

MINISTERSTWO ŁĄCZNOŚCI

**PRACE
INSTYTUTU ŁĄCZNOŚCI**

ROK X

ZESZYT 1 (30)

WARSZAWA 1963

WYDAWNICTWA NAUKOWO-TECHNICZNE

SPIS TREŚCI

1. <i>Michał Nowicki</i> — Statystyczny analizator przebiegów	3
2. <i>Stefan Manczarski i Danuta Mikke</i> — Badania szkodliwego oddziaływania pól szybkozmiennych na organizm ludzki	55

СОДЕРЖАНИЕ

1. <i>М. Новицки</i> — Статистический анализатор процессов	3
2. <i>С. Манчарски и Д. Микке</i> — Исследование вредного воздействия в. ч. полей на организм человека	55

CONTENTS

1. <i>M. Nowicki</i> — Statistical analyser of random phenomena	3
2. <i>S. Manczarski and D. Mikke</i> — Study of harmful effects of high frequency fields on human body	55

SOMMAIRE

1. <i>M. Nowicki</i> — Analysateur statistique des phénomènes aléatoires	3
2. <i>S. Manczarski et D. Mikke</i> — Les recherches sur l'influence nuisible des champs de fréquence élevée sur l'organisme humain	55

INHALTSVERZEICHNIS

1. <i>M. Nowicki</i> — Statistisches Auswertgerät	3
2. <i>S. Manczarski und D. Mikke</i> — Untersuchung der schädlichen Beeinflussung des menschlichen Organismus durch Hochfrequenzfelder	55

MINISTERSTWO ŁĄCZNOŚCI

PRACE
INSTYTUTU ŁĄCZNOŚCI

ROK X

ZESZYT 1 (30)

WARSZAWA 1963

WYDAWNICTWA NAUKOWO-TECHNICZNE

K o m i t e t R e d a k c y j n y
Redaktor naczelny — *prof. mgr inż. Józef Wójcikiewicz*

Redaktorzy działów:
adj. inż. Aleksy Brodowski, doc. mgr inż. Sylwester Jarkowski,
doc. mgr inż. Lesław Kędzierski
Sekretarz Redakcji — *Edward Tomkiel*

A d r e s R e d a k c j i
Instytut Łączności, Warszawa-Miedzeszyn, ul. Szachowa 1

W S Z E L K I E P R A W A Z A S T R Z E Ż O N E

Printed in Poland

Rysunki dostarczył Komitet Redakcyjny

WNT. Warszawa 1963. Wydanie 1. Nakład 580 egz. Ark. wyd. 6,8. Ark. druk. 7,65/A.
Format B5. Papier druk. sat. kl. V 70 g, 70 × 100/16. Rękopis oddano do składa-
nia 6. 5. 63. Podpisano do druku 20. 7. 63. Druk ukończono w hpcu 1963 Symbol
80331/INB. Cena zi 25,—

Zakłady Graficzne im. M. Kasprzaka w Poznaniu — 927/63 — P-3

MICHAŁ NOWICKI

621.317.79:631.14-523.8:519.2

STATYSTYCZNY ANALIZATOR PRZEBIEGÓW

Rękopis dostarczono do Komitetu Redakcyjnego

Artykuł zawiera opis opracowanego w Instytucie Łączności Analizatora Przebiegów przeznaczonego do statystycznego analizowania rozmaitego rodzaju zjawisk. Ze względu na szerokie możliwości pomiarowe, jakie daje analizator, posiada on charakter urządzenia uniwersalnego.

Głównym zadaniem analizatora jest wyznaczanie statystycznych rozkładów prawdopodobieństwa przekroczeń określonych poziomów przez badany przebieg napięciowy, doprowadzony do wejścia analizatora. Wyniki pomiarów są odczytywane w postaci liczbowej na licznikach elektromagnetycznych. Analizator umożliwia ponadto: obserwację rozkładów statystycznych na ekranie oscyloskopu, zliczanie ilości przekroczeń, wykonywanie pomiarów korelacyjnych i szereg innych pomiarów.

Opisano możliwości pomiarowe analizatora i zasadę jego działania. Podano budowę niektórych układów analizatora, ważniejsze dane techniczne oraz sposób przeprowadzania pomiarów. Na zakończenie omówiono zastosowania analizatora oraz wyniki pomiarów próbnych. W załączniku podano wyprowadzenie wzorów na błąd pomiarowy i przeprowadzono dyskusję tych wzorów.

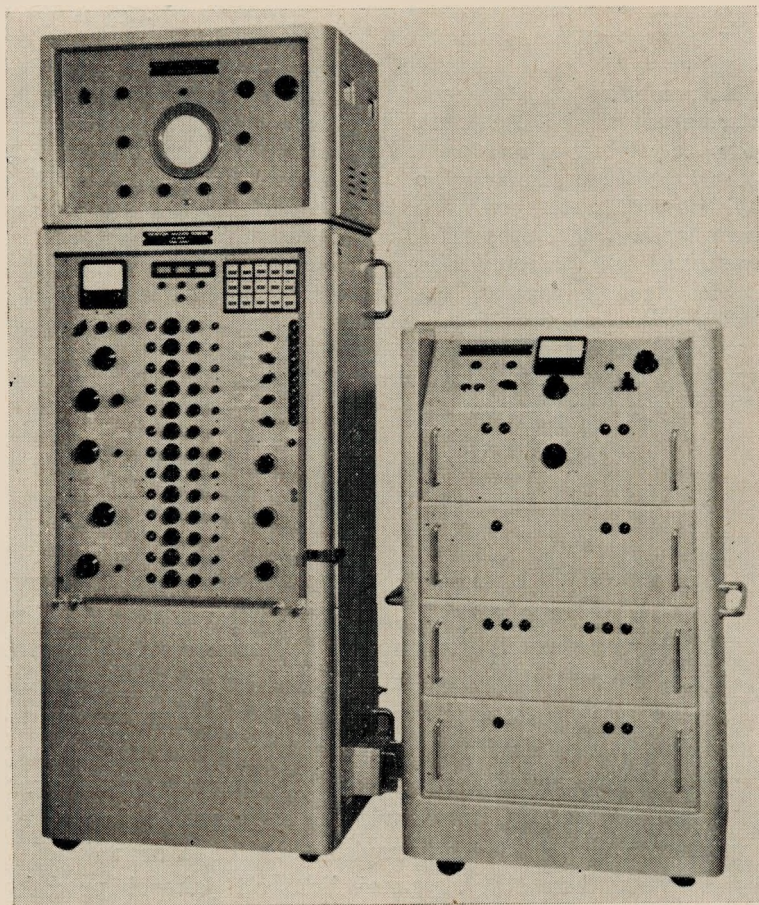
Artykuł uzupełniono obszernym wykazem literatury dotyczącej analizatorów statystycznych.

1. WSTĘP

W ostatnich latach daje się zaobserwować zdecydowany wzrost znaczenia statystyki matematycznej przy rozwiązywaniu wielu zagadnień technicznych, gospodarczych i naukowych. Ten ważny dział matematyki wkracza dzisiaj niemal do wszystkich dziedzin nauki i techniki, przyczyniając się do głębszego poznawania zjawisk i praw rządzących tymi dziedzinami. Dzieje się tak dlatego, że statystyka matematyczna pozwala rozwiązywać niektóre zagadnienia w sposób znacznie prostszy, niekiedy będąc nawet jedyną metodą, umożliwiającą rozwiązanie danego problemu. Nie do pomyślenia jest dzisiaj na przykład właściwa organizacja jakiegokolwiek przemysłu bez statystycznej kontroli jakości produkowanych wyrobów. Również i w pracach naukowo-badawczych rola statystyki

matematycznej wzrasta z dnia na dzień. W ten sposób wkroczyła ona i na teren telekomunikacji, stając się cenną pomocą przy rozwiązywaniu wielu zagadnień.

Przeprowadzanie operacji statystycznych bez pomocy specjalnych urządzeń jest jednak nieekonomiczne, gdyż wymaga dużego wkładu pracy i żmudnych obliczeń. Wykorzystanie metod statystycznych staje się w pełni celowe i uzasadnione dopiero przy stosowaniu specjalnych maszyn, które przyjmują na siebie niewdzięczną rolę przeprowadzania żmudnych operacji obliczeniowych. Przegląd takich maszyn-przyrządów statystycznych, stosowanych do różnych celów i produkowanych przez różne firmy względnie pojedynczo wykonywanych przez laboratoria poszczególnych krajów, podał autor w jednym z ubiegłych [1] numerów Prac Instytutu Łączności. Podobny przegląd przyrządów służących do analizowania przebiegów losowych znajdujemy w pracy *Gorbienki* [2].



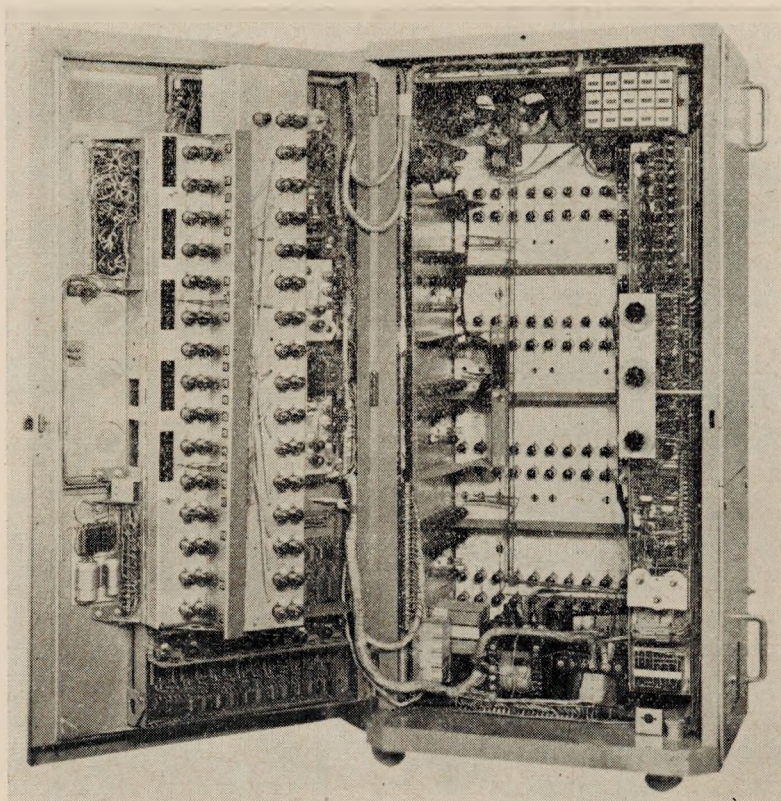
Rys. 1. Widok ogólny Statystycznego Analizatora Przebiegów

Ostatnie lata przyniosły szereg nowych i ciekawych rozwiązań, których opisy znalazły się w prasie naukowo-technicznej [3 ÷ 53].

Zakład Propagacji Fal Instytutu Łączności, prowadząc prace badawcze z zakresu rozchodzenia się fal radiowych, odczuwał od dawna brak urządzenia, za pomocą którego mógłby przeprowadzać interesujące go pomiary statystyczne. Okoliczność ta skłoniła Zakład do zainicjowania i uruchomienia kilkuletniej pracy, polegającej na zaprojektowaniu i budowie dużego urządzenia pomiarowego, tzw. Statystycznego Analizatora Przebiegów (mod. SAP 160). Statystyczny Analizator Przebiegów, w skróceniu zwany SAPem, jest elektroniczną maszyną liczącą o dużych możliwościach pomiarowych, przeznaczoną do statystycznego analizowania przebiegów elektrycznych rozmaitego rodzaju.

Na rysunku 1 przedstawiono widok ogólny Statystycznego Analizatora Przebiegów. Analizator składa się z trzech zasadniczych części: stojaka głównego, stojaka zasilaczy oraz przystawki obrazowej, mającej swoje stałe miejsce na stojaku głównym. Całość zawiera około 400 lamp i pobiera moc ≈ 1900 VA.

Rysunek 2 przedstawia widok wnętrza stojaka głównego.



Rys. 2. Widok wnętrza stojaka głównego

Ponieważ działanie przyrządu podczas stosowania rozmaitych sposobów analizowania opiera się na nieco odmiennych zasadach, będą one podane łącznie z opisami poszczególnych sposobów analizowania.

2. MOŻLIWOŚCI POMIAROWE I ZASADA DZIAŁANIA

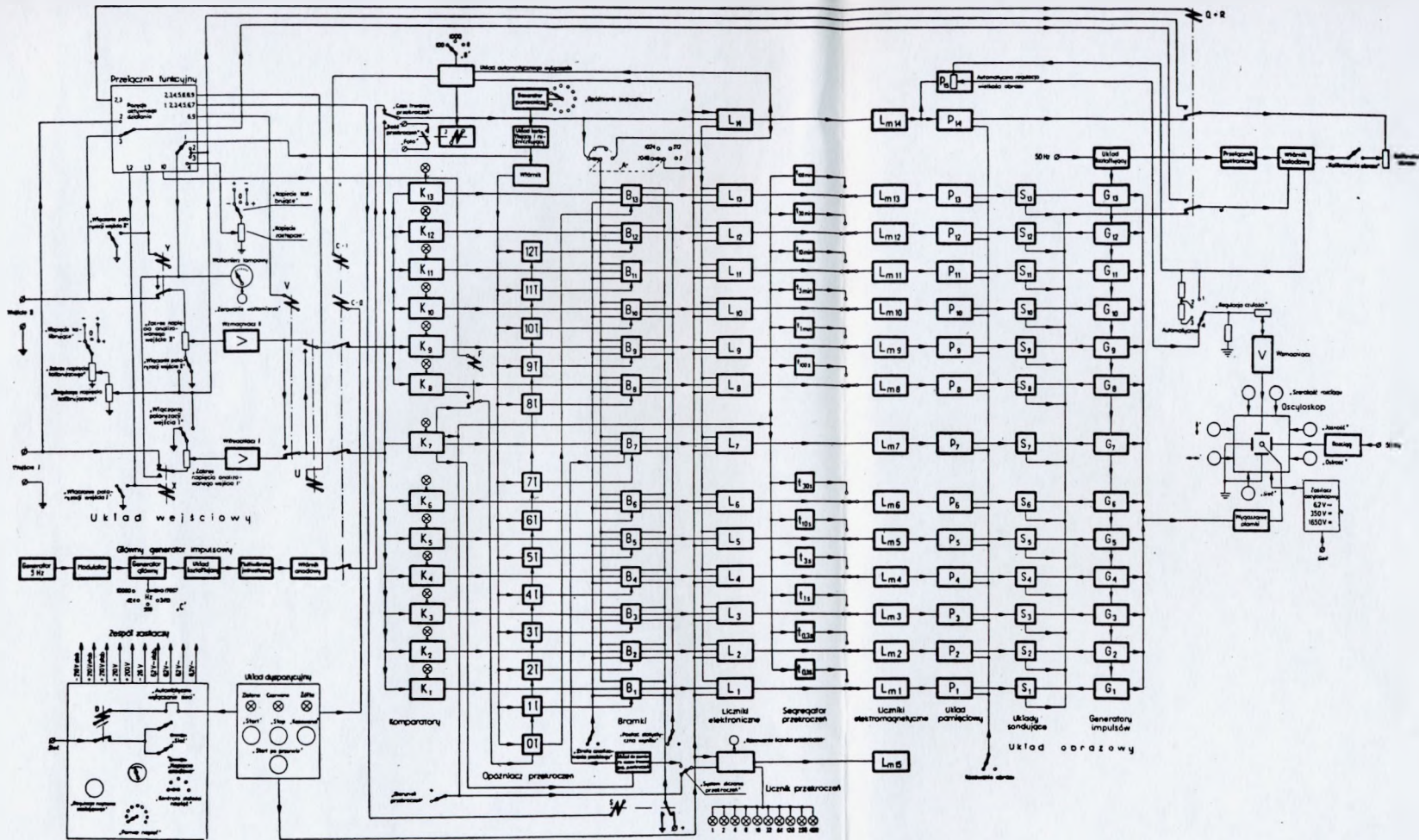
2.1. Wyznaczanie statystycznych rozkładów prawdopodobieństwa

Głównym zadaniem SAPu jest znajdowanie rozkładów prawdopodobieństwa przekroczeń określonych poziomów napięcia przez badany przebieg napięciowy. Badany przebieg napięciowy może reprezentować dowolne zjawisko występujące w przyrodzie lub technice, będące jak zwykle pewną funkcją czasu, przy czym zjawisko to może występować bądź to pod postacią napięcia elektrycznego, bądź to pod postacią innych wielkości fizycznych. W tym ostatnim przypadku jest konieczne zastosowanie dodatkowego, stosunkowo prostego urządzenia transformującego zmiany tych wielkości na zmiany napięcia elektrycznego.

Przebieg napięciowy może mieć rozmaity charakter. Pomijając na razie takie właściwości przebiegu, jak amplitudę wahań i ich częstotliwość, możemy podzielić przebiegi z grubsza na dwa rodzaje: ciągłe i impulsowe. Przykładem pierwszego rodzaju może być przebieg odzwierciedlający na przykład zmiany natężenia pola w odbiorniku radiowym, zmiany temperatury itp. Przebieg impulsowy natomiast może być otrzymany na przykład podczas statystycznej kontroli jakości wyrobów przemysłowych, przy której wartość amplitudy impulsu odpowiada jakiemuś wymiarowi długości, oporności elektrycznej lub wadze. Taki przebieg impulsowy będzie się składał z szeregu impulsów o rozmaitych amplitudach, występujących w równych lub nierównych odstępach czasowych.

Zasadę działania SAPu podczas wyznaczania rozkładów prawdopodobieństwa możemy rozpatryć na schemacie blokowym (rys. 3).

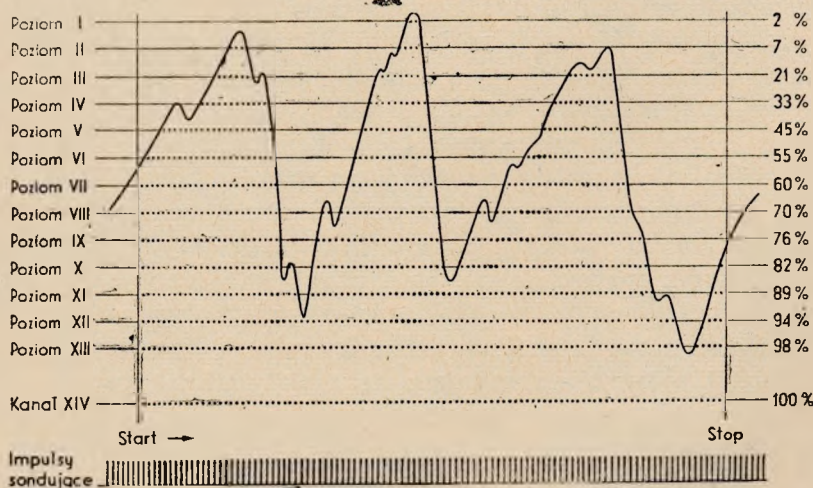
Przypuśćmy na razie, że mamy do czynienia z przebiegiem o charakterze ciągłym, którego napięcie zmienia się w czasie w sposób mniej lub więcej losowy. Badane napięcie doprowadzone np. do wejścia I SAPu jest wzmacniane we wzmacniaczu prądu stałego i przekazywane do 13 komparatorów. (Przełącznik U jest czynny, gdyż przełącznik funkcyjny znajduje się w pozycji 5). Zastosowanie wzmacniacza prądu stałego jest podyktowane przystosowaniem SAPu do analizowania przebiegów zarówno szybkowahliwych, jak i wolnowahliwych. Główną część składową komparatora stanowi przerzutnik, który w przypadku przekroczenia napięcia progowego zostaje przerzucony w drugi stan równowagi. Każdy



Rys. 3. Schemat blokowy Statystycznego Analizatora Przebiegów

z komparatorów przed rozpoczęciem pomiaru jest kalibrowany (w pozycji 2 przełącznika funkcyjnego) za pomocą kalibratora w ten sposób, że każdemu z nich przydziela się pewne charakterystyczne napięcie progowe, odpowiadające poziomowi, na którym ma być analizowany dany przebieg. Z chwilą przekroczenia progowego napięcia komparatora przez napięcie badanego przebiegu, wzmacnione we wzmacniaczu wejściowym, komparator powoduje otwarcie bramki dla impulsów przychodzących z głównego generatora impulsowego. Impulsy te są zliczane przez licznik elektroniczny, a następnie — przez licznik elektromagnetyczny. Licznik elektroniczny spełnia tutaj rolę jedynie obniżacza częstotliwości powtarzania impulsów. Liczniki będą czynne aż do tej chwili, kiedy chwilowa wartość napięcia badanego przebiegu opadnie poniżej ustawionego poziomu. Taki stan rzeczy będzie się powtarzał przy każdym przekroczeniu danego poziomu przez badane napięcie. W rezultacie końcowy licznik elektromagnetyczny po zakończeniu pomiaru wskaże wartość proporcjonalną do sumy okresów czasu, w których dany poziom był przekroczony.

Jeżeli czas trwania pomiaru będzie wystarczająco długi, aby pomiar można było traktować jako pomiar statystyczny, to otrzymany wynik, odpowiednio przeliczony, będzie wyrażał prawdopodobieństwo przekro-



Rys. 4. Zasada działania analizatora podczas wyznaczania rozkładów prawdopodobieństwa czasu trwania przekroczeń przy analizowaniu przebiegów ciągłych

czenia danego poziomu przez badany przebieg napięciowy. Jeżeli pomiar odbywa się jednocześnie na 13 poziomach, to 13 liczników wskaże wartości, odpowiadające prawdopodobieństwom przekroczeń poszczególnych poziomów. Zasada działania analizatora w danych warunkach jest wyjaśniona na rys. 4.

Bezpośrednio z głównym generatorem impulsowym jest powiązany 14 licznik elektromagnetyczny (poprzedzony licznikiem elektronicznym), który jest czynny przez cały czas trwania pomiaru. Wskazania tego licznika służą jako punkt odniesienia i odpowiadają stuprocentowemu przekroczeniu poziomu. Impulsy uruchamiające 14 licznik elektromagnetyczny sterują jednocześnie układ automatycznego wyłączenia. Układ ten jest elektronicznym układem liczącym, który po zliczeniu określonej ilości impulsów, a więc po określonym czasie, powoduje zablokowanie głównego generatora impulsowego i innych układów. W ten sposób pomiar zostanie automatycznie przerwany.

Gdybyśmy odczytane na licznikach wyniki pomiarowe przedstawili wykreślić w zależności od poziomów napięcia na wejściu analizatora, otrzymalibyśmy wykres rozkładu prawdopodobieństwa przekroczeń poziomów w postaci tzw. dystrybuanty. Jest to jeden z możliwych sposobów analizowania.

