b) od parametru kb^2

Obliczenia wykazują [12], że przebieg współczynnika wypełnienia miejsc zerowych w funkcji parametru kb^2 nie zależy od liczby elementów antenowych w układzie (rys. 8a). To samo dotyczy zmniejszenia zysku energetycznego układu wskutek wypełnienia miejsc zerowych (rys. 8b).

Ważną zaletą metody stacjonarnej fazy jest mały poziom charakterystyki nad horyzontem. Poziom ten maleje ze wzrostem liczby elementów antenowych w układzie.

2.4. Charakterystyki promieniowania typowych układów antenowych

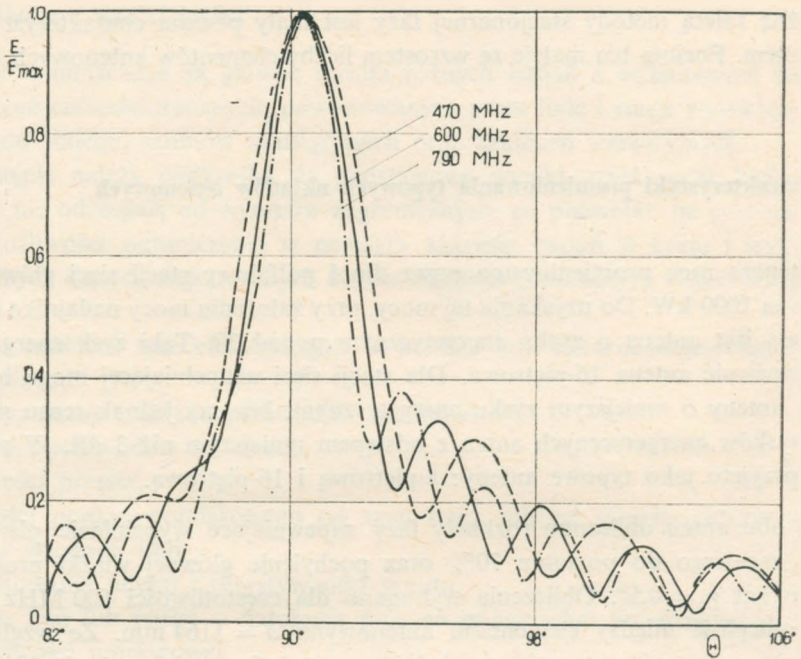
Zastępcza moc promieniowana przez dipol półfalowy stacji sieci głównej ma być równa 1000 kW. Do uzyskania tej mocy, przy założeniu mocy nadajnika 40 kW, potrzebna jest antena o zysku energetycznym ponad 30. Taki zysk energetyczny może zapewnić antena 16-piętrowa. Dla stacji sieci uzupełniającej mogą być stosowane anteny o mniejszym zysku energetycznym. Nie ma jednak sensu stopniowanie zysków energetycznych anten z odstępem mniejszym niż 3 dB. W związku z tym przyjęto jako typowe anteny: 8-piętrową i 16-piętrową.

Dla obu anten obliczono rozkłady fazy zapewniające wypełnienie pierwszego miejsca zerowego do poziomu 70% oraz pochylenie głównej wiązki promieniowania o kąt $\gamma_r = 0,5^\circ$. Obliczenia wykonano dla częstotliwości 600 MHz, przyjmując odległość między elementami antenowymi $d = 1164$ mm. Ze względu na ułatwienie wykonania anten nie uwzględniono różnic faz mniejszych niż 5° . Wyniki obliczeń podano w tablicy 3.

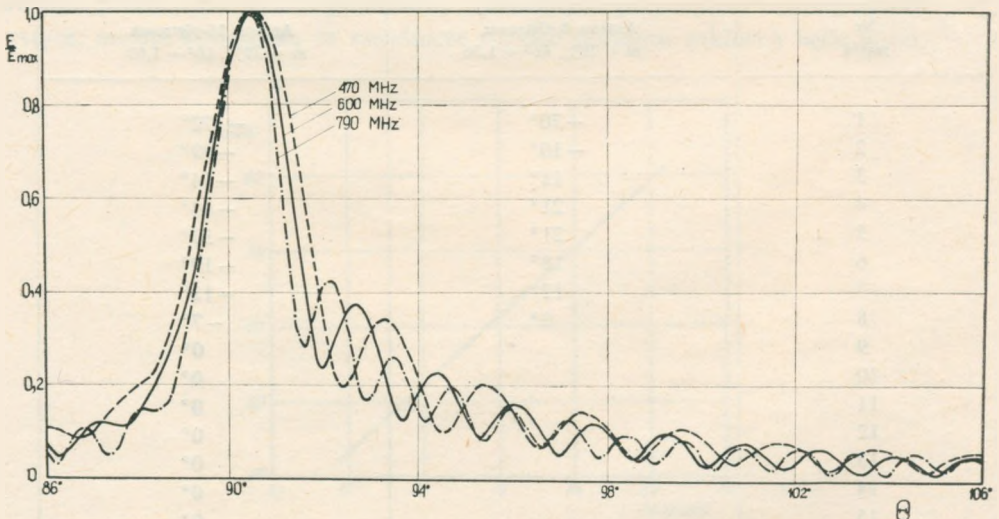
Tablica 3

Rozkład fazy dla typowych anten telewizyjnych

Nr piętra	Antena 8-piętrowa $m = 70\% \quad kb^2 = 1,56$	Antena 16-piętrowa $m = 70\% \quad kb^2 = 1,60$
1	-70°	-172°
2	-10°	-99°
3	11°	-64°
4	21°	-44°
5	21°	-30°
6	18°	-19°
7	12°	-12°
8	0°	-7°
9		0°
10		0°
11		0°
12		0°
13		0°
14		0°
15		0°
16		0°



Rys. 9. Pionowe charakterystyki promieniowania anteny 8-piętrowej ($kb^2 = 1,56$; $m = 70\%$) przy częstotliwości 600 MHz



Rys. 10. Pionowe charakterystyki promieniowania anteny 16-piętrowej ($kh^2 = 1,60$; $m = 70\%$) przy częstotliwości 600 MHz

Przesunięcia fazy między piętrami uzyskuje się przez dobór długości kabli zasilających poszczególne piętra. Fazy zasilania poszczególnych pięter są więc zależne od częstotliwości

$$\vartheta_n - \vartheta_{16} = \frac{f}{f_0} (\vartheta_n - \vartheta_{16})|_{f=f_0} \quad (37)$$

Przeliczono charakterystyki promieniowania typowych anten zbudowanych z elementów antenowych EA-101 [3] dla trzech częstotliwości: 470, 600 i 790 MHz. Wyniki obliczeń przedstawiono na rys. 9 i 10.

Wypełnienie miejsc zerowych zmienia się nieznacznie w funkcji częstotliwości. Zmienia się natomiast szerokość wiązki głównej oraz kierunkowość anteny (tabl. 4).

Tablica 4

Kierunkowość typowych anten telewizyjnych

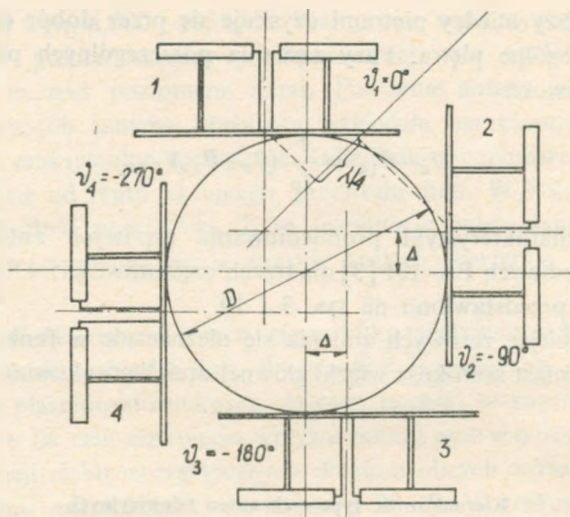
Liczba pięter	kb^2 ($f = 600$ MHz)	$m\%$ ($f = 600$ MHz)	Kierunkowość		
			470 MHz	600 MHz	790 MHz
8	0	0	28,7	34,6	40,2
	1,56	70	25,8	28,9	29,5
16	0	0	57,4	69,2	80,4
	1,60	70	48,7	53,0	53,2

Ze wzrostem częstotliwości maleje pochylenie głównej wiązki promieniowania. Zmiany pochylenia głównej wiązki promieniowania nie przekraczają $\pm 0,1^\circ$ w zakresie częstotliwości 470 ... 790 MHz.

3. KSZTAŁTOWANIE CHARAKTERYSTYKI PROMIENIOWANIA W PŁASZCZYŹNIE POZIOMEJ

W projekcie sieci głównej dla zakresu fal decymetrowych przyjęto wyłącznie anteny o dookólnej charakterystyce promieniowania w płaszczyźnie poziomej. Z tego względu dalsze rozważania ograniczono tylko do rozpatrzenia sposobu uzyskania charakterystyki dookólnej o zadanej nierównomierności.

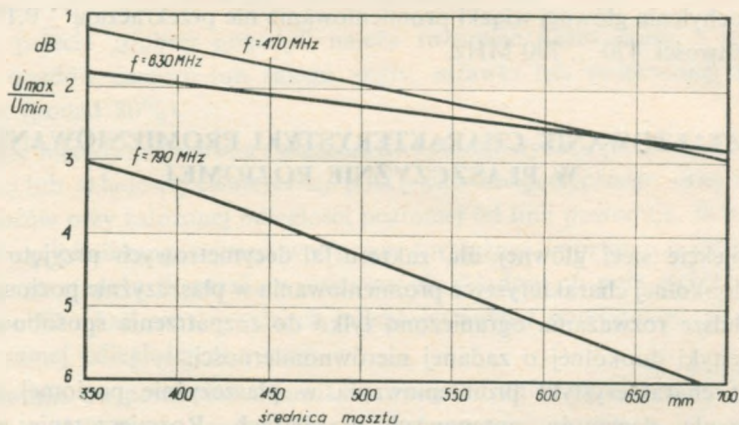
Kształt charakterystyki promieniowania w płaszczyźnie poziomej zależy od rozmieszczenia elementów antenowych w piętrach. Rozmieszczenie elementów antenowych zapewniające dookólną charakterystykę promieniowania w płaszczyźnie poziomej oraz kompensację fali odbitej przedstawiono na rys. 11.



Rys. 11. Rozmieszczenie elementów antenowych, zapewniające dookólną charakterystykę promieniowania w płaszczyźnie poziomej oraz kompensację fali odbitej

3.1. Zależność nierównomierności poziomej charakterystyki promieniowania od rozmiarów poprzecznych masztu

Kształt charakterystyki promieniowania układu antenowego przedstawionego na rys. 11 zależy od średnicy masztu, na którym są zawieszane elementy antenowe. W miarę wzrostu średnicy masztu wzrasta nierównomierność poziomej charakterystyki promieniowania, przy dużych bowiem odległościach między elementami



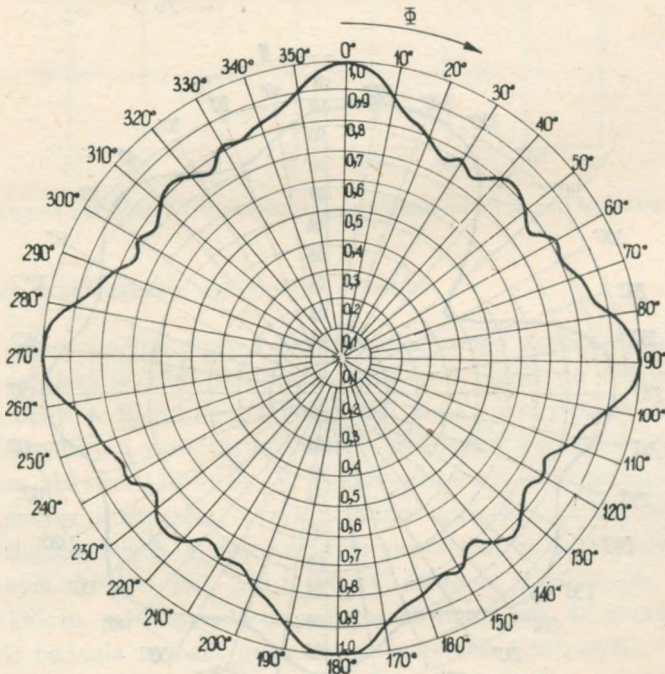
Rys. 12. Nierównomierność charakterystyki promieniowania w płaszczyźnie poziomej (prześnięcie $\Delta = 84$ mm odpowiada algebraicznemu sumowaniu pól na kierunku dwusiecznej przy częstotliwości 630 MHz; stałe przesunięcia fazy w zasilaniu elementów antenowych)

występują znaczne różnice w fazach pól wytwarzanych przez elementy antenowe, na kierunkach, na których promieniowanie sąsiednich elementów jest prawie jednakowe.

Zależność nierównomierności poziomej charakterystyki promieniowania od średnicy masztu przedstawiono na rys. 12. Przy obliczeniach przyjęto, że przesunięcie Δ środka elementu względem osi masztu jest stałe i równe wartości zapewniającej sumowanie algebraiczne pól na kierunku dwusiecznej przy częstotliwości 630 MHz oraz że różnice faz między prądami dopływającymi do elementów antenowych są niezależne od częstotliwości.

3.2. Wpływ sposobu zasilania elementów antenowych na kształt poziomej charakterystyki promieniowania

Elementy antenowe mogą być zasilane za pomocą transformatora rozdzielczego lub za pomocą sprzęgacza 3 dB [5, 10]. W pierwszym przypadku kompensację fali odbitej uzyskuje się przez dobór długości kabli łączących elementy ante-



Rys. 13. Charakterystyka promieniowania w płaszczyźnie poziomej przy częstotliwości 630 MHz

$$(D = 600 \text{ mm}; \Delta = 84 \text{ mm};$$

$$\vartheta_1 = 0^\circ; \vartheta_2 = -90^\circ; \vartheta_3 = -180^\circ; \vartheta_4 = -270^\circ)$$

nowe z transformatorem rozdzielczym. Możliwe są przy tym dwa warianty zasilania. W pierwszym wariantcie wszystkie elementy są jednakowo zorientowane, a kable mają następujące długości: l_0 ; $l_0 + \lambda/4$; $l_0 + \lambda/2$; $l_0 + 3\lambda/4$. W drugim wariantcie naprzemianległe elementy są obrócone o 180° (w płaszczyźnie ekranu), a kable mają długości: l_0 ; $l_0 + \lambda/4$; l_0 ; $l_0 + \lambda/4$. W obu wariantach różnice faz między prądami w elementach antenowych są funkcjami częstotliwości. Przy częstotliwościach różnych od częstotliwości średniej różnice faz nie tworzą zamkniętego cyklu.

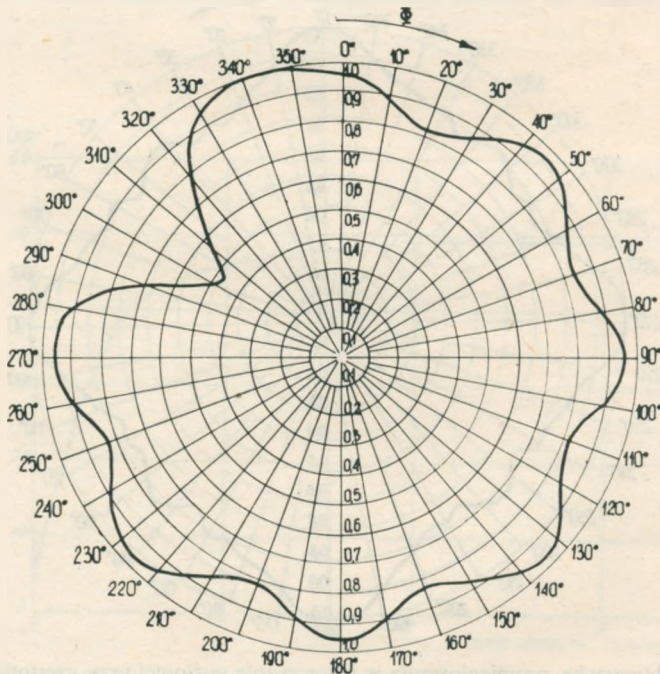
W pierwszym wariantcie rozkład faz jest następujący:

$$\left. \begin{aligned} \vartheta_2 - \vartheta_1 = \vartheta_3 - \vartheta_2 = \vartheta_4 - \vartheta_3 &= -\frac{\pi}{2} \frac{f}{f_0} \\ \vartheta_1 - \vartheta_4 &= -2\pi + \frac{3\pi}{2} \frac{f}{f_0} \end{aligned} \right\} \quad (38)$$

Największa różnica faz występuje między 1. a 4. elementem antenowym.

Rozkład faz dla drugiego wariantu jest następujący:

$$\left. \begin{aligned} \vartheta_2 - \vartheta_1 = \vartheta_4 - \vartheta_3 &= -\frac{\pi}{2} \frac{f}{f_0} \\ \vartheta_3 - \vartheta_2 = \vartheta_1 - \vartheta_4 &= -\pi + \frac{\pi}{2} \frac{f}{f_0} \end{aligned} \right\} \quad (39)$$



Rys. 14. Charakterystyka promieniowania w płaszczyźnie poziomej przy częstotliwości 470 MHz. Zasilanie z transformatora rozdzielczego bez obrotu elementów antenowych ($D = 600$ mm;

$$\Delta = 84 \text{ mm}; \vartheta_1 = 0^\circ; \vartheta_2 = -67^\circ; \vartheta_3 = -134^\circ; \vartheta_4 = -210^\circ)$$

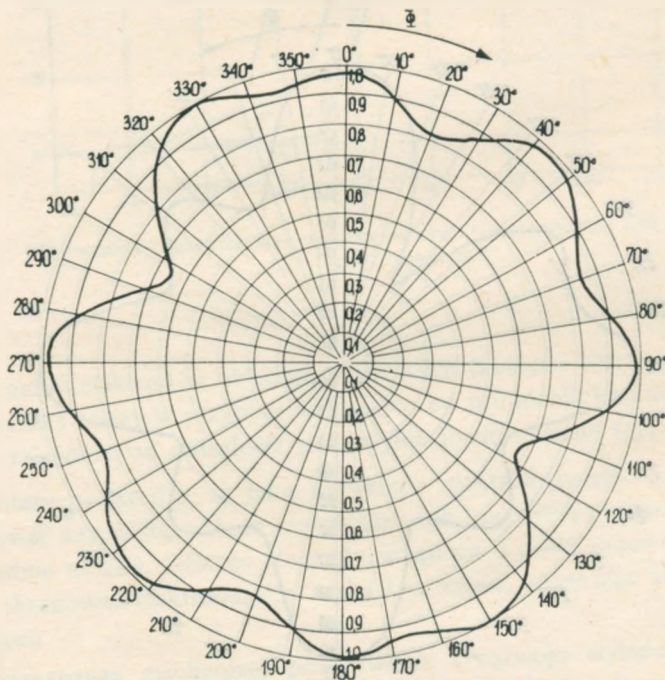
Największe różnice faz występują teraz między 2. a 3. oraz 1. a 4. elementem, są one jednak mniejsze niż różnica między elementem 1. a 4. w wariancie pierwszym.

Wykonano obliczenia poziomych charakterystyk promieniowania dla obu wariantów zasilania przyjmując średnicę masztu $D = 600$ mm oraz przesunięcie elementów względem osi masztu $\Delta = 84$ mm, odpowiadające algebraicznemu sumowaniu pól na kierunku dwusiecznej. Charakterystykę promieniowania dla częstotliwości średniej $f_0 = 630$ MHz przedstawiono na rys. 13. Nierównomierność poziomej charakterystyki promieniowania przy częstotliwości średniej wynosi $\pm 1,25$ dB.

Dla dolnej częstotliwości pasma roboczego (470 MHz) fazy zasilania poszczególnych elementów antenowych są następujące:

- wariant pierwszy:
 $0^\circ, -67^\circ, -134^\circ, -201^\circ$;
- wariant drugi:
 $0^\circ, -67^\circ, -180^\circ, -247^\circ$.