Drugim sposobem analizowania jest przedstawienie rozkładu prawdopodobieństwa w postaci rozkładu gęstości. Ta postać wyniku statystycznego różni się od poprzedniej tym, że otrzymane wartości pomiarowe nie przedstawiają teraz prawdopodobieństwa przekroczeń poszczególnych poziomów, lecz — prawdopodobieństwa znajdowania się chwilowej wartości badanego przebiegu napięciowego w określonym przedziale, ograniczonym dwoma sąsiednimi poziomami. Ażeby otrzymać wyniki statystyczne w postaci gęstości, uzależnia się działanie bramek dodatkowo jeszcze od komparatorów kanałów sąsiednich. Uzależnienie to uzyskuje się przez odpowiednie połączenia i dobór punktu pracy bramek. (Na schemacie blokowym połączenia te nie są uwzględnione). W takich warunkach, jeżeli napięcie na wyjściu wzmacniacza przekroczy poziom odpowiedniego komparatora, np. piątego, to bramka w tym kanale zostanie otwarta i licznik rozpocznie zliczanie impulsów. Jeżeli jednak napięcie to przekroczy poziom następnego, a więc szóstego komparatora (ewentualnie czwartego, jeżeli analizowanie odbywało się „poniżej poziomu” — patrz poniżej), to bramka znajdująca się w piątym kanale zostanie zablokowana i licznik przestanie liczyć.

SAP umożliwia analizowanie przebiegów w obu kierunkach, co oznacza, że za przekroczenie może być uważany taki stan, przy którym chwilowa wartość badanego przebiegu znajduje się powyżej albo poniżej danego poziomu. Odnosi się to zarówno do rozkładów w postaci dystrybuanty, jak i w postaci gęstości. Opisane powyżej cztery kombinacje sposobów analizowania dotyczą znajdowania rozkładów prawdopodobieństwa czasu trwania przekroczeń. Niekiedy przy badaniach statystycznych zamiast prawdopodobieństwa czasu trwania przekroczeń może nas interesować prawdopodobieństwo ilości przekroczeń na poszczególnych

poziomach. Taki sposób analizowania jest również możliwy za pomocą SAPu, przy czym zasada działania w takim przypadku jest nieco odmienna. Za pomocą odpowiednich manipulatorów zostaje zmieniony sposób pracy bramek. W wyniku tych zmian liczniki nie będą zliczały impulsów przychodzących z głównego generatora impulsowego, lecz — impulsy powstałe w samym przerzutniku komparatora wskutek przekroczenia danego poziomu przez badane napięcie.

Najczęściej przy badaniu przebiegów o charakterze ciągłym interesuje nas prawdopodobieństwo czasu trwania przekroczeń, podczas gdy przy badaniu przebiegów impulsowych — raczej prawdopodobieństwo ilości przekroczeń. W szczególnych przypadkach jednak mogą zachodzić również przypadki odwrotne.

Jeżeli mamy do czynienia z przebiegiem impulsowym, a manipulatory analizatora zostaną ustawione na wyznaczenie rozkładu prawdopodobieństwa ilości przekroczeń, to wszystkie impulsy badanego przebiegu zostaną posegregowane pod względem wysokości na żądane przedziały, a wynik będzie przedstawiał statystyczny rozkład amplitud impulsów. Jeżeli natomiast manipulatory zostaną ustawione na badanie rozkładu prawdopodobieństwa czasu trwania przekroczeń, to liczniki będą zliczały czas trwania przekroczeń na rozmaitych poziomach; taki sposób analizowania może być zastosowany w szczególnych przypadkach.

Podane powyżej możliwości pomiarowe SAPu odnosiły się do charakteru samych przebiegów napięciowych oraz sposobu ich analizowania. Z kolei rozważmy, jakie możliwości daje SAP, jeżeli chodzi o sposób wykonywania samego pomiaru.

SAP posiada do dyspozycji 13 kanałów, nazwanych kanałami amplitudowymi; każdy kanał może być ustawiony na dowolny poziom, stąd jest możliwe wyznaczenie rozkładu prawdopodobieństwa dla 13 poziomów napięciowych. Oczywiście, nie wszystkie kanały amplitudowe muszą być zawsze wykorzystane.

Pomiar czasu trwania przekroczenia poziomu przez badany przebieg napięciowy opiera się, jak wiemy, na zasadzie zliczania impulsów w sposób elektroniczny. Mierząc przedział czasu liczbą impulsów zawierających się w tym przedziale popełniamy błąd, przyjmując za długość mierzonego przedziału czasu w pewnych przypadkach n impulsów, a w innych — $(n + 1)$ impulsów, zależnie od wzajemnego usytuowania się w czasie mierzonych przedziałów czasu i impulsów.

W załączniku podano wyprowadzenie i dyskusję wzorów dla tego rodzaju błędu pomiarowego, popełnianego przy pomiarze sumarycznego czasu trwania przekroczeń, a na rys. 18 przedstawiono zależności popełnianych błędów od stosunku mierzonego przedziału czasu do okresu po-

wtarzania impulsów. Z dyskusji błędów wypływają dwa ważne wnioski, dotyczące zmniejszenia popełnianego błędu:

- 1) stosunek szerokości impulsów do okresu powtarzania tych impulsów powinien być dostatecznie mały,
- 2) stosunek okresu powtarzania impulsów do mierzonych przedziałów czasu powinien być również dostatecznie mały.

Szerokość impulsów w SAPie wynosi $8 \mu\text{s}$, co w stosunku do najkrótszego ze stosowanych okresów powtarzania impulsów ($\sim 58 \mu\text{s}$) można uważać za małą wartość. Zmniejszenie stosunku okresu powtarzania impulsów do mierzonych przedziałów czasu przekroczeń uzyskuje się przez właściwe zaprogramowanie analizatora, czyli właściwy dobór częstotliwości powtarzania impulsów, stosownie do charakteru badanego przebiegu. W celu zmniejszenia błędów pomiarowych w przypadkach analizowania przebiegu, zawierającego składową okresową o częstotliwości równającej się dokładnie częstotliwości powtarzania impulsów — niektóre częstotliwości głównego generatora impulsowego są modulowane częstotliwościowo częstotliwością 5 Hz i dewiacją $\pm 0,05\%$.

SAP umożliwia stosowanie następujących częstotliwości powtarzania impulsów: 17067 Hz ; 10000 Hz ; 3413 Hz ; 569 Hz ; $47,4 \text{ Hz}$; $16,67 \text{ Hz}$; $9,77 \text{ Hz}$; $3,33 \text{ Hz}$; $0,556 \text{ Hz}$ oraz $0,046 \text{ Hz}$. Wybór tych częstotliwości został podyktowany względami technicznymi, gdyż pozwolił on na zachowanie wygodnego podziału czasu trwania pomiaru z automatycznym wyłączeniem (np. 1 min ; 2 min ; 5 min ; 10 min itd.). Wiąże się to z tym, że podczas trwania pomiaru czterenasty licznik elektromagnetyczny, czynny przez cały czas, powinien zliczyć równą liczbę 100 lub 1000 impulsów powstałych na wyjściu licznika elektronicznego w wyniku obniżenia częstotliwości generatora impulsowego w stosunku $1:2^n$, gdzie $n = 11, 10, 9$ lub 1 .

Zmiany częstotliwości powtarzania impulsów oraz sposobu automatycznego wyłączenia, a także zmiany krotności obniżania liczników elektronicznych umożliwiają zastosowanie kilkudziesięciu rozmaitych rodzajów pomiarów. Przebiegi napięciowe badane za pomocą SAPu mogą posiadać rozmaity charakter, zależnie od zjawiska, które reprezentują. Zależnie od charakteru przebiegu i od żądanych warunków pomiaru może być obrany najodpowiedniejszy rodzaj pomiaru. Do dyspozycji znajduje się 51 rodzajów pomiarów przy badaniach rozkładu prawdopodobieństwa czasu trwania przekroczeń oraz 36 rodzajów pomiarów przy badaniach prawdopodobieństwa ilości przekroczeń. Poszczególne rodzaje pomiarów różnią się pomiędzy sobą: czasem trwania pomiaru, częstotliwością powtarzania impulsów, sposobem wyłączenia pomiaru (automatycznym lub ręcznym) i innymi danymi technicznymi. Charakterystyka niektórych rodzajów pomiarów jest podana w tablicy obok.

Dane techniczne niektórych rodzajów pomiarów prawdopodobieństwa czasu trwania przekroczeń

Nr pomiaru	System wyłączenia	Czas trwania pomiaru	Najkrótszy przedział czasu trwania przekroczeń, który może być analizowany w milisekundach	Częstotliwość sondowania w Hz	Ilość próbek	Ilość impulsów sondujących rejestrowanych przez licznik elektromagnetyczny jako jednostka	Okres repetycji licznika elektromagnetycznego w sek	Wskaźnik 14 po zakończeniu pomiaru
1	automatyczny	12 sek	0,1	17 067	204 800	2048	0,12	100
4	"	1 min	0,5	3 413	204 800	2048	0,6	100
7	"	5 min	0 5	3 413	1 024 000	1024	0,3	1000
10	"	30 min	3	569	1 024 000	1024	1,8	1000
16	ręczny	$t = 0 \div 100$ min	0,5	3 413	204 800·t	2048	0,6	100·t
18	"	$t = 0 \div 120$ godz	36	47,4	170 667·t	2048	43,2	83,3·t
21	automatyczny	20,48 sek	0,17	10 000	204 800	2048	0,2048	100
26	"	2 min	100	16,66	2 000	2	0,12	1000
38	"	12 godz	37 000	0,0459	2 000	2	43,2	1000
45	ręczny	$t = 0 \div 30$ godz	36	47,4	170 666,7·t	512	10,8	333·t

2.2. Obserwacja oscyloskopowa

Wynik pomiarowy jest podawany zasadniczo w postaci liczbowej przez liczniki elektromagnetyczne. Jednocześnie jednak, ten sam wynik może być przedstawiony w postaci wizualnej na ekranie lampy oscyloskopowej. Do tego celu służy urządzenie, zwane przystawką obrazową, zawierające oscyloskop. Na ekranie przystawki obrazowej powstaje obraz w postaci 13 punktów świetlnych, który przybiera kształt rozkładu prawdopodobieństwa, ściśle taki sam, jaki by się otrzymało po wykreśleniu danych liczbowych, odczytanych na licznikach elektromagnetycznych.

Obraz rozkładu prawdopodobieństwa na ekranie oscyloskopu realizuje się w sposób następujący. Końcowe liczniki elektromagnetyczne wszystkich kanałów amplitudowych są połączone z odpowiednimi potencjometrami układu pamięciowego (p. rys. 3). Potencjometry te są napędzane w sposób elektryczny tymi samymi impulsami, które uruchamiają liczniki elektromagnetyczne poszczególnych kanałów. Zewnętrzne końcówki potencjometrów są załączone do napięcia prądu stałego. Na ślizgaczach potencjometrów będzie zatem narastało napięcie dokładnie tak samo, jak będą rosły wskazania liczników elektromagnetycznych. Układ pamięciowy spełnia tu rolę układu transformującego wskazania liczbowe na wartość napięcia elektrycznego. Z napięć wyjściowych układu pamięciowego korzysta układ obrazowy, którego zadaniem jest realizowanie obrazu na ekranie oscyloskopu. Szczegółowy opis pracy układu obrazowego znajduje się w rozdz. 3.8.

Za pomocą kolejno po sobie następujących impulsów układ obrazowy sonduje wartości napięć, znajdujących się na potencjometrach układu pamięciowego i podaje w odpowiedniej formie na płytce oscyloskopu. W rezultacie na ekranie powstaje obraz w postaci 13 punktów świetlnych, odpowiadających 13 poziomom napięciowym, na których odbywa się analizowanie przebiegu napięciowego. Na osi poziomej są odłożone wartości poziomów napięcia na wejściu analizatora, natomiast rzędne punktów świetlnych są proporcjonalne do wskazań liczników poszczególnych kanałów amplitudowych.

Przed rozpoczęciem pomiaru wszystkie punkty świetlne na ekranie tworzą linię prostą poziomą i znajdują się u dołu ekranu. Z chwilą rozpoczęcia pomiaru punkty świetlne zaczynają wznosić się do góry. Początkowo wznoszenie się punktów świetlnych jest bezładne i przypadkowe, w miarę jednak upływu czasu obraz na ekranie zacznie nabierać cech pewnej prawidłowości i wreszcie przybierze kształt statystycznego rozkładu prawdopodobieństwa. Obserwowanie ruchomego, stale powiększającego się obrazu na ekranie oscyloskopu byłoby dla obserwatora nie-

wygodne, dlatego też SAP jest zaopatrzony również w urządzenie automatyczne, które zapewnia stałą wielkość obrazu, z wyjątkiem pierwszego krótkiego okresu wynoszącego 7% całkowitego czasu trwania pomiaru.

Korzystną cechą układu obrazowego jest to, że rozkład prawdopodobieństwa może być obserwowany jednocześnie z przebiegiem obserwowanego zjawiska. Pozwala to na:

- a) przybliżone oszacowanie najmniejszego czasu trwania pomiaru, wystarczającego dla badanego zjawiska,
- b) zaobserwowanie, jak się zmienia kształt rozkładu prawdopodobieństwa w zależności od wpływu dodatkowych czynników na badane zjawisko,
- c) szybkie wykorzystywanie uzyskanych informacji.

W przypadku rozkładu normalnego, układ obrazowy umożliwia ponadto przybliżone lecz szybkie wyznaczanie parametrów tego rozkładu: wartości średniej i odchylenia standardowego. Do tego celu służy tzw. „prosta kalibrująca”, która pojawia się na ekranie po włączeniu odpowiedniego włącznika. Wysokość położenia „prostej kalibrującej” jest uzależniona od napięcia na wyjściu potencjometru 14 układu pamięciowego, który jest sprzężony z czternastym licznikiem, czynnym przez cały czas trwania pomiaru. „Prosta kalibrująca” przedstawia się również w postaci 13 punktów świetlnych usytuowanych poziomo. Prosta tę można przesuwac w kierunku pionowym za pomocą pokrętła przeskalowanego w procentach w stosunku do całkowitego czasu trwania pomiaru.

Rozkład normalny, jak wiadomo, wyraża się wzorem

$$(f) x = \frac{1}{\delta \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{-\frac{(x-m)^2}{2\delta^2}} \quad (1)$$

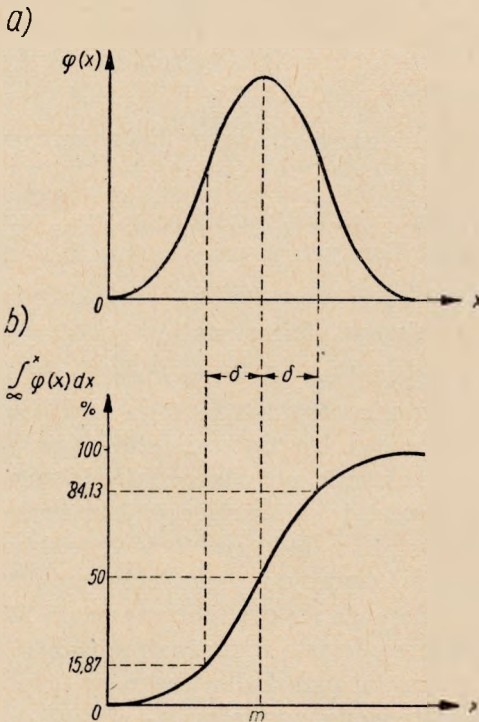
gdzie:

m — wartość średnia,

δ — odchylenie standardowe.

Jeżeli „prostą kalibrującą” ustawimy na przykład na wartość 50% i znajdziemy na ekranie punkt przecięcia tej prostej z otrzymanym rozkładem prawdopodobieństwa, to wartość poziomu, odpowiadającego punktowi przecięcia, będzie odpowiadała wartości średniej. Znalezienie odchylenia standardowego odbywa się przez ustawienie „prostej kalibrującej” na wartość odpowiadającą wartości funkcji (1) po jej scałkowaniu w granicach od $-\infty$ do $(m - \delta)$ lub od $-\infty$ do $(m + \delta)$, tj. na wartość 15,87 lub 84,13. Wtedy różnica wartości poziomu odpowiadającego punktowi przecięcia „prostej kalibrującej”, ustawionej na tę wartość i wartości

poziomu, odpowiadającego wartości średniej, będzie stanowiła odchylenie standardowe (p. rys. 5).



Rys. 5. Sposób wyznaczania parametrów rozkładu normalnego: wartości średniej m oraz odchylenia standardowego σ ; a) rozkład gęstości, b) dystrybuanta

2.3. Pomiary przekroczeń

Podstawowym zadaniem analizatora jest wyznaczenie statystycznych rozkładów prawdopodobieństwa czasu trwania przekroczeń lub liczby przekroczeń. Niezależnie od tego, dzięki wyposażeniu w dodatkowe urządzenia pomiarowe, SAP umożliwia wykonywanie szeregu innych pomiarów statystycznych, które pozwalają na wszechstronną analizę badanych zjawisk.

Bliższe informacje o samych przekroczeniach poziomu przez badany przebieg można uzyskać za pomocą tzw. miernika przekroczeń i segregatora przekroczeń. Miernik przekroczeń pozwala na przeprowadzanie dwójakiego rodzaju pomiarów. Po pierwsze umożliwia on zliczanie ilości przekroczeń dowolnie obranego jednego poziomu przy jednoczesnym wyznaczaniu rozkładu prawdopodobieństwa czasu trwania przekroczeń 13 poziomów. Miernik zlicza ilość przekroczeń z dokładnością do jednego

przekroczenia, przy czym mogą być rejestrowane przekroczenia trwające 100 μ s lub dłużej.

Drugim zadaniem miernika przekroczeń jest pomiar czasu trwania pojedynczych przekroczeń. Po naciśnięciu i puszczeniu odpowiedniego przycisku, miernik mierzy czas najbliższego całkowitego przekroczenia, tzn., że jeżeli w momencie puszczenia przycisku dany poziom był już przekroczony przez napięcie badanego przebiegu, to miernik nie zarejestruje tego przekroczenia, lecz dopiero następne przekroczenie całkowite. Pomiar ten może być powtarzany wielokrotnie. Pomiar czasu trwania pojedynczych przekroczeń może być pomocny np. przy określaniu rzędu wartości okresów wahań i charakteru badanego przebiegu napięciowego. Można go również stosować i do innych celów, jak np. do wyznaczania szerokości impulsów, do określania przesunięć fazowych, jak również do odmierzenia czasu trwania różnych zjawisk.

Pomiar czasu trwania pojedynczych przekroczeń podobnie jak pomiar liczby przekroczeń za pomocą miernika przekroczeń może się odbywać jednocześnie z wyznaczaniem rozkładu prawdopodobieństwa. Miernik przekroczeń składa się z licznika elektronicznego oraz układu do pomiaru czasu trwania pojedynczych przekroczeń (patrz rys. 3). Miernik jest na stałe połączony z wyjściem komparatora 7 kanału amplitudowego, wskutek czego pomiary przekroczeń dotyczą poziomu, na który jest ustawiony siódmy komparator.

Również z tym samym siódmym komparatorem jest powiązane inne urządzenie pomiarowe, tzw. segregator przekroczeń. Segregator przekroczeń służy do segregowania przekroczeń pod względem czasu ich trwania. Segregator składa się z 12 układów czasowych. Każdy z tych układów charakteryzuje się pewną graniczną wartością czasową. Wartości te wynoszą: 0,1; 0,3; 1; 3; 10; 30 i 100 sek oraz 1; 3; 10; 30 i 100 min. Jeżeli na przykład zostanie włączony układ czasowy segregatora, posiadający graniczną wartość czasową równą 1 sekundzie, to odpowiedni licznik będzie rejestrował tylko te przekroczenia, których czas trwania przekroczy 1 sekundę. Do pomiaru może być użyty albo jeden dowolnie obrany układ czasowy, albo kilka takich układów, albo też wszystkie razem jednocześnie.

Segregowanie przekroczeń może się odbywać równolegle z wyznaczaniem rozkładu prawdopodobieństwa, z tym jednak zastrzeżeniem, że liczba kanałów, a więc i poziomów, na których może być analizowany badany przebieg, odpowiednio się zmniejszy. Dzieje się tak dlatego, że każdy układ czasowy wykorzystuje jeden z liczników kanałów amplitudowych. Ile zatem układów czasowych zostanie użytych do segregowania przekroczeń, o tyle mniej kanałów amplitudowych może być użytych do pomiaru rozkładu prawdopodobieństwa. Jeżeli do segregowania przekro-

czeń będą wykorzystane wszystkie układy czasowe (w liczbie 12), to oczywiście, jednoczesny pomiar rozkładu prawdopodobieństwa nie będzie możliwy, gdyż pozostanie tylko jeden wolny kanał.

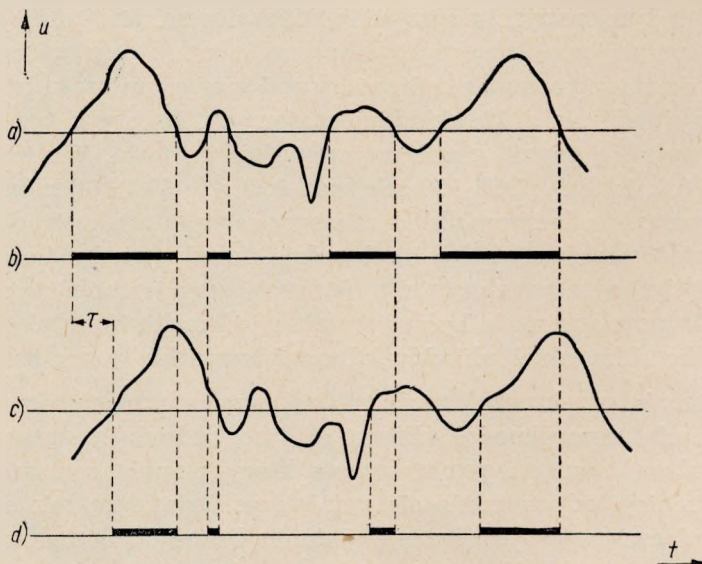
2.4. Pomiary korelacyjne

Specjalną kategorię pomiarów, wykonywanych za pomocą SAPu, stanowią pomiary korelacyjne.

Chociaż głównym zadaniem SAPu jest wyznaczanie statystycznych rozkładów prawdopodobieństwa, to jednak przez wprowadzenie stosunkowo niewielkich uzupełnień schematowych udało się przystosować SAP do niektórych pomiarów korelacyjnych, mogących oddać pewne usługi w pracach badawczych.

SAP umożliwia dokonywanie pomiarów korelacyjnych czterema sposobami.

Sposób pierwszy polega na wyznaczaniu zależności autokorelacyjnych pomiędzy badanym przebiegiem o charakterze ciągłym oraz tym samym przebiegiem opóźnionym w czasie. Niech będzie dany przebieg napięciowy i pewien poziom napięcia, który jest przekraczany przez ten przebieg (rys. 6a). Podczas pomiarów prawdopodobieństwa czasu trwania przekroczeń licznik podaje sumę przedziałów czasu, w których poziom ten jest przekroczony (rys. 6b). Jeżeli teraz przebieg ten opóźnimy o czas τ



Rys. 6. Praca SAPu podczas pomiarów autokorelacyjnych: a) przebieg analizowany; b) przedziały czasu, w których analizowany przebieg przekracza dany poziom; c) przebieg analizowany opóźniony w czasie o wartość τ ; d) przedziały czasu jednoczesnych przekroczeń poziomu przez przebieg analizowany i przebieg opóźniony

(rys. 6c) i dodatkowo uzależnimy licznik od jednoczesnych przekroczeń tego samego poziomu przez przebieg opóźniony, to licznik poda w wyniku sumę tylko tych przedziałów czasu, w których dany poziom jest przekraczany przez oba przebiegi jednocześnie (rys. 6d). Podczas jednego pomiaru dwanaście liczników SAPu podaje wynik od razu dla dwunastu różnych opóźnień czasowych τ , będących wielokrotnością opóźnienia jednostkowego, czyli $\tau = n \cdot \tau_0$. Pierwszy licznik podaje mianowicie wynik odpowiadający opóźnieniu τ_0 , drugi — $2 \cdot \tau_0$, trzeci — $3 \cdot \tau_0$ itd.

Opóźnienie jednostkowe τ_0 może być ustawiane skokami, zależnie od potrzeby w granicach od 100 μ s do 200 ms; w ten sposób pełny zakres opóźnienia wynosi od 100 μ s do $200 \times 12 = 2400$ ms. Natomiast licznik 13 zlicza w tym przypadku czas trwania stanów, w których dany poziom jest przekroczony tylko przez przebieg analizowany (rys. 6b). Z otrzymanych wyników liczbowych można obliczyć współczynnik korelacji dla różnych opóźnień czasowych. W tym celu korzysta się ze znanego wzoru na współczynnik korelacji pomiędzy zdarzeniami

$$r = \frac{P_{12} - P_1 \cdot P_2}{\sqrt{P_1 \cdot P_2 \cdot (1 - P_1)(1 - P_2)}} \quad (2)$$

gdzie:

- P_1 — prawdopodobieństwo pierwszego zdarzenia, czyli prawdopodobieństwo przekroczenia poziomu przez przebieg analizowany,
- P_2 — prawdopodobieństwo drugiego zdarzenia, czyli prawdopodobieństwo przekroczenia poziomu przez przebieg opóźniony o czas τ ,
- P_{12} — prawdopodobieństwo jednoczesnego występowania obu zdarzeń, czyli prawdopodobieństwo, z którym dany poziom jest przekraczany jednocześnie przez przebieg analizowany i przez przebieg opóźniony.

Ponieważ w wyżej opisanej metodzie pomiaru autokorelacji analizowany przebieg jest tylko przesuwany w czasie bez zmiany jego kształtu, to wzór (2) można uprościć, zakładając, że $P_2 = P_1$. Otrzymamy wtedy wzór uproszczony na współczynnik korelacji

$$r = \frac{P_{12} - P_1^2}{P_1(1 - P_1)} \quad (3)$$

Jeżeli analizowany przebieg posiada charakter stacjonarny, to pomiar można kilkakrotnie powtórzyć, zmieniając za każdym razem opóźnienie jednostkowe τ_0 . W ten sposób można uzyskać znacznie więcej niż 12 punktów krzywej zależności współczynnika korelacji od przesunięcia czasowego τ , czyli $r = f(\tau)$.

Do realizowania odpowiednich połączeń pomiędzy komparatorami a bramkami przy pomiarach korelacyjnych służy zespół przekaźników miniaturowych, uruchamianych we właściwy sposób za pomocą tzw.

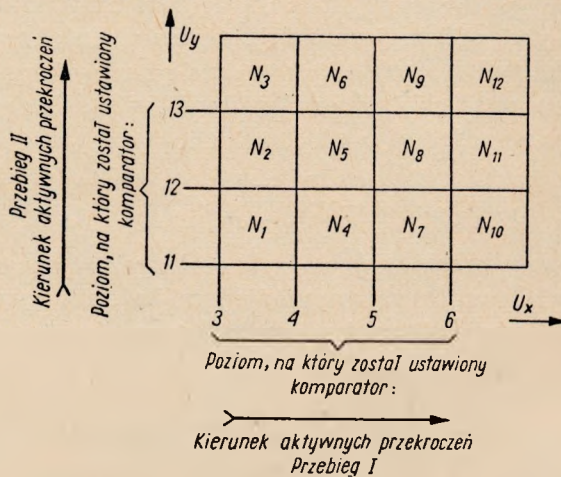
przełącznika funkcyjnego. Ten ostatni jest ustawiany w odpowiednie położenie, zależnie od czynności, jaką ma wykonać analizator.

Podczas pomiarów autokorelacji bramki pierwszych dwunastu kanałów amplitudowych zostają załączone do komparatora siódmego kanału; drugie natomiast wejścia koincydencyjne bramek zostają dołączone do dwunastu wyjść tzw. opóźniacza przekroczeń, który służy do przesuwania w czasie przebiegu analizowanego. Zasada pracy opóźniacza przekroczeń jest podana poniżej w rozdz. 3.7.

Aby zachować większą przejrzystość schematu blokowego (rys. 3), nie zostały na nim uwzględnione wszystkie połączenia stosowane podczas pomiarów korelacyjnych.

Drugi sposób pomiaru korelacji jest podobny do wyżej opisanego, różniąc się od niego tylko tym, że odnosi się do dwóch przebiegów. SAP posiada dwa wejścia: do jednego doprowadza się jeden przebieg, a do drugiego drugi. Pomiar polega na pomiarze korelacji pomiędzy jednym przebiegiem a drugim przebiegiem, opóźnionym o czas τ . Poza tym pomiar odbywa się w sposób analogiczny do wyżej opisanego z tą jeszcze różnicą, że wynik pomiaru otrzymujemy jednocześnie dla jedenastu opóźnień, będących wielokrotnością opóźnienia jednostkowego τ_0 , liczniki zaś 12 i 13 podają odpowiednie prawdopodobieństwa przekroczenia danego poziomu przez jeden i drugi przebieg oddzielnie.

Trzeci sposób pomiaru korelacji służy do przybliżonego wyznaczania różnych charakterystycznych zależności korelacyjnych pomiędzy dwoma przebiegami ciągłymi z wyników otrzymanych w postaci tzw. tablicy korelacyjnej. Podczas pomiaru korelacji tym sposobem realizują się takie połączenia koincydencyjne układów SAPu, że wskazania liczników tworzą tablicę korelacyjną o 12 polach (rys. 7). Poszczególne pola tablicy korela-

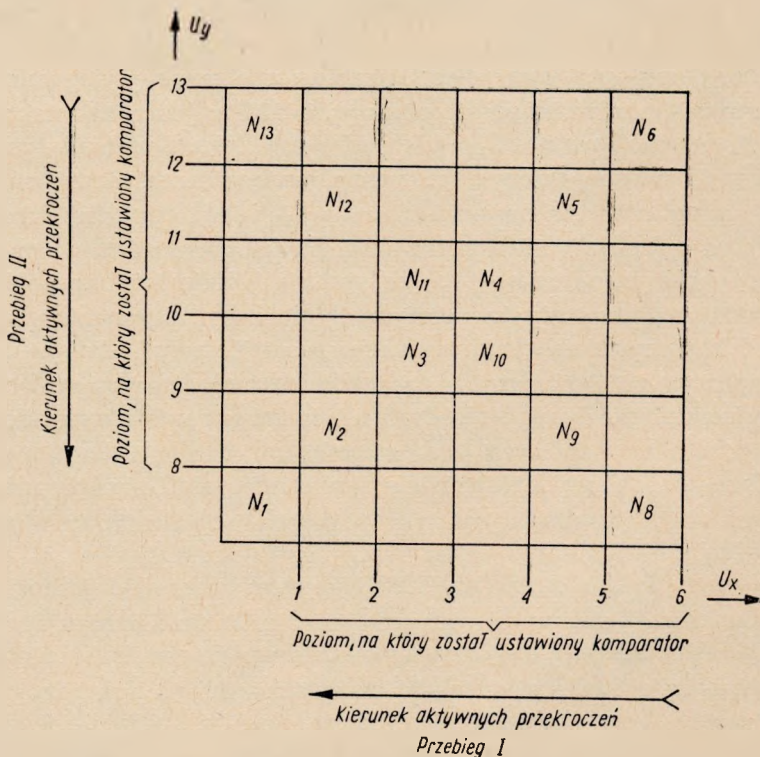


Rys. 7. Tablica korelacyjna "3 × 4" przy analizowaniu przebiegów powyżej poziomu

cyjnej są odgraniczone pomiędzy sobą pewnymi poziomami napięcia, przy czym poziomy jednego boku tablicy są powiązane z jednym badanym przebiegiem, podczas gdy poziomy drugiego boku odnoszą się do przebiegu drugiego. Połączenia koincydencyjne uzależniają wskazania liczników od jednoczesnych przekroczeń określonych poziomów przez dwa przebiegi. Tak więc np. wskazania licznika ósmego będą wyrażały sumę tych przedziałów czasu, podczas których jest przekroczony jednocześnie poziom 5 przez przebieg I oraz poziom 12 przez przebieg II. Ze wskazań liczników ułożonych w taką tablicę korelacyjną można wyznaczyć — za pomocą odpowiednich wzorów — następujące charakterystyczne wielkości korelacyjne:

- 1) współczynnik korelacji,
- 2) liczbę korelacyjną,
- 3) stosunek korelacyjny przebiegu I względem II,
- 4) stosunek korelacyjny przebiegu II względem I,
- 5) równania prostych regresji.

Czwarty sposób pomiaru korelacji stanowi pewną odmianę trzeciego sposobu, mianowicie wskazania liczników tworzą tu dwie przekątne nie-



Rys. 8. Niepełna tablica korelacyjna "6 + 6" przy analizowaniu przebiegów poniżej poziomu

pełnej tablicy korelacyjnej o 36 polach (rys. 8). Ponieważ w tym przypadku są znane tylko wartości znajdujące się na przekątnych tablicy, to wykorzystanie tego sposobu pomiaru jest ograniczone do szczególnych przypadków.

2.5. Dodatkowe udogodnienia pomiarowe

Należy jeszcze wspomnieć o możliwości wykorzystania niektórych układów SAPu do pomiarów specjalnych, a także o kilku urządzeniach pomocniczych, które uzupełniają wyposażenie SAPu.

Układ wejściowy zawiera urządzenie, umożliwiające stosowanie polaryzacji napięcia wejściowego. Jeżeli badany przebieg waha się w granicach, które są położone niesymetrycznie względem napięcia zerowego, to można ten przebieg odpowiednio przesunąć za pomocą dodatkowego napięcia polaryzującego. Maksymalne napięcie polaryzacji wynosi ± 15 V.

Dwa oddzielne wejścia z osobnymi wzmacniaczami wejściowymi, stosowane do pomiarów korelacyjnych, mogą być wykorzystane również i podczas wyznaczania rozkładów prawdopodobieństwa przekroczeń poziomów jednego przebiegu. Jednoczesne wykorzystanie dwóch wejść z oddzielnymi wzmacniaczami umożliwia w pewnych warunkach analizowanie przebiegów o większej dynamice. Przebieg analizowany doprowadza się w tym przypadku równoległe do obu wejść SAPu; jeden ze wzmacniaczy ustawia się na małą czułość — taką, aby największe wahania przebiegu były zawarte w charakterystyce pracy wzmacniacza, drugi natomiast wzmacniacz ustawia się na czułość dużą — taką, aby charakterystyką wzmacniacza był objęty niewielki zakres napięciowy badanego przebiegu. Bez użycia polaryzacji zakres ten oczywiście będzie leżał w pobliżu napięcia zerowego, przy użyciu polaryzacji może być przesunięty do wartości ± 15 V. Oczywiście, drugi wzmacniacz wejściowy będzie w pewnym obszarze pracy przesterowany. Przy takim ustawieniu wzmacniacza błąd względny ustawienia komparatorów i ich histerezy w stosunku do napięcia na wyjściu wzmacniacza będzie mniejszy, dzięki czemu mogą być analizowane przebiegi, których chwilowe wartości napięć różnią się o 60 dB lub więcej, podczas gdy w normalnych warunkach mogą one różnić się tylko o 40 dB.

Dwa wejścia SAPu mogą być także wykorzystane do jednoczesnego i niezależnego analizowania dwóch przebiegów. W tym jednak przypadku przebieg doprowadzony do wejścia pierwszego może być analizowany na siedmiu poziomach, a przebieg załączony do wejścia drugiego — tylko na sześciu poziomach.

Jednym z urządzeń pomocniczych jest układ pozwalający na orientacyjne wyznaczanie granic napięciowych, pomiędzy którymi jest zawarty

badany przebieg. Do tego celu wykorzystuje się przystawkę obrazową z oscyloskopem. Jeżeli przebieg badany jest szybkozmienny, to na ekranie przedstawi się on jako rozmyty pas świetlny, ponieważ częstotliwość rozciągania w oscyloskopie wynosi 50 Hz. Za pomocą odpowiednich pokręteł układu kalibrującego ustawia się prostą kalibrującą na skraj tego pasa i na wbudowanym woltomierzu lampowym odczytuje się odpowiadającą temu ustawieniu wartość napięcia. Oczywiście, jeżeli wahania badanego przebiegu są powolne, to wyznaczenie granic tą metodą jest trudne do przeprowadzenia, gdyż wymagałoby to dłuższego czasu na obserwację.

Znajomość granic, pomiędzy którymi zawiera się badany przebieg, pozwala na bardziej racjonalny wybór poziomów napięciowych, na których przebieg ten ma być analizowany.

Innym urządzeniem pomocniczym jest układ sterujący automatycznym fotografowaniem wskazań liczbowych na licznikach elektromagnetycznych. Ośmiu razy podczas trwania pomiaru w równych odstępach czasu zwierane są automatycznie odpowiednie kontakty, co może być wykorzystane do sterowania urządzenia fotograficznego.

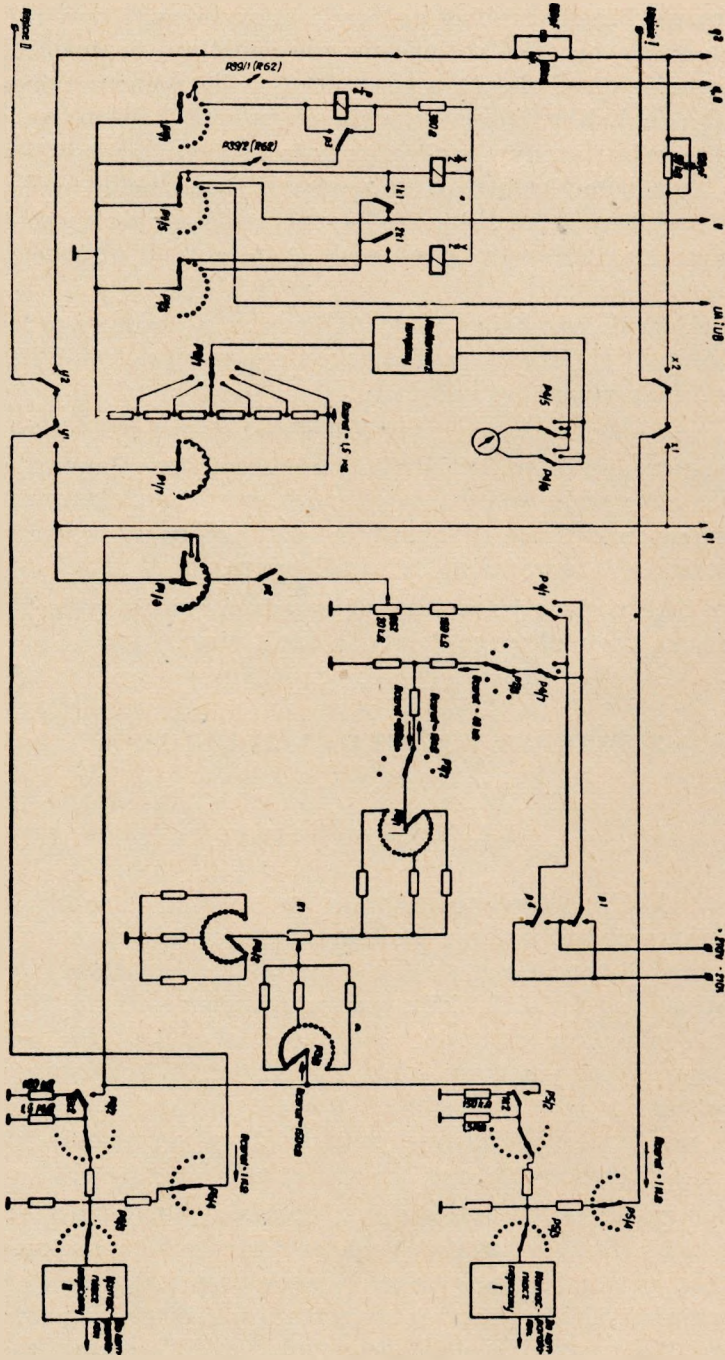
Poza tym SAP posiada jeszcze szereg urządzeń kontrolnych, które służą do sprawdzania prawidłowego działania analizatora.

3. BUDOWA WAŻNIEJSZYCH UKŁADÓW

3.1. Układ wejściowy

W skład układu wejściowego wchodzi między innymi: 2 wzmacniacze wejściowe, kalibrator z woltomierzem lampowym oraz przełącznik funkcyjny. Wzmacniacze wejściowe posiadają charakterystykę liniową w granicach od 0 do 100 kHz oraz wzmocnienie równe 200. W celu zmniejszenia zjawiska pełzania zera we wzmacniaczach zastosowano układ z silnym ujemnym sprzężeniem zwrotnym. W normalnych warunkach pracy pełzanie zera wynosi około 0,3 mV na 1 godzinę w odniesieniu do wejścia wzmacniacza. Schemat wyjaśniający pracę układu wejściowego jest przedstawiony na rys. 9.

Kalibrator składa się z szeregu regulowanych dzielników oporowych oraz woltomierza lampowego i służy do ustawiania komparatorów na żądane wartości poziomów napięcia za pomocą przełączników P_2 i P_3 oraz potencjometru R_1 . Kalibrowanie komparatorów odbywa się przy ustawieniu przełącznika funkcyjnego na drugą lub trzecią pozycję, zależnie od tego czy przebieg badany jest dołączony do pierwszego czy do drugiego



Rys. 9. Schemat wyjaśniający pracę układu wejściowego

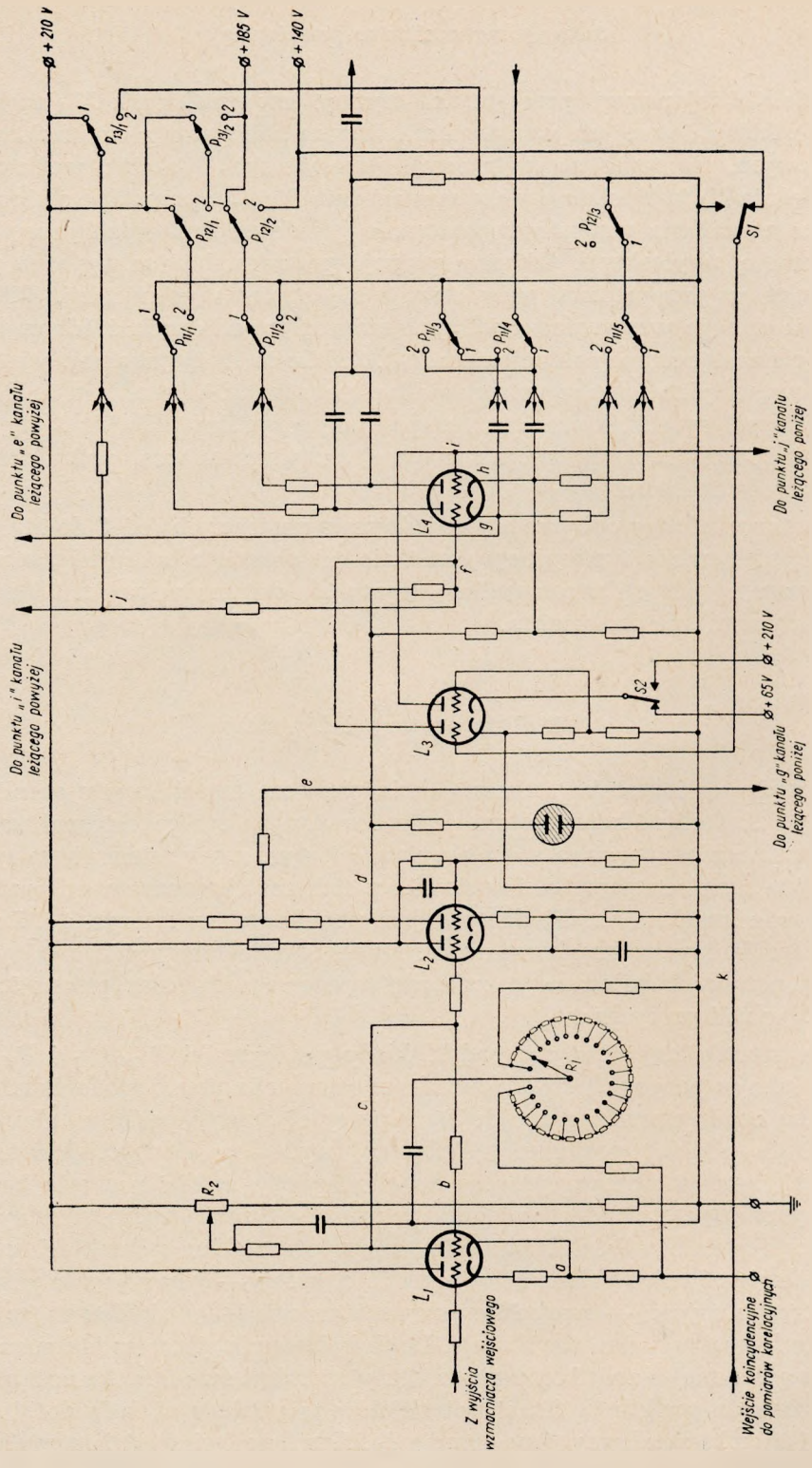
wejścia. W tej pozycji przełącznika czynny jest przełącznik X (względnie Y), który do wejścia wzmacniacza dołącza kalibrator z woltomierzem lampowym. W tejże samej pozycji przełącznika I zacisk wejściowy (względnie II) jest połączony poprzez opornik $50\text{ k}\Omega$ z przystawką obrazową, co umożliwia wstępne wyznaczanie granic napięciowych przebiegu za pomocą oscyloskopu. Czwarta pozycja przełącznika funkcyjnego jest używana w przypadkach, gdy stosuje się napięcia polaryzacji. Wtedy wejście danego wzmacniacza jest połączone z dodatkowym źródłem tzw. napięcia zastępczego (potencjometr R_{62}). Źródło to służy jako napięcie porównawcze tylko na czas ustawiania komparatorów. Właściwym źródłem napięcia polaryzacji, które poprzez sprężynę przycisku $1K2$ (lub $2K2$) powoduje przesunięcie potencjału na wejściu wzmacniacza, jest dzielnik oporowy kalibratora.