Charakterystyki promieniowania, odpowiadające podanym rozkładom fazy, pokazano na rys. 14 i 15. W pierwszym przypadku obserwuje się głębokie minimum ($-6,7$ dB) w czwartej ćwiartce. W drugim przypadku występują dwa głębsze minima ($-3,5$ dB) w drugiej i czwartej ćwiartce.



Rys. 15. Charakterystyka promieniowania w płaszczyźnie poziomej przy częstotliwości 470 MHz. Zasilanie z transformatora rozdzielczego z obrotem przeciwnych elementów antenowych

($D = 600$ mm; $\Delta = 84$ mm; $\vartheta_1 = 0^\circ$; $\vartheta_2 = -67^\circ$; $\vartheta_3 = -180^\circ$; $\vartheta_4 = -247^\circ$)

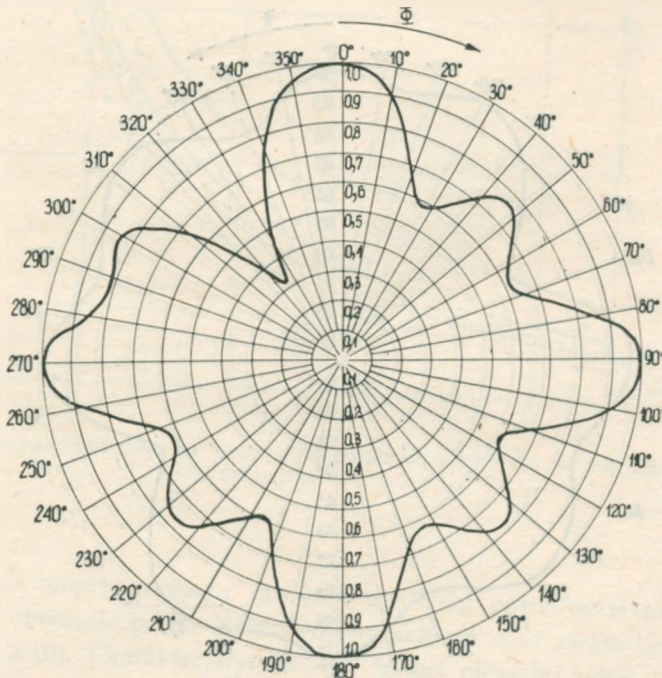
Dla górnej częstotliwości pasma roboczego (790 MHz) fazy zasilania poszczególnych elementów antenowych układają się następująco:

- wariant pierwszy:
 $0^\circ, -113^\circ, -226^\circ, -339^\circ$;
- wariant drugi:
 $0^\circ, -113^\circ, -180^\circ, -293^\circ$.

Charakterystyki promieniowania, odpowiadające podanym rozkładom fazy, przedstawiono na rys. 16 i 17. Podobnie jak przy częstotliwości 470 MHz w pierwszym wariantcie występuje jedno głębokie minimum ($-10,1$ dB), natomiast w drugim wariantcie — dwa głębokie minima ($-6,5$ dB).

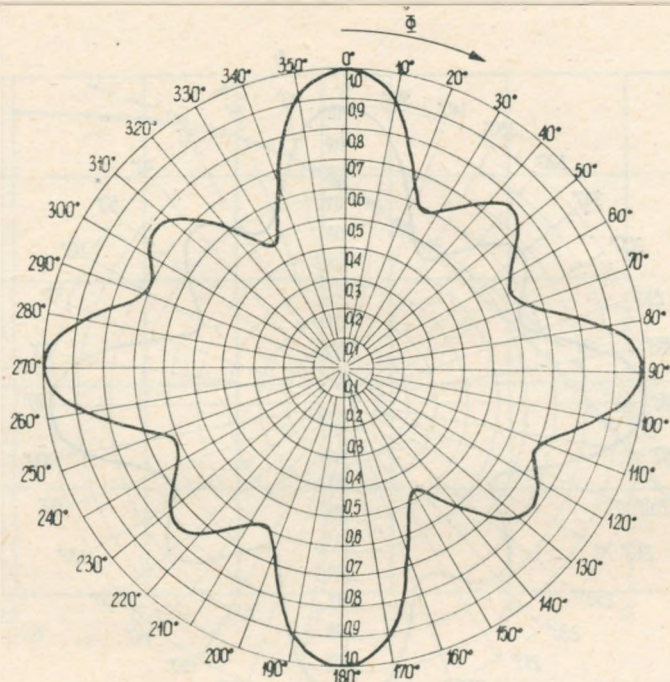
Z przedstawionego materiału wynika, że przy zasilaniu z transformatora rozdzielczego nie da się zapewnić wymaganej równomierności poziomej charakterystyki promieniowania.

Innym sposobem zasilania elementów antenowych jest zastosowanie sprzęgaczy 3 dB. Kompensacja fali odbitej odbywa się w samym sprzęgaczu, przy czym energia fali odbitej jest tracona w absorberze. Kable łączące elementy antenowe ze sprzęgaczem mają jednakową długość, fazy zasilania elementów antenowych są więc niezależne od częstotliwości. Charakterystyki promieniowania, obliczone dla

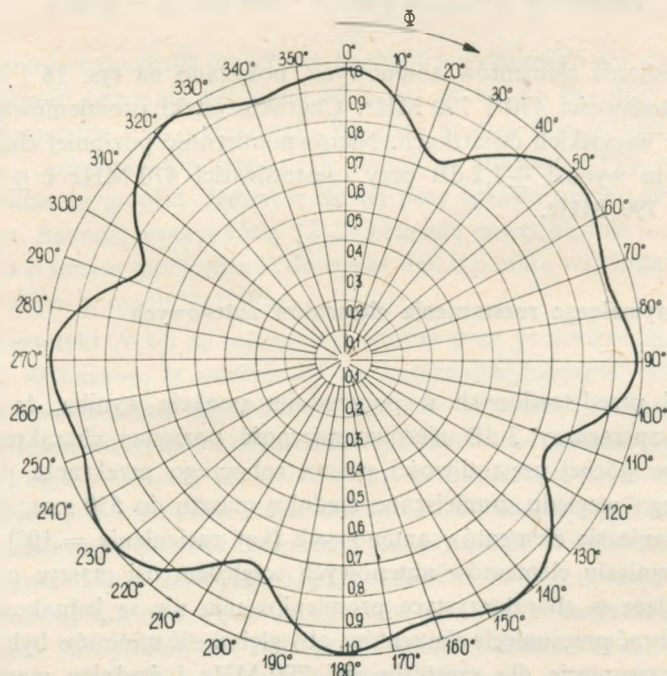


Rys. 16. Charakterystyka promieniowania w płaszczyźnie poziomej przy częstotliwości 790 MHz. Zasilanie z transformatora rozdzielczego bez obrotu elementów antenowych ($D = 600$ mm;

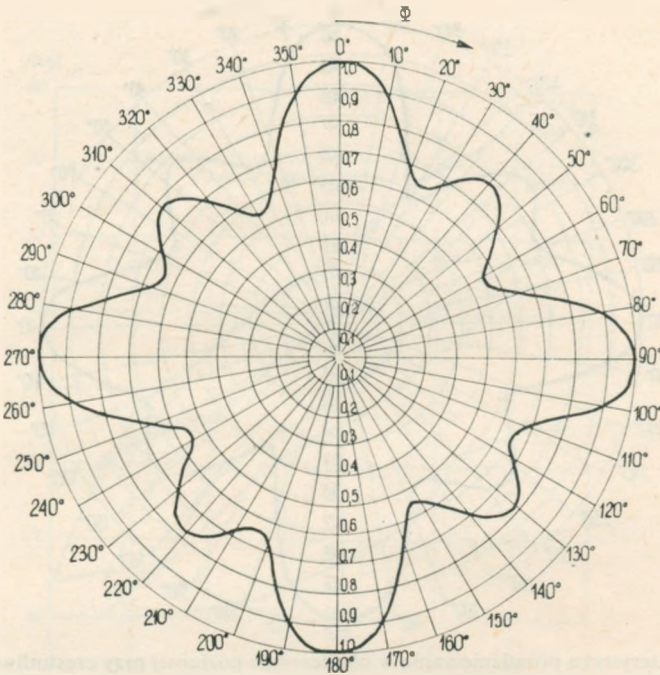
$$\Delta = 84 \text{ mm}; \theta_1 = 0^\circ; \theta_2 = -113^\circ; \theta_3 = -226^\circ; \theta_4 = -339^\circ$$



Rys. 17. Charakterystyka promieniowania w płaszczyźnie poziomej przy częstotliwości 790 MHz. Zasilanie z transformatora rozdzielczego z obrotem elementów antenowych ($D = 600$ mm; $\Delta = 84$ mm; $\vartheta_1 = 0^\circ$; $\vartheta_2 = -113^\circ$; $\vartheta_3 = -180^\circ$; $\vartheta_4 = -293^\circ$)



Rys. 18. Charakterystyka promieniowania w płaszczyźnie poziomej przy częstotliwości 470 MHz. Zasilanie ze sprzęgacza 3 dB ($D = 600$ mm; $\Delta = 84$ mm)



Rys. 19. Charakterystyka promieniowania w płaszczyźnie poziomej przy częstotliwości 790 MHz. Zasilanie ze sprzęgacza 3 dB ($D = 600$ mm; $\Delta = 84$ mm)

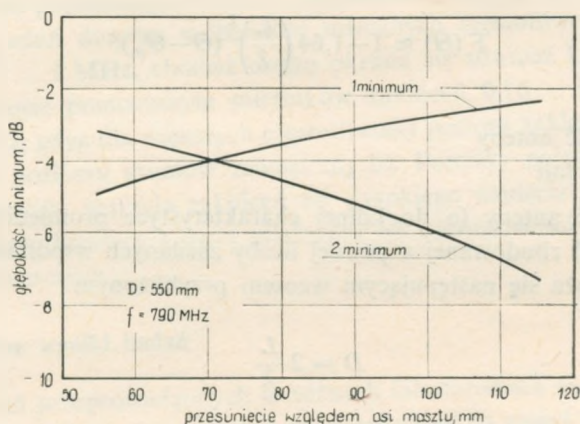
stałych faz zasilania elementów antenowych, pokazano na rys. 18 i 19 odpowiednio dla częstotliwości 470 i 790 MHz. Charakterystyki promieniowania są teraz jednakowe we wszystkich ćwiartkach. Nierównomierność poziomej charakterystyki promieniowania wynosi $\pm 1,2$ dB przy częstotliwości 470 MHz i $\pm 2,6$ dB przy częstotliwości 790 MHz.

3.3. Dobór optymalnego rozstawienia elementów antenowych

Z obliczeń przedstawionych w poprzednim punkcie wynika, że nawet przy zastosowaniu sprzęgacza 3 dB nierównomierność poziomej charakterystyki promieniowania w górnej częstotliwości pasma roboczego przekracza dopuszczalną wartość. Z tego względu zmniejszono średnicę masztu do 550 mm, dopuszczając pewne zacielenie się elementów antenowych (kąt zacielenia = 10°).

Przy przesunięciu elementów antenowych względem osi masztu o 84 mm minima występujące w charakterystyce promieniowania nie są jednakowe (rys. 19). Można tak dobrać przesunięcie elementów, aby głębokość minimów była jednakowa. Optymalne przesunięcie dla częstotliwości 790 MHz i średnicy masztu 550 mm

wynosi 70 mm (rys. 20). Nierównomierność poziomej charakterystyki promieniowania odpowiadająca optymalnemu rozmieszczeniu elementów antenowych wynosi ± 2 dB dla górnej częstotliwości pasma roboczego. Przy mniejszych częstotliwościach nierównomierność poziomej charakterystyki promieniowania jest oczywiście mniejsza.



Rys. 20. Zależność głębokości minimów w poziomej charakterystyce promieniowania od przesunięcia elementów antenowych względem osi masztu

4. ZAGADNIENIE SZTYWNOŚCI PODPORY

Duże zyski energetyczne anten stosowanych w zakresie fal decymetrowych są związane z małą szerokością głównej wiązki promieniowania, która w przypadku anteny 8-piętrowej wynosi $2,8^\circ$, a dla anteny 16-piętrowej $1,5^\circ$ (przy częstotliwości 600 MHz, dla spadku 3 dB).

Przy takich szerokościach głównej wiązki promieniowania, odchylenia od pionu podpory, na której jest umocowana antena, mogą mieć istotny wpływ na warunki odbioru. Rozróżnia się odchylenia statyczne związane z montażem podpory i anteny oraz odchylenia dynamiczne związane z parciem wiatru, dylatacją termiczną itp. Wpływ odchylenia anten od pionu ma różne konsekwencje zależnie od położenia punktu odbioru. Na krańcu zasięgu stacji, tzn. w obszarze padania maksimum głównej wiązki promieniowania, odchylenie anteny od pionu powoduje spadek wartości natężenia pola poniżej wartości zapewniającej poprawne warunki odbioru. Spadek ten nie może być wyrównany przez automatyczną regulację wzmocnienia w odbiorniku. Odchylenia anteny od pionu powodują więc ograniczenie zasięgu użytecznego stacji. Wewnątrz obszaru objętego zasięgiem stacji, odchylenia podpory od pionu powodują wahania natężenia pola, które mogą być wyrównywane wskutek działania regulacji wzmocnienia w odbiorniku. Oba przypadki zostaną zbadane oddzielnie.

4.1. Wpływ odchylenia anteny od pionu na zasięg stacji

W otoczeniu kierunku maksymalnego promieniowania pionową charakterystykę promieniowania anteny można w przybliżeniu określić następującą zależnością:

$$F(\theta) \approx 1 - 1,64 \left(\frac{L}{\lambda} \right)^2 (\theta - \theta_m)^2 \quad (40)$$

w której:

L — wysokość anteny

λ — długość fali

Kierunkowość anteny (o dookólnej charakterystyce promieniowania w płaszczyźnie poziomej) zbudowanej z pewnej liczby zasilanych współfazowo elementów antenowych wyraża się następującym wzorem przybliżonym

$$D = 2 \frac{L}{\lambda} \quad (41)$$

Jeśli założy się, że wzór (41) jest również słuszny w przybliżeniu w odniesieniu do anten z wypełnieniem miejsc zerowych, to podstawiając go do zależności (40) otrzymuje się

$$F(\theta) \approx 1 - 0,41 D^2 (\theta - \theta_m)^2 \quad (42)$$

Oznaczając przez ΔE względny spadek natężenia pola, spowodowany odchyleniem anteny od pionu o kąt $\Delta\theta$, z zależności (42) otrzymuje się

$$D \Delta\theta \approx 1,56 \sqrt{\Delta E} \quad (43)$$

lub podstawiając $\Delta\theta$ w stopniach

$$D \Delta\theta^\circ \approx 89,5 \sqrt{\Delta E} \quad (44)$$

Wzór (44) pozwala na wyznaczenie dopuszczalnego odchylenia anteny od pionu przy zadanej wartości spadku natężenia pola. Dopuszczając zmianę natężenia pola o 1 dB z wzoru (44) znajduje się

$$\Delta\theta^\circ \leq \frac{28,3}{D}$$

dla zmiany o 2 dB jest

$$\Delta\theta^\circ \leq \frac{40,0}{D}$$

Dopuszczalne odchylenia od pionu dla typowych anten telewizyjnych podano w tablicy 5.

Tablica 5

Dopuszczalne odchylenia anteny od pionu ze względu na ograniczenie zasięgu stacji

Rodzaj anteny	Spadek natężenia pola	
	1 dB	2 dB
8-piętrowa	0,98°	1,4°
16-piętrowa	0,54°	0,75°

4.2. Wpływ odchylenia anteny od pionu na wahania natężenia pola w obszarze zasięgu stacji

Największe wahania natężenia pola spowodowane odchyleniem się anteny od pionu występują w obszarze objętym zboczem głównej wiązki charakterystyki promieniowania. Dalej zostanie określone nachylenie tego zbocza dla układu jednorodnego. Charakterystyka promieniowania układu jednorodnego wyraża się zależnością

$$F(\gamma) = \frac{\sin\left(\frac{N\pi d}{\lambda} \sin \gamma\right)}{N \sin\left(\frac{\pi d}{\lambda} \sin \gamma\right)} \quad (45)$$

przy czym:

$$\gamma = \theta - \frac{\pi}{2};$$

d — odległość między elementami antenowymi

N — liczba elementów w układzie

Dla dużych układów antenowych i dla małych γ można sinusy: γ i $(\pi d \sin \gamma)/\lambda$ zastąpić ich argumentami; otrzymuje się wówczas:

$$F(\gamma) \approx \frac{\sin\left(\frac{\pi L}{\lambda} \gamma\right)}{\frac{\pi L}{\lambda} \gamma} \quad (46)$$

przy czym

$$L = Nd.$$

Nachylenie zbocza określa pochodna charakterystyki promieniowania względem γ

$$F'(\gamma) \approx \frac{\frac{\pi L}{\lambda} \gamma \cos\left(\frac{\pi L}{\lambda} \gamma\right) - \sin\left(\frac{\pi L}{\lambda} \gamma\right)}{\frac{\pi L}{\lambda} \gamma^2} \quad (47)$$

Największe nachylenie zbocza występuje w przybliżeniu dla kąta równego połowie pierwszego kąta zerowego, tzn. dla wartości

$$\gamma_m = \frac{1}{2} \gamma_0 = \frac{\lambda}{2L} \quad (48)$$

Podstawiając tę wartość γ do wzoru (47) znajduje się maksymalne nachylenie zbocza głównej wiązki promieniowania

$$F'(\gamma)|_{\gamma=\gamma_m} = -\frac{4L}{\pi\lambda} = -1,27 \frac{L}{\lambda} \quad (49)$$

Przebieg charakterystyki promieniowania w otoczeniu kąta γ_m można zapisać w postaci

$$F(\gamma) = \frac{2}{\pi} - \frac{4L}{\pi\lambda} (\gamma - \gamma_m) = 0,636 - 1,27 \frac{L}{\lambda} (\gamma - \gamma_m) \quad (50)$$

Wyrażając kąt γ w stopniach w miejsce zależności (50) otrzymuje się

$$F(\gamma) = 0,636 - 0,0222 \frac{L}{\lambda} (\gamma^\circ - \gamma_m^\circ) \quad (51)$$

Korzystając z wzoru (51) można obliczyć zmiany natężenia pola w obszarze objętym zboczem głównej wiązki promieniowania, spowodowane odchyleniem anteny od pionu.

Produkowane dotychczas odbiorniki telewizyjne gwarantują praktyczną niezauważalność zmian jakości obrazu przy szybkich zmianach natężenia pola w granicach 3 dB. Przyjmując tę wartość jako wytyczną do określenia dopuszczalnych odchyżeń anteny od pionu i korzystając z wzoru (51) znajduje się

- dla anteny 8-piętrowej $\Delta\gamma_{\max} = 0,45^\circ$
- dla anteny 16-piętrowej $\Delta\gamma_{\max} = 0,23^\circ$

Maksymalnie osiągalną wartością czasowego zadziałania automatyki w odbiornikach telewizyjnych jest w przybliżeniu 1 s dla zmian poziomu sygnału o 20 dB. Ze względu na wypełnienie miejsc zerowych, wartości charakterystyki promieniowania dla pierwszego miejsca zerowego nie spadają poniżej poziomu — 14 dB. Nie ma więc obawy o wystąpienie wahań natężenia pola większych niż 14 dB. Wystarczy zatem wymagać, aby okres drgań własnych podpory był większy niż 1 s.