Pomiar właściwy odbywa się w jednym z następnych (od 5 do 12) pozycji przełącznika funkcyjnego, zależnie od obranego rodzaju pomiaru. W pierwszej pozycji przełącznika odbywa się opisana w rozdz. 3.9 kontrola dynamiczna analizatora.

3.2. Komparatory i bramki

Komparator i bramka stanowią dwie pierwsze części kanału amplitudowego. Zadaniem komparatora jest porównywanie napięcia analizowanego wzmacnionego we wzmacniaczu wejściowym z napięciem progowym, na które został on poprzednio ustawiony. Schemat komparatora i bramki jednego z kanałów amplitudowych jest przedstawiony na rys. 10. Dwie pierwsze lampy tworzą komparator. Kalibrowanie komparatora odbywa się za pomocą regulowanego dzielnika oporowego R_1 oraz potencjometru R_2 w roli precyzera.

Rozpatrzmy najpierw przypadek, kiedy przełączniki P_{11} , P_{12} i P_{13} są ustawione w pozycji 2, co odpowiada wyznaczeniu prawdopodobieństwa, z jakim badany przebieg znajduje się powyżej danego poziomu, ale jednocześnie poniżej poziomu sąsiedniego, wyżej położonego. Potencjał w punkcie a jest proporcjonalny do chwilowej wartości napięcia badanego przebiegu, natomiast potencjał w punkcie b może być ustawiony za pomocą regulatora R_1 . Zależnie od różnicy potencjałów w punktach a i b zmienia się również potencjał w punkcie c , który — gdy osiągnie pewną określoną wartość — powoduje przerzut przerzutnika zbudowanego na lampie L_2 w drugi stan równowagi. Do wskazywania stanu, w jakim znajduje się w danej chwili komparator, służy wskaźnikowa lampka neonowa, dołączona do punktu d . Skoki potencjałów w punkcie d służą do sterowania bramki zbudowanej na lampie L_4 . Lewa połówka tej lampy służy



Rys. 10. Schemat komparatora i bramki kanału amplitudowego

do analizowania przebiegu powyżej poziomu, prawa zaś połówka — poniżej poziomu. Jeżeli potencjał w punkcie d będzie niski, to i potencjał w punkcie f będzie niższy od potencjału w punkcie g , wobec czego lewa trioda lampy L_4 nie będzie przewodziła. Trioda ta zacznie przewodzić, gdy potencjał w punkcie d stanie się wysoki, co powoduje zrównanie potencjałów w punktach f i g . Trioda lewa lampy L_4 będzie jednak przewodziła tylko wtedy, gdy potencjał punktu d , a więc i punktu e sąsiedniego kanału, leżącego wyżej, będzie niski. Z chwilą podniesienia się w sąsiednim kanale potencjału punktu d wzrośnie również potencjał punktu g w kanale rozpatrywanym, co spowoduje zablokowanie lewej triody lampy L_4 . Gdy trioda ta jest czynna, to wtedy od strony katody przechodzą przez nią z generatora główne impulsy, które są następnie zliczane za pomocą licznika elektronicznego.

W podobny sposób odbywa się praca prawej triody lampy L_4 przy pokrętle P_{11} ustawionym w pozycji 1, co odpowiada analizowaniu przebiegu poniżej poziomu. Trioda ta, w przeciwieństwie do triody lewej, przewodzi wtedy, gdy potencjał d jest niski. Wtedy bowiem potencjał punktu h jest zrównany z potencjałem punktu i , ale tylko w tym przypadku, gdy potencjał punktu d sąsiedniego kanału, leżącego poniżej, będzie wysoki. Z chwilą obniżenia się tego potencjału nastąpi również spadek potencjału w punkcie j oraz w połączonym z nim punkcie i rozpatrywanego kanału, co spowoduje zablokowanie lampy i zamknięcie drogi dla impulsów wchodzących od strony katody.

Ustawienie przełącznika P_{13} w pozycji pierwszej odpowiada przedstawieniu wyniku pomiarowego w postaci dystrybuanty. W tym przypadku bramki są uzależnione wyłącznie tylko od pracy komparatorów tych samych kanałów. Uzyskuje się to dzięki podwyższeniu potencjałów na anodach lampy L_4 oraz w punktach j ; w tych warunkach praca komparatorów kanałów sąsiadujących nie wywiera wpływu na pracę bramki.

Nieco inaczej przedstawia się praca bramki podczas wyznaczania prawdopodobieństwa ilości przekroczeń, tj. przy przełączniku P_{12} ustawionym w pozycji pierwszej. W tych warunkach główny generator impulsowy (nie uwidoczniiony na rysunku) jest wyłączony, a liczniki zliczają impulsy wytwarzane bezpośrednio przez przerzutnik komparatora (lampa L_2) w momentach skoku potencjału w punkcie d . Nagły wzrost potencjału punktu d wywołuje podobny wzrost potencjału punktu f , w rezultacie czego, dzięki obniżonemu potencjałowi punktu g (wskutek włączenia opornika pomiędzy punktem g a ziemią), na wyjściu bramki powstaną impulsy ujemne, które będą zaliczane przez licznik elektroniczny.

Lampa L_3 jest częścią bramki. Pełni ona rolę dodatkowego wejścia koincydencyjnego używanego przy pomiarach korelacyjnych. Punkt k , stanowiący wejście tej lampy, jest załączany za pomocą przekaźników

do punktu d odpowiednich komparatorów, zależnie od stosowanego rodzaju pomiaru korelacji, względnie do poszczególnych członów tzw. opóźniacza przekroczeń. Obie połówki tej lampy w stanie aktywnym powodują blokadę właściwej bramki (lampy L_4) przez obniżenie potencjału w punkcie f lub i . Lampę L_3 można wyłączać z pracy przez podanie odpowiednich potencjałów na siatkę jej lewej połówki i na katodę jej prawej połówki (za pomocą sprężyn przekaźnika $s1$ i $s2$). Opornik, znajdujący się w prawej katodzie lampy L_2 , służy do zmniejszenia zjawiska histerezy komparatora.

3.3. Liczniki

Ostatnim członem każdego kanału amplitudowego jest licznik impulsów, składający się z licznika elektronicznego i licznika elektromagnetycznego. Licznik elektroniczny składa się z 11 przerzutników połączonych szeregowo ze sobą. Krotność obniżenia częstotliwości impulsów licznika elektronicznego wynosi $2^{11} = 2048$. Impulsy otrzymane na wyjściu licznika elektronicznego są rejestrowane przez licznik elektromagnetyczny. Licznik elektroniczny w danym przypadku pełni rolę wyłącznie obniżacza częstotliwości impulsów. Krotność obniżania liczników elektronicznych może być zmieniana z 2048 na 1024, 512 lub 2. Zmiana krotności obniżania odbywa się w ten sposób, że w niektórych przerzutnikach licznika elektronicznego wytwarza się sztuczną asymetrię przez nierówne obniżenie potencjałów siatek tych układów. W wyniku tego przerzutniki takie tracą swą zdolność pracy jako układ dwustabilny, a pracują jako multiwibrator jednoskokowy, przekazując otrzymany impuls następnej lampie. Układy takie nie biorą udziału w obniżaniu częstotliwości impulsów.

Licznik elektroniczny czternastego kanału amplitudowego, który jest zbudowany podobnie jak liczniki pozostałych kanałów, w pewnych okolicznościach spełnia nieco odmienne zadanie, a mianowicie służy jako obniżacz częstotliwości głównego generatora impulsów. Taki przypadek zachodzi przy stosowaniu niektórych rodzajów pomiaru.

W razie stosowania przystawki obrazowej do obserwowania wyniku pomiarowego na ekranie oscyloskopu, w szereg z każdym licznikiem elektromagnetycznym zostaje załączony elektromagnes układu pamięciowego, którego zadaniem jest zamiana wskazań liczbowych licznika na napięcie elektryczne.

3.4. Układ automatycznego wyłączania

Zadaniem układu automatycznego wyłączania jest przerywanie pracy SAPu po zakończeniu pewnego, z góry ustalonego okresu pomiarowego.

Układ ten podaje sygnał blokujący po setnym lub tysięcznym impulsie podanym na jego wejście.

Układ automatycznego wyłączania jest zbudowany w podobny sposób, jak liczniki elektroniczne kanałów amplitudowych. Posiada on tylko 10 lamp, a więc obniżenie częstotliwości impulsów wynosi $2^{10} = 1024$.

Ustawienie układu na wyłączanie po setnym lub tysięcznym impulsie polega na początkowym przerzuceniu poszczególnych przerzutników w odpowiedni stan równowagi. Odbywa się to za pomocą specjalnego przełącznika, który realizuje takie połączenia, że podczas kasowania układu podnosi się potencjał odpowiednich siatek lamp, przez co przerzutniki układu automatycznego wyłączania zostają ustawione w takie położenie, w jakie ustawiłby się normalny licznik elektroniczny po przeliczeniu 924 względnie 24 impulsów, zależnie od tego czy wyłączanie ma nastąpić po setnym czy tysięcznym impulsie.

Układ automatycznego wyłączania jest sterowany przez impulsy pochodzące z wyjścia licznika elektronicznego czternastego kanału amplitudowego. Licznik ten jest czynny przez cały czas trwania pomiaru.

Innpuls blokujący powstały na wyjściu układu powoduje uruchomienie przekaźnika blokady, który przerywa pracę niektórych układów SAPu, a między innymi pracę głównego generatora impulsowego.

3.5. Miernik przekroczeń

Miernik przekroczeń służy do zliczania ilości przekroczeń oraz do zliczania czasu trwania pojedynczych przekroczeń. Oba te zastosowania miernika odnoszą się do przekroczeń poziomu, na który został ustawiony siódmy komparator. W skład miernika przekroczeń wchodzi: Licznik elektroniczny, układ licznika elektromagnetycznego oraz pomocniczy układ do pomiaru czasu trwania pojedynczych przekroczeń. Pierwsze 10 lamp licznika elektronicznego pracuje jako przerzutniki, połączone szeregowo ze sobą. Stan równowagi każdego przerzutnika jest sygnalizowany za pomocą dołączonej neonówki. Pojemność takiego licznika o systemie dwójkowym, składającego się z 10 elementów, wynosiłaby $2^{10} = 1024$ impulsów. Jedenasta lampa licznika elektronicznego podaje impulsy zwrotne na 4 i 5 lampę licznika, co gwarantuje, że tysięczny impuls przyłożony na wejście licznika spowoduje wysłanie na jego wyjściu impulsu, który zostanie zarejestrowany przez licznik elektromagnetyczny.

W ostatecznym wyniku liczba odczytana na liczniku elektromagnetycznym wyraża ilość zarejestrowanych przekroczeń w tysiącach, natomiast końcówkę liczbową w ramach tysiąca daje suma liczb, którymi są oznaczone świecące się neonówki.

Licznik elektroniczny jest zdolny rejestrować przekroczenia trwające

100 μs lub dłużej. Pojemność jego łącznie z licznikiem elektromagnetycznym wynosi 10^7 przekroczeń.

Pomocniczy układ do pomiaru czasu trwania pojedynczych przekroczeń służy do wybierania z analizowanego przebiegu najbliższego (od momentu rozpoczęcia pomiaru) całkowitego przekroczenia poziomu. Pomiar czasu trwania przekroczenia polega na zliczeniu ilości impulsów zawartych w tym przedziale czasu.

3.6. Segregator przekroczeń

Segregator przekroczeń służy do segregowania przekroczeń pod względem czasu ich trwania. Składa się on z 12 układów czasowych, z których każdy charakteryzuje się pewną graniczną wartością czasową. Praca układów czasowych opiera się na zasadzie ładowania się kondensatorów. W momencie przekroczenia poziomu, na który został ustawiony siódmy komparator, przerzutnik komparatora zostanie przerzucony w drugi stan równowagi, co się objawi skokiem napięcia na wyjściu komparatora. Ten skok napięcia jest równocześnie startem wszystkich układów czasowych segregatora. Rozpocznie się ładowanie wszystkich kondensatorów układów czasowych. Po pewnym czasie, uwarunkowanym stałą czasu danego układu, potencjał na kondensatorze wzrośnie na tyle, że spowoduje przerzut w drugi stan równowagi połączonego z nim przerzutnika. W rezultacie zostanie wysłany impuls, który będzie zarejestrowany przez licznik elektromagnetyczny. Impuls ten zostanie wysłany jednak tylko wtedy, gdy czas trwania danego przekroczenia będzie większy od stałej czasu układu czasowego segregatora. W przeciwnym przypadku kondensator ładujący się zostanie zwarty dodatkową lampą przedtem, zanim napięcie na nim osiągnie wartość dostateczną do uruchomienia przerzutnika.

Układy czasowe o dużych granicznych wartościach czasowych zawierają dodatkową triodę pracującą jako wzmacniacz, dzięki czemu pojemność kondensatora może być znacznie zredukowana.

3.7. Opóźniacz przekroczeń

Opóźniacz przekroczeń służy do opóźniania badanego przebiegu napięciowego podczas pomiarów korelacyjnych. To opóźnienie uzyskuje się drogą pośrednią, a mianowicie zamiast badanego przebiegu jest opóźniany efekt, który jest wywołany tym przebiegiem, co dla wyniku pomiaru jest obojętne. Podczas bowiem pomiaru autokorelacji lub korelacji korzysta się tylko z tych informacji czasowych, które odpowiadają momentom przekroczeń danego poziomu. Właściwe zatem przesunięcie czasowe uzyskuje

się w opóźniaczu przekroczeń przez opóźnienie impulsu otrzymanego na wyjściu siódmego komparatora. Opóźniacz przekroczeń stanowi pewną odmianę tzw. rejestru szeregowego stosowanego w elektronicznych maszynach liczących. Składa się on z 12 układów opóźniających w postaci przerzutników połączonych szeregowo ze sobą oraz z pomocniczego generatora impulsowego. Impulsy z generatora pomocniczego przedostają się jednocześnie do wszystkich przerzutników w sposób nieprzerwany. Wejście pierwszego przerzutnika jest połączone z wyjściem siódmego komparatora. Przeskok napięcia na wyjściu siódmego komparatora nie wywoła jednak bezpośrednio przerzutu pierwszego przerzutnika, lecz spowoduje tylko przesunięcie jego nierównowagi na korzyść jednej strony. Przerzut ten nastąpi, gdy się pojawi pierwszy impuls z pomocniczego generatora impulsowego. Następny kolejny impuls z pomocniczego generatora nic w układzie nie zmieni, gdyż układ przerzutnika będzie w dalszym ciągu w nierównowadze niekorzystnej dla następnego przerzutu. Taki stan będzie trwał aż do chwili, gdy na wyjściu siódmego komparatora nastąpi ponowny przeskok napięcia w przeciwnym kierunku. Przeskok ten spowoduje ponowne przesunięcie nierównowagi układu na korzyść drugiej strony, a najbliższy impuls przychodzący z generatora przerzuci jednorazowo układ w drugi stan równowagi.

Następne układy opóźniające pracują podobnie jak pierwszy z tą różnicą, że zmiany nierównowagi układu dokonuje zawsze układ poprzedzający.

Praca opóźniacza przekroczeń polega więc na tym, że przerzut jednego z układów opóźniających nie wywołuje przerzutu układu następnego, lecz tylko stwarza warunki dla tego przerzutu, sam zaś przerzut następuje pod działaniem impulsów z generatora. Tak więc każdy przeskok napięcia, niezależnie od kierunku, podany na wejście opóźniacza przekroczeń, jest przesuwany wzdłuż układów opóźniających z szybkością odpowiadającą częstotliwości generatora. Na wyjściu każdego układu opóźniającego powstaje podobny przeskok napięcia do tego, jaki miał miejsce na wejściu opóźniacza, lecz przesunięty w czasie o $\tau = n \cdot \tau_0$, gdzie n — kolejny numer układu opóźniającego, a τ_0 — okres powtarzania impulsów generatora, dający się regulować w zakresie od 0,1 ms do 200 ms.

Poszczególne wejścia opóźniacza przekroczeń są połączone kolejno z wejściami koincydencyjnymi odpowiednich bramek.

3.8. Układ obrazowy

Układ obrazowy służy do realizowania obrazu na ekranie oscyloskopu. Trzonem układu obrazowego jest 13 multiwibratorów jednoskokowych

połączonych szeregowo ze sobą (patrz rys. 3). Pierwszy z nich jest sterowany poprzez układ kształtujący napięciem o częstotliwości sieci 50 Hz. Każdy powstały na wyjściu multiwibratora impuls o szerokości 1,2 ms wyzwała swoim tylnym zboczem impuls w kolejnym, następnym multiwibratorze. W ten sposób każdy impuls o częstotliwości sieci przychodzący na pierwszy multiwibrator wyzwała ciąg impulsów, składający się z 13 impulsów przesuniętych w czasie jeden od drugiego o 1,2 ms. Impulsy te służą do sterowania układów sondujących, które z kolei badają napięcia na potencjometrach układu pamięciowego i przekazują je na płytki pionowe oscyloskopu poprzez układ zbiorczy w postaci wtórnika katodowego. Ponieważ, jak wiemy, napięcia na potencjometrach układu pamięciowego są proporcjonalne do wskazań liczbowych liczników — napięcie zbiorcze na wyjściu wtórnika przedstawia się jako krzywa schodkowa, w której wysokość każdego schodka odpowiada liczbie wskazanej przez licznik. Impulsy z multiwibratorów jednoskokowych służą jednocześnie do sterowania układu modułującego jasność plamki w ten sposób, że obraz na ekranie przedstawiający się w postaci krzywej schodkowej zostaje całkowicie wygaszony z wyjątkiem tylko krótkich okresów czasu trwających 0,2 ms w środku każdego schodka, które na ekranie oscyloskopu dają wrażenie punktów świetlnych.

Czternasty potencjometr układu pamięciowego jest połączony z czternastym licznikiem elektromagnetycznym, który jest czynny przez cały czas trwania pomiaru. Napięcie z tego potencjometru jest wyzyskane do utworzenia tzw. „prostej kalibrującej”, służącej do kalibrowania obrazu. Napięcie to przechodzi przez kalibrator obrazu, składający się z dzielnika oporowego przeskalowanego w procentach i dostaje się na drugie wejście wyżej wspomnianego wtórnika katodowego. Wejścia tego wtórnika są przełączane za pomocą przełącznika elektronicznego 25 razy na sekundę, dzięki czemu na ekranie oscyloskopu oprócz krzywej rozkładu prawdopodobieństwa jest widoczna jeszcze „prosta kalibrująca” również w postaci 13 punktów świetlnych.

Pomiędzy wtórnikiem katodowym a wzmacniaczem pionowym oscyloskopu znajduje się przełącznik „Regulacja czułości”, za pomocą którego można zmieniać wielkość obrazu na ekranie albo też włączać automatyczną regulację obrazu. W tym ostatnim przypadku w skład dzielnika napięciowego wchodzi potencjometr Pr_{15} , który jest napędzany równolegle z czternastym potencjometrem układu pamięciowego. Przy wzroście napięcia na potencjometrze układu pamięciowego zmienia się jednocześnie stosunek podziału dzielnika napięciowego, w rezultacie czego wielkość obrazu na ekranie (począwszy od pewnej wartości) pozostaje niezmieniona.

3.9. Źródła napięć zasilających i urządzenia kontrolne

Do zasilania różnorodnych układów SAPu służy 13 zasilaczy, w tym pięć dostarcza napięć do żarzenia lamp, sześć — napięć anodowych, jeden, o napięciu 26 V, służy do uruchamiania przekaźników i polaryzacji siatek niektórych lamp oraz jeden, o napięciu 1700 V, do zasilania lampy oscyloskopowej. Zastosowanie dużej liczby zasilaczy było podyktowane koniecznością odseparowania poszczególnych układów od siebie, a także koniecznością zróżnicowania ich pod względem stopnia stabilizacji.

Na uwagę zasługują dwa zasilacze wysokostabilizowane, służące do zasilania wzmacniaczy prądu stałego układu wejściowego. Zasilacze te dostarczają napięć stałych o wartościach $+210$ V i -210 V; obciążenie ich wynosi około 50 mA. Są one stabilizowane w sposób elektroniczny, z wykorzystaniem jako napięcia odniesienia baterii anodowych o napięciu 120 V. Niestaołość napięcia wyjściowego wynosi 0,025% przy zmianach napięcia wejściowego w granicach $+5\%$ ÷ -15% .

SAP zawiera szereg urządzeń kontrolnych pozwalających sprawdzić prawidłowość działania poszczególnych układów. Do tych urządzeń należą:

- a) układ do pomiaru napięć zasilających,
- b) układ do pomiaru stałości napięć baterii anodowych i zasilaczy wysokostabilizowanych,
- c) układ do kontroli lamp,
- d) układ do kontroli dynamicznej analizatora.

Układ do pomiaru napięć zasilających pozwala zmierzyć napięcia na wyjściu poszczególnych zasilaczy, a także napięcie sieci.

Do pomiaru stałości napięć baterii anodowych i zasilaczy wysokostabilizowanych służy układ zawierający oko magiczne. Wąski, nieruchomy pasek świetlny świadczy o dobrym stanie baterii anodowej i o jej przydatności do pracy w SAPie ewentualnie o prawidłowej pracy zasilaczy. Na oku magicznym mogą być zauważone wahania napięć wynoszące kilka miliwoltów.

Głównymi elementami układu do kontroli żarzenia lamp są dwa wybieraki telefoniczne, które po wprowadzeniu w ruch zatrzymują się w pozycji odpowiadającej przepalanej lampie. Zrealizowane jest to w ten sposób, że w obwodzie żarzeniowym lamp znajduje się mały opornik, tak obliczony, aby spadek napięcia na nim wynosił 0,1 V. Brak tego napięcia jest sygnałem do zatrzymania wybieraka w pozycji odpowiadającej lampie przepalanej. W ten sposób można sprawdzić włókna wszystkich lamp znajdujących się w stojaku głównym.

Układ do kontroli dynamicznej umożliwia skontrolowanie prawidłowej pracy prawie wszystkich układów składowych SAPu. Kontrola ta polega

na tym, że na wejście analizatora zamiast badanego przebiegu doprowadza się napięcie z jednego z generatorów wchodzących w skład urządzeń SAPu. Dzięki temu, że charakter tego napięcia jest znany, z góry jest wiadome, jak się powinny zachować poszczególne układy analizatora po naciśnięciu przycisku startowego, tj. podczas pomiaru, a także po jego zakończeniu. W taki sposób można sprawdzić szybko działanie analizatora oraz wykryć miejsce ewentualnego uszkodzenia.

4. WAŻNIEJSZE DANE TECHNICZNE

Najmniejsza rozpiętość wahań napięcia badanego przebiegu ciągłego (albo amplituda impulsu przebiegu impulsowego), która może być analizowana przy pełnym wykorzystaniu charakterystyki wzmacniacza układu wejściowego: 1 V.

Zakres czasów trwania przekroczeń poziomów, przy analizowaniu przebiegów ciągłych: powyżej 100 μ s.

Najmniejszy odstęp czasu pomiędzy sąsiednimi impulsami przy analizowaniu przebiegów impulsowych: 50 μ s.

Oporność wejściowa: dla prądu stałego: 1 M Ω ,

dla częstotliwości 10 kHz: 0,5 M Ω .

Charakterystyka wzmocnienia wzmacniaczy wejściowych: liniowa od 0 do 100 kHz.

Największa ilość poziomów, na których analizator może jednocześnie badać prawdopodobieństwa ich przekroczeń: 13.

Częstotliwości impulsów sondujących: 17067 Hz, 10000 Hz, 3413 Hz, 569 Hz, 47,4 Hz, 16,67 Hz, 9,77 Hz, 3,33 Hz, 0,556 Hz i 0,046 Hz.

Szerokość impulsów sondujących: 8 μ s.

Czas trwania pomiaru przy stosowaniu pomiaru typowego z automatycznym wyłączaniem: 12 sek, 15 sek, 30 sek, 1 min, 2 min, 2,5 min, 5 min, 10 min, 15 min, 30 min, 1 godz., 3 godz., 6 godz. lub 12 godz.

Pojemność licznika przekroczeń: 10⁷ przekroczeń.

Zakres przesunięcia czasowego badanego przebiegu, stosowanego przy pomiarach autokorelacyjnych: 0,1 ms ÷ 2,4 s.

Napięcie zasilania: 220 V + (+5% ÷ -15%) 50 Hz.

Całkowity pobór mocy: \approx 1900 VA.

Ilość lamp elektronowych: 391.

Ciężar całkowity: \approx 300 kg.

5. TECHNIKA PRZEPROWADZANIA POMIARÓW

5.1. Programowanie

Pod czynnością programowania będziemy rozumieli przygotowanie analizatora do wykonania określonego zadania. Polega ono na przekalibrowaniu komparatorów oraz ustawieniu szeregu manipulatorów zgodnie z założonym programem. Programowanie SAPu dzieli się na programowanie amplitudowe, funkcjonalne i specjalne.

Przed przystąpieniem do programowania powinny być zasadniczo znane przybliżone wartości graniczne napięć U_{min} i U_{max} , pomiędzy którymi przypuszczalnie będzie się zawierał badany przebieg napięciowy. Wartości te mogą być znane względnie przewidywane albo też znalezione metodą wstępnego badania przebiegu, opisaną powyżej (rozdz. 2.5).

Programowanie amplitudowe obejmuje czynności związane z przygotowaniem do pomiaru układu wejściowego oraz komparatorów pod względem właściwego dobrania napięć. Polega ono między innymi na ustawieniu czułości wzmacniaczy wejściowych oraz na kalibrowaniu 13 komparatorów, tj. przydzieleniu im pewnych charakterystycznych napięć progowych. Kalibrowanie komparatorów odbywa się w ten sposób, że na wejście SAPu zamiast przebiegu analizowanego podaje się określone napięcie stałe, zmierzone za pomocą wbudowanego woltomierza lampowego i odpowiadające poziomowi, na który ma być ustawiony dany komparator.

Po zakończeniu programowania amplitudowego przystępuje się z kolei do programowania funkcjonalnego. Programowanie funkcjonalne ma na celu przygotowanie analizatora pod względem rodzaju czynności, którą się mu wyznacza do wypełnienia oraz sposobu wykonania tej czynności. Polega ono na wyborze czasu trwania pomiaru (p. tabl. na str. 12) częstotliwości sondowania, sposobu przedstawienia wyniku statystycznego (rozkład gęstości lub dystrybuanta) itp.

Programowanie specjalne obejmuje różne czynności przygotowawcze związane z wykonywaniem pomiarów specjalnych, jak np.: pomiarów ilości przekroczeń za pomocą miernika przekroczeń, pomiarów za pomocą segregatora przekroczeń, pomiarów korelacyjnych itp. Polega ono na właściwym ustawieniu odpowiednich manipulatorów ewentualnie na wprowadzeniu pewnych zmian w programowaniu amplitudowym i funkcjonalnym.

5.2. Właściwy pomiar

Po zakończeniu programowania analizator jest przygotowany do wykonania pomiaru. Pomiar rozpoczyna się przez naciśnięcie przycisku „start”, co jest sygnalizowane zapaleniem się czerwonej lampki. Jeżeli został obrany pomiar z automatycznym wyłączaniem, to analizator samoczynnie zakończy pomiar po upływie określonego czasu, przy czym licznik 14, czynny przez cały czas pomiaru, wskaże liczbę 100 względnie 1000, a pozostałe liczniki wskażą wynik w procentach lub promilach.

W przypadku stosowania pomiaru z wyłączaniem ręcznym, po naciśnięciu przycisku „stop” licznik 14 wskaże pewną liczbę mniejszą od 10 000; wtedy oczywiście, w celu otrzymania wyniku względnego, wskazania poszczególnych liczników należy odnieść do wskazania licznika czter nastego.

Analizator umożliwia również stosowanie pomiaru przerywanego. Niekiedy zachodzi potrzeba zastosowania takiego pomiaru, na przykład gdy podczas analizowania jakiegoś przebiegu są spodziewane zakłócenia pochodzące od obcych źródeł, które mogą zniekształcić badany przebieg, a tym samym doprowadzić do fałszywych wyników. W takich przypadkach, z chwilą np. pojawienia się zakłóceń, można pomiar przerwać przez naciśnięcie przycisku „stop”, a następnie — po ustaniu zakłóceń — wznowić pomiar przez naciśnięcie przycisku „start po przerwie”. Przycisk ten nie powoduje kasowania zapisu zarejestrowanego w poszczególnych układach analizatora. Pomiar może być przerywany w ten sposób dowolną ilość razy, przy czym, o ile uprzednio został obrany pomiar z automatycznym wyłączaniem, to i w tym przypadku zakończenie pomiaru nastąpi w sposób automatyczny po upływie wyznaczonego czasu z uwzględnieniem przerw w pomiarze (tj. po ich odliczeniu).

Analizator posiada jeszcze jeden manipulator, po ustawieniu którego z chwilą zakończenia pomiaru analizator może być automatycznie i całkowicie wyłączony z sieci. Taki sposób wyłączania może być wykorzystany, gdy okres czasu trwania pomiaru wynosi na przykład 12 godzin, a zakończenie pomiaru wypada w nocy przy nieobecności obsługi. W ten sposób może być zaoszczędzona spora ilość energii elektrycznej przez wyłączenie analizatora na okres czasu jego jałowej pracy.

Kasowanie wszystkich układów analizatora, z wyjątkiem wskazań liczników elektromagnetycznych, odbywa się przez naciśnięcie odpowiedniego przycisku „kasowanie”. Liczniki elektromagnetyczne są kasowane ręcznie za pomocą znajdujących się przy nich dźwigiemek.

6. ZASTOSOWANIA

Odpowiednia budowa SAPu oraz wyposażenie go w szereg pomocniczych przyrządów czynią z niego urządzenie pomiarowe o charakterze uniwersalnym, pozwalające na wykonywanie wielu różnorodnych pomiarów statystycznych, o których była mowa w rozdziale 2. Dzięki temu SAP może znaleźć zastosowanie nie tylko w telekomunikacji, ale również i w wielu innych dziedzinach.

Jako przykłady zastosowań SAPu można wymienić:

a) statystyczne badania zakłóceń wszelkiego rodzaju (atmosferycznych, przemysłowych itp.) w odbiornikach radiowych, jak również w teletransmisyjnych urządzeniach przewodowych;

b) statystyczne badania przypadkowych zmian w czasie parametrów systemów teletransmisyjnych, jak np. tłumienności wynikowej łącza, odstępu sygnału od szumów itp.;

c) statystyczne badania sygnałów różnego rodzaju (telefonicznych, telegraficznych, radiofonicznych, telewizyjnych) w związku z określeniem dopuszczalnego występowania elementów nieliniarnych;

d) statystyczną analizę zaników radiowych;

e) statystyczną analizę dynamiki mowy;

f) badanie taśmy magnetycznej stosowanej do zapisu informacji cyfrowych;

g) badanie pewności zapisu cyfrowych programów sterujących na taśmie magnetycznej;

h) statystyczną kontrolę produkcji kabli, przewodów i elementów;

i) statystyczne badanie rozrzutu charakterystycznych parametrów serii lamp, tranzystorów, oporów jednego typu;

j) pomiar szumów łożysk kulkowych;

k) statystyczną kontrolę jakości wyrobów metalowych, tekstylnych i innych;

l) statystyczne badania fluktuacji ciśnień atmosferycznych, temperatury itp.

Lista powyższa nie wyczerpuje, oczywiście, wszystkich możliwości zastosowań analizatora; każde bowiem zjawisko, przedstawione w postaci czasowych wahań napięcia elektrycznego może być przedmiotem analizowania statystycznego.

Rozpatrzmy parę konkretnych przykładów zastosowań SAPu.

Przy projektowaniu ultrakrótkofalowych sieci radiofonicznych i telewizyjnych spotykamy się z zagadnieniami, których rozwiązanie możliwe

jest tylko metodami statystycznymi. Projektowanie takich sieci odbywa się na podstawie statystycznych krzywych prognoz troposferycznych, które mogą być znalezione za pomocą SAPu. Rozwój sieci ultrakrótkofalowych wraz z dążeniem do możliwie pełnego pokrycia terytorium kraju zasięgiem odbioru radiofonicznego lub telewizyjnego napotyka przeszkody ze strony ograniczenia liczby kanałów częstotliwościowych, będących w dyspozycji. Ta okoliczność zmusza do stosowania kilku nadajników pracujących w tym samym kanale. Aby zapewnić prawidłowy odbiór na granicy zasięgu nadajnika, stosunek natężenia pola użytecznego do zakłócającego, pochodzącego od nadajników położonych dalej i pracujących w tym samym kanale częstotliwościowym, powinien być nie mniejszy od określonej wartości, zwanej współczynnikiem ochrony. Zakłada się przy tym, że właściwy stosunek sygnału do zakłóceń powinien być zapewniony w ciągu pewnego dużego procentu czasu, np. 90% lub 99%. Znajdując za pomocą SAPu rozkłady czasowe prawdopodobieństwa występowania określonych natężeń pól w danym obszarze pomiarowym, można projektować we właściwy sposób sieci stacji nadawczych.

W podobny sposób mogą być również projektowane dalekosiężne, kierunkowe linie radiokomunikacyjne.

Jako drugi konkretny przykład rozpatrzmy zastosowanie SAPu do badania i projektowania systemów odbioru zbiorczego [54]. Odbiór zbiorczy polega na tym, że korzysta się jednocześnie z dwóch lub więcej odbiorników, których anteny znajdują się w pewnych odległościach od siebie. Istnieją również odmiany tego systemu. Zamiast na przykład umieszczania anten w pewnych odległościach od siebie, stosuje się niekiedy anteny rozmaicie spolaryzowane albo też pracuje się na różnych częstotliwościach. Taki system odbioru zbiorczego zwiększa prawdopodobieństwo pewności odbioru, gdyż wahania natężenia pola, spowodowane różnymi przyczynami w poszczególnych punktach odbiorczych, nie będą występowały jednocześnie. Jeżeli w jednym punkcie odbiorczym poziom sygnału spadnie poniżej progu czułości odbiornika, to w tym samym czasie poziom sygnału w drugim punkcie odbiorczym może się znajdować powyżej czułości odbiornika. Znając statystyczne rozkłady prawdopodobieństwa występowania określonych poziomów sygnałów dla odbioru zwykłego (z jednym odbiornikiem) oraz dla odbioru zbiorczego można w łatwy sposób obliczyć zysk odbioru zbiorczego przez porównanie tych rozkładów.

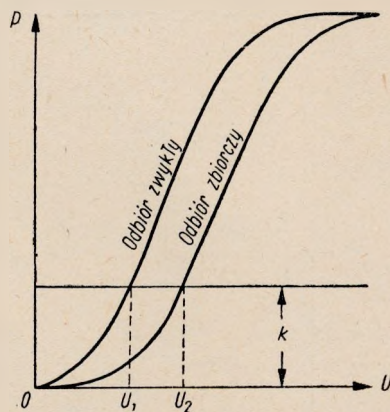
Na rysunku 11 są przedstawione dwa takie rozkłady, dla odbioru zwykłego i odbioru zbiorczego. Na osi pionowej jest odłożone prawdopodobieństwo znajdowania się sygnału poniżej określonego poziomu,

a na osi poziomej — napięcie danego sygnału. Prowadząc linię równoległą do osi poziomej w odległości k odpowiadającej procentowi czasu nieużytecznego (straconego), otrzymamy dwa punkty przecięcia z krzywymi.

Z rysunku widzimy, że dla zapewnienia tego samego prawdopodobieństwa pewności odbioru czułość odbiornika może być mniejsza albo odwrotnie — zachowując tę samą czułość odbiornika — moc nadajnika może być zmniejszona w stosunku $\left(\frac{U_2}{U_1}\right)^2$. Zysk odbioru zbiorczego wyraża się wzorem

$$G = 20 \lg \left(\frac{U_2}{U_1} \right) \text{ dB}$$

Największą korzyść z odbioru zbiorczego uzyskuje się wtedy, gdy zaniki natężenia pól w poszczególnych punktach odbiorczych występują niezależnie od siebie, tzn. gdy nie są ze sobą skorelowane. Pomiary korelacji między punktami odbioru zbiorczego mogą dać wytyczne, w jakich odległościach należy umieszczać anteny urządzeń zbiorczych.



Rys. 11. Wyznaczanie zysku odbioru zbiorczego

7. REZULTATY PIERWSZYCH POMIARÓW PRÓBNYCH

7.1. Wyznaczenie rozkładu gęstości prawdopodobieństwa przebiegu sinusoidalnego

Analizie statystycznej zostało poddane napięcie sinusoidalne z generatora akustycznego o częstotliwości 80 Hz i amplitudzie równej 13,8 V.

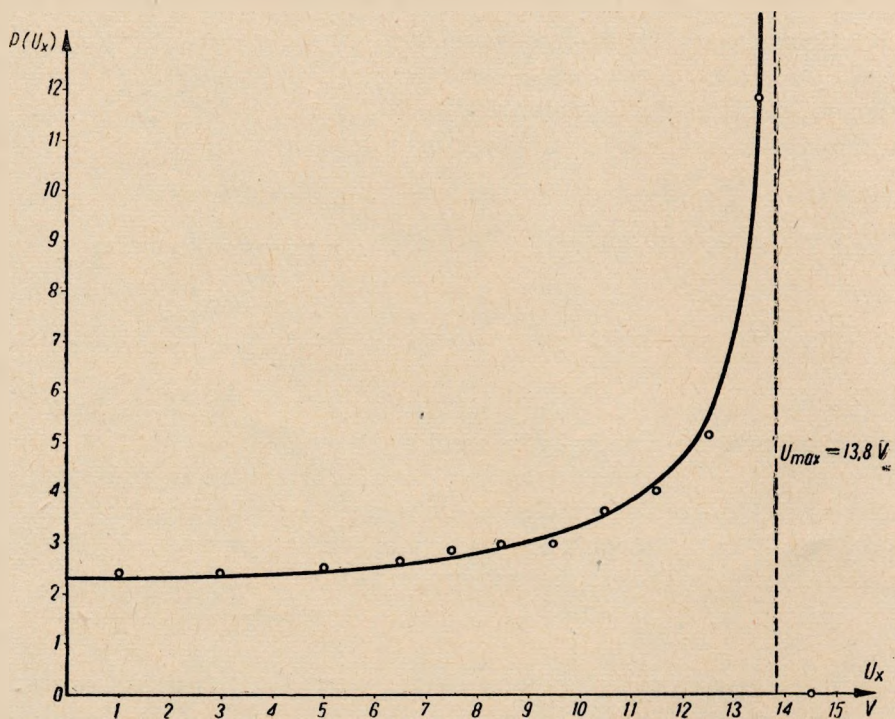
Analizowano tylko jedną (dodatnią) połówkę przebiegu sinusoidalnego, przy czym częstotliwość impulsów sondujących wynosiła 10 kHz, a czas trwania pomiaru około 3,5 min.

Rezultat pomiaru przedstawia rys. 12, na którym również pokazano rozkład gęstości prawdopodobieństwa, obliczony teoretycznie ze wzoru

$$p(U_x) = \begin{cases} \frac{1}{\pi \cdot \sqrt{U_{max}^2 - U_x^2}} & \text{dla } -U_{max} < U_x < U_{max} \\ 0 & \text{dla } |U_x| > U_{max} \end{cases}$$

gdzie:

- p — gęstość prawdopodobieństwa przekroczenia poziomów,
 U_{max} — amplituda przebiegu sinusoidalnego,
 U_x — bieżący poziom napięcia.

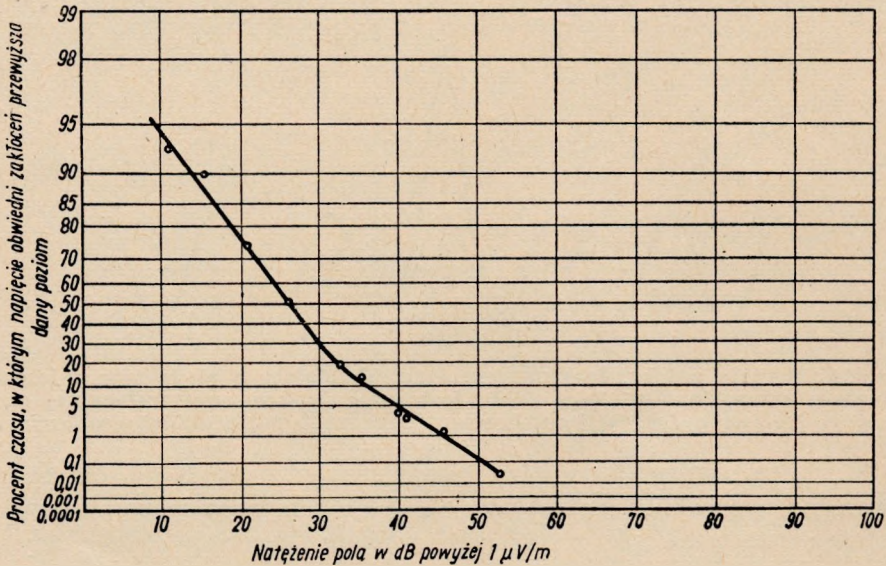


Rys. 12. Statystyczny rozkład gęstości prawdopodobieństwa przebiegu sinusoidalnego (punkty — wartości pomierzone, linia ciągła — rozkład obliczony teoretycznie)

7.2. Wyznaczenie rozkładu prawdopodobieństwa występowania amplitud obwiedni natężenia pola radiowych zakłóceń atmosferycznych

Pomiary rozkładu prawdopodobieństwa występowania amplitud obwiedni natężenia pola radiowych zakłóceń atmosferycznych zostały wykonane w Warszawie-Miedzeszynie w dniu 3 listopada 1961 roku o godz. 16⁰⁵—16¹³ (czas 15°E). Zastosowano miernik natężenia pola firmy Philips (typ GM 4010) z krótką anteną pionową o charakterystyce dookólnej. Pomiary przeprowadzono na częstotliwości 300 kHz, przy czym szerokość pasma odbiornika wynosiła 3,5 kHz (dla spadku 3 dB). Wyniki pomiarów są przedstawione na tzw. siatce Rayleigha (rys. 13). Widzimy tu charakterystyczne przegięcie krzywej, oddzielające dwie jej części. Pierwsza część krzywej, odpowiadająca małym wartościom natężenia pola, ma

charakter zbliżony do statystycznego rozkładu Rayleigha¹⁾ i na wykresie tworzy linię prostą. Fizycznie odpowiada to zakłóceniom przychodzącym z daleka, których charakter jest zbliżony do szumów cieplnych. Druga



Rys. 13. Wynik pomiaru rozkładu prawdopodobieństwa amplitudy obwiedni radiowych zakłóceń atmosferycznych przeprowadzonego w Warszawie-Miedzeszynie w dniu 3 listopada 1961 r. o godz 16⁰⁸—16¹³ (czas 15°E). $f = 300$ kHz; $\Delta f = 3,5$ kHz (dla spadku 3 dB)

część krzywej, charakteryzująca się bliżej nieznanym rozkładem statystycznym, pochodzi od rzadkich lecz silnych pojedynczych impulsów zakłóceńowych.