4.3. Wymagania odnośnie do sztywności podpory

Z rozważań przeprowadzonych w poprzednich punktach wynika, że wymagania odnośnie do sztywności podpory narzucone są warunkami odbioru na krańcach zasięgu stacji (tablica 5). Niestety dotychczas brakuje wiarygodnych danych o sztywności wybudowanych już w kraju podpór. Na podstawie literatury [11, 14] można przyjąć następujące wartości kąta odchylenia anteny:

- a) około 1° dla masztu stalowego o wysokości 298 m przy prędkości wiatru 51 m/s;
- b) około $1,65^\circ$ dla wieży żelazobetonowej o wysokości 166 m i średnicy podstawy 18 m przy prędkości wiatru 45,5 m/s i przy oblodzeniu anteny; w tych samych warunkach, ale bez oblodzenia, kąt odchylenia anteny maleje do $0,74^\circ$ przy prędkości 45,5 m/s oraz do $0,3^\circ$ przy prędkości wiatru 29 m/s;
- c) około 4° dla wieży stalowej wolno stojącej o podstawie 18×18 m i wysokości 166 m przy prędkości wiatru 45,5 m/s bez oblodzenia; przy prędkości wiatru 29 m/s kąt odchylenia maleje do 1° .

Z przedstawionego materiału wynika, że przy prędkościach wiatru większych niż 30 m/s jedynie wieża żelazobetonowa ma wystarczającą sztywność zapewniającą prawidłowe warunki odbioru przy stosowaniu anten nadawczych o dużym zysku energetycznym. W przypadku innych podpór należy liczyć się z koniecznością dodatkowej stabilizacji anteny. Podjęcie ostatecznej decyzji w tej sprawie będzie możliwe dopiero po wykonaniu pomiarów wychyleń typowych masztów na kilku wytypowanych obiektach.

5. LITERATURA

1. *Bem D. J.* Telewizyjne anteny nadawcze. Prace Naukowe Instytutu Telekomunikacji i Akustyki Politechniki Wrocławskiej, Monografie 2, 1970
2. *Bem D. J.* Tendencje rozwojowe w projektowaniu i budowie telewizyjnych anten nadawczych. Problemy Łączności nr 49, Warszawa 1970, s. 1-84
3. *Bem D. J., Kowalski A., Błęcki J.* Model współfazowego elementu antenowego na IV/V zakres częstotliwości, Instytut Łączności, sprawozdanie z pracy nr 71523, Wrocław 1970
4. *Bem D. J.* Opracowanie koncepcyjne telewizyjnych anten nadawczych dla IV/V zakresu częstotliwości. Politechnika Wrocławska, Instytut Telekomunikacji i Akustyki, Raport nr R-1, Wrocław 1972
5. *Bem D. J., Dudek J.* Sprzęgacze kierunkowe jako dzielniki mocy dla telewizyjnych anten nadawczych. Politechnika Wrocławska, Instytut Telekomunikacji i Akustyki, Raport nr R-23, Wrocław 1973
6. *Endo K., Endo Y., Okamura H.* Stacked loop antennas. NHK Laboratories Note, No S-7, June 1966, p. 1-36
7. *Hill P. C. J.* Shaping the vertical radiation patterns of vhf and uhf transmitting aerials by phase perturbation. BBC Research Report No E-121, 1966/72
8. *Hill P. C. J.* A „Stationary - phase” method for shaping the vertical radiation patterns of uhf transmitting aerials. BBC Research Report No RA-6, 1967/72
9. *Hill P. C. J.* Methods for shaping the vrp of vhf and uhf transmitting aerials. Proc. IEE, No 8, 1969, p. 1325-1337
10. *Klimkiewicz R.* Sprzęgacz kierunkowy 3 - dB. Prace Instytutu Łączności, t. 19, 1972, nr 1, s. 25-38
11. *Kozłowski T.* Stalowe maszty i wieże radiowe i telewizyjne. Arkady, Warszawa 1965
12. *Kupka W.* Typowe układy antenowe dla krajowej sieci telewizyjnej w IV/V zakresie częstotliwości. Politechnika Wrocławska, Instytut Telekomunikacji i Akustyki, Praca dyplomowa, 1971

13. *Ogulewicz S.* Badanie wpływu wysokości anteny nadawczej na warunki odbioru fal decymetrowych w terenie otwartym w małej odległości od stacji. Instytut Łączności, sprawozdanie z pracy nr 71134, Warszawa 1970
14. *Scheurecker F.* Zür Projektierung von VHF Antennenanlagen. Rohde — Schwarz Mitteilungen, Nr 14, 1960, s. 362–380
15. *Scheurecker F., Huber F. R.* UKW — Rundfunk — und Fernsehantennen. Neues von Rohde — Schwarz, Nr 28, 1967, s. 37–48
16. *Söderström S. E.* A uhf network for the Swedish second television programme, Sound and Vision Broadcasting, 1971, s. 7–11
17. *Tomankiewicz T., Bem D. J.* Projektowanie nadawczych anten ultrakrótkofalowych dla celów rozszewczych. Prace Instytutu Łączności, t. 10, 1963 z. 3. s. 23–56

Д. Ю. Бем

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ПЕРЕДАЮЩИХ АНТЕНН ДЛЯ ДИАПАЗОНА ДЕЦИМЕТРОВЫХ ВОЛН

Резюме

Использование диапазона дециметровых волн для телевидения представляет новые возможности, но и ставит новые требования относительно антенных устройств. Эдесь, с одной стороны, возможно осуществлять большие выигрыши от направленного излучения, но с другой стороны важным вопросом является потребность формирования нижней части вертикальной характеристики антенны с целью обеспечения приблизительно равномерного распределения напряженности поля в функции расстояния.

В статье описан метод формирования характеристик излучения в вертикальной и горизонтальной плоскостях типичных антенн, предвиденных для телевизионной сети страны. Представлены тоже требования относительно жесткости опоры, к которой должна крепиться антенна.

D. J. Bem

PROJECTING OF TELEVISION TRANSMITTING ANTENNAS FOR DECIMETRIC WAVE RANGE

Summary

The utilization of decimetric wave range for television creates new possibilities, but also puts new requirements with regard to the antenna arrangements.

On the one hand, there exists a possibility here of obtaining considerable gains, resulting from directional radiations, but on the other hand, the proper shaping of the lower part of the antenna's vertical radiation pattern becomes an important factor, in order to ensure uniform field intensity distribution in function of the distance.

In the paper, a method has been described of shaping the antenna's radiation patterns in the vertical and horizontal plans for typical antennas foreseen for national television network. The rigidity (inflexibility) requirements of supports to which antennas are to be fixed have also been presented.

D. J. Bem

PROJETS DES ANTENNES ÉMETTEURS DE TÉLÉVISION SUR LES ONDES DÉCIMÉTRIQUES

Résumé

L'application des ondes décimétriques pour les besoins de télévision présente de nouvelles possibilités mais pose aussi de nouvelles exigences aux installations d'antennes. Il existe d'une part la possibilité d'obtenir des gains considérables résultant de la radiation directionnelle mais d'autre part la formation de la partie inférieure de la caractéristique du rayonnement vertical de l'antenne devient une question essentielle afin d'assurer la distribution de l'intensité du champ à peu près uniforme en fonction de distance.

Dans l'article on a décrit la méthode de la formation de la caractéristique du rayonnement dans les plans vertical et horizontal des antennes typiques, prévues pour le réseau national de télévision.

On a présenté aussi les exigences concernant la rigidité du support auquel l'antenne doit être fixée.

D. J. Bem

PROJEKTIERUNG DER FERNSESENDEANTENNEN FÜR DEZIMETERWELLENBEREICH

Zusammenfassung

Die Ausnutzung des Dezimeterwellenbereichs für das Fernsehen gibt neue Möglichkeiten, stellt aber neue Forderungen für Antenneneinrichtungen. Einerseits ermöglicht es die grossen Leistungsgewinnen zu erreichen, andererseits wird es wichtig, die Gestaltung des unteren Teiles der Vertikalcharakteristik einer Antenne um ungefähr eine gleichmässige Verteilung der Feldstärke in Abhängigkeit von der Entfernung zu erreichen. In dem Artikel wird eine Methode der Gestaltung der Strahlungscharakteristik in der Vertikal – und Horizontalebene beschrieben und die Strahlungscharakteristiken der typischen Antennen dargestellt, die zur Verwendung im Fernsehnetz vorgesehen werden. Es werden auch Forderungen für Festigkeit des Antennen-trägers gegeben.

ANDRZEJ PIŁATOWICZ
JERZY JANUSZ ZIELIŃSKI *)

621.391.82 3

ZAGADNIENIA ZAKŁÓCEŃ RADIOELEKTRYCZNYCH POWODOWANYCH PRZEZ URZĄDZENIA ELEKTROENERGETYCZNE

Rękopis dostarczono do Komitetu Redakcyjnego dnia 24. VIII. 1973 r.

W niniejszej pracy omówiono przyczyny powstawania zakłóceń radioelektrycznych w pobliżu wysokonapięciowych urządzeń elektroenergetycznych (mechanizm powstawania i rozchodzenia się zakłóceń). Przytoczono typowe ujemne skutki zakłóceń omawianego charakteru oraz podano informacje dotyczące międzynarodowych i krajowych zaleceń i przepisów w zakresie metod pomiarowych, wartości dopuszczalnych itp. Zamieszczono dane o metodach pomiarów napięć i natężeń pól zakłóceń, dotychczasowy zakres badań krajowych i zagranicznych oraz przykładowe, typowe wyniki tych badań. Sprecyzowano propozycje dotyczące perspektyw i potrzeb dalszych badań zakłóceń radioelektrycznych powodowanych przez urządzenia elektroenergetyczne.

1. WIADOMOŚCI PODSTAWOWE

1.1. Sposób powstawania zakłóceń radioelektrycznych

Źródłem zakłóceń radioelektrycznych w wysokonapięciowych urządzeniach elektroenergetycznych mogą być:

- procesy łączeniowe,
- wyładowania zupełne,
- wyładowania niezupełne.

Pierwsze dwa zjawiska występują sporadycznie i krótkotrwanie — pojedyncze wystąpienie nie przekracza na ogół ułamków sekundy; szacuje się, że całkowity czas ich trwania nie przekracza jednej milionowej czasu eksploatacji urządzeń — działanie zakłócające jest tu więc pomijalne. Natomiast wyładowania niezupełne mogą występować trwale w normalnej eksploatacji sieci elektroenergetycznych —

*) Doc. dr inż. A. Piłatowicz jest pracownikiem naukowym Instytutu Energetyki, natomiast doc. dr inż. J. J. Zieliński jest pracownikiem Instytutu Elektrotechniki. Współpracują oni z Instytutem Łączności w zakresie badań zakłóceń radioelektrycznych.

stale lub też czasowo pod wpływem sprzyjających im warunków wewnętrznych (stan izolacji elektrycznej) lub zewnętrznych (wpływy atmosferyczne i środowiskowe).

Przyczyną wystąpienia wyładowań niezupełnych w powietrzu lub na granicy izolacji powietrznej i stałej jest przekroczenie przez natężenie pola elektrycznego — wartości tzw. krytycznego naprężenia izolacji, przy którym w obszarze granicznym występuje jonizacja lawinowa podtrzymująca wyładowanie samoistne. Po przekroczeniu wartości krytycznej w miarę zwiększania napięcia (natężenia pola) zwiększa się intensywność poszczególnych wyładowań, liczność miejsc, w których mogą wystąpić, a także może ulec zmianie mechanizm wyładowania.

Wartość natężenia pola zależy od napięcia panującego na linii oraz od warunków geometrycznych układu izolacyjnego, w uproszczeniu — im mniejsza odległość między elementami pod napięciem a uziemionymi oraz im większa krzywizna ich krawędzi, tym większy stosunek natężenia pola do napięcia. Wartość krytycznego naprężenia izolacji zależy od warunków geometrycznych oraz od parametrów ośrodka gazowego (gęstość i wilgotność powietrza).

Wyładowania niezupełne mogą powstać na przewodzie linii wysokiego napięcia, na metalowym osprzęcie sieciowym, na izolatorach liniowych oraz na izolatorach i aparatach przyłączonych do sieci. Rozróżnia się [1, 2] rodzaje wyładowań niezupełnych o odmiennym mechanizmie powstawania i rozwoju, odmiennej w praktyce lokalizacji, a także odmiennych parametrach generowanych zakłóceń radioelektrycznych. Istotne są zwłaszcza:

- wyładowania ulotowe świetlące na przewodzie liniowym lub na osprzęcie,
- wyładowania ulotowe kanałowe (snopiące) na osprzęcie sieciowym,
- wyładowania ulotowe powierzchniowe na izolatorach liniowych i aparaturowych,
- wyładowania ślizgowe (kanałowe) na izolatorach przepustowych i na niektórych aparatach,
- przeskoki częściowe (snap discharges) zawierające jeden z szeregowych elementów układu izolacyjnego (np. przebite ogniwo łańcucha izolatorów wiszących).

Zależność progu wyładowań i ich intensywności od napięcia powoduje, że pierwsze dwa rodzaje wyładowań mogą wywoływać duży poziom zakłóceń tylko w liniach najwyższych napięć (od 220 kV wzwyż, rzadziej od 110 kV). Natomiast pozostałe rodzaje wyładowań zależą od stanu izolacji oraz jej ewentualnych uszkodzeń, które w trudnych warunkach środowiskowych i niezbyt starannej eksploatacji mogą pojawiać się i w liniach średnio wysokich napięć.

Wyładowania niezupełne mają charakter krótkotrwałych impulsów prądowych o częstości występowania, amplitudzie i kształcie zależnym od rodzaju układu izolacyjnego, mechanizmu wyładowania, wartości napięcia oraz stanu ośrodka (atmosfery). Charakterystyka widmowa zakłóceń, generowanych przez wyładowania niezupełne, jest więc ciągła, przy czym jej kształt i amplituda zależą od parametrów wyładowania. Zakłócenia od wyładowań niezupełnych mają charakterystykę zacinającą opadać już w zakresie średnich fal radiowych. Jednak badania mechanizmu wyładowań i związanych z nim charakterystyk zakłóceńowych były prowa-

dzone głównie dla najprostszycch przypadków — ulotu na przewodzie o kształcie zbliżonym do walcowego [2, 3]. Badania innych rodzajów wyładowań pod kątem widzenia zakłóceń są dotychczas mało kompletne, aby można było precyzować wnioski o prawidłowościach mechanizmu i przewidywać parametry wytwarzanych zakłóceń.

Czasy charakterystyczne impulsów wyładowań mogą, zależnie od ich rodzaju, być rzędu 10^{-9} ... 10^{-6} s, mechanizm charakterystyk widmowych może więc różnić się znacznie, zależnie od przebiegu wyładowania. Badania jakościowe pozwalają ocenić, że wyładowania powierzchniowe i przeskoki częściowe mogą charakteryzować się krótkimi, lecz intensywnymi impulsami, a zatem zakres częstotliwości intensywnych zakłóceń może rozszerzyć się do fal krótszych.

Bardziej kompletne badania wyładowań i zakłóceń wykonywano w warunkach dobrej pogody (bez opadów, mgły), jako łatwiejszej do zdefiniowania i częściej występującej (np. dla Warszawy czas trwania opadów i mgły nie przekracza kilkunastu procent w ciągu roku). Opady deszczu, śniegu, sadź, mgła, a nawet takie zwiększenie wilgotności powietrza, aby prawdopodobne było skraplanie się pary wodnej na powierzchni metalowych lub izolacyjnych elementów układów elektroenergetycznych, powodują zwiększenie intensywności wyładowań (często również zmianę ich mechanizmu), a stąd podwyższenie poziomu zakłóceń radioelektrycznych. Zmiany te są różne, np. dla przewodów i dla izolatorów, dlatego niejednokrotnie zdarza się, że o poziomie zakłóceń przy dobrej pogodzie decydują wyładowania na przewodzie, a przy deszczu — na izolatorach.

Dodatkowe czynniki zwiększające poziom zakłóceń radioelektrycznych są to trwałe lub czasowe zniekształcenia układu izolacyjnego, np. spowodowane przez korozję powierzchni przewodów czy osprzętu lub przez zabrudzenie powierzchni izolacji. Należy jednak podkreślić, że im bardziej warunki pracy układu izolacyjnego różnią się od normalnych, tym mniej obszernie (lub mniej jednoznacznie) zbadane są zakłócenia w nich występujące.

1.2. Rozchodzenie się zakłóceń radioelektrycznych

Źródła wyładowań w układach elektroenergetycznych działają nie tylko jako punktowe źródła zakłóceń w najbliższym otoczeniu (jak np. iskrowniki silników spalinowych). Przenoszeniu zakłóceń na dalekie nieraz odległości sprzyjają bowiem linie elektryczne. Rola linii napowietrznej jest tu dwójaka. Linia stanowi falowód o impedancji charakterystycznej paruset omów (zależnej od rozmiarów i konfiguracji przewodów), przenoszący zakłócenia wzdłuż linii. Jednocześnie przewody linii stanowią gigantyczną antenę promieniującą zakłócenia w otoczeniu linii, rozchodzące się w poprzek linii. Stąd rozróżnia się na ogół charakterystyki widmowe linii — podłużne i poprzeczne.

Zakłócenia, przenoszące się od źródeł lokalnych wzdłuż linii, ulegają tłumieniu, zależnemu od stratności linii oraz od rezystywności podłoża. Na stratność linii

wpływa rezystancja szeregowo przewodów (praktycznie stała dla danego pasma częstotliwości) oraz przewodność równoległa linii (upływność izolatorów oraz półprzewodzących powłok powstałych wskutek opadów atmosferycznych lub zanieczyszczenia przemysłowego, na ogół zmienna w czasie, zależna od warunków atmosferycznych). Tłumienie jest oczywiście różne w różnych pasmach częstotliwości. Dla częstotliwości około 1 MHz, przy której zakłócenia w liniach są szczególnie intensywne, tłumienie ich jest rzędu 1 dB/km (0,5 ... 4 dB/km wg badań amerykańskich) [4, 5]. Dla linii najwyższych napięć, np. 220 i 400 kV, zazwyczaj przyjmuje się rozchodzenie się zakłóceń o częstotliwości do 5 MHz na odległość 7 ... 10 km, w liniach zaś średnio wysokich napięć ten zakres odległości osiągany jest nawet przez zakłócenia o częstotliwości do 50 MHz. A zatem zachodzi superpozycja zakłóceń pochodzących od źródeł lokalnych w linii (przewody, izolatory), natomiast zakłócenia pochodzące od dużego skupienia źródeł wyładowań w stacjach elektroenergetycznych rozchodzą się na odległości kilku, rzadziej kilkunastu kilometrów. Dla linii najwyższych napięć o średniej długości odcinków kilkadziesiąt lub nawet paręset kilometrów stanowi to zaledwie część obszaru, przez który przebiegają, jednak rejon w pobliżu stacji (podmiejski lub przemysłowy) jest na ogół bardziej zaludniony, a więc i bardziej nasycony odbiornikami radiowymi i telewizyjnymi niż rejon środka linii.

Linia napowietrzna jako falowód charakteryzuje się występowaniem mniej lub więcej wyraźnych punktów nieciągłości [6, 7], w których następuje odbicie lub częściowe załamanie fal (np. odbicie od końca linii, zmiana impedancji charakterystycznej przy zmianie konstrukcji odcinka linii, wtrącona impedancja na słupach z izolatorami). W warunkach tych powstają zjawiska rezonansowe dla niektórych częstotliwości składowych zakłóceń — zwłaszcza wyraźne zmiany dla częstotliwości, których długość półfali odpowiada średniej odległości między słupami (lub w krótkich odcinkach — długości całej linii) oraz których długość 1/4 fali odpowiada odległości szczególnie silnego źródła zakłóceń od końca linii.

Natężenie zakłócającego pola elektromagnetycznego maleje w miarę oddalania się od linii. Zmniejszeniu ulega zarówno składowa magnetyczna, jak i elektryczna, jednak nie w jednakowym stopniu. Stosowanie znanych wzorów [8, 9] dla anteny punktowej (o małych rozmiarach w stosunku do odległości odbioru sygnału) nie jest ściśle ze względu na wpływ ziemi i rozmiary źródła zakłóceń. Niewątpliwie jednak w strefie bliższej (kilka, kilkanaście metrów dla najintensywniejszych zakłóceń rzędu 1 MHz) natężenie pola maleje szybko — w przybliżeniu z kwadratem odległości, dla strefy dalszej (setki metrów dla tego zakresu częstotliwości), natężenie pola zmienia się odwrotnie proporcjonalnie do odległości.

Zalecane w normach wzory obliczania wartości natężenia pola w zależności od odległości z zastosowaniem wykładnika 1,5 są zgrubne i mogą być uznawane tylko w niewielkim zakresie zmian odległości (kilkadziesiąt metrów). Należy pamiętać, że odległość pomiarowa mierzona przy powierzchni ziemi, różni się od odległości od emitującego zespołu przewodów o wielometrowej rozpiętości między

przewodami fazowymi zawieszonymi na wysokości kilkunastu lub kilkudziesięciu metrów nad ziemią.

Z praktycznego punktu widzenia można przyjąć, że szkodliwe zakłócenia na otwartej przestrzeni rozchodzą się do odległości kilkudziesięciu, najwyżej paruset metrów od linii (100 m można uznać za przeciętną). W terenie pokrytym (drzewa, zabudowania) odległość ta zmniejsza się. Natomiast obecność w terenie napowietrznych linii łączności lub linii niskonapięciowych, biegnących na pewnym odcinku w pobliżu zakłócającej linii wysokiego napięcia, a następnie odchodzących w kierunku odbiorców, może powodować przeniesienie zakłóceń, na odległość nawet paru kilometrów. Występuje tu zjawisko indukowania się zakłóceń w linii sąsiedniej i przenoszenia nią jako falowodem aż do odbiorników. W tym przypadku jednak działanie ochronne filtrów na wejściach może okazać się skuteczne — w odróżnieniu od zakłóceń emitowanych bezpośrednio w przestrzeni przez linię wysokiego napięcia.

1.3. Skutki zakłóceń radioelektrycznych

Ujemne skutki zakłóceń radioelektrycznych, generowanych przez przewody i osprzęt linii oraz aparaturę elektryczną zainstalowaną w stacjach elektroenergetycznych, mogą się objawiać w postaci zakłócenia odbioru radiowego i telewizyjnego w przypadku usytuowania odbiorników w pobliżu urządzeń elektroenergetycznych (np. przy przechodzeniu linii przez tereny zabudowane). W okresach tzw. dobrej pogody występują zakłócenia odbioru radiowego zwłaszcza na falach długich i średnich w pasach o szerokości kilkudziesięciu metrów licząc od skrajnego przewodu linii elektroenergetycznych 220 i 400 kV. W czasie opadów deszczu lub śniegu, mgły, mżawki lub zwiększonej wilgotności powietrza (ponad 80%) następuje zwiększenie intensywności zakłóceń, co powoduje rozszerzenie pasa zakłóceń i przekroczenie dopuszczalnego poziomu zakłóceń, ustalonego dla warunków w okresach dobrej pogody ($750 \mu\text{V/m}$, w odległości 20 m od skrajnego przewodu, przy 500 kHz). Czas występowania niekorzystnych warunków atmosferycznych i związany z nim okres wzmożonych zakłóceń jest jednakże stosunkowo krótki, ocenia się, że przeciętnie wynosi on 1000 godzin w ciągu roku (ok. 12%).

Ze względów ekonomicznych nie jest możliwe ani celowe ograniczanie poziomu zakłóceń w szczególnie złych warunkach atmosferycznych. Istnieje natomiast tendencja ograniczania poziomu zakłóceń, zwłaszcza wytwarzanych przez aparaturę elektroenergetyczną i osprzęt sieciowy, w warunkach dobrej pogody, praktycznie niezależnie od wymogów stawianych z punktu widzenia ochrony odbioru radiowego. Wysoki poziom zakłóceń radioelektrycznych świadczy bowiem o występowaniu wyladowań niepełnych, co z punktu widzenia pewności pracy aparatury i osprzętu sieciowego jest niepożądane, ponieważ może prowadzić do uszkodzeń izolacji tych urządzeń w nieco mniej korzystnych warunkach lub po pewnym okresie eksploatacji. Wynika z tego, że naturalną niejako tendencją konstruktorów urzą-

dzeń jest dążenie do ograniczenia zakłóceń wytwarzanych przez aparaturę elektryczną; z drugiej strony zmniejszenie poziomu zakłóceń radioelektrycznych (ograniczenie wyładowań niezupełnych) jest możliwe przez zastosowanie odpowiednich stosunkowo prostych środków technicznych (wyeliminowanie ostrych krawędzi, zastosowanie osprzętu sterującego polem elektrycznym itp.).

Pomiar poziomu zakłóceń radioelektrycznych spełnia w tym przypadku rolę detekcji złego stanu lub uszkodzeń izolacji urządzeń elektroenergetycznych. Ograniczenie poziomu zakłóceń radioelektrycznych, wytwarzanych przez przewody linii elektroenergetycznych, jest związane z koniecznością zmniejszenia natężenia pola na powierzchni przewodów. Realizuje się to praktycznie przez stosowanie przewodów wiązkowych do linii o napięciu 400 kV i wyższym. Stosowanie przewodów wiązkowych pozwala na zwiększenie zdolności przesyłowej linii oraz na utrzymanie na odpowiednio niskim poziomie strat ulotowych, jest więc to również tendencja w pewnym sensie niezależna od potrzeb obniżania poziomu zakłóceń radioelektrycznych.

Wzrost zakłóceń radioelektrycznych, szczególnie w zakresie fal krótkich i ultra-krótkich, w okresach dobrej pogody świadczy o częściowych uszkodzeniach izolacji linii średnich lub najwyższych napięć. Typowym przykładem tego rodzaju zakłóceń są zakłócenia w pasmie częstotliwości telewizyjnych (ok. 55 MHz) powodowane przez linie średnich napięć na izolatorach wiszących. W tym przypadku skutek niewłaściwego styku pomiędzy trzonem jednego a kołpakiem następnego izolatora [10] powstawały lokalne przeskoki częściowe. Charakterystyczne jest, że objawy tego typu znikają w okresach deszczu oraz mogą być wyeliminowane przez stosowanie odpowiednich past przewodzących. Ogólnie w praktyce europejskiej utarła się opinia, że powstawanie zakłóceń w odbiorze telewizyjnym jest zawsze związane z uszkodzeniami różnych elementów linii i może być usunięte przez wyszukanie i poprawienie tych uszkodzonych elementów. W przypadku linii o napięciach 750 kV stwierdzono ponadto możliwość zakłócania odbioru telewizyjnego wskutek odbić fal telewizyjnych od przewodów linii — w tym przypadku wystarczającym sposobem usunięcia zakłóceń jest zmiana lokalizacji anten telewizyjnych (przesunięcie o ok. 10 m).

Linie o napięciach 750 kV i powyżej (a częściowo również linie 400 kV) są przyczyną powstawania szumów akustycznych o dosyć znacznych poziomach. Podobnie jak zakłócenia radioelektryczne, szумы akustyczne są powodowane przez występowanie w liniach wyładowań niezupełnych. Zagadnienie szumów akustycznych jest stosunkowo nowe — w krajach europejskich badania w tym zakresie są w stadium początkowym, przy czym są one wykonywane na eksperymentalnych odcinkach linii najwyższych napięć.

Omówione skutki zakłóceń radioelektrycznych występują w przypadku linii i urządzeń elektroenergetycznych, usytuowanych w obszarach o przeciętnym stanie zabrudzenia atmosfery. Obecnie prowadzone są szerokie badania mające na celu ustalenie wpływu zabrudzeń (w obszarach o dużych zabrudzeniach) na poziom zakłóceń radioelektrycznych i jego skutki.

Tablica 1.1

Skargi na zakłócenia odbioru radiowego i telewizyjnego [39]

Kraj	Rok	Liczba odbiorników radiowych i telewizyjnych	Ogólna liczba skarg na zakłócenia odbioru	Liczba skarg na zakłócenia przez urządzenia elektroenergetyczne	Procentowy stosunek liczby zakłóceń powodowanych przez urządzenia elektroenergetyczne	
					do ogólnej liczby skarg	do liczby odborników
Austria	1969	3 526 122	11 201	319	2,9	0,009
Austria	1970	3 681 011	11 665	344	3,0	0,009
Dania	1970	1 618 743	4 363	103	2,4	0,006
Dania	1971	1 629 658	4 476	105	2,4	0,006
Szwecja	1970	2 846 072	12 188	150	1,2	0,005
Szwecja	1971	2 923 841	12 511	216	1,7	0,007
Czechosłowacja	1971	4 824 377	3 715	230	7,3	0,005

Pewnym przykładem stopnia wpływu linii i urządzeń elektroenergetycznych na odbiór radiowy i telewizyjny są dane statystyczne gromadzone przez CISPR i dotyczące skarg na zakłócenia odbioru, z których odpowiednie dane przedstawiono w tabl. 1.1. Dane zamieszczone w tej tabelicy świadczą o stosunkowo znikomym wpływie urządzeń elektroenergetycznych na jakość odbioru radiowego i telewizyjnego. Jest to rezultat mniejszej wykrywalności zakłóceń powodowanych przez urządzenia elektroenergetyczne (w rzeczywistości liczba zakłóceń powodowanych przez te urządzenia jest nieco większa), a także jest to wynik rozpoznania zagadnienia i świadomej działalności konstruktorów urządzeń, zmierzającej do ograniczenia zakłóceń radioelektrycznych. Należy tu podkreślić, że ze względu na szczególnie charakter źródła zakłóceń, możliwe jest jedynie ograniczenie generacji zakłóceń (konstrukcja i dobór aparatury i przewodów) lub też stosowanie środków zaradczych po stronie odbioru, nie ma natomiast praktycznie możliwości wpływania na sposób rozchodzenia się zakłóceń, jak to się dzieje w przypadku większości innych źródeł zakłóceń.

1.4. Stan normalizacji zagadnienia

W dziedzinie zakłóceń radioelektrycznych działa w ramach IEC międzynarodowa organizacja CISPR, opracowująca zalecenia dotyczące mierników, zasad pomiaru, dopuszczalnych wartości, oraz metod zwalczania zakłóceń. Dokumenty opracowane przez CISPR [11 do 15] determinują sposób wykonywania pomiarów napięć oraz natężeń pól zakłóceń radioelektrycznych wytwarzanych przez linie i urządzenia elektroenergetyczne w zakresie częstotliwości 0,15 ... 30 MHz (rodzaj stosowanych mierników, sposób przygotowania lub wyboru pola probierczego, interpretacja wyników). Nie są natomiast ustalone dotychczas zasady pomiaru zakłóceń częstotli-

wości powyżej 30 MHz, od linii i urządzeń elektroenergetycznych, jak również nie są zunifikowane zalecane wartości dopuszczalnych zakłóceń w aparatach i urządzeniach oraz na liniach i stacjach elektroenergetycznych.

Należy podkreślić, że na terenie Europy prawie wszystkie kraje i ośrodki badawcze stosują praktycznie metody zalecane przez CISPR. Jedyne normy GOST (ZSRR) odbiegały od zaleceń CISPR, co powodowało, że np. poziomy zakłóceń radioelektrycznych mierzone miernikiem wg GOST były niższe od 9 do 14 dB (w zależności od odległości od skrajnego przewodu linii) od poziomów — wg CISPR. Aktualnie w ZSRR opracowano projekt normy [19] zgodnej z zaleceniami CISPR i wprowadza się do stosowania mierniki wg CISPR. Normy amerykańskie (NEMA, ANSI) są zgodne w zasadzie z zaleceniami CISPR, jeżeli chodzi o metody pomiaru zakłóceń radioelektrycznych powodowanych przez aparaty i osprzęt. Natomiast ustalenie innych wymagań na mierniki jest przyczyną różnic w poziomach pomierzonych zakłóceń (różnica nie przekraczająca paru dB).

Polska jest członkiem CISPR, a w zakresie zakłóceń radioelektrycznych, powodowanych przez linie i urządzenia elektroenergetyczne, działa Krajowa III Grupa Robocza CISPR (zakłócenia powodowane przez linie elektroenergetyczne oraz trakcję elektryczną).

Krajowe przepisy (PN/E i PN/T) są zgodne z zaleceniami CISPR, ich zakres rzeczowy [16 do 18] obejmuje wymagania dla mierników, metody pomiaru napięć zakłóceń powodowanych przez aparaty elektryczne oraz wartości dopuszczalne (wartości dopuszczalne dla aparatury elektrycznej powinny być podawane w normach przedmiotowych). Normalizacją nie zostały objęte dotychczas metody pomiarów natężeń pól zakłóceń w pobliżu linii i stacji elektroenergetycznych.

2. BADANIA NAPIĘĆ ZAKŁÓCENIOWYCH

2.1. Metody pomiaru

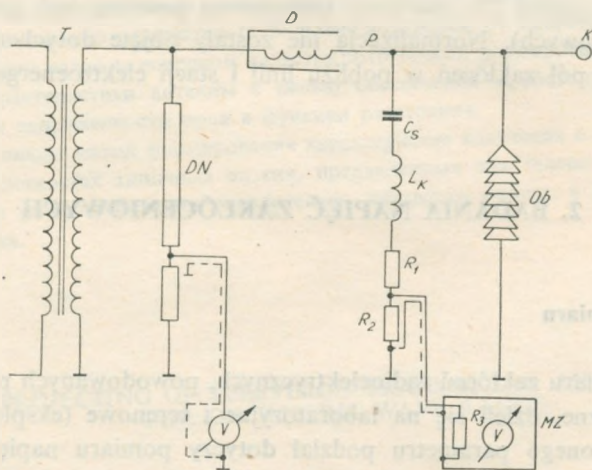
Metody pomiaru zakłóceń radioelektrycznych, powodowanych przez urządzenia elektroenergetyczne, dzieli się na laboratoryjne i terenowe (eksploatacyjne). Pod względem mierzonego parametru podział dotyczy pomiaru napięć zapłonowych i natężeń pola zakłóceńowego. Z reguły istnieje korelacja między tymi dwoma rodzajami podziału. Pomiar laboratoryjny, dotyczące określania intensywności zakłóceń wytwarzanych przez poszczególne typy aparatów i izolatorów (jako produktów przemysłowych) oraz zjawisk w różnych modelowych układach izolacyjnych, przeprowadza się zazwyczaj jako pomiary napięcia zakłóceńowego. Wykonywanie bowiem badania pól w laboratoriach o ograniczonych rozmiarach obciążone jest znacznymi błędami. Wiąże się to z trudnością stosowania odległości

pomiarowych znacznie większych od wymiarów źródła — aparatu wysokonapięciowego. W szczególnie istotnych dla tego rodzaju źródeł zakłóceń badaniach przy częstotliwościach 0,1 ... 6 MHz sprzężenia elektrostatyczne i elektromagnetyczne ze ścianami i konstrukcjami metalowymi (uziemionymi) zniekształcają rozkład pola [1].

Natomiast pomiary w linii elektroenergetycznej znajdującej się w normalnej eksploatacji, łatwiej i efektywniej jest wykonywać dla parametru bezpośrednio stanowiącego zagrożenie odbioru — a więc natężenie pola. Pomiary napięcia wymagałyby bowiem stosowania w terenie kosztownych i trudnych do transportu i montażu urządzeń, które ponadto mogłyby stanowić dodatkowe źródło zaburzeń w pracy układów elektroenergetycznych.

Laboratoryjne pomiary napięcia zakłóceniewego na urządzeniach wysokiego napięcia znacznie różnią się od pomiarów tych samych parametrów na innych urządzeniach zakłócających (np. maszynach elektrycznych, urządzeniach oświetleniowych itp.). Wymagają one bowiem dużych przestrzeni laboratoryjnych oraz kosztownych wysokonapięciowych urządzeń generujących i pomiarowych.

Przy pomiarach napięć zakłóceniewych [17, 20] występuje konieczność oddzielenia się od obwodu wysokiego napięcia. Służy do tego celu zazwyczaj kondensator sprzęgający o wytrzymałości izolacji, dostosowanej do wysokiego napięcia probierczego i o pojemności tak dobranej, aby praktycznie cały prąd zakłóceniewy przepłynął przez pomiarowy opór obciążenia. Typowe układy do pomiaru napięcia zakłóceniewego przedstawiono na rys. 2.1 i 2.2 [17, 20, 21].



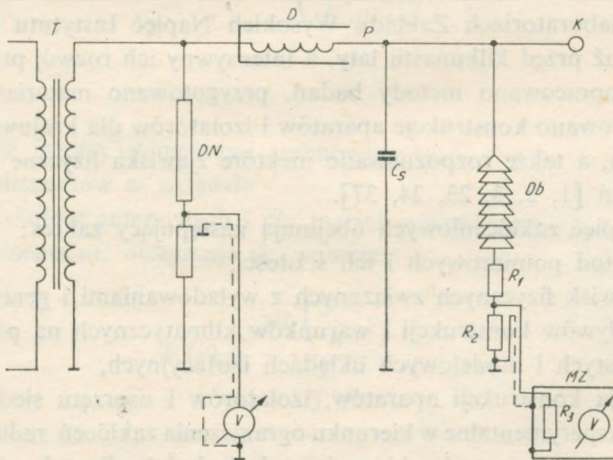
Rys. 2.1. Schemat typowego układu do pomiaru napięcia zakłóceń radioelektrycznych

- T — transformator probierczy — źródło wysokiego napięcia przemiennego,
 DN — dzielnik do pomiaru wysokiego napięcia,
 V — miernik do pomiaru maksymalnej wartości napięcia przemiennego,
 D — dławik zaporowy,
 P — wysokonapięciowe przewody doprowadzające,
 K — zakończenie wysokonapięciowych przewodów doprowadzających,
 Cs — wysokonapięciowa pojemność sprzęgająca
 Lk — indukcyjność kompensująca,
 R₁, R₂, R₃ — oporniki pomiarowe niskonapięciowej części układu,
 MZ — miernik zakłóceń,
 Ob — obiekt badany

Działanie dławika zaporowego polega na odcięciu obwodu probierczego od zakłóceń mogących pochodzić ze źródła wysokiego napięcia i na uniknięciu bocznikowania kondensatora sprzęgającego przez stosunkowo dużą pojemność wejściową transformatora probierczego. Spadek napięcia probierczego 50 Hz na dławiku jest przy tym pomijalnie mały. Opór pomiarowy dobiera się wraz z opornością wewnętrzną miernika zakłóceń do wartości ujednocionej przez przepisy [15, 17], a więc do 150 Ω . Dawniej różni badacze stosowali wyższe wartości, np. 300 lub 600 Ω [6, 7, 22] jako wartości bardziej zbliżone do impedancji charakterystycznej linii elektroenergetycznych.

Idealny układ probierczy powinien zapewniać przepływ całego prądu zakłóceniewego przez opór pomiarowy, a mierzony spadek napięcia powinien odpowiadać napięciu zakłóceniewemu źródła. W tym celu pojemność sprzęgająca powinna być znacznie większa niż pojemność rozproszenia układu. Zazwyczaj dobiera się pojemność sprzęgającą ok. 1–2 nF, impedancja zaś szeregowa LC (pojemność sprzęgająca, indukcyjność połączeń) powinna być równa zeru.