7.3. Wykrycie przebiegu okresowego zawartego w szumie

Metoda wykrywania przebiegu okresowego zawartego w szumie polega na wyznaczeniu funkcji autokorelacyjnej. Funkcja autokorelacyjna szumu losowego jest funkcją, która maleje ze wzrostem przesunięcia czasowego dążąc do zera, natomiast funkcja autokorelacyjna przebiegu

¹⁾ Rozkład Rayleigha (gęstość) jest określony wzorem

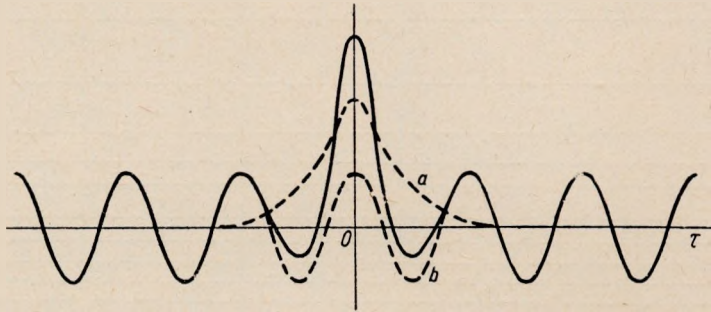
$$p(X) = 2 \ln 2 \cdot \frac{X}{X_{med}} \cdot \exp \left[-\ln 2 \cdot \frac{X^2}{X_{med}^2} \right]$$

w którym:

X = zmienna losowa,

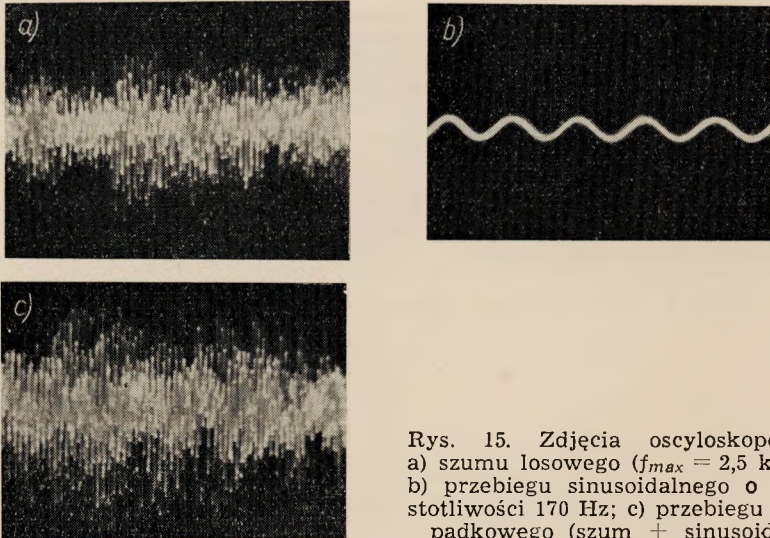
X_{med} = wartość medialna zmiennej losowej.

sinusoidalnego jest funkcją okresową. Jeżeli zatem przebieg losowy będzie zawierał w sobie składową sinusoidalną, wtedy funkcja autokorelacyjna takiego przebiegu przedstawi się jako suma wyżej wymienionych funkcji, w której okresowość składowej sinusoidalnej może być wyraźnie zaakcentowana (rys. 14).



Rys. 14. Funkcja autokorelacyjna przebiegu, składającego się z szumu losowego i sygnału sinusoidalnego. Funkcja ta jest sumą funkcji autokorelacyjnej szumu losowego (krzywa *a*) i funkcji autokorelacyjnej przebiegu sinusoidalnego (krzywa *b*)

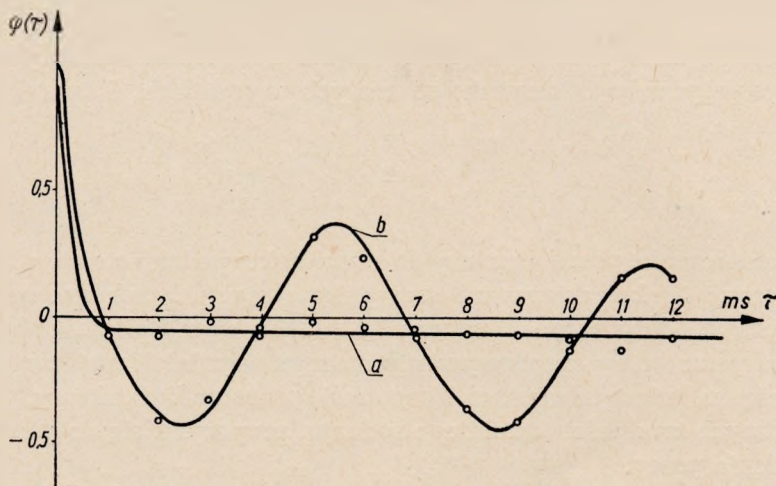
W celu sprawdzenia możliwości wykrywania przebiegu okresowego zawartego w szumie za pomocą SAPu, przeprowadzono następujący eksperyment. Sztucznie został spreparowany przebieg elektryczny bę-



Rys. 15. Zdjęcia oscyloskopowe: a) szumu losowego ($f_{max} = 2,5$ kHz); b) przebiegu sinusoidalnego o częstotliwości 170 Hz; c) przebiegu wypadkowego (szum + sinusoida)

dący sumą szumu losowego małej częstotliwości (do 2,5 kHz) oraz sygnału sinusoidalnego o częstotliwości 170 Hz i amplitudzie znacznie mniejszej od średniej amplitudy szumu (patrz rys. 15). W tak spreparowanym przebiegu wypadkowym (rys. 15c) nie można było zauważyć

na oscyloskopie składowej okresowej, zawartej w tym przebiegu. Dla tego przebiegu została wyznaczona za pomocą SAPu funkcja autokorelacyjna. Rezultat pomiaru jest przedstawiony na rys. 16. Widzimy



Rys. 16. Funkcje autokorelacyjne wyznaczone za pomocą SAPu przebiegów przedstawionych: na rys. 15a (sam szum) — krzywa *a* oraz na rys. 15c (szum + sinusoida) — krzywa *b*

tu silnie zarysowaną okresowość funkcji autokorelacyjnej, spowodowaną zawartością składowej sinusoidalnej w szumie. Okresowość otrzymanej funkcji jest równa okresowości przebiegu sinusoidalnego zawartego w szumie i wynosi około 5,88 ms.

8. ZAKOŃCZENIE

Statystyczny Analizator Przebiegów pełni obecnie służbę w Zakładzie Propagacji Fal Instytutu Łączności przy badaniu zjawisk związanych z rozchodzeniem się fal radiowych. Przedmiotem badań są zakłócenia atmosferyczne i zaniki radiowe. Jednocześnie czynione są przygotowania do wykorzystania analizatora w innych dziedzinach.

Należy jeszcze wspomnieć o podwójnej roli, jaką spełnia SAP. Oprócz tego, że jest on pożytecznym przyrządem pomiarowym, jest on jednocześnie urządzeniem eksperymentalnym w tym rozumieniu, że dzięki jego uniwersalności będzie można ocenić przydatność przyrządu w różnych przypadkach i warunkach. Materiał doświadczalny zdobyty tym sposobem będzie stanowił bazę do opracowania uproszczonych typów analizatorów statystycznych. Prace projektowe i badawcze nad takimi analizatorami są już rozpoczęte i prowadzone przez Pracownię Tropo-

sferyczną Zakładu Propagacji Fal Instytutu Łączności. Wadami SAPu są jego wymiary, ciężar i koszt, które uniemożliwiają powielenie go w większej ilości egzemplarzy. Wad tych będą pozbawione analizatory uproszczone, przystosowane do określonych zadań, których budowa będzie oparta całkowicie lub w większej części na technice tranzystorowej. Będą to przyrządy o stosunkowo małych wymiarach, łatwe i szybkie w obsłudze.

*

*

*

Na zakończenie poczuwam się do obowiązku podziękowania: Ob. *doc. Sylwestrowi Jarkowskiemu* za szereg konsultacji z zakresu zagadnień teoretycznych dotyczących budowy SAPu, Ob. *mgr Halinie Żołnowskiej* za cenną pomoc przy opracowywaniu szeregu zagadnień matematycznych oraz całemu, niestrudzonemu *Zespołowi pracowników*, który, pomimo niezliczonych trudności rozmaitego rodzaju, przyczynił się do pomyślnego zakończenia pracy.

OBLICZENIE BŁĘDU POPEŁNIANEGO PRZY POMIARZE SUMARYCZNEGO CZASU TRWANIA PRZEKROCZEŃ WSKUTEK POMIARU POJEDYNCZYCH PRZEDZIAŁÓW CZASOWYCH ZA POMOCĄ ZLICZANIA ILOŚCI IMPULSÓW, MIESZCZĄCYCH SIĘ W TYCH PRZEDZIAŁACH

Wyprowadzenie ogólnego wzoru na błąd pomiarowy

Wyznaczanie statystycznych rozkładów prawdopodobieństwa czasu trwania przekroczeń poziomów przez badany przebieg napięciowy polega na sumowaniu wielkiej liczby przedziałów czasowych. Te poszczególne przedziały czasu są mierzone ilością impulsów, zawierających się w danym przedziale. Wskutek tego jest popełniany pewien błąd. W celu jego znalezienia założymy, że:

a) częstotliwość powtarzania impulsów wynosi f , a okres powtarzania $t = \frac{1}{f}$,

b) szerokość impulsów jest stała i równa t_i , przy czym $t_i < t$.

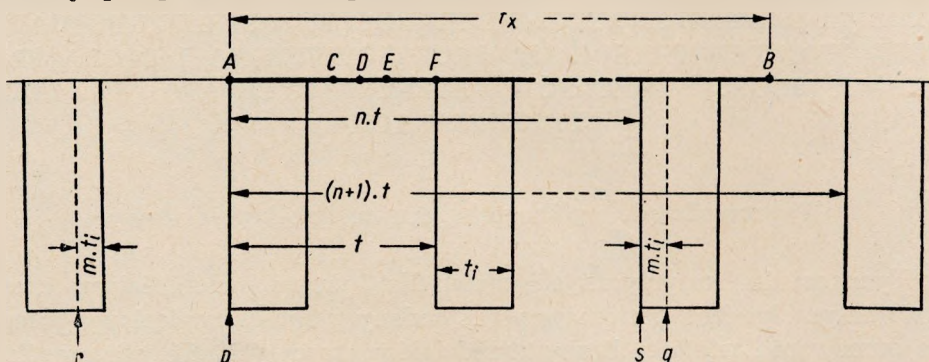
Poszczególne przedziały czasu przekroczeń poziomu w stosunku do impulsów, za pomocą których są mierzone, mogą być usytuowane w rozmaity sposób przypadkowy. Metodę pomiaru można interpretować w sposób następujący. Dany jest odcinek AB o długości t_x ; do odcinka tego przykładamy w sposób losowy miarkę, której podziałki mają grubość t_i , odległość zaś między odpowiadającymi krawędziami dwóch sąsiednich podziałek jest równa $t = \frac{1}{f}$. Oczywiście, odcinek AB reprezentuje tu mierzony przedział czasu, natomiast podziałki miarki imitują impulsy.

Zakładamy, że przy pomiarze będziemy brali pod uwagę tylko te podziałki, których co najmniej część m znajduje się na wewnątrz odcinka t_x , przy czym $0 < m < 1$. Jako wynik pomiaru odcinka t_x przyjmujemy iloczyn długości odcinka t oraz ilości podziałek zawierających się w odcinku $AB = t_x$, obliczonej zgodnie z wyżej przyjętymi założeniami.

Przyłożmy miarkę do odcinka AB w ten sposób, aby lewa krawędź jednej z podziałek, oznaczona literą p , znalazła się w punkcie A (rys. 17). Przesuwając miarkę wzdłuż odcinka AB w prawo zauważymy, że długość

jego mierzona za pomocą miarki będzie wynosiła, zależnie od położenia miarki, $(n + 1) \cdot t$ lub $n \cdot t$, gdzie $n = \left[\frac{t_x}{t} \right]$, tj. liczbie całkowitej zawartej w stosunku $\frac{t_x}{t}$.

Przesuwając miarkę w prawo można zauważyć kilka charakterystycznych jej położenia względem odcinka AB . Oczywiście, rozważania wystarczy przeprowadzić w przedziale AF , czyli jednej odległości t po-



Rys. 17. Pomiar odcinka za pomocą miarki (patrz tekst)

między sąsiadującymi podziałkami. Jeżeli przesuniemy miarkę w ten sposób, aby krawędź p znalazła się w punkcie C , wtedy linia podziałowa q podziałki znajdującej się w pobliżu końca odcinka AB pokryje się z punktem B . Na tym odcinku AC długość odcinka AB mierzona za pomocą ilości podziałek wynosi $(n + 1)t$, gdyż podziałkę znajdującą się pod punktem B w myśl poprzednich założeń (wartość m) można jeszcze brać pod uwagę. Po przesunięciu krawędzi p do punktu E , linia podziałowa r podziałki znajdującej się z lewej strony punktu A , znajdzie się pod punktem A . Przesuwając krawędź p od punktu C do E , długość odcinka AB , mierzona za pomocą ilości podziałek, będzie wynosiła $n \cdot t$, po przekroczeniu jednak punktu E aż do punktu F długość ta wyniesie jak poprzednio $(n + 1)t$.

Tak więc w przedziałach AC i EF długość odcinka AB równa się $(n + 1)t$, w przedziale zaś CE wynosi $n \cdot t$. Mierząc długość odcinka AB ilością podziałek popełniamy błąd, którego wartość bezwzględna równa się w przedziale AC i EF : $(n + 1)t - t_x$, w przedziale zaś CE : $t_x - nt$. Odpowiednie wartości błędu względnego wynoszą:

$$f(y) = \frac{(n + 1)t - t_x}{t_x} \quad (4)$$

dla przedziału AC i AF oraz

$$f(y) = \frac{t_x - nt}{t_x} \quad (5)$$

dla przedziału CE .

Błąd maksymalny, z którym należy się liczyć przy pomiarze, można obliczyć biorąc wartość średnią bezwzględnych wartości błędów względnych rozpatrując przedział AF :

$$\Delta_{max} = \frac{1}{t} \int_A^F f(y) dy = \frac{1}{t} \cdot \left[\int_A^G f(y) dy + \int_C^E f(y) dy + \int_E^F f(y) dy \right] \quad (6)$$

Ażeby znaleźć granice całkowania, zwróćmy uwagę na jeszcze jeden charakterystyczny punkt D . Jeżeli krawędź p przesuniemy do punktu D , to w punkcie B znajdzie się krawędź s . Łatwo zauważyć, że:

$$AD = t_x - nt$$

$$CD = m \cdot t_i$$

$$EF = (1 - m) t_i$$

Skąd obliczamy pozostałe odcinki:

$$AC = AD - CD = t_x - nt - mt_i$$

$$CE = AF - AC - EF = (1 + n)t + (2m - 1) \cdot t_i - t_x$$

Podstawiając do (6) odpowiednie wartości błędu względnego (4) i (5) oraz przedziały całkowania, otrzymamy

$$\Delta_{max} = \frac{1}{t} \left\{ \frac{(n+1)t - t_x}{t_x} (t_x - nt - mt_i) + \frac{t_x - nt}{t_x} [(1+n)t + (2m-1)t_i - t_x] + \frac{(n+1)t - t_x}{t_x} \cdot (1-m)t_i \right\}$$

a po przekształceniu

$$\Delta_{max} = 2 \left(1 - n \cdot \frac{t}{t_x} \right) \left(n + 1 - \frac{t_x}{t} \right) + (1 - 2m) \left(\frac{2n+1}{t_x} - \frac{2}{t} \right) t_i$$

Wprowadzając oznaczenia $\frac{t_x}{t} = k$ oraz $k - n = z$, po podstawieniu ostatecznie otrzymamy

$$\Delta_{max} = \frac{1}{k} \cdot \left[2z(1 - z) + (1 - 2m)(1 - 2z) \frac{t_i}{t} \right] \quad (7)$$

Jest to ogólny wzór na maksymalny błąd pomiarowy, jaki jest popełniany przy mierzeniu przedziałów czasowych za pomocą zliczania, zawierających się w nich impulsów, gdzie:

$$z = (k - n)$$

$$k = \frac{t_x}{t}$$

$$n = \left[\frac{t_x}{t} \right]^1$$

1) $\left[\frac{t_x}{t} \right]$ = liczba całkowita zawarta w stosunku $\frac{t_x}{t}$

m — najmniejsza część impulsu (w stosunku do jego szerokości t_i), która powoduje jego zaliczenie,

t_i — szerokość impulsu,

t — okres powtarzania impulsów,

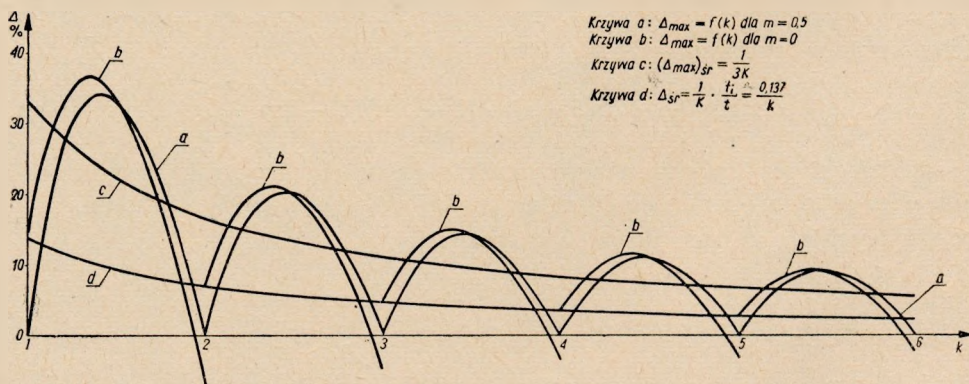
t_x — mierzony przedział czasu.

Dyskusja wzoru (7)

Wyrażenie zawarte w nawiasie kwadratowym we wzorze (7) składa się z dwóch części. Pierwsza z tych części zależy jedynie od z i przybiera wartość zerową dla $z = 0$ lub $z = 1$, natomiast dla wartości $z = 0,5$ przybiera wartość maksymalną równą 0,5. Fizycznie oznacza to, że gdy stosunek mierzonego przedziału czasu t_x do okresu powtarzania impulsów wyraża się liczbą całkowitą, wtedy pierwsza część wyrażenia (7) równa się zero. Największą zaś wartość przybiera ta część, gdy mierzony przedział czasu t_x różni się od wielokrotności okresu czasu powtarzania impulsów t o wartość $t/2$.

Druga część zawarta w nawiasie kwadratowym zależy od trzech wielkości: m , z oraz stosunku $\frac{t_i}{t}$. Staje się ona zerem, gdy $m = 0,5$ lub $z = 0,5$ albo gdy $\frac{t_i}{t} = 0$. W praktyce, w celu zmniejszenia drugiej części wyrażenia, najłatwiej jest uczynić małą wartością stosunek $\frac{t_i}{t}$. Stąd wypływa wniosek, że stosunek szerokości impulsów do okresu powtarzania impulsów powinien być mały.

Na rysunku 18 (krzywe a i b) jest przedstawiona zależność maksymalne-



Rys. 18. Zależności błędów popełnianych przy pomiarze sumarycznego czasu trwania przekroczeń na skutek pomiaru pojedynczych przedziałów czasowych za pomocą zliczania ilości impulsów, mieszczących się w tych przedziałach — od stosunku $k = \frac{t_x}{t}$, gdzie t_x — mierzony, pojedynczy przedział czasu przekroczeń poziomu,

t — okres powtarzania impulsów sondujących

go błędu względnego od k , czyli stosunku mierzonego przedziału czasu do okresu powtarzania impulsów dla dwóch wartości m ($m = 0$ i $m = 0,5$) oraz dla największego (tj. najmniej korzystnego) stosunku $\frac{t_x}{t} = 0,137$ stosowanego w analizatorze.

Uproszczenie 1

Ponieważ pomiar statystyczny w analizatorze polega na sumowaniu wielkiej liczby przedziałów czasowych przekroczeń poziomów, przeto w wielu przypadkach można przyjąć, zwłaszcza gdy stosunek $\frac{t_x}{t} = k$ jest duży, że ilości występowania rozmaitych długości przedziałów czasu przekroczeń poziomów t_x — w granicach jednego okresu powtarzania impulsów t — są jednakowe. Założenie takie opiera się na tym, że występowanie każdej z tych długości w małym przedziale jest równoprawnione, chociaż w granicach przedziału całkowitego czasu trwania pomiaru to równoprawnienie może nie zachodzić.

Jeżeli warunki pomiaru pozwalają na przyjęcie takiego założenia, wtedy wzór (7) można znacznie uprościć, obliczając wartość średnią tego wyrażenia dla z zmierzającego się w granicach od 0 do 1

$$(\Delta_{max})_{sr} = \int_0^1 \Delta_{max} \cdot dz \quad (8)$$

Po scałkowaniu otrzymamy

$$(\Delta_{max})_{sr} = \frac{1}{3k} \quad (9)$$

Jak widzimy, obliczona średnia wartość błędu maksymalnego jest funkcją wyłącznie stosunku $\frac{t_x}{t} = k$; zależność ta jest przedstawiona na rys. 18 (krzywa c).

Uproszczenie 2

Wzór (7) przedstawia błąd maksymalny, gdy wzajemne usytuowanie przypadkowe w czasie poszczególnych przedziałów czasu t_x względem impulsów jest najbardziej niekorzystne. W rzeczywistości jednak, w ciągu całkowitego czasu trwania pomiaru następuje długi szereg przekroczeń poziomu, trwających mniejszą lub większą ilość czasu. Jeżeli liczba tych przekroczeń jest bardzo duża, można założyć, że każdy dowolny sposób wzajemnego usytuowania w czasie poszczególnych przedziałów czasu t_x względem impulsów jest jednakowo uprawniony. Takie założenie

można przyjąć w większości przypadków spotykanych w praktyce, z wyjątkiem przypadku, gdy w skład analizowanego przebiegu wchodzi składowa okresowa o okresie równym ściśle okresowi powtarzania impulsów lub jego wielokrotności, a pomiar odbywa się bez modulacji częstotliwościowej głównego generatora impulsowego. Założenie to upoważnia do posługiwania się średnią wartością błędu, którą można obliczyć przez modyfikację wzoru (7) w ten sposób, że przy wyprowadzaniu tego wzoru zamiast bezwzględnych wartości błędów względnych mogą być przyjęte wartości algebraiczne tych błędów. Ponieważ w przedziale CE błąd wypełniany podczas pomiaru odcinka AB za pomocą ilości podziałek (impulsów) mieszczących się w tym odcinku ma wartość ujemną, przeto uwzględniając to we wzorze (6) można wyrazić średnią wartość błędu jako

$$\Delta_{sr} = \frac{1}{t} \left[\int_A^C f(y) dy - \int_C^E f(y) dy + \int_E^F f(y) dy \right] \quad (10)$$

Podstawiając do (10), jak wyżej, odpowiednie wartości (4) i (5) oraz przedziały całkowania otrzymamy

$$\Delta_{sr} = \frac{1}{t} \left\{ \frac{(n-1)t - t_x}{t_x} \cdot (t_x - nt - mt_i) - \frac{t_x - nt}{t} [(1+n)t + (2m-1)t_i - t_x] + \frac{(n+1)t - t_x}{t_x} \cdot (1-m)t_i \right\}$$

Po rozwiązaniu otrzymamy, że

$$\Delta_{sr} = \frac{(1-2m)t_i}{t_x} = \frac{(1-2m)}{k} \cdot \frac{t_i}{t} \quad (11)$$

Wartość m jest trudna praktycznie do określenia, dlatego w celu uproszczenia wzoru (11) można przyjąć jako m wartość najmniej korzystną, tj. np. $m = 0$, wtedy otrzymamy

$$\Delta_{sr} = \frac{t_i}{t_x} = \frac{1}{k} \cdot \frac{t_i}{t} \quad (12)$$

Wartość (12) przedstawia graniczną wartość błędu średniego w założeniu, że występowanie rozmaitych sposobów wzajemnego usytuowania w czasie poszczególnych przedziałów czasowych przekroczeń poziomów t_x względem impulsów jest jednakowo uprawnione.