W celu doprowadzenia układu LC do rezonansu szeregowego przy mniejszych częstotliwościach pomiarowych stosuje się często dodatkową niskonapięciową indukcyjność kompensującą. Jednak rozmiary układu probierczego, dostosowane do wielkości badanego aparatu i niezbędnych rozmiarów izolacji powodują, że rezonans między doprowadzeniami a pojemnością sprzęgającą występuje już przy częstotliwościach niewiele przekraczających 1 MHz. Dla większych częstotliwości po-



Rys. 2.2. Odmiana typowego układu do badań napięcia zakłóceń na izolatorach

- T* — transformator probierczy — źródło wysokiego napięcia przemiennego,
DN — dzielnik do pomiaru wysokiego napięcia,
V — miernik do pomiaru maksymalnej wartości napięcia przemiennego,
D — dławik zaporowy,
P — wysokonapięciowe przewody doprowadzające,
K — zakończenie wysokonapięciowych przewodów doprowadzających,
C_s — wysokonapięciowa pojemność sprzęgająca,
R₁, R₂, R₃ — oporniki pomiarowe niskonapięciowej części układu,
MZ — miernik zakłóceń
Ob — obiekt badany

miarowych układ staje się przekompensowany. Stąd potwierdza się słuszność stosowania jako najbardziej zalecanej częstotliwości pomiarowej 0,5 MHz lub 1 MHz (jeszcze poniżej rezonansu). Szczegółowe badania wykazały jednak [1, 21, 37], że rozpatrywany układ probierczy ma raczej cechy układu stałoprądowego niż stałonapięciowego. Oznacza to, że w przypadku impedancji RLC — nieco większej od oporu pomiarowego R — prąd płynący przezeń nie zmienia się praktycznie, nie zmieniając również wskazań miernika zakłóceń. Jednocześnie właściwość ta pozwala na łatwe przeliczanie wyników pomiarów uzyskanych przy różnych wartościach oporu pomiarowego (w zakresie 60 – 600 Ω).

Odmiana układu probierczego z rys. 2.2, stosowana praktycznie przy próbach izolatorów, do których łatwo włączyć opór pomiarowy między obiekt i ziemię, nie wprowadza większych błędów wówczas, gdy pojemność izolatorów jest dostatecznie duża (np. próby pospołowe). W przeciwnym przypadku celowe jest stosowanie dodatkowej pojemności sprzęgającej (tu — stanowiącej magazyn ładunku dla wyładowań niezupełnych).

2.2. Zakres badań

Badania napięć zakłóceńowych w laboratoriach wysokonapięciowych prowadzi się na świecie już od paru dziesiątków lat. Szczególnie zasobne rezultaty osiągnęli badacze amerykańscy, niemieccy i francuscy, a w ostatnich latach i inni działający wspólnie w ramach współpracy z CISPR i CIGRE. Badania w kraju rozpoczęto w laboratoriach Zakładu Wysokich Napięć Instytutu Elektrotechniki w Warszawie już przed kilkunastu laty, a intensywny ich rozwój przypadła na lata 1962–68, gdy opracowano metody badań, przygotowano materiały do normalizacji, racjonalizowano konstrukcje aparatów i izolatorów dla krajowych sieci wysokonapięciowych, a także rozpoznawano niektóre zjawiska fizyczne związane z generacją zakłóceń [1, 2, 3, 23, 24, 37].

Badania napięć zakłóceńowych obejmują następujący zakres:

- badania metod pomiarowych i ich ścisłości,
- badania zjawisk fizycznych związanych z wyładowaniami i generacją zakłóceń,
- badania wpływów konstrukcji i warunków klimatycznych na poziom zakłóceń na rzeczywistych i modelowych układach izolacyjnych,
- racjonalizacja konstrukcji aparatów, izolatorów i osprzętu sieciowego, oparta o badania eksperymentalne w kierunku ograniczenia zakłóceń radioelektrycznych,
- próby zastosowania metod zakłóceńowych do indykacji wad w izolacji (wykrywanie wyładowań niezupełnych),
- próby uzyskania korelacji między napięciem zakłóceń na źródle a polem zakłóceń emitowanym przez linie (nie rozwiązane dotąd nigdzie w sposób ogólny).

W zakresie badanych urządzeń przedmiotem prób są zazwyczaj:

- izolatory ceramiczne,
- aparaty wysokonapięciowe, w których wyładowania niezupełne występują prze-

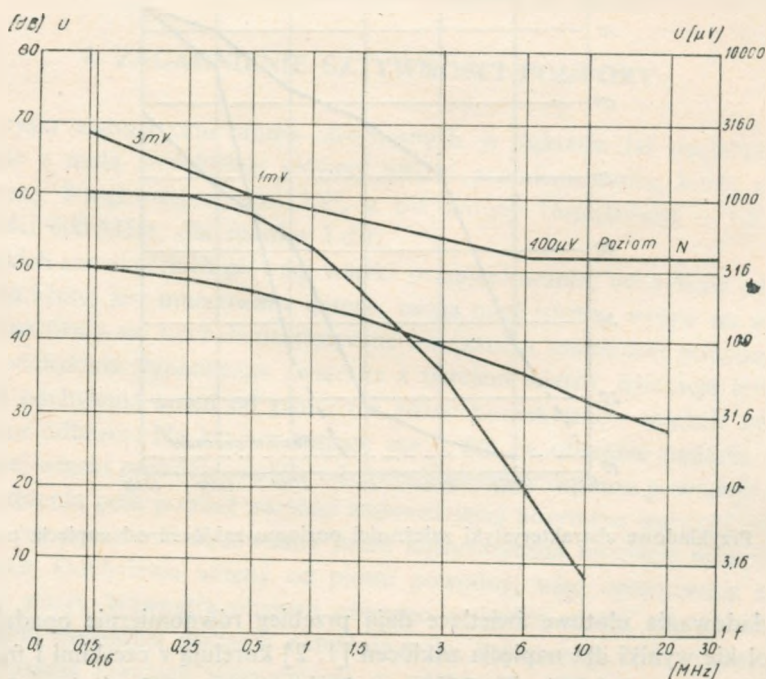
ważnie na ich izolacji ceramicznej (np. wyłączniki, odłączniki, osłony izolatorów przepustowych),

- aparaty, w których wyładowania niezupełne występują zwykle w izolacji wewnętrznej, a metoda zakłóceń służy do ich indykacji (np. transformatory, przekładniki, kondensatory, przepusty kondensatorowe),
- aparaty, w których występowanie wyładowań niezupełnych (ograniczone) jest warunkiem ich poprawnego działania (odgromniki zaworowe).

Większość badań dotyczy najbardziej zalecanych częstotliwości pomiarowych w granicach 0,5 ... 1 MHz, chociaż często określa się również kompletne charakterystyki w zakresie pomiarowym mierników zakłóceń 0,16 ... 30 MHz (na ogół do 6 lub 10 MHz, gdyż dla większych częstotliwości poziom zakłóceń zmniejsza się praktycznie do poziomu szumów zewnętrznych). Pomiary polegają zazwyczaj na określaniu zależności napięcia zakłóceń od wysokiego napięcia probierczego przy określonych częstotliwościach oraz zależności od częstotliwości przy określonych napięciach probierczych.

2.3. Przykładowe wyniki badań

Liczba badań przeprowadzonych w różnych laboratoriach zagranicznych i krajowych jest tak duża, że niesposób byłoby przedstawić tu nawet skrót ważniejszych wyników. Podane zostaną jedynie przykłady, oparte głównie na wynikach badań



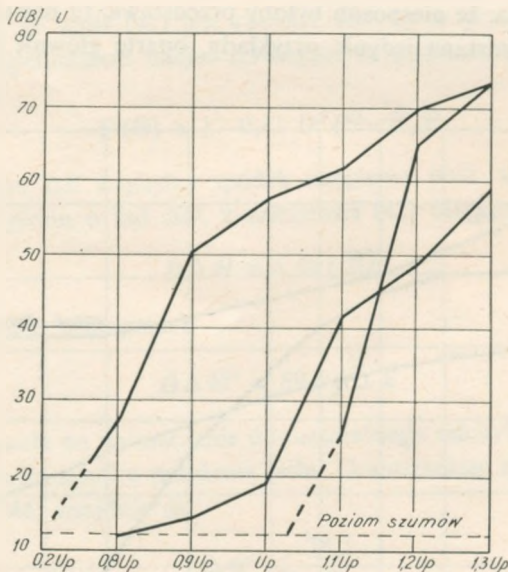
Rys. 2.3. Przykładowe charakterystyki zależności poziomu zakłóceń od częstotliwości pomiarowej

w kraju (w Instytucie Elektrotechniki) oraz na wynikach tych badań zagranicznych, których rezultat ma podstawowe znaczenie dla rozwoju tej dyscypliny, bądź też pobudza do dyskusji nad dalszymi perspektywami i potrzebami badań.

Badacze amerykańscy [25] opracowali zasady superpozycji źródeł zakłóceń (nakładania impulsów), wykazując empirycznie, że poziom zakłóceń (w μV) rośnie wolniej niż z pierwiastkiem liczby elementarnych zakłóceń (lub liczby impulsów). Zaproponowano wykładnik potęgi 0,44.

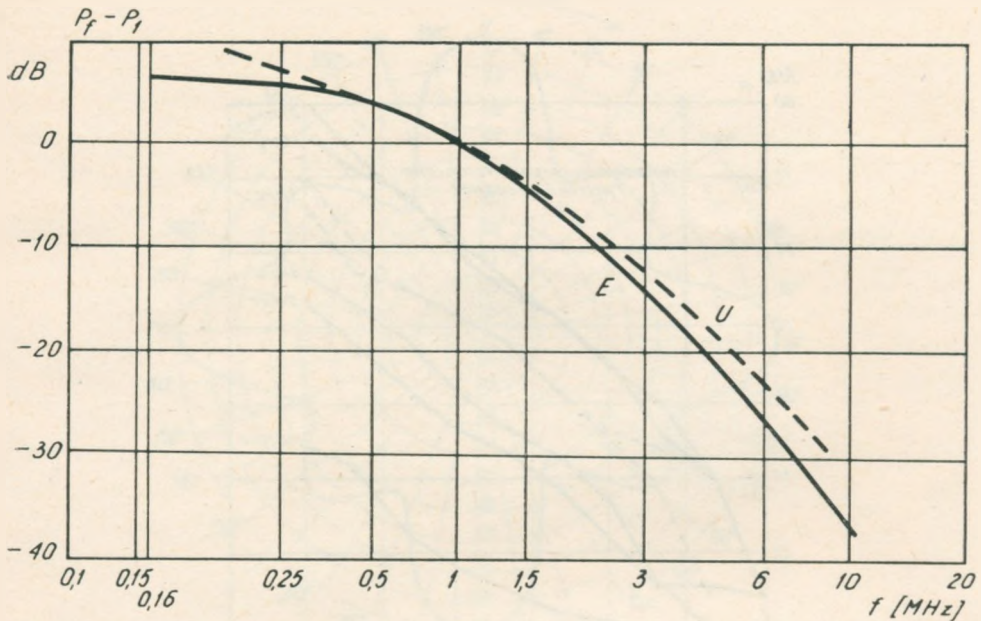
Badania francuskie [7, 22] i polskie [21, 37] nad parametrami obwodu probierczego wykazały (por. p. 2.1), że niewielkie zmiany impedancji szeregowej nie wpływają na ograniczenie prądu zakłóceńowego, natomiast istotną rolę gra pojemność równoległa. Określono dopuszczalne granice parametrów pojemności rozproszonych.

Typowe charakterystyki zakłóceńowe podają zależność poziomu zakłóceń od częstotliwości f [$N(f)$] oraz — poziomu zakłóceń od napięcia probierczego $N(U)$. Przykłady pokazują rysunki (2.3 i 2.4). Stwierdzono zależność między mechanizmem wyładowań a kształtem widma zakłóceń $N(f)$. Najlepiej zbadane w kraju i za gra-



Rys. 2.4. Przykładowe charakterystyki zależności poziomu zakłóceń od napięcia probierczego

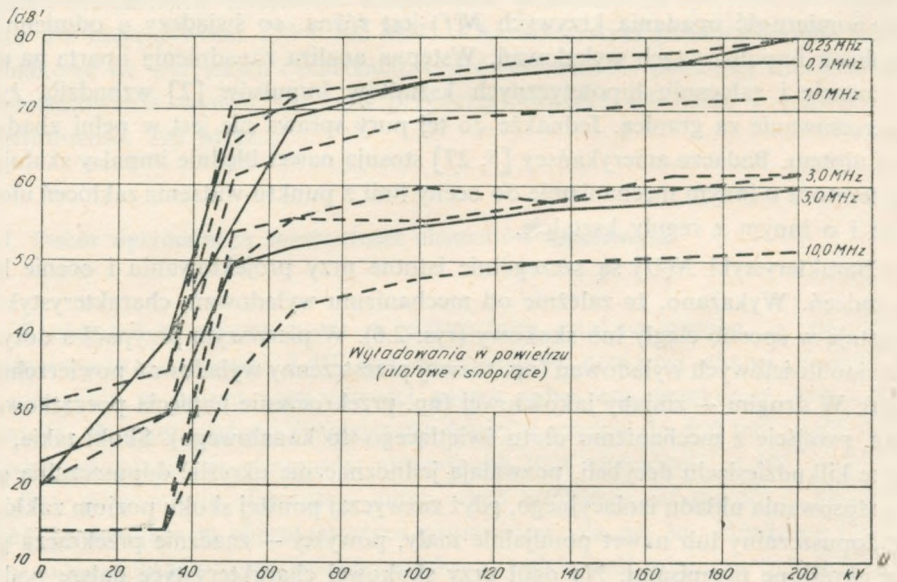
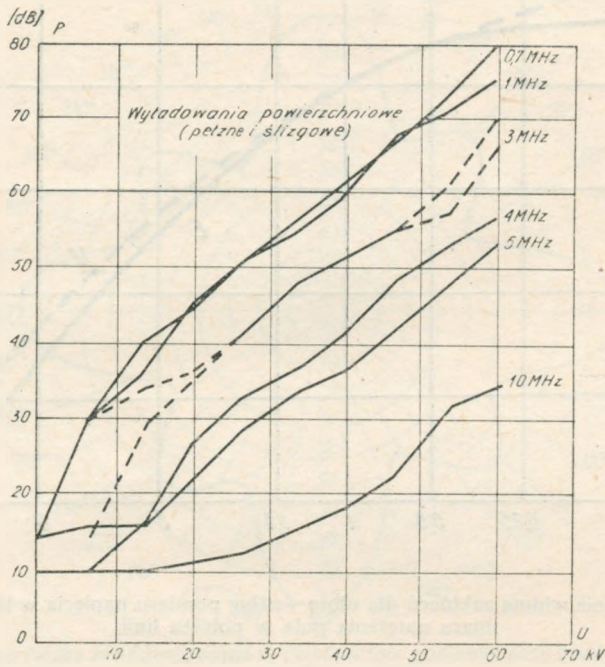
nicą wyładowania ulotowe świetlące dają przebieg równomiernie opadający, przy czym polskie wyniki dla napięcia zakłóceń [1, 2] korelują z czeskimi i francuskimi wynikami dla natężeń pola [3, 26] w analogicznych warunkach (rys. 2.5).



Rys. 2.5. Porównanie widma zakłóceń dla ulotu według pomiaru napięcia w laboratorium i pomiaru natężenia pola w pobliżu linii

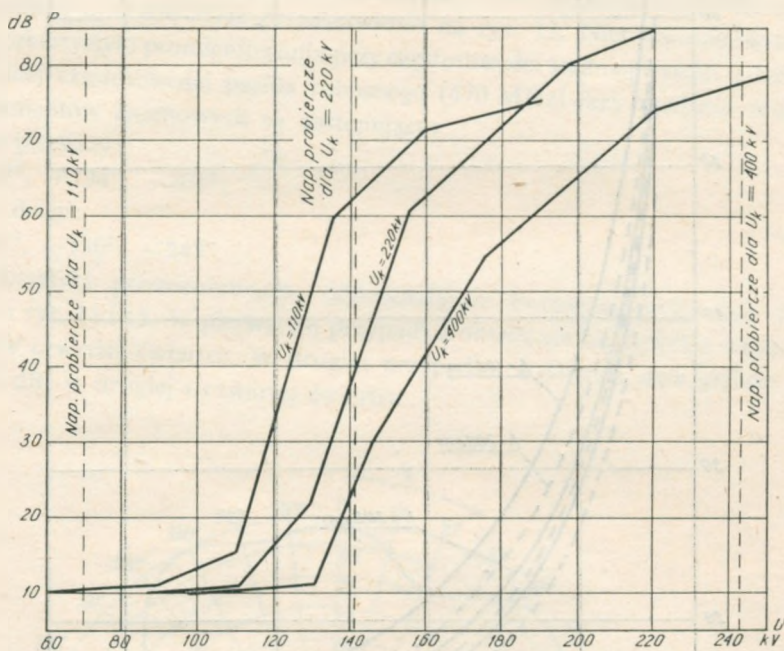
Wyniki porównawcze dla innych mechanizmów wyładowań wskazują, że szybkość i równomierność opadania krzywych $N(f)$ jest różna, co świadczy o odmiennych kształtach impulsów tych wyładowań. Wstępna analiza zagadnienia oparta na eksperymencie i założeniu hipotetycznych kształtów impulsów [2] wzbudziła żywe zainteresowanie za granicą. Jednakże do tej pory sprawa nie jest w pełni zbadana poza ulotem. Badacze amerykańscy [5, 27] stosują nawet błędnie impulsy skalujące z generatora o innym mechanizmie do oceny linii z punktu widzenia zakłóceń ulotowych i o innym z reguły kształcie.

Charakterystyki $N(U)$ są szczególnie istotne przy projektowaniu i ocenie linii i urządzeń. Wykazano, że zależnie od mechanizmu wyładowań, charakterystyki te narastają w sposób ciągły lub skokowy (rys. 2.6). W pierwszym przypadku dotyczy to zmian ilościowych wyładowań (np. rozwój przestrzenny wyładowań powierzchniowych). W drugim — zmiany jakościowej (np. przekroczenie napięcia początkowego ulotu, przejście z mechanizmu ulotu świetlącego do kanałowego). Skoki takie, sięgające kilkudziesięciu decybeli, pozwalają jednoznacznie określić dopuszczalną granicę stosowania układu izolacyjnego, gdyż zazwyczaj poniżej skoku poziom zakłóceń jest dopuszczalny lub nawet pomijalnie mały, powyżej — znacznie przekracza granice określone przepisami. Na ogół przy skokowej charakterystyce dalsze podniesienie napięcia nie zmienia w sposób istotny poziom zakłóceń.



Rys. 2.6. Porównanie charakterystyk zakłóciowych o narastaniu ciągłym i skokowym

Stwierdzono, że napięcie początkowe i napięcie największego skoku zakłóceń zależą w większym stopniu od krzywizny układu elektrod niż od ich odległości (np. ten sam osprzęt na izolatorze o różnych długościach w stosunku 1:3 daje bardzo zbliżone napięcia progowe — rys. 2.7). Wynika to z faktu, że natężenie pola na



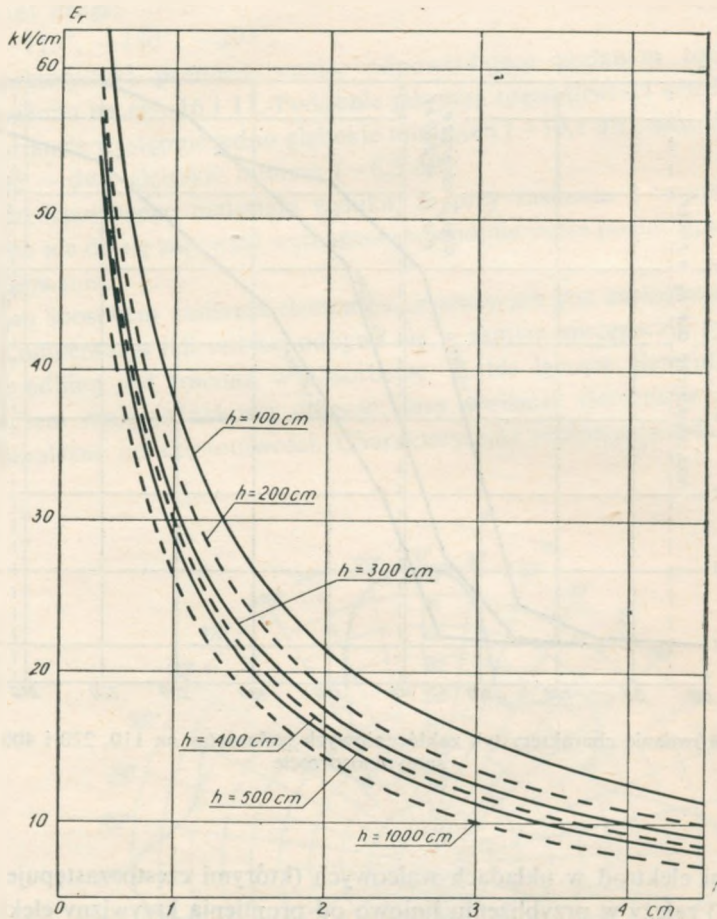
Rys. 2.7. Porównanie charakterystyk zakłóceńowych izolatorów na 110, 220 i 400 kV o takim samym osprzęcie

powierzchni elektrod w układach walcowych (którymi często zastępuje się układy praktyczne) zależy w przybliżeniu liniowo od promienia krzywizny elektrod. Natomiast zależność od odległości jest jedynie logarytmiczna (rys. 2.8).