Na rysunku 18 (krzywa d) jest przedstawiony błąd średni, obliczony według wzoru (12) dla najbardziej niekorzystnego stosunku $\frac{t_i}{t} = 0,137$ stosowanego w analizatorze.

WYKAZ LITERATURY

1. *Nowicki M.*: Statystyczna analiza przebiegów wahlowych. Metody i urządzenia. Prace Instytutu Łączności, 1959, nr 1, s. 19—51.
2. *Gorbienko W. S.*: Pribory dla opriedielenija intiegralnych i diffierencjalnych funkcij raspriedielenija wierojanostiej stacionarnych słuczajnych processow. Izwiestija wysszich uczebnych zawiedienij, Radiotiechnika, 1962, nr 3, s. 301—313.
3. *Moisiejew B. J.*: Amplitudnyj analizator s logarifmiczeskim prieobrazowanijem. Pribory i Tiechnika Ekspierimienta, 1957, nr 4, s. 43—46.
4. *Sugarman R.*: Sampling Oscilloscope for Statistically Varying Pulses. The Review of Scientific Instruments, 1957, nr 11, s. 933—938.
5. *Lichtier Ja. I.*: Mietod opriedielenija funkcij raspriedielenija atmosficznych radiopomiech. Trudy nauczno-issledowatielskowo instituta ziemnowo magnietizma, jonosfiry i rasprostranienija radiowoln, 1957, nr 13, s. 31—62.
6. *Brown W. M.*: Time Statistics of Noise. IRE Transactions on Information Theory, 1958, vol. IT-4, nr 4, s. 137—144.
7. *Von Rautenfeld F.*: Zur Statistischen Auswertung von Feldstärkemessungen (vorläufige Mitteilung). Rundfunktechnische Mitteilungen, 1958, nr 4, s. 178—180.
8. *Akopjan J. G.*: Sposob oscillograficzeskowo izmierienija zakonow raspriedielenija słuczajnych wieliczin. Pribory i Tiechnika Ekspierimienta, 1959, nr 1, s. 137.
9. *Jirounek J., Kubin B., Svoboda F.*: Analyzátor zkresleni dálnopisnych značek. Sbornik Praci Výzkumného Ústavu Spoju, 1959, s. 107—142.
10. *Czilikin W. W.*: Pribor dla izmierienija odnomiernych diffierencjalnych i intiegralnych zakonow raspriedielenija słuczajnych wieliczin. Pribory i Tiechnika Ekspierimienta, 1959, nr 3, s. 67—71.
11. *Gorodinskij G. M., Kocziewanow W. A.*: Pribor dla awtomatyczeskowo szceta czisła impulsow. Pribory i Tiechnika Ekspierimienta, 1959, nr 4, s. 81—85.
12. *Buchowciew B. B., Szmalgauzien W. J.*: Fotograficzeskij sposob issledowanija słuczajnych processow. Pribory i Tiechnika Ekspierimienta, 1959, nr 4, s. 144—145.
13. *Carlson E. R., Conger C. C., Laurence J. C., Meyn E. H., Yocke R. A.*: Special Electronic Equipment for the Analysis of Statistical Data. PIRE, 1959, May, s. 956—962.
14. *Carli M.*: Uno strumento per l'analisi statistica delle grandezze elettriche variabili. Note Recensioni e Notizie, 1959, nr 5, s. 512—532.
15. *Hoffman D., Schutzmann E.*: Statistical Analysis of Noise-Signal Amplitudes. Electronics, 1959, nr 30, s. 48—49.
16. *Drayson M.*: An Amplitude Distribution Meter. Electronic Engineering, 1959, October, s. 578—584.
17. *Lien Hwachii*: Probability Density Measurement with an Electrode Mounted in the Face of a Cathode-Ray Tube. The Review of Scientific Instruments, 1959, nr 12, s. 1100—1102.
18. Analizator mgnowiennych znaczenij stochasticzeskich signalów. Pribory i Tiechnika Ekspierimienta, 1960, nr 1, s. 152.
19. *Bickart T. A.*: Transistorized Slicer Analyzes Signal Amplitude. Electronics, 1960, nr 5, s. 70—72.
20. *Mielnikow P. W.*: Mietod izmierienija statisticzeskich paramietrow niskoczastotnych stacionarnych ergodiczeskich processow. Sbornik naucznych trudow, 1960, wypusk 1, s. 100—109.

21. Hörig J., Sereck K. W.: Der Einkanalanalysator VA-W-01. Radio und Fernsehen, 1960, nr 2, s. 60—64.
22. Caldwell W. F., Korn G. A., Latorre V. R., Peterson G. R.: A Precision Amplitude-Distribution Amplifier. IRE Transactions on Electronic Computers, 1960, vol. EC-9, nr 2, s. 252—255.
23. Lampard D. G., Harvey J. K.: A Probability Distribution Analyser. Journal of Electronics and Control, 1960, nr 3, s. 233—239.
24. Aleksandrow M. S.: Pribor „JDK” dla izmierienia statisticzeskich charakteristik słuczajnych napriażeń. Pribory i Tiechnika Ekspierimenta, 1960, nr 4, s. 77—81.
25. Auzilleau J., Gorlier L.: Analyseur Automatique d'Enregistremnts, L'Écho des Recherches, 1960, nr 37, s. 55—62.
26. Wright K. F., Cole J. E.: Measured Distribution of the Duration of Fades in Tropospheric Scatter Transmissions. IRE Transaction on Antennas and Propagation, 1960, vol. AP-8, nr 6, s. 594—598.
27. Rainal A. J.: Digital Measurement of Axis-Crossing Intervals. Electronics, 1960, nr 23, s. 88—91.
28. Riemizow L. T., Gołubcow M. G., Tiufiakın L. S.: Prijemnoje ustrojstwo dla izmierienia statisticzeskich charakteristik signalow pri troposfiernom rasprostranienii radiowołn. Radiotiechnika i Elektronika, 1960, nr 7, s. 1065—1071.
29. Scott J.: Photoelectric method for the analysis of fluctuation records and its application to electrical noise. British Journal of Applied Physics, 1960, nr 8, s. 377—381.
30. Wieliczkin A. J., Ponomariewa W. D.: Ekspierimentalnoje issliedowanje dlitelnostiej wybrosov szuma. Radiotiechnika, 1960, nr 10, s. 21—26.
31. Breunig H., Kurner H.: Ein elektronischer Diagramabtaster zur Kurvenauswertung. Siemens Zeitschrift, 1960, nr 10, s. 605—610.
32. Kraushaar E.: Ein neues Auswertegerät für statistische Ermittlung. Elektrizitätswirtschaft, 1960, nr 20, s. 734—737.
33. Pryor N. C.: Audio Power Requirements and Statistics. Audio, 1960, December, s. 46—48 i 88.
34. Fujii Tadakuni: Visual presentations of current-density distribution in an electron beam by means of a piezo-electric scanner. The Journal of the Institute of Electrical Communication Engineers of Japan, 1961, nr 1, s. 66—73.
35. Fiłatow E. Ja.: Pribor dla statisticzeskoj obrabotki oscilograficzeskich zapisiej. Zawodskaja Laboratorja, 1961, nr 2, s. 210—212.
36. Brubaker T. A., Korn G. A.: Accurate Amplitude Distribution Analyzer Combining and Digital Logic. The Review of Scientific Instruments, 1961, nr 3, s. 317—322.
37. Stanułow N. S.: Prostojej elektronnyj pribor dla statisticzeskich issliedowanij w oblasti rasprostranienija radiowołn. Elektroswiaż, 1961, nr 4, s. 28—34.
38. Analizator urowniej signala AU-3M. Pribory i Tiechnika Ekspierimenta, 1961, nr 4, s. 187.
39. Ciesa A.: Amplitude Distribution Analyser by Means of Electronic Integrators. Acustica, 1961, nr 5, s. 335—341.
40. Auzilleau J., Gorlier L.: Compteur d'évanouissement. L'Écho des Recherches, 1961, nr 39, s. 1—4.
41. Breunig H., Kurner H.: Analyseur électronique de diagrammes. Électronique Industrielle, 1961, nr 45, s. 229—231 i 252.

42. *Pipkin E. L.*: Amplitude-Distribution Analyser. The Review of Scientific Instruments, 1961, nr 6, s. 670—673.
43. *Harvey J. K.*: A Probability Distribution Analyser Utilizing Electrostatic Storage. Electronic Engineering, 1961, July, s. 432—436.
44. Analyseur électronique de diagrammes. Documentation de la Société Siemens. Mesure & Contrôle Industriel, 1961, nr 290, s. 887—890.
45. *Feger O.*: Elektronische Informationsauswertung in der Industriellen Fertigung, 1961, nr 9, s. 273—275.
46. *Naumann G.*: Ein Gerät zur automatischen Messung der Häufigkeitsverteilung von Impulsabständen. Elektronische Rundschau, 1961, nr 9, s. 407—409.
47. *Amarantow W. N., Brusilowski K. A., Jemieljanow G. A., Elkind S. Ju.*: Analizator tieligrafnych iskażenij. Elektroswiaż, 1961, nr 10, s. 59—66.
48. *Heinzelmann G., Lenhart B., Vogt K.*: Ein Häufigkeitszähler für statistische Zeitmessungen. Nachrichtentechnische Zeitschrift, 1961, nr 11, s. 529—536.
49. *Boczarow J. N., Stachowski R. J.*: Analizator plotnosti raspriedielenja wierojatnostiej sluczajnych processow. Awtomatika i Tielemechanika, 1962, nr 2, s. 169—175.
50. *Wjaznikow W. W., Fiks Ja. A.*: Pribor dla statisticzeskowo analiza izmienienij napriazienja signala. Sbornik Trudow, Ministierstwo Swjazi SSSR, Gosudarstwiennyj nauczno-issledowatielskij institut, 1962, wypusk 2(26), s. 105—119.
51. *Aumuller W., Schief A.*: Ein Amplitudenanalysator zur Ermittlung statistischer Eigenschaften kontinuierlich verlaufender Signale. Elektronische Rundschau, 1962, nr 6, s. 249—253.
52. *Leach D. F.*: A statistical analyser for random waveforms and its application to yarn mass analysis. Journal of Scientific Instruments, 1962, nr 6, s. 287—291.
53. *Chu P. T.*: Apport de la technique des impulsions dans les mesures de caractéristiques statistiques de fonctions aléatoires stationnaires. Revue E Tijdschrift, 1962, nr 11, s. 455—468.
54. *Jelonek Z., Fitch E., Chalk J. H. H.*: Diversity Reception. Statistical Evaluation of Possible Gain. Wireless Engineer, 1947, February, s. 54—62.

М. Новицки

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗАТОР ПРОЦЕССОВ

Резюме

Статья содержит описание разработанного Институтом связи Анализатора процессов, предназначенного для статистического анализирования разного рода явлений. Учитывая широкие измерительные возможности, даваемые анализатором, имеет он характер универсального устройства.

Основным заданием анализатора является определение статистических распределений вероятности превышений определённых уровней анализируемого явления, которое подается на вход анализатора в виде соответствующего этому явлению напряжения. Результаты измерений получаются в числовом виде на электромагнитных счётчиках. Анализатор даёт возможность также кроме этого:

наблюдать статистические распределения на экране осциллографа, вычислять количество превышений, производить корреляционные измерения и ряд других измерений.

Описаны измерительные возможности анализатора и его принцип действия. Приведены: конструкция некоторых схем анализатора, основные технические данные, а также способ произведения измерений. В заключении описаны применения анализатора, а также результаты испытательных измерений. В приложении приведено выведение формул погрешности измерений и произведена дискуссия этих формул.

M. Nowicki

STATISTICAL ANALYSER OF RANDOM PHENOMENA

Summary

The paper contains a description of the random phenomena analyser worked out in the Institute of Telecommunications for statistical analysing of different phenomena.

With regard to its large measurement possibilities the analyser has the character of an instrument of general use. The principal aim of the analyser is the designation of the statistical probability distribution of some definite levels exceeded by the analysed random voltage wave.

The results of measurements are read as figures on electromagnetical counters. By means of the aforementioned analyser we are able furthermore to observe the probability distributions on a cathode ray tube, to count the numbers of cases when the definite levels are exceeded and to perform the correlative measurements as well as other ones.

The construction of some elements of the analyser and its most important data as well as the methods of measuring are given.

The formulas conceived for measurements error and their discussion are enclosed to the article.

M. Nowicki

ANALYSATEUR STATISTIQUE DES PHÉNOMÈNES ALÉATOIRES

Résumé

L'article présente la description de l'analysateur des phénomènes aléatoires construit à l'Institut des Télécommunications et destiné à effectuer les analyses statistiques de différents phénomènes. En tenant compte de ses larges possibilités

de mesure l'analysateur peut être considéré comme un appareil d'application générale.

La tâche principale de l'analysateur est de déterminer la distribution des probabilités des dépassements de certains niveaux déterminés par une fonction aléatoire de tension. Les résultats de mesure sont lus sous forme des chiffres de compteurs électromagnétiques. L'analysateur donne aussi la possibilité d'observer les distributions statistiques sur un oscilloscope, de compter le nombre de dépassements et d'effectuer les mesures de corrélation de certains phénomènes ainsi que d'autres mesures.

Sont ici décrites la construction de certains éléments de l'analysateur, les données techniques les plus importantes ainsi que la manière d'effectuer les mesures.

A la fin est présentée l'application de l'analysateur ainsi que les résultats des mesures.

Dans l'annexe on trouve la déduction des formules pour les erreurs de mesure, qui sont ensuite discutées.

M. Nowicki

STATISTISCHES AUSWERTGERÄT

Zusammenfassung

Der Aufsatz enthält die Beschreibung eines in Instytut Łączności entwickelten statistischen Auswertgerätes. Dieses Gerät ist dazu bestimmt, verschiedene Vorgänge statistisch auszuwerten. Es bietet breite Einsatzmöglichkeiten und hat daher einen universellen Charakter.

Die Hauptaufgabe des Auswertgerätes besteht darin, die statistischen Verteilungswahrscheinlichkeiten der Überschreitungen von bestimmten Pegeln durch den untersuchenden, dem Eingang des Gerätes zugeführten, Spannungsvorgang festzustellen. Die Messergebnisse werden digital an elektromagnetischen Zählern abgelesen. Das Gerät ermöglicht es ausserdem, die statistischen Verteilungen am Schirm eines Oszilloskopes zu beobachten, die Häufigkeit der Überschreitungen aufzuzählen, Korrelationen zu bestimmen und eine Reihe anderer Messungen auszuführen.

Es werden die Messmöglichkeiten des Auswertgerätes und sein Wirkungsprinzip beschrieben. Es wird der Aufbau einiger Baugruppen, wichtigere technische Daten und das Messverfahren angegeben. Es werden schliesslich die Anwendungen des Auswertgerätes und die Ergebnisse von Prüfmessungen besprochen. Ein Annex gibt die Ableitung von Formeln für Messfehler und eine Diskussion dieser Formeln.

STEFAN MANCZARSKI
DANUTA MIKKE

612.014.424.5

BADANIA SZKODLIWEGO ODDZIAŁYWANIA PÓL SZYBKOSMIENNYCH NA ORGANIZM LUDZKI

Rękopis dostarczono do Komitetu Redakcyjnego

1) 15. 11. 1961 r. (1 redakcja)

2) 12. 11. 1962 r. (2 redakcja)

W pracy omówiono w syntetyczny sposób zagadnienia związane ze szkodliwością przebywania człowieka w polach szybkozmiennych.

Rozpatrzone są kolejno następujące sprawy: 1) historia zagadnienia, 2) objawy chorobowe, 3) biologiczne działanie pól szybkozmiennych, 4) dopuszczalne wartości pola, 5) pomiary pola szybkozmiennego.

W pracy podsumowane są spostrzeżenia zebrane w tej dziedzinie u nas i za granicą oraz rozpatrzona jest specyfika zagadnienia na tle warunków polskich.

1. HISTORIA ZAGADNIENIA

Znane jest zjawisko w medycynie, że szkodliwość działania na człowieka różnorodnych czynników nie zawsze jest od razu spostrzegana lub należycie doceniana. Tak było z promieniami Roentgena, substancjami radioaktywnymi, wielu środkami chemicznymi i biologicznymi, jak np. B12, ACTH, niektóre szczepionki itp. Podobna sytuacja zaistniała również i w odniesieniu do oddziaływania na człowieka pól szybkozmiennych, związanych z falami radiowymi.

Pierwsze alarmy, które pojawiły się ok. roku 1922 w związku z wprowadzeniem na okrętach radiowej służby krótkofalowej (na falach o długości 15—50 m) poszły szybko w zapomnienie. Było to spowodowane tą okolicznością, że pierwsze nieekranowane nadajniki okrętowe zostały bardzo szybko zastąpione przez sprzęt ekranowany, dzięki czemu pole szybkozmienne w kabinie radiooperatora zostało wybitnie osłabione. Tak

więc wydawało się, że tzw. choroba radiotelegrafistów, której główne objawy były: ogólne osłabienie, bóle głowy i zaburzenia regulacji cieplnej, została całkowicie zażegnana.

Jednakże ok. roku 1927 pojawiły się pierwsze aparaty medyczne do tzw. diatermii krótko- i ultrakrótkofalowej (o długości fali początkowo od ok. 2 do 20 m, a następnie stopniowo rozszerzonej na fale decymetrowe i centymetrowe). Ponieważ personel obsługujący te aparaty musiał godzinami przebywać w polu szybkozmiennym, które nie może być w tym przypadku radykalnie osłabione, wystąpiły ponowne skargi na objawy analogiczne do choroby radiotelegrafistów.

Z drugiej strony w tym samym czasie nastąpił gwałtowny przyrost ilości i mocy nadawczych radiostacji krótkofalowych.

Personel obsługujący te radiostacje był narażony na oddziaływanie samej aparatury, linii zasilających anteny i wreszcie anten. Równocześnie prądy szybkozmiennne zyskały nowe zastosowania w przemyśle, jak hartowanie stali, suszenie i klejenie drzewa, obróbka plastyków i inne. Wszystkie te urządzenia zmusiły wielu pracowników do przebywania godzinami w silnym polu szybkozmiennym.

W okresie II wojny światowej dał się zaobserwować bardzo silny rozwój urządzeń radarowych, pracujących przeważnie w zakresie fal ultrakrótkich ($\lambda < 10$ m) i operujących mocami szczytowymi impulsu, wynoszącymi dziesiątki i setki kilowatów. Służba ta w zmodyfikowanej postaci zyskała po wojnie wszechstronne zastosowanie pokojowe w radionawigacji, w radiokomunikacji na falach rozproszonych przez niejednorodność troposfery lub meteory, w śledzeniu rakiet lub sztucznych satelitów, w radioastronomii, w meteorologii itp. W wielu przypadkach moc urządzeń radarowych i zysk anten kierunkowych zostały wybitnie zwiększone, co stwarza wzmożone niebezpieczeństwo dla ludzi, którzy znajdują się w polu działania tych urządzeń. W związku z tym stwierdzono nowy groźny zwiastun oddziaływania fal ultrakrótkich, mianowicie powstawanie katarakty ocznej.

W Polsce obserwacje nad szkodliwością pól szybkozmiennych rozpoczęły się jeszcze w okresie międzywojennym (S. Manczarski, H. Walawski). Obecnie zagadnieniami tymi zajmuje się w okręgu warszawskim Stacja Sanitarno-Epidemiologiczna dla m. st. Warszawy, Instytut Łączności, Przemysłowy Instytut Telekomunikacji oraz Centralny Instytut Badań Lotniczych. Na terenie Łodzi badania w tym zakresie prowadzone są przez Instytut Medycyny Pracy Przemysłu Chemicznego i Włókienniczego.

2. OBJAWY CHOROBOWE

Najbardziej typowe i powszechne objawy choroby radiotelegrafistów są następujące: zaburzenia regulacji cieplnej, gorączka i dreszcze (*Whitney, Ferguson, Kalendarow*), bóle głowy, ściskanie w okolicy skroni i czoła (*Oettingen, Hook*), nadwrażliwość i bezsenność (*Pflomm*), uczucie dużego osłabienia, znużenie oraz drżenie rąk i nóg (*Last*). U wielu osób występowało rozdrażnienie, niepokój, depresja, uczucie lęku, apatia, zniechęcenie, uczucie opasującego ściskania w nadbrzuszu.

Tego rodzaju objawy zanotowało wielu autorów, jak: *Schliephake, M. Gundel, H. Hook, Pflomm, Laquer, R. Renzi, Last, Biancani*.

Badacze radzieccy, jak *Kalendarow*, notują jeszcze osłabienie pamięci, trudności skupienia uwagi i zapominanie. *Andrijaszewa* [1] stwierdza, że prawie wszystkie kobiety, zatrudnione w pracowni krótkofalowej, cierpiały na zaburzenia w miesiączkowaniu. Ta sama autorka podkreśla także dość częste skargi personelu na szczególnie nieprzyjemną suchość powiek (uczucie „piasku w oczach”) podczas i bezpośrednio po pracy z aparatami krótkofalowymi. W rzadszych wypadkach według *Andrijaszewej* wystąpiły nawet zamroczenia, wymioty, zaburzenia działalności serca i zaburzenia wzrokowe.

Krótkie fale działają przede wszystkim porażająco na układ adrenergiczny, co powoduje rozszerzenie naczyń krwionośnych. Powszechnie zwraca się uwagę na szkodliwość naświetlania falami głowy. Występuje tu nie tylko bardzo silne rozszerzenie naczyń krwionośnych, ale również zwiększenie przepuszczalności ich ścianek, czyli osłabienie tzw. bariery naczyniowej. W wyniku przeciskania się czerwonych ciałek krwi poprzez ścianki kapilarów może dojść do wybroczyn w mózgu, które oczywiście są niepożądane. Przy dłuższym działaniu bardzo silnych pól należy liczyć się nawet ze zmianami zwyrodnieniowymi w naświetlanych tkankach.