Należy podkreślić, że jako krzywiznę elektrod należy w układzie złożonym traktować krzywiznę układu zastępczego lub krzywiznę elementu wystającego poza obwiednię układu. Dlatego elementy urządzeń o dużej krzywiznie można w praktyce ekranować elektrodami o małej krzywiznie, uzyskując zmniejszenie poziomu zakłóceń.

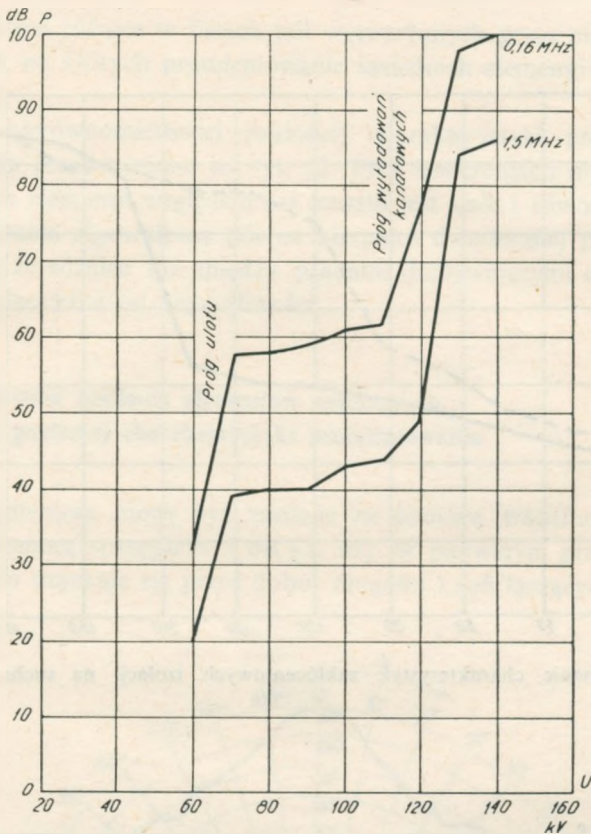
Rozpatrując mechanizm powstawania i rozwoju wyładowań zauważono, że niekiedy lepiej jest dopuścić wcześniejszy próg wyładowań o małej intensywności, które — nasycając otoczenie ładunkiem przestrzennym — utrudniają przejście wy-

ładowań świetlanych w kanałowe, niż podnosząc próg wyładowań, uzyskać od razu wyładowanie kanałowe o dużej intensywności i niedopuszczalnym poziomie zakłóceń (rys. 2.9).



Rys. 2.8. Zależność natężenia pola na powierzchni elektrod walcowych od ich promieni i odległości

Wpływ deszczu i innych przyczyn zaburzeń gładkości powierzchni elektrod powoduje z reguły obniżenie progu intensywnych zakłóceń oraz zwiększenie ich intensywności (rys. 2.10). Charakterystyczne jest, że już niewielki opad deszczu powoduje duży skok zakłóceń, a dalsze zwiększanie intensywności opadu ma tu już wpływ mało istotny (rys. 2.11).

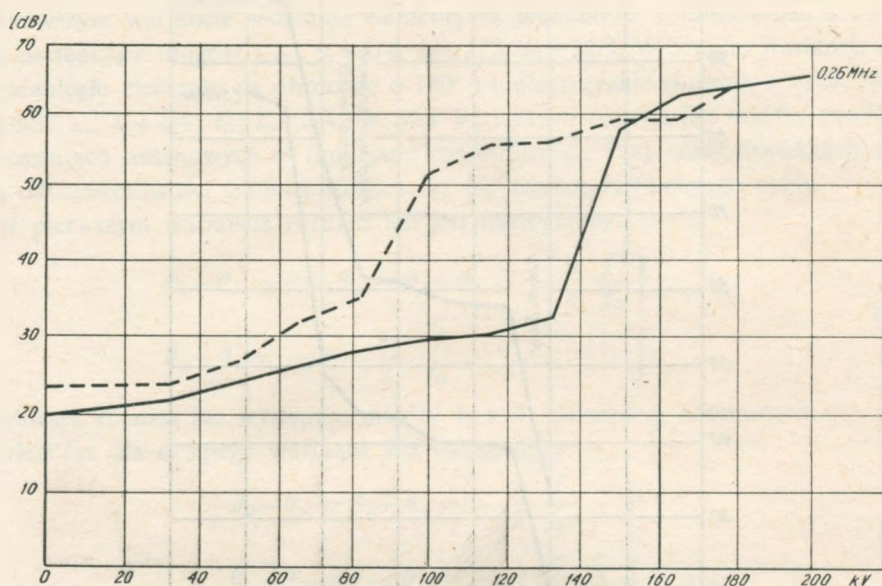


Rys. 2.9. Porównanie charakterystyk zakłóceń wlotu świetlającego i wylądowań kanałowych

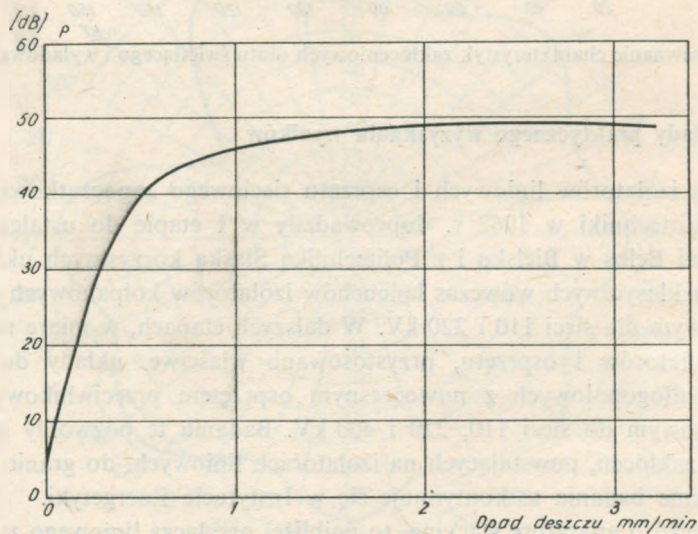
2.4. Przykłady praktycznego wyzyskania wyników

Badania izolatorów liniowych i osprzętu sieciowego zapoczątkowane w Instytucie Elektrotechniki w 1962 r. doprowadziły w I etapie do ustalenia wspólnie z Zakładami Belos w Bielsku i z Politechniką Śląską korzystnych układów izolacyjnych dla klasycznych wówczas łańcuchów izolatorów kołpakowych z osprzętem pierścieniowym dla sieci 110 i 220 kV. W dalszych etapach, w miarę rozwoju konstrukcji izolatorów i osprzętu, przystosowano właściwe układy do łańcuchów izolatorów długopniowych z nowoczesnym osprzętem przeciwfukowym pierścieniowo-różkowym do sieci 110, 220 i 400 kV. Badania te pozwoliły na obniżenie poziomów zakłóceń, powstających na izolatorach liniowych, do granic dopuszczalnych. Obecnie badania te kontynuuje się w Instytucie Energetyki.

Jeśli chodzi o aparaturę stacyjną, to najbliższym przyłącza liniowego zainstalowane są odłączniki — największe źródło propagacji zakłóceń ze stacji na linię. Ograniczenie zakłóceń powinno odnosić się nie tylko do stanu zamkniętego, lecz także do otwartego toru prądowego odłącznika, co jest szczególnie trudne do zrealizowania.



Rys. 2.10. Porównanie charakterystyk zakłóceńowych izolacji na sucho i pod deszczem



Rys. 2.11. Wpływ intensywności deszczu na poziom zakłóceń

Skonstruowanie elektrod „nauszników” na głowicach oraz „murzyńskich warg” na nożach odłączników 220 i 400 kV w Instytucie Elektrotechniki pozwoliło na utrzymanie się w granicach dopuszczalnego poziomu zakłóceń (obniżenie o ok. 40 dB w stosunku do dawnej konstrukcji). Poza wprowadzeniem do sieci krajowych, partie kilkuset takich odłączników wyprodukowanych w Zakładach ZWAR i sprzedanych do krajów kapitalistycznych przeszły pozytywne próby odbiorcze wg wymagań zagranicznych.

Wykryto i usunięto źródła zakłóceń w izolatorach stojących 110 i 220 kV, spowodowane przez wyładowania, wynikające ze zbyt dużych krzywizn głowic oraz stosowania niewłaściwego kitu spajającego okucie z izolatorem.

W konstrukcjach współczesnych odgromników zaworowych do stabilizacji ich napięć zapłonowych (zwiększenia niezawodności działania) stosuje się podświetlanie przerw iskrowych wyładowaniami niezupełnymi. Powinny one niezawodnie pobudzić zapłon iskiernika gdy napięcie nie przekracza wymaganego poziomu ochrony od przepięć, w normalnym zaś napięciu roboczym wyładowania nie powinny występować, aby nie wywoływać zakłóceń radioelektrycznych, a także aby długotrwałym działaniem nie przyspieszyć starzenia izolacji odgromnika.

Racjonalizując dotychczasowe i przygotowując do produkcji w Zakładach ZWAR nowe konstrukcje odgromników zaworowych w Instytucie Elektrotechniki opracowano takie warunki dla dwóch podstawowych mechanizmów wyładowań stosowanych w odgromnikach (wyładowania powierzchniowe i przeskoki częściowe w szczelinie powietrznej), aby zabezpieczyć się przed zakłóceniami, jednocześnie zwiększając skuteczność działania odgromników. Te i inne pozytywne cechy polskich odgromników zwiększają zainteresowanie nimi za granicą — obecnie blisko 70% produkcji jest przeznaczona na eksport.

W badaniach izolacji przekładników, kondensatorów, transformatorów i kondensatorowych izolatorów przepustowych z powodzeniem stosowano metodę pomiaru napięcia zakłóceniewego jako jedną z metod do wykrywania i zwalczania źródeł wewnętrznych wyładowań niezupełnych.

W tym przypadku pomiary ilościowe mogą być nieraz zawodne, gdyż uszkodzony element izolacyjny może mieć trudne do odtworzenia sprzężenia pojemnościowe i indukcyjne z pomiarowymi zaciskami zewnętrznymi, jednak do indykacji zjawiska metoda ta jest bardzo czuła.

3. BADANIA PÓL ZAKŁÓCENIOWYCH

3.1. Metody pomiaru

Pomiary promieniowania linii elektroenergetycznych wykonuje się zgodnie z metodami podanymi w Zaleceniach CISPR [11 i 15], przy czym stosuje się mierzaki wg CISPR z typowymi antenami ramowymi lub dipolowymi. Zalecana częstot-

liwość pomiarowa wynosi 500 ± 100 kHz. Praktycznie wykorzystuje się do pomiaru anteny ramowe — pomiar składowej magnetycznej pola zakłóceń, umieszczone na wysokości 2 m nad poziomem ziemi. Położenie anteny powinno być regulowane w taki sposób (antena obrotowa względem osi pionowej), aby uzyskać na mierniku maksymalne wychylenie. Odległości pomiarowe liczone są jako odległości poziome od rzutu skrajnego przewodu linii. W Polsce przyjmuje się jako typową odległość pomiarową 20 m (zgodnie z zaleceniami CISPR). Odległości pomiarowe przyjmowane w innych krajach zawierają się w granicach od 10 do 100 m.

Zakłócenia radioelektryczne mierzy się w kilku miejscach w środku rozpiętości przęsła oraz w pobliżu słupów linii. Przęsła linii wybrane do pomiaru powinny znajdować się w płaskim, stosunkowo równym terenie; w znacznej odległości od drzew i budynków (w celu uniknięcia wpływu odbić) oraz w odległości nie mniejszej niż 10 km od stacji elektroenergetycznych. Poziom obcych zakłóceń powinien być niższy od poziomu mierzonego o co najmniej 20 dB. W trakcie pomiarów wyznacza się zwykle charakterystyki częstotliwościowe zakłóceń w typowych punktach oraz pomiary zakłóceń w funkcji odległości poziomej od skrajnego przewodu linii.

W celu zdefiniowania warunków pomiarów niezbędne jest uzyskanie dodatkowych danych lub wykonanie dodatkowych pomiarów w celu wyznaczenia: a) natężenia pola na powierzchni przewodów linii, b) warunków atmosferycznych — temperatury, ciśnienia, wilgotności powietrza, prędkości wiatru, intensywności opadu deszczu itp., c) danych konstrukcyjnych linii — typu izolatorów, rodzaju i konfiguracji przewodów, rodzaju konstrukcji wsporczych, wieku linii itp. Pomiary powinny być wykonywane przez odpowiednio długi okres czasu, a ich wyniki przedstawiane w postaci danych statystycznych, na ogół z podziałem na okresy „dobrej” i „złej” pogody.

Przez pojęcie „dobrej pogody” należy rozumieć okres czasu z wyłączeniem okresów opadów deszczu lub śniegu, mgły, mżawki lub zwiększonej wilgotności powietrza (ponad 80%).

Przyjęte metody pomiaru, a zwłaszcza dowolność wyboru pomiaru składowej magnetycznej lub składowej elektrycznej pola elektromagnetycznego oraz wykonywanie pomiarów przy założonej odległości poziomej od linii powodują, że w zależności od konstrukcji linii mogą występować pewne rozbieżności poziomu zakłóceń. Wynika to z różnego stopnia tłumienia wymienionych składowych pola elektromagnetycznego w pobliżu linii oraz z różnych odległości anteny pomiarowej od przewodów przy tej samej odległości poziomej.

Stosowanie do pomiarów mierników niezgodnych z wymaganiami CISPR powodowałoby dodatkowe trudności przy porównywaniu wyników i zmuszałoby do odpowiedniego ich korygowania.

Poziom zakłóceń jest podawany w dB w odniesieniu do $1 \mu\text{V/m}$.

3.2. Zakres badań

Badania zakłóceń radioelektrycznych w pobliżu czynnych linii elektroenergetycznych oraz w pobliżu linii eksperymentalnych były i są wykonywane przez wiele ośrodków badawczych, spośród których należy zwłaszcza wymienić: Laboratoria EdF we Francji, Laboratoria EGU w Czechosłowacji, różne laboratoria w ZSRR, Laboratoria w ENEL i CESI we Włoszech, Laboratoria CEGB w Anglii, Laboratoria Forschungsgemeinschaft e. V. Heidelberg w NRF, a poza Europą — Laboratoria różnych towarzystw energetycznych w Stanach Zjednoczonych, Kanadzie oraz Japonii.

W Polsce pierwsze badania zakłóceń radioelektrycznych były wykonywane przez Instytut Elektrotechniki w latach pięćdziesiątych [23], a następnie kontynuowane w roku 1960 (badania w pobliżu linii 220 kV). Od roku 1962 Instytut Elektrotechniki skoncentrował swoje badania na zagadnieniach zakłóceń wytwarzanych przez aparaty elektryczne i osprzęt sieciowy. Jednocześnie w latach 1966–1969 Instytut Energetyki wykonał serię badań zakłóceń w pobliżu linii i stacji elektroenergetycznych 220 kV. Badania zakłóceń radioelektrycznych w pobliżu linii 400 kV prowadziła w latach 1965–1970 Katedra Sieci i Układów Elektroenergetycznych Politechniki Śląskiej.

Prowadzone za granicą badania linii znajdujących się w eksploatacji dotyczyły pomiarów zakłóceń radioelektrycznych w sąsiedztwie linii najwyższych napięć, zwłaszcza o napięciach znamionowych 220 ... 750 kV (te ostatnie badano w ZSRR, USA i Kanadzie). Badania miały w większości przypadków charakter długotrwałych pomiarów pozwalających na wyznaczenie charakterystycznych wielkości statystycznych. Jednocześnie szereg ośrodków prowadziło badania z wykorzystaniem linii eksperymentalnych (o długości kilku przęseł) o napięciu do 1500 kV.

W stosunkowo mniejszym zakresie wykonywane były pomiary zakłóceń radioelektrycznych w pobliżu linii najwyższych napięć prądu stałego oraz stacji elektroenergetycznych prądu stałego i przemiennego. Równolegle starano się opracować metody obliczeniowe, pozwalające na wyznaczanie poziomu zakłóceń radioelektrycznych linii projektowanych na podstawie znajomości ich danych konstrukcyjnych (metody te można podzielić na metody teoretyczne i empiryczne). Specjalnym zagadnieniem był problem doboru średnicy przewodów linii elektroenergetycznych oraz ustalenia wymaganych odległości linii od zabudowy mieszkalnej.

Wspólna działalność grupy roboczej, złożonej z przedstawicieli IEEE oraz CIGRE, doprowadziła do zebrania i porównania wyników pomiarów uzyskanych w 12 krajach oraz do porównania różnych metod obliczeniowych [26, 28]. Badania, dotyczące zakłóceń telewizyjnych oraz szumów akustycznych, są w krajach europejskich w początkowym stadium, nieco obszerniejsze badania w tym zakresie wykonano w USA.

3.3. Przykładowe wyniki badań

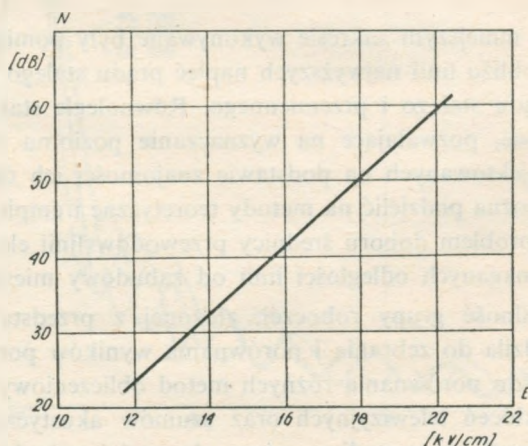
Poniżej zamieszczone są główne wyniki różnych badań z wyłączeniem zagadnień zakłóceń radioelektrycznych, powodowanych przez linie i stacje wysokiego napięcia prądu stałego, szumów akustycznych oraz zakłóceń telewizyjnych.

Na wstępie należy podkreślić, że podstawowe wyniki uzyskane w badaniach krajowych nie odbiegają od wyników zagranicznych, co pozwoliło na podjęcie decyzji o możliwości ograniczenia w pewnym zakresie badań w kraju i wykorzystaniu licznych danych zagranicznych do rozwiązania konkretnych zagadnień praktycznych.

Poziom zakłóceń radioelektrycznych w pobliżu linii elektroenergetycznych zależy głównie od:

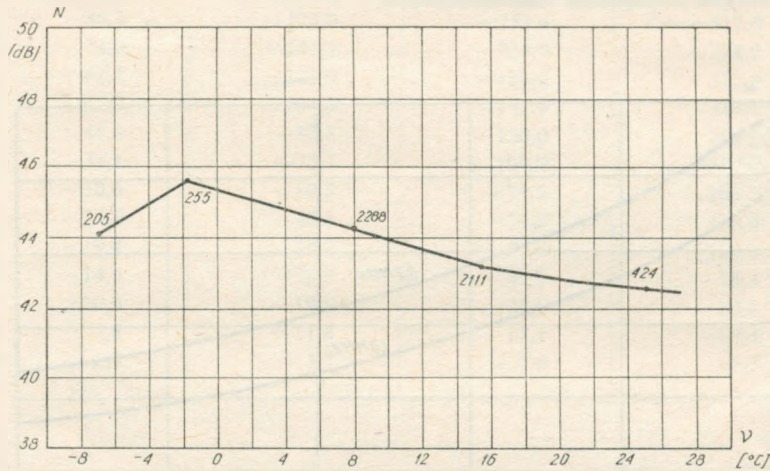
- średnicy, liczby i układu przewodów na słupie,
- odległości przewodów od ziemi,
- rozpiętości przęsła,
- odległości punktu pomiarowego od szyn stacji lub od punktu zmiany parametrów falowych linii,
- ukształtowania terenu i rezystywności gruntu,
- napięcia linii lub ściślej — natężenia pola na powierzchni przewodów,
- częstotliwości pomiarowej,
- warunków atmosferycznych,
- odległości punktu pomiarowego od przewodów linii,
- rodzaju zastosowanych izolatorów i osprzętu sieciowego.

Przyjmując założenie, że pomiar natężenia został wykonany zgodnie z ogólnymi zasadami (p. 3.1) oraz że zastosowano mierniki zgodnie z CISPR lub odpowiednio przeliczono wyniki pomiarów, wykonanych przyrządem o innej charakterystyce, można stwierdzić, że zasadnicze różnice poziomu zakłóceń będą występo-



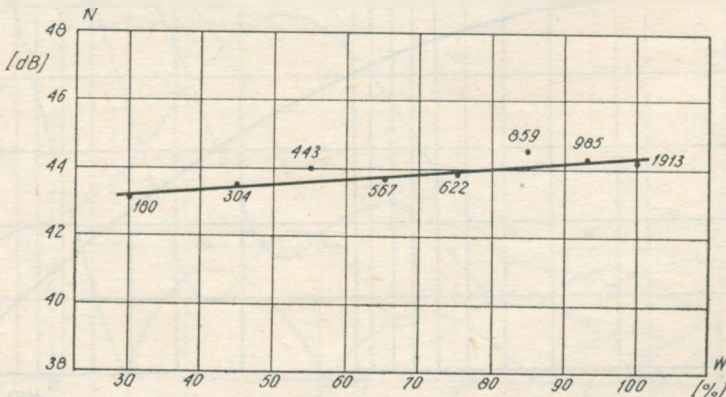
Rys. 3.1. Zależność zakłóceń radioelektrycznych od natężenia pola na powierzchni przewodów (20 m od skrajnego przewodu linii, 1 MHz, dobra pogoda)

wały w zależności od natężenia pola na powierzchni przewodów, częstotliwości pomiarowej, warunków atmosferycznych i odległości punktu pomiarowego od przewodów linii. Należy podkreślić, że w warunkach dobrej pogody i braku zabrudzeń, poziom zakłóceń wnoszony przez izolatory i osprzęt sieciowy (przy prawidłowej eksploatacji linii) jest na tyle mały w stosunku do poziomu zakłóceń wnoszonego przez przewody linii, że można pominąć wpływ tych elementów na sumaryczne zakłócenie generowane przez linie (poziom zakłóceń jest większy w środku rozpiętości przęsła niż przy słupie linii).



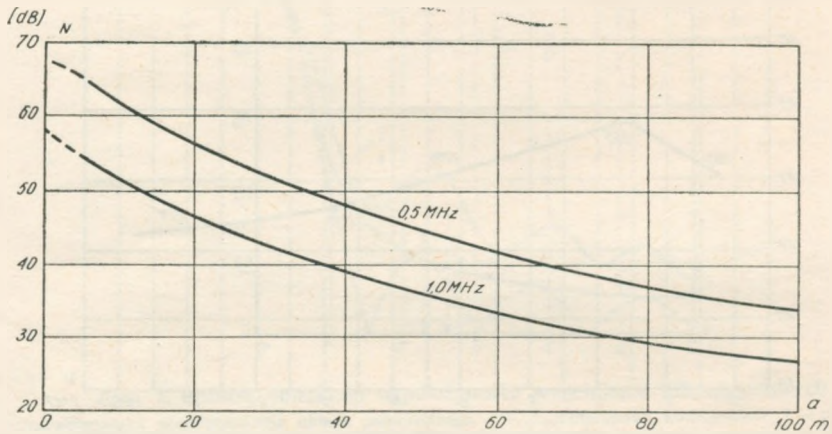
Rys. 3.2. Zależność zakłóceń radioelektrycznych od temperatury (linie 220 i 380 kV, pomiary przy napięciu: 225 ... 235 kV i 385 ... 395 kV, przy dobrej pogodzie)

Na rysunkach 3.1 ... 3.3 podano przykładowo zależności poziomu zakłóceń radioelektrycznych od natężenia pola na powierzchni przewodów [29] oraz od temperatury i względnej wilgotności powietrza [30]. Analizowanie wpływu po-

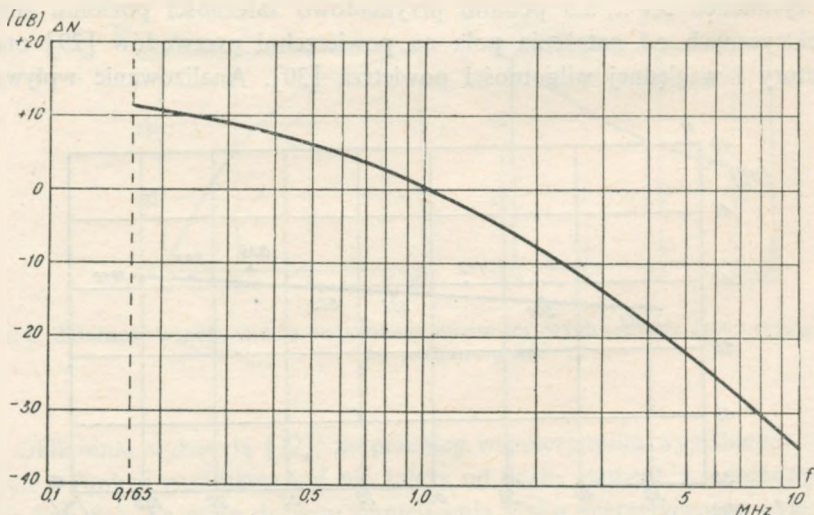


Rys. 3.3. Zależność zakłóceń radioelektrycznych od względnej wilgotności powietrza (jak rys. 3.2)

szczególnych czynników i ocenianie na tej podstawie poziomu zakłóceń radioelektrycznych w pobliżu linii elektroenergetycznych byłoby niezmiernie kłopotliwe. Z tych względów na podstawie dużych serii pomiarów podaje się zwykle bardziej ogólne zależności poziomu zakłóceń od odległości poziomych od linii i od częstotliwości, dla linii o określonym napięciu oraz dla określonych warunków atmosferycznych. Ponadto dla wybranych warunków pomiarowych (wg CISPR dla częstotliwości 0,5 MHz i odległości poziomej 20 m) podaje się przeciętne poziomy zakłóceń i odchylenia standardowe dla charakterystycznych rodzajów pogody i dla linii o różnych napięciach znamionowych.



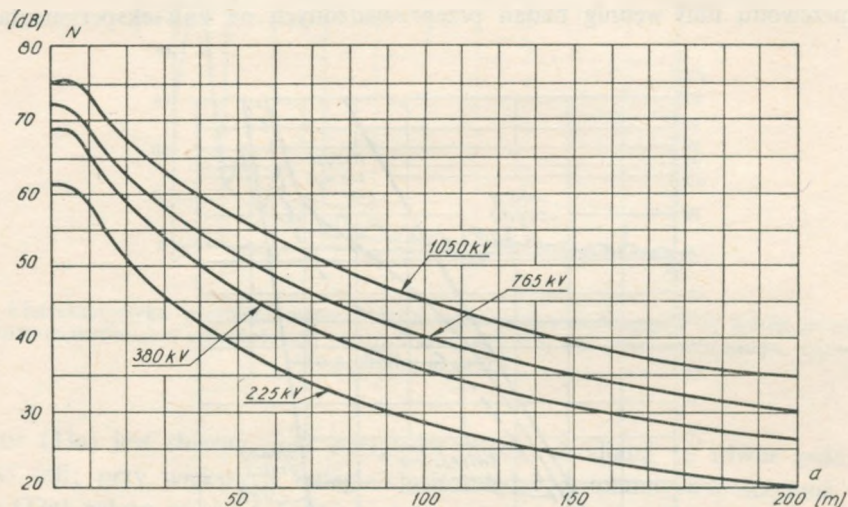
Rys. 3.4. Zależność zakłóceń radioelektrycznych od odległości poziomej od linii 400 kV przy dobrej pogodzie



Rys. 3.5. Charakterystyka częstotliwościowa zakłóceń radioelektrycznych dla linii 400 kV

Na rysunku 3.4 przedstawiono zakłócenia radioelektryczne w funkcji odległości poziomej od rzutu skrajnego przewodu linii 400 kV, a na rys. 3.5 charakterystyki częstotliwościowe zakłóceń radioelektrycznych linii 400 kV według pomiarów wykonanych w kraju [31].

Dla porównania na rys. 3.6 zamieszczono obliczeniową zależność maksymalnych zakłóceń radioelektrycznych od odległości poziomej od linii o napięciach 220 ... 1050 kV (wykresy dla okresów dużego opadu deszczu) [32]. Porównanie



Rys. 3.6. Zależność zakłóceń radioelektrycznych od odległości poziomej od linii 220 ... 1050 kV (0,5 MHz, ulewny deszcz)

licznych rezultatów pomiarów zakłóceń radioelektrycznych [26] pozwala na podanie szeregu podobnych zależności w różnych typach linii elektroenergetycznych. Na podstawie tych danych zamieszczono w tabl. 3.1 przeciętne poziomy zakłóceń

Tablica 3.1

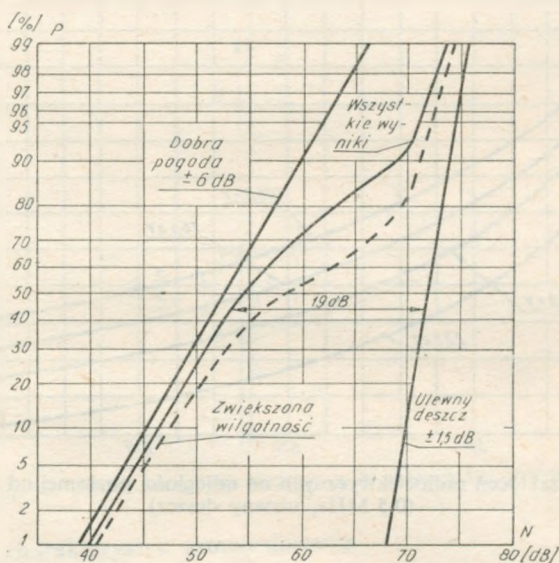
Przeciętne poziomy zakłóceń radioelektrycznych w odległości 15 m od linii elektroenergetycznych, przy 0,5 MHz [26]

Napięcie znamionowe linii	Przeciętny poziom zakłóceń w dB	
	przy dobrej pogodzie	przy złej pogodzie
220 kV	28 ... 54,9	33,5 ... 64,5
380 kV	38 ... 56,6	43,5 ... 74,7
400 kV	27 ... 59,1	32,0 ... 70,5
500 kV	30,5 ... 73,0	50,5 ... 87,5
750 kV	49,0 ... 64,8	70,0 ... 81,8

radioelektrycznych (wartości 50%) linii elektroenergetycznych o różnych napięciach znamionowych w okresach dobrej i złej pogody.

Znaczne stosunkowo rozbieżności pomiędzy przeciętnymi poziomami zakłóceń wynikają z różnic konstrukcyjnych linii oraz z różnych warunków klimatycznych i różnych ogólnych warunków pracy linii (strefa zabrudzeniowa, rezystywność gruntu itp.).

Na rysunku 3.7 pokazano dystrybuanty rozkładów poziomów zakłóceń radioelektrycznych dla linii 750 kV przy 0,5 MHz w odległości poziomej 15 m od skrajnego przewodu linii według badań przeprowadzonych na linii eksperymentalnej



Rys. 3.7. Dystrybuanta rozkładu zakłóceń radioelektrycznych dla linii 750 kV (0,5 MHz, $a = 15$ m)

EdF w Renardieres [33]. Jak wynika z rys. 3.7 różnica przeciętnych poziomów zakłóceń w okresach dobrej i złej pogody wynosi 19 dB. Ogólnie można stwierdzić, że pomiędzy poziomami zakłóceń w dwóch podanych warunkach atmosferycznych może występować różnica 10 ... 25 dB. Z badań przeprowadzonych w różnych krajach wynika, że poziom zakłóceń radioelektrycznych w okresach dobrej pogody waha się przeciętnie w granicach ± 6 dB, a w skrajnych przypadkach — w granicach ± 12 dB. W warunkach ulewnego deszczu natomiast, jeżeli nie występuje wpływ izolatorów i osprzętu, rozrzut wyników jest rzędu ± 2 dB. Spowodowało to przyjęcie tego stanu pogody jako wyjściowego przy ustalaniu teoretycznych metod obliczeniowych.

W znacznie mniejszym zakresie prowadzone były badania zakłóceń radioelektrycznych wywoływanych przez urządzenia stacji elektroenergetycznych. Celem tych badań było ustalenie przede wszystkim wpływu zakłóceń generowanych w sta-

cyjach na poziom zakłóceń w pobliżu linii na odcinkach linii w sąsiedztwie stacji. Badania wykonane w tym zakresie w sieciach amerykańskich wskazywałyby na mniejszy niż się spodziewano wpływ stacji na poziom zakłóceń w otoczeniu linii, wychodzących z tych stacji [5], [27].

Drugim celem badań może być ustalenie bezpośredniego wpływu stacji na poziom zakłóceń radioelektrycznych i ocena stopnia zakłócania odbioru radiowego w otoczeniu stacji. Wstępne badania przeprowadzone w pobliżu stacji 220/110 kV przez Instytut Energetyki [38] wskazują na to, że poziom zakłóceń w odległości ok. 40 m od terenu stacji jest wystarczająco niski i nie powinien powodować zakłócania odbioru radiowego. Jedynie w obszarze wyjść linii 220 kV poziom zakłóceń może się zmieniać w sposób dosyć przypadkowy i w tym obszarze trudno przewidzieć skutki zakłóceń.

Rodzaj i liczba zastosowanej aparatury w różnych stacjach mogą odbiegać od wyposażenia badanej stacji i, niemniej, można jednak stwierdzić, że z punktu widzenia zakłóceń radioelektrycznych nie powinny w praktyce powstawać dodatkowe trudności w wyborze lokalizacji stacji elektroenergetycznych (odległość 40 m jest zwykle niezbędna z innych względów).

3.4. Przykłady praktycznego wyzyskania wyników badań

Wyniki pomiarów zakłóceń radioelektrycznych w pobliżu linii elektroenergetycznych umożliwiły opracowanie metod obliczeniowych dwójakiego rodzaju: metod teoretycznych oraz metod empirycznych. Metody teoretyczne oparte są na założeniu, że na poziom zakłóceń w pobliżu linii największy wpływ mają zakłócenia generowane przez przewody linii. Metody takie zostały opracowane przez EdF (metoda „Analog” — Francja) oraz przez UHV (USA), a ich podstawą jest wyznaczenie funkcji wzbudzenia typowych układów przewodów. Praktyczne wykorzystanie tych metod jest możliwe po wykonaniu na maszynie cyfrowej obliczeń dla konkretnej linii.

Metody empiryczne są wynikiem interpretacji rezultatów pomiarów, a zwłaszcza stwierdzonych prawidłowości i zależności od podstawowych parametrów i mogą być stosowane w określonym przedziale zmienności tych parametrów. Zależności empiryczne mają postać [28]:

a) metoda EGU (CSRS):

$$N = 14 + 4,5 E_{mx} - 34 \lg D - 22 \lg f - 15 \lg^2 f \pm 6 \quad (1)$$

b) metoda Shiobara (Japonia):

$$N = 3,7 E_{mx} - 9,2 + 40 \lg \frac{d}{2,53} + 20 \lg \frac{10s}{D^2} - 12 \lg^2 f - 17 \lg f \pm 3 \quad (2)$$

c) metoda Forschungsgemeinschaft (NRF)

$$N = 56,7 + K/E_{mx} - 16,95/ + 40 \lg \frac{d}{3,93} + 10 \lg \frac{n}{4} + \\ + 32 \lg \frac{20}{D} + 20 \lg \frac{1+0,5^2}{1+f^2} \pm 5 \quad (3)$$

przy czym: N — poziom zakłóceń radioelektrycznych przy dobrej pogodzie w dB
 E_{mx} — maksymalne natężenie pola na powierzchni przewodów linii
w kV/cm
 d — średnica przewodu w cm
 D — odległość od przewodu skrajnej fazy w m
 n — liczba przewodów w wiązce
 s — odstęp przewodów w wiązce w cm
 f — częstotliwość w MHz
 K — współczynnik (dla linii 750 kV: $K=3$, dla linii pon. 750 kV:
: $K = 3,5$)

Zależność (1) może być stosowana dla zakresu zmienności: $f = 0,15 \dots 5$ MHz,
 $D = 10 \dots 100$ m, $E_{mx} = 12 \dots 20$ kV/cm, zależność (2) dla zakresu: $E_{mx} = 12 \dots$
22 kV/cm, $d = 2 \dots 5$ cm, $n = 1 \dots 4$, zależność (3) dla zakresu: $E_{mx} = 15 \dots$
19 kV/cm, $f = 0,4 \dots 10$ MHz, $n = 1 \dots 4$.

Poziom zakłóceń przy złej pogodzie można wyznaczyć dodając do obliczonych
wartości: według metody a: (10 ± 2) dB, według metody c: (17 ± 3) dB, według
metody b należy wprowadzić dodatkowy składnik do równania (2) wynoszący:

$$\text{dla } E \leq 17 \text{ kV/cm: } \Delta N = 10,5 E - \left(\frac{E}{2}\right)^2 - 31$$

$$\text{dla } E > 17 \text{ kV/cm: } \Delta N = 4,375 E - \left(\frac{E}{4}\right)^2 + 19,5$$

gdzie: E — najniższe natężenie pola na powierzchni dolnego przewodu:

$$E = \frac{E_{mx}}{1 + \frac{\beta d}{2h}} \left(1 - \frac{\beta d}{2h} \cos \gamma\right) \quad (4)$$

współczynniki: $\beta = 2(n-1) \sin \frac{\pi}{n}$

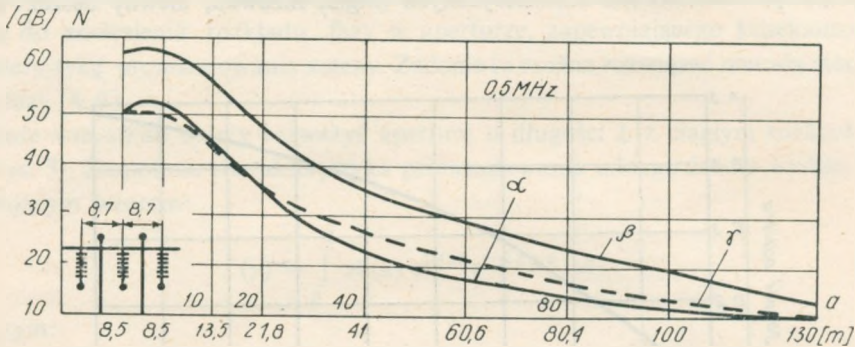
$\gamma = 0^\circ$ dla przewodu pojedynczego i wiązki z trzech przewodów

$\gamma = 90^\circ$ dla wiązki dwuprzewodowej

$\gamma = 45^\circ$ dla wiązki z czterech przewodów

h = średnia wysokość zawieszenia przewodu nad ziemią

Istnieje wiele innych zależności podobnych do podanych powyżej zależności (1) do (3). Na rysunku 3.8 podano porównanie pomierzonych poziomów zakłóceń w pobliżu linii 220 kV z poziomem obliczonym według wzoru (1) [34]. Należy stwierdzić dobrą zgodność wyników pomiarów i obliczeń.



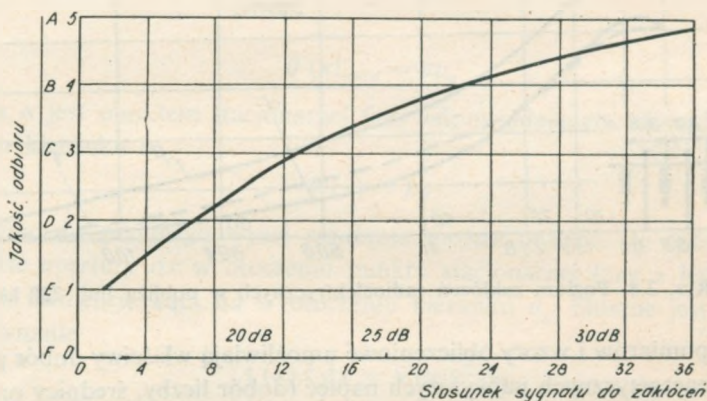
Rys. 3.8. Poziom zakłóceń radioelektrycznych w pobliżu linii 220 kV

Wyniki pomiarów i wzory obliczeniowe umożliwiają właściwy dobór przewodów linii elektroenergetycznych najwyższych napięć (dobór liczby, średnicy oraz odstępu przewodów w wiązce i między przewodami fazowymi). Zmiana parametrów układu przewodów na słupie wpływa głównie na wartość maksymalnego natężenia pola na powierzchni przewodów linii. W pierwszym przybliżeniu można przyjąć, że zmiana maksymalnego natężenia na powierzchni przewodów o 10% wpływa na zmianę zakłóceń radioelektrycznych o ok. 6 dB [35]. Punktem wyjścia dla prawidłowego doboru parametrów linii jest zwykle wymagana różnica poziomów sygnału użytecznego i zakłóceń radioelektrycznych. Można przyjąć, że przy różnicy 32 dB jakość odbioru jest całkowicie zadowalająca, przy różnicy 27 dB — bardzo dobra (tło lekko zakłócone), przy różnicy 22 dB — dosyć zadowalająca (szum lekko słyszalny), przy różnicy 16 dB — szum bardzo wyraźny (mowa łatwo zrozumiała).

Na rysunku 3.9. podano wynik typowych prób jakości odbioru przy różnych różnicach poziomu sygnału użytecznego i zakłóceń radioelektrycznych [36]. Zakłada się zwykle, że wystarczające jest, jeżeli różnica ta w obszarach zabudowanych wynosi w przeważającym okresie czasu (w okresie dobrej pogody) 22 ... 26 dB. W obszarach nie zamieszkałych (np. pustynie, góry itp.) nie stawia się żadnych wymagań i można stosować w miarę potrzeby większe natężenia pola na powierzchni przewodów.

Przyjęcie podanych wartości różnicy poziomów sygnału użytecznego i zakłóceń radioelektrycznych, według doświadczeń amerykańskich [35], pozwala na zadowalający odbiór w odległościach 45,9 m (150 stóp) ... 61,2 m (200 stóp) od skrajnego przewodu linii, jeżeli poziom nadawania zawiera się w granicach 64 ... 58 dB (zagwarantowany poziom nadawania przyjmuje się w wielu krajach 60 dB). Stosowana w Polsce zasada zachowania odległości pomiędzy liniami 220 i 400 kV a budynkami

mieszkalnymi w granicach 40 ... 50 m zapewnia zadowalający odbiór radiowy (w odległości 40 m od linii) o poziomie sygnału użytecznego 50 ... 75 dB w okresach dobrej pogody. Jak wspomniano na wstępie uznaje się jednak za nieekonomiczne zapewnienie zadowalającego odbioru radiowego, we wszystkich nawet najbardziej niekorzystnych warunkach atmosferycznych (mgła, mżawka, ulewny deszcz itp.).



Rys. 3.9. Ocena jakości odbioru radiowego w zależności od stosunku sygnału użytecznego i poziomu zakłóceń

Z punktu widzenia zakłóceń radioelektrycznych należy dążyć do zachowania minimalnych odległości pomiędzy liniami elektroenergetycznymi (licząc od rzutu skrajnego przewodu) i zabudową, a mianowicie: dla linii 220 kV — 40 m, dla linii 400 kV — 50 m, dla linii 750 kV — 60 m. Trzeba zaznaczyć, że zależnie od warunków lokalnych wymagania te mogą być odpowiednio złagodzone lub zaostrzone — kryterium ustalenia takich warunków może być znajomość poziomu sygnału użytecznego i poziomu zakłóceń radioelektrycznych — ustalenie jednej wartości dopuszczalnego poziomu zakłóceń radioelektrycznych jest z tego punktu widzenia mało przydatne.

W przypadkach, gdy zachowanie wymaganych odległości pomiędzy liniami elektroenergetycznymi a budynkami pociągałoby za sobą konieczność poniesienia znacznych kosztów lub byłoby niemożliwe z przyczyn technicznych, możliwe jest zastosowanie odpowiednich środków zaradczych, takich jak stosowanie tzw. anten wyniesionych lub stosowanie odbiorników z antenami kierunkowymi — ferrytowymi. W tym zakresie istnieje jednakże w warunkach krajowych zbyt mało danych konstrukcyjnych i doświadczeń z eksploatacji. Wydaje się, że powinien to być jeden z kierunków, na którym należałoby skoncentrować badania i wysiłki zmierzające do wdrożenia w praktyce odpowiednich rozwiązań.

4. OCENA PERSPEKTYW I POTRZEB DALSZYCH BADAŃ

Wobec zamierzonej dalszej intensywnej rozbudowy sieci najwyższych napięć w Polsce, połączonej z wykorzystywaniem coraz wyższych napięć znamionowych, zagadnienia zakłóceń radioelektrycznych będą wymagały rozszerzenia zakresu badań i studiów nad mechanizmem powstawania, rozchodzenia i oddziaływania. Użyte dotychczas doświadczenia oraz rozeznanie stanu badań za granicą pozwalają na wytyczenie kierunków dalszych badań, dających podstawy do znalezienia najwłaściwszych rozwiązań konstrukcyjnych i eksploatacyjnych. Wydaje się, że do najistotniejszych problemów należą:

- a) badania mechanizmu różnego rodzaju wyładowań generujących zakłócenia radioelektryczne i ustalenie wpływu na parametry charakterystyk zakłóceń;
- b) badania wpływu środowiska, a w szczególności przemysłowych zabrudzeń atmosferycznych na intensyfikację zakłóceń;
- c) badania nad korelacją między napięciem zakłóceń na źródle a polem zakłóceń w otoczeniu linii, a w szczególności nad wpływem zakłóceń w stacji na linię i otoczenie;
- d) badanie szumów akustycznych powodowanych (równoległe z zakłóceniami radioelektrycznymi) przez wyładowania niepełne w liniach najwyższych napięć.

Ponadto wydaje się, że dojrzały już do opracowania:

- normy dotyczące metod pomiaru natężeń pól zakłóceń w pobliżu linii i stacji elektroenergetycznych,
- wytyczne dotyczące projektowania, lokalizacji i eksploatacji linii i stacji najwyższych napięć z punktu widzenia zakłóceń radioelektrycznych.

5. LITERATURA

1. Przemysłowe zakłócenia radioelektryczne i ich zwalczanie. Praca zbiorowa. WKiŁ 1968
2. *Kutyło W., Radziwill J., Zieliński J. J.* Charakterystyki zakłóceń radioelektrycznych wytwarzanych przez urządzenia wysokonapięciowe. Prace IEI, 1966, z. 48
3. *Kohoutova D., Vokalek J.* Radiowe rušení od vedení v. v. n. Elektrotechnický Obzor, 1965, nr 4, s. 145
4. IEEE Comm. Rep. Transmission system radio influence. Trans. AIEE PAS, 1965, s. 714
5. *La Forest J. J.* The effect of station radio noise sources on transmission — line noise levels, IEEE Transactions, PAS, 1965, nr 9
6. *Meyer de Stadelhofen J., Walter W. I.* Contribution relative à l'estimation du pouvoir radioperturbateur de lignes à T. H. T. CISPR (Suisse) 305, 1958
7. *Boulet L.* Etudes du bruit HF produit par les conducteurs et les ferrures autour d'une ligne à H. T. CIGRE, 1966, ref. 408
8. *Rotkiewicz W., Rotkiewicz P.* Technika odbioru radiowego, WNT, 1963
9. *Holownia J.* Tłumienie zakłóceń radioelektrycznych WKŁ, 1964
10. *Gary C.* Perturbations en télévision engendrées par les lignes à moyenne tension, Revue Générale de l'Electricité, 1965, nr 11

11. CISPR Publication 1. Specification for CISPR radio interference measuring apparatus for the frequency range 0,15 MHz to 30 MHz, Genewa 1972, II wyd.
12. CISPR Publication 5. Radio interference measuring apparatus having detectors other than quasi-peak, Genewa 1967
13. CISPR Publication 7. Recommendation of the CISPR, Genewa 1969
14. CISPR Publication 9. CISPR limits of radio interference and report of national limits, Genewa 1967
15. CISPR C. 0. 312. Measuring set specifications for the frequency range 0,15 MHz to 30 MHz, Genewa 1963
16. PN-62/T-06450. Mierniki przemysłowych zakłóceń radioelektrycznych. Wymagania i badania techniczne
17. PN-67/E-04065. Przemysłowe zakłócenia radioelektryczne. Laboratoryjne badania zakłóceń od ulotu na elektroenergetycznych urządzeniach wysokonapięciowych
18. PN-69/E-02031. Przemysłowe zakłócenia radioelektryczne. Dopuszczalne poziomy
19. Żurawlew E. N. Radiopomieschy ot koronirujuszczich linii elektropieredaczi, Moskwa 1971
20. NEMA 107/1964. Methods of measurements of radio influence voltage (RIV) of HV apparatus
21. Kutyló W., Radziwiłł J., Strużak R. G., Zieliński J. J. Normalizacja laboratoryjnych badań zakłóceń radioelektrycznych występujących na urządzeniach wysokiego napięcia. Normalizacja, 1967, z. 11
22. Fromy E. Mesure du niveau perturbateur des appareillages à H. T. RGE, 1959, nr 3
23. Zieliński J. J., Kiersztyn S. Badania zakłóceń radioelektrycznych wytwarzanych przez urządzenia wysokonapięciowe, Przegląd Elektr. 1962, s. 352
24. Zieliński J. J., Radziwiłł J. Wyładowania powierzchniowe w iskiernikach odgromnikowych. Wywoływanie zakłóceń radioelektrycznych. Prace Nauk. IPEE Polit. Wrocławskiej 1971, z. 4, s. 127
25. Adams G. E. The calculation of the RIL of transmission lines caused by corona discharges. Trans. AIEE, t. III, 1956, s. 411
26. Gary C. i inni. Surrey on extra high voltage transmission line radio noise. Presentation of the results, Electra 1972, nr 20
27. Davey J., Delaney H. L., La Forest J. J. Effect of station radio noise sources on transmission line noise levels — experimental results, IEEE Transactions, PAS, 1967, nr 8
28. Gary C. i inni. Comparison of radio noise prediction methods with CIGRE/IEEE survey results, Electra 1972, nr 22
29. CISPR/WG3 (Czechoslovak. S. R.) 2. The radio-interference caused by E. H. V. Lines: Results of measurements carried out on 220 kV and 500 kV lines, 1965
30. Bartenstein R. i Schäfer E. Continous measurements of the high frequency interference level of h. v. transmission — lines and their statistic evaluations, CIGRE 1972, ref. 409
31. CISPR/W63 (Supnik, Szewc, Żmuda) Poland/1 — Radio interference from 400 kV power lines, 1972
32. CISPR/WG 03 — Fr. i M. Moreau. Base pour la determination des limites maximales du niveau perturbateur des accessoires de lignes, EdF, 1971
33. Moreau M. R., Gary C. H. Predetermination of the radio-interference level of high voltage transmission lines. Part. I. Predetermination of the excitation function. Transaction ws Paper, 1971
34. Piłatowicz A. Zakłócenia radioelektryczne powodowane przez linie elektroenergetyczne 220 kV. Energetyka 1967, nr 6, Biuletyn IEn nr 5/6
35. Kolcio N. i inni. Radio influence and corona loss design aspects of AEP 765 kV lines, IEEE Transactions, PAS, 1969, nr 9

36. IEEE Radio Noise Subcommittee Working Group No 3. — Radio noise design guide for high-voltage transmission lines, Transactions Paper, 1970
37. Nie publikowane dokumentacje Zakładu Wysokich Napięć Instytutu Elektrotechniki, a zwłaszcza numery 236/62, 237/62, 364/64, 392/64, 375/65, 109/66, 218/66
38. Nie publikowane dokumentacje Instytutu Energetyki, a zwłaszcza numery 5392/66, 6081/67
39. Nie publikowane prace Grupy Roboczej Nr 3 CISPR z lat 1969 ... 1971

A. Пилатович

E. Я. Зелински

ВОПРОСЫ РАДИОПОМЕХ, ВЫЗЫВАЕМЫХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ УСТРОЙСТВАМИ

Резюме

Рассмотрены причины возникновения радиопомех близости электроэнергетических устройств высоко напряжения (механизм возникновения и распространения помех).

Приведены типичные нежелательные эффекты помех рассматриваемого вида и представлены сведения относительно международных рекомендаций и национальных стандартов по измерительным методам помех, допустимым величинам и др.

Приведены также данные относительно методов измерений величин напряжений и напряженностей поля помех, а также рассмотрен объем проведенных до сих пор исследований в стране и за границей и примеры типичных результатов этих исследований.

Учены предложения, касающиеся перспектив и нужд в области дальнейших испытаний радиопомех, вызываемых электроэнергетическими устройствами

A. Pilatowicz

J. J. Zieliński

PROBLEMS OF RADIO INTERFERENCES CAUSED BY ELECTRICAL ENERGY INSTALLATIONS

Summary

The reasons for arising of radio interferences in the vicinity of high tension electrical energy installations have been discussed (mechanism of arising and spreading of interferences).

Typical injurious effects of interferences of this type have been presented as well as information concerning the existing international and national recommendations and instructions, relating to measuring methods, permissible values etc.

Data have been presented, concerning the methods of measurements of tension and interference field intensity, as well as the extent of the already performed investigations in Poland and abroad and—by way of examples—the typical results of these investigations have been given.

Suggestions have been made concerning the perspectives and needs of further investigations of radio interferences caused by the electrical energy installations.

A. Pilatowicz
J. J. Zieliński

PROBLÈMES DES PERTURBATIONS CAUSÉES PAR LES INSTALLATIONS DU RÉSEAU D'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE

Résumé

L'article présente les causes de l'occurrence des perturbations radioélectriques à proximité des installations de haute tension du réseau d'énergie électrique (le mécanisme de formation et de propagation des perturbations).

Les conséquences négatives typiques de ces perturbations sont citées ici et les informations sont présentées concernant les recommandations internationales et les normes, notamment les méthodes de mesure, des valeurs admissibles etc.

On a présenté les méthodes de mesure des tensions et des intensités du champ des perturbations ainsi que l'étendue des recherches exécutées jusqu'à présent en Pologne et à l'étranger et aussi, les résultats typiques de ces recherches.

Enfin on a précisé les propositions ayant rapport aux perspectives et aux nécessités des futures recherches concernant les perturbations radioélectriques, provenant des installations du réseau d'énergie électrique.

A. Pilatowicz
J. J. Zieliński

PROBLEME DER FUNKSTÖRUNGEN VON STARKSTROMEINRICHTUNGEN

Zusammenfassung

Es werden die Ursachen der Funkstörungen in der Nähe der Hochspannungseinrichtungen besprochen (Entstehungs- und Ausbreitungsweise der Störungen). Es werden auch typische negative Effekte solcher Störungen und Informationen über internationale und nationale Empfehlungen und Vorschriften in Bezug auf Messmethoden, zulässige Werte usw. dargestellt, wie auch Informationen über Messmethoden der Störspannungen und Feldstärken, bisheriger Bereich der polnischen und ausländischen Untersuchungen und vorbildliche Resultate der Untersuchungen gegeben. Es werden Vorschläge für Perspektiven und Bedürfnisse der weiteren Untersuchungen der Funkstörungen von Starkstromeinrichtungen formuliert.



Doc. dr inż. *Andrzej Pilatowicz* urodzony dnia 10 stycznia 1929 r. ukończył studia na Wydziale Elektrycznym Politechniki Warszawskiej w roku 1952 uzyskując dyplom inżyniera, a następnie w roku 1954 dyplom magistra inżyniera w specjalności sieci elektryczne; w roku 1970 uzyskał stopień naukowy doktora nauk technicznych na Politechnice Warszawskiej.

Dr inż. *A. Pilatowicz* był zatrudniony w latach 1951 ... 1962 w Zakładzie Sieci Elektrycznych Politechniki Warszawskiej a w okresie od 1962 do chwili obecnej pracuje w Zakładzie Urządzeń Elektrycznych Instytutu Energetyki, ostatnio na stanowisku docenta.

W czasie swojej pracy specjalizował się w następujących zagadnieniach: obliczenia techniczno-ekonomiczne sieci elektrycznych, pomiary wyższych harmonicznych i propagacja napięć o częstotliwościach akustycznych w sieciach elektroenergetycznych, badania oddziaływań linii wysokiego napięcia na obwody telekomunikacyjne, badania zakłóceń radioelektrycznych wytwarzanych przez linie w.n., wpływ linii najwyższych napięć na środowisko. Jest autorem lub współautorem 25 publikacji, w tym 5 książek i 2 publikacji zagranicznych, jest laureatem nagrody zespołowej II stopnia Min. Nauki, Szkolnictwa Wyższego i Techniki. Od 1972 roku pełni funkcję przewodniczącego Krajowej Grupy Roboczej Nr 3 CISPR.



Doc. dr inż. *Jerzy Janusz Zieliński* — ur. 16.4.1928 w Warszawie ukończył studia na Wydziale Elektrycznym Politechniki Warszawskiej w r. 1952 uzyskując dyplom magistra inżyniera ze specjalnością techniki wysokich napięć. W roku 1967 uzyskał stopień naukowy doktora nauk technicznych.

Od 1950 r. pracuje w Zakładzie Wysokich Napięć Instytutu Elektrotechniki, obecnie na stanowisku docenta. W ciągu kilku lat zatrudniony był również w Zakładzie Elektrotechniki Polskiej Akademii Nauk. W latach 1959-60 odbył staż specjalizacyjny w laboratoriach Electricité de France.

W pracy specjalizował się m.in. w zagadnieniach: ochrony odgromowej i koordynacji izolacji urządzeń elektrycznych, budowy laboratoriów wysokonapięciowych i konstrukcji urządzeń laboratoryjnych, wysokonapięciowej techniki probierczej i pomiarowej, mechanizmu wyładowań elektrycznych w powietrzu (zwłaszcza w zakresie rozwoju długich iskier oraz w zakresie zakłóceń radioelektrycznych pochodzących od wyładowań niezupełnych), konstrukcji, badań i zastosowań odgromników zaworowych.

Od lat współpracuje z CIGRE (Komitet 33) i CEI (Komitet 42), ostatnio również z CISPR (Gr. Rob. 3).

Jest autorem lub współautorem ponad 50 publikacji naukowych, w tym 6 zagranicznych. Jest laureatem nagrody państwowej.

WYDAWNICTWA KOMUNIKACJI i ŁĄCZNOŚCI — WARSZAWA 1974

Wydanie pierwsze. Nakład 550+60 egz. Ark. wyd. 4,57. Ark. druk. 4,25. Oddano do składania w marcu 1974 r. Podpisano do druku w lipcu 1974 r. Druk ukończono w sierpniu 1974 r. Papier druk. sat. kl. V 70 g z Włocławka. Zam. P/55/74. K/7322.

Poznańskie Zakłady Graficzne im M. Kasprzaka — Poznań Zam. 1231/74 — W-100/708