Z tego powodu w Związku Radzieckim już w roku 1934 na konferencji w Charkowie w sprawie fal ultrakrótkich oraz na ogólnoradzieckim zjeździe lekarzy fizjatrów w roku 1935 postanowiono uznać pracę z krótkimi falami za szkodliwą dla zdrowia. W wyniku tych postanowień została opracowana przez prof. *Obrasowa* instrukcja odnośnie techniki bezpieczeństwa w gabinetach fizjoterapii zakładów leczniczych. Instrukcja ta, zatwierdzona przez Moskiewski Miejski Oddział Zdrowia, obejmuje między innymi sprawę zabezpieczenia ludzi przed szkodliwym wpływem pól bardzo wielkiej częstotliwości.

Badania warunków pracy przy urządzeniach przemysłowych wielkiej częstotliwości były przeprowadzone przez Instytut Ochrony Pracy WCSPS (autorzy kand. nauk. techn. *G. S. Sołodownikow*, współpracow-

nicy naukowi O. F. Uszinskaja i S. Ł. Perłowa) wspólnie z Leningradzkim Instytutem Higieny Pracy i chorób zawodowych w leningradzkich zakładach przemysłowych. Były pomierzone natężenia pola w roboczych pomieszczeniach przy pracy dwóch najbardziej rozpowszechnionych typów urządzeń: ŁG-60 do indukcyjnego nagrzewania metali i GS-48 do suszenia drzewa.

Przeprowadzone pomiary pokazały, że natężenie pola w pomieszczeniu roboczym posiada wartość od kilku do kilkuset woltów na metr. Najwyższe wartości otrzymano przy pomiarach na urządzeniach typu ŁG-60. W pobliżu roboczych obwodów elektrycznych (piec, obwód hartowania) natężenie pola wynosiło dziesiątki woltów na metr. W pomieszczeniach, gdzie pracują generatory do suszenia masy drzewnej (typ generatorów GS-48) natężenie pola wynosiło również dziesiątki woltów na metr.

Lekarze przebadali osoby pracujące przy wytopie prądami w.c.z., hartowaniu, jak również przy suszeniu masy drzewnej. Skład pracowników pod względem wieku wynosił od 19 do 50 lat. Staż pracy od 1 roku do 6 lat.

Dla porównania wzięto grupę kontrolną spośród pracowników nie zatrudnionych przy wyżej podanych pracach.

W grupie osób zbadanych na szkodliwy wpływ pól elektromagnetycznych w.c.z. okazały się osoby z chorobami przebiegającymi według typu zaburzeń funkcjonalnych centralnego systemu nerwowego. (Wyciąg ze zbioru zanotowań prac naukowo-badawczych w sprawach uzdrowienia warunków pracy, wykonanych przez Instytut Ochrony Pracy WCSPS w latach 1952—1954, wydanie 5, Profizdat 1954, str. 97—99).

Bardzo interesująco przedstawia się radziecka statystyka szkodliwego oddziaływania fal krótkich ($\lambda = 10\text{—}100\text{ m}$) i ultrakrótkich ($\lambda < 10\text{ m}$) na personel zatrudniony w doświadczalnych laboratoriach przemysłowych.

Personel pracował w ciężkich warunkach przy generatorach fal krótkich i ultrakrótkich w polach szybkozmiennych o natężeniu dochodzącym do 2300 V/m. Ludzie zmuszeni byli przebywać w tych polach dość znaczną część czasu. Stwierdzona szkodliwość miała charakter dość nieprzyjemny, ale jeszcze odwracalny. Częstość występowania u tych pracowników różnych rodzajów symptomów jest przedstawiona w procentach w tablicy 1.

Powyższy materiał znajduje się w pracy C. M. Szapiro pt. „O reakcjach organizmu pri wozdziejstwie tokow ultrawysokich czastot” i jest cytowany w książce W. I. Korolkowej pt. „Elektrobezopasnost”, wyd. Oborongiz, 1956 r. [6].

Przypadki katarakty, nabytej na skutek przebywania człowieka w polu szybkozmiennym fal ultrakrótkich, były obserwowane w wielu krajach; ze względu na nieodwracalny charakter tego rodzaju uszkodzeń stały

Tablica 1

Częstość występowania objawów chorobowych występujących u pracowników przebywających w polach szybkozmiennych o natężeniu dochodzącym do 2300 V/m

Symptomy	Częstość występowania w %	
	przy falach krótkich	przy falach ultrakrótkich
Ból głowy	56,5	72,3
Silne zmęczenie	26,6	47,2
Senność	13,3	44,5
Zły sen	16,7	30,6
Zawroty głowy	26,6	22,2
Zwiększone pocenie się	13,3	16,6
Bóle w kończynach	—	16,6

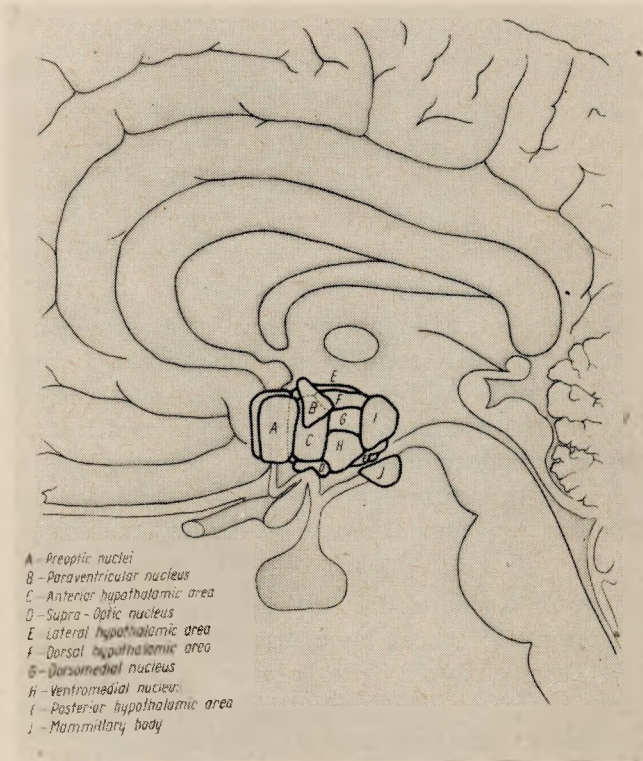
się one przedmiotem wielu badań, które doprowadzały do wydania mniej lub więcej ostrych przepisów normujących dopuszczalną gęstość mocy w zakresie fal centymetrowych i decymetrowych.

Kilka zagadkowych katastrof lotniczych w USA, spowodowanych nagłą utratą przytomności pilota, nasunęło przypuszczenie, że przyczyną tych katastrof były fale ultrakrótkie, które zogniskowały się w środkowej części mózgu pilota. Dla zbadania tych spraw National Institute of Neurological Diseases wykonał w ubiegłym roku badania kontrolne na małpach. Okazało się, że śmiertelne porażenie zwierzęcia jest możliwe, jeżeli fale ultrakrótkie zostaną zogniskowane w okolicy podwzgórza (*hypothalamus*) (rys. 1).

W roku 1955 autor wykonał dwukrotnie na samym sobie ostre próby naruszenia termoregulacji przez koncentrację pola w.cz. w okolicy podwzgórza (rys. 1). Do prób tych użyta była w odstępie dwóch tygodni kolejno fala średnia i krótka (nie ultrakrótką). Silniejszy efekt wystąpił po użyciu fali krótkiej. Objawy naruszenia regulacji były następujące: bardzo silne dreszcze, które pojawiły się nagle po upływie ok. 25 min od chwili ukończenia zabiegu; dreszcze te trwały ok. pół godziny i powtórzyły się ze słabnącą siłą jeszcze kilka razy na dobę w ciągu następnych dwóch dni. Żadnych zamroczeń nie było. Wahania temperatury środka czoła były słabo zaznaczone, natomiast silnie wahał się próg czucia wibracyjnego, mierzony w palcach prawej ręki.

Jeżeli chodzi o badania statystyczne na większym materiale, to na terenie Polski można na razie przytoczyć tylko badania pracowników radiostacji okręgu warszawskiego. Badania te przeprowadzone były w latach 1954—1955 przez lekarzy: dr Łukawską, dr Piotrowską i dra Lempkego. Mimo pewnych braków metodycznych, podkreślonych przez dra Lempkego, wydaje się, że badania potwierdzają występowanie objawów

choroby radiotelegrafistów u pewnego procentu pracowników radiostacji. Jak wykazały pomiary, pole w.cz., w którym przebywali na radiostacjach ci pracownicy, wynosiło od kilkunastu do kilkudziesięciu woltów na metr. Późniejsze materiały statystyczne nie zostały jeszcze opracowane, można jednak stwierdzić, że w okresie powojennym mamy u nas do zanotowania dwa poważniejsze przypadki zachorowań pracowników, przebywających w polach wielkiej częstotliwości.



Rys. 1. Podwzgórze (*hypothalamus*) — najwyższy ośrodek wegetatywny w mózgu, najbardziej wrażliwy na działanie fal elektromagnetycznych (wg F. H. Netter — Nervous system). W oparciu o liczne powiązania neuronowe z korą mózgową i rdzeniem *hypothalamus* kontroluje w sposób integracyjny: 1) przysadkę mózgową w zakresie bodźców seksualnych, 2) wydzielanie wody (bilans wody), 3) regulację ciśnienia krwi, 4) regulację temperatury ciała, 5) tempo oddychania i pulsu (pośrednio), 6) apetyt, 7) mechanizm snu, 8) zachowanie się emocjonalne

Jeden z tych przypadków dotyczy pracownika radiostacji, który w latach 1949—1953 na skutek długotrwałego przebywania w zbyt silnym polu szybkozmiennym przeżył kilkakrotne udary mózgowe; spowodowały one niedowład połowiczny lewostronny. W wyniku orzeczenia lekarskiego pracownik ten został zwolniony z pracy na radiostacji. Obecnie pracuje naukowo bez recydywy udarów mózgowych.

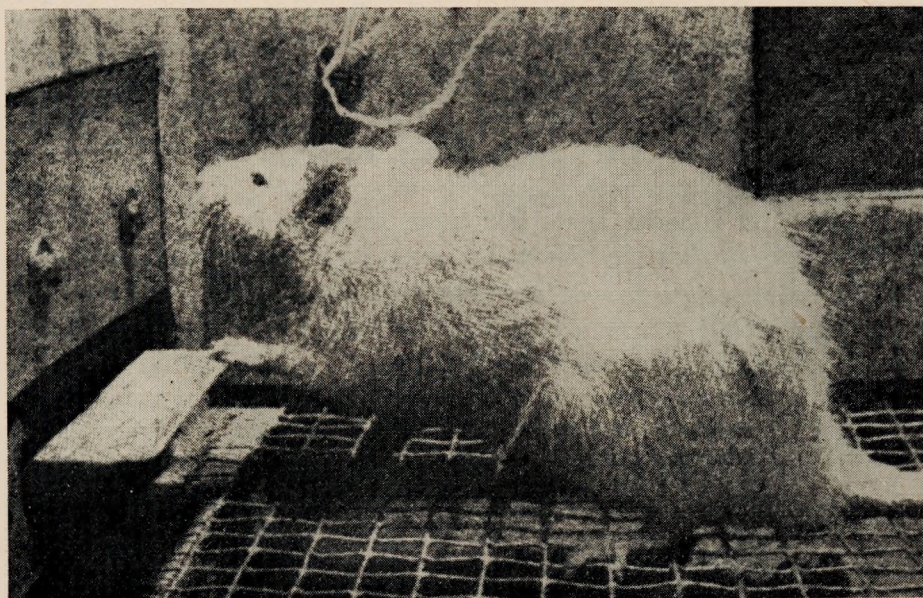
Drugi przypadek dotyczy inżyniera, który przez nieświadomość przebywał dłuższy czas w polu anteny radarowej. Jako skutek wystąpiła u niego skaza krwiotoczna, która ustąpiła po pewnym czasie, gdy poinformowany o tym inżynier zaprzestał przebywać w polu anteny radarowej.

Wśród młodych pracowników radiostacji ultrakrótkofalowych były też przypadki gwałtownego wzrostu ciśnienia krwi, powodującego złe samopoczucie. Usunięcie tych pracowników z obrębu działania wymienionych radiostacji w krótkim czasie przywracało poziom ciśnienia krwi do stanu normalnego.

Do ciekawych spostrzeżeń, związanych z długotrwałym przebywaniem obojga rodziców w polu krótkofalowym, należy naruszenie stosunku urodzonych chłopców i dziewcząt na korzyść tych ostatnich. Zjawisko to zauważalne również i w Polsce u pracowników radiostacji, występuje także w odniesieniu do zwierząt doświadczalnych, jak to stwierdziły obserwacje w Niemczech Zachodnich.

Rola podwzgórza jest obecnie przedmiotem usilnych badań naukowych w wielu krajach.

W Stanach Zjednoczonych przeprowadza się doświadczenia z elektrodami inplantowanymi w mózgu, przez które przepuszcza się słabe impulsy prądu stałego, drażniące okolice podwzgórza. Zależnie od lokalizacji elektrod oraz długości impulsu podrażnienie może być dla zwierzęcia przykre



Rys. 2. Szczur z inplantowanymi w mózgu elektrodami. Naciśnięcie pedału włącza impuls elektryczny, drażniący podwzgórze

(powodując objawy gniewu i ucieczkę) lub przyjemne (efekty hedonistyczne).

W tym ostatnim przypadku zwierzę samo włącza sobie prąd za pomocą pedału, powtarzając tę czynność wielokrotnie (rys. 2). Sprawa ta ma jeszcze inny ciekawy aspekt. Znany badacz amerykański H. W. Magoun twierdzi w swej ciekawej książce „Czuwający mózg” (The waking brain) [26], że w ten sposób można zmieniać usposobienie zwierzęcia, przemieniając np. zwierzę ponure na radosne.

W Związku Radzieckim oddziaływanie na *hypothalamus* doczekało się zastosowania praktycznego na ludziach. Mianowicie, stosuje się tam ostatnio usypianie dzieci za pomocą impulsów bardzo słabego prądu stałego, przepuszczonych przez okolice podwzgórza.

3. BIOLOGICZNE DZIAŁANIE PÓL SZYBKOSMIENNYCH

Poznanie mechanizmu działania biologicznego pól szybkozmiennych na żywe organizmy okazało się zagadnieniem niezmiernie trudnym. Pierwotna hipoteza nagrzewania punktowego, sprowadzająca całkowicie działanie tych pól do selektywnego efektu cieplnego, była niewątpliwie zbyt daleko idącym uproszczeniem. Do dziś nagromadziło się już dużo danych doświadczalnych, świadczących o tym, że w wielu przypadkach pole szybkozmienne wywołuje odwrotny efekt fizjologiczny niż ten, jakiego należałoby oczekiwać, opierając się tylko na działaniu cieplnym (*Kulka, Pflomm, Cignolini, Bauer, Dalton, Liebesny, Pribram* i inni).

Próby stosowania bardzo słabych pól, czyli tzw. dawek atermicznych (termin umowny, odnoszący się praktycznie do warunków, gdy przyrost temperatury na skutek pola nie przekracza ok. $0,2^{\circ}\text{C}$) dowodzą, że mamy tu do czynienia z nader subtelnym mechanizmem przemian fizyko-chemicznych, sięgającym głęboko w budowę cząsteczkową ciał.

Bardzo interesująco przedstawia się pod tym względem sprawa wpływu fal krótkich i ultrakrótkich na fermenty i przebiegi katalityczne. Okazuje się, że w polu wielkiej częstotliwości i ultrawielkiej częstotliwości działanie fermentów i ich kompleksów ulega bądź stymulacji, bądź osłabieniu. Aktywizacji ulegają np. pepsyna, amilaza, fosfataza i oksydazy. Stymulacji również ulega kompleks fermentów drożdżowych, przy czym obserwuje się takie interesujące zjawisko, że stymulujące działanie pola w.cz. przejawia się dopiero po upływie jednego lub dwóch dni po napromieniowaniu.

W polu wielkiej częstotliwości mogą zachodzić reakcje katalityczne, wymagające bez tego pola temperatury kilku tysięcy stopni. Tak na przy-

kład otrzymane z powietrza tlenków azotu wymaga normalnie 50 000°C, a w polu w.cz. proces ten przebiega już w temperaturze kilkudziesięciu stopni.

Co do działania pola w.cz. na mikroby należy zauważyć, że działanie to bardzo silnie zależy od środowiska, w którym znajdują się naświetlane mikroby. Dość często omawiane działanie przejawia się inaczej *in vivo* niż *in vitro*. Poważne znaczenie posiada także wybór częstotliwości, natężenie pola oraz czas naświetlania. Na przykład dla lasecznika gruzlicy najbardziej zgubną okazała się fala $\lambda \cong 15$ m. Mikrob ten należy zresztą do jednego z najbardziej odpornych na działanie pól w.cz., tak że nawet zatrzymanie jego wzrostu wymaga bardzo silnego pola i kilkogodzinnego naświetlania. Przy nieodpowiednim wyborze częstotliwości i krótkotrwałym dawkowaniu, żywotność niektórych mikroorganizmów może ulec stymulacji zamiast osłabieniu. Przypadek taki zachodzi np. w odniesieniu do laseczników dyfterytu przy $\lambda \cong 4$ m.

Tablica 2

Przewodność elektryczna σ tkanek zwierzęcych (wołu i świni) w temperaturze 20°C i 37°C przy różnych częstotliwościach (wg Osswalda)

Tkanka	t°C	$\sigma \cdot 10^3$ mo/cm				$\frac{\sigma_{6m}}{\sigma_{ak}}$	$\frac{\Delta\sigma_{6m}}{\sigma_{6m}\Delta t}$ %
		f akust.	$\lambda = 3$ m	$\lambda = 6$ m	$\lambda = 12$ m		
Mięsień	20°	0,9	5,9			6,5	2,5
		0,7–2,5	5–7				
	37°	1	8,1			8,1	
		0,7–3	6,8–8,5				
Wątroba	20°	1,5	5	4,7	4	3,1	2
		0,8–2,6	4,8–5,5	4,6–4,9	3,9–4,1	4,6	
	37°	1,2	6,1	5,5	5,2		
		0,7–1,9	5,6–6,5	5,1–5,8	4,8–5,4		
Śledziona	20°	1,2	6,8	6,4	5,7	5,3	2,3
		0,7–1,6	6,8	6,3–6,5	5,3–6	5,2	
	37°	1,4	8,3	7,3			
		1–3	8,3–8,4	6,6–7,8			
Nerki	20°	0,7	6,8		4,9	9,5	1,6
		0,56–0,77	6,4–7,9		4,5–5,4	9,3	
	37°	0,9	8,4				
		0,75–1,3	6,9–11				
Mózg	20°	1,1	4,3	4,1	3,1	3,7	1,4
		0,9–1,3	3,8–4,5	3,9–4,2	2,8–3,2	3	
	37°	1,7	5,4	5,1	4,5		
		1,5–1,9	5,1–5,6	4,8–5,3			

Tablica 2 (cd.)

Tkanka	$t^{\circ}\text{C}$	$\sigma \cdot 10^3 \text{ mo/cm}$				$\frac{\sigma_{6m}}{\sigma_{ak}}$	$\frac{\Delta\sigma_{6m}}{\sigma_{6m}\Delta t} \%$
		$f \text{ akust.}$	$\lambda = 3 \text{ m}$	$\lambda = 6 \text{ m}$	$\lambda = 12 \text{ m}$		
Trzustka	20°	1,6 0,9–2,9	4 3,5–5,2		2,5 4	2	
	37°	1,3 0,7–2,4	5,4 4,1–5,9				
Tkanka tłuszczowa	20°	0,26 0,1–0,4	0,36 0,23–0,45		1,38 1,25	2,5	
	37°	0,4 0,28–0,5	0,5 0,4–0,58				
Szpik kostny	20°	0,16 0,14–0,19	0,2 0,19–0,24		1,25 1,22	2	
	37°	0,22 0,17–0,25	0,27 0,2–0,35				
Krew	20°	5,2 4,9–5,7	7,5 6,7–8,5		1,44 1,52	2,7	
	37°	7,3 6,6–8,4	11 10–12,5				
Surowica	20°	12 11–13	12		1 1	1,97	
	37°	16 14–18	16				
Płuca	20°		2 1,8–2,4			2,5	
	37°	0,4–1,2	2,9 2,2–3,9				
Żółć	20°	12,8		13,1	1,02 1,02	1,8	
	37°	16,7		17			

Na podstawie całokształtu dotychczasowych badań eksperymentalnych i teoretycznych, uwzględniających ostatnie postępy fizyki i chemii kwantowej, zwłaszcza odnośnie budowy polimerów, wydaje się, że najbardziej istotnym zjawiskiem w mechanizmie działania pól szybkozmiennych jest występująca w ciałach polaryzacja. Omawiana polaryzacja może przejawiać się w wielu postaciach:

- 1) elektronowa polaryzacja atomów i jonów,
- 2) atomowa polaryzacja przesunięcia jonowego,
- 3) polaryzacja dipoli molekularnych (relaksacyjna polaryzacja jonowa),

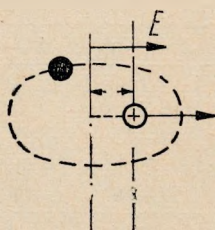
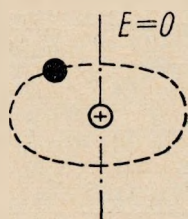
Tablica 3

Stała dielektryczna ϵ tkanek zwierzęcych (wołu i świni) w temperaturze 20° i 37°C przy różnych częstotliwościach (wg Osswalda)

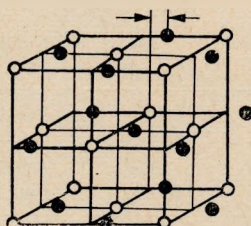
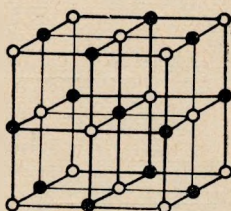
Tkanka	t°C	ϵ			$\frac{\Delta\epsilon_{6m}}{\epsilon_{6m}\Delta t} \frac{o}{a}$
		$\lambda = 3 \text{ m}$	$\lambda = 6 \text{ m}$	$\lambda = 12 \text{ m}$	
Mięsień	20°	71	85	96	0,4
	37°	69–73	83–89	91–100	
		73,3	89	108	
Wątroba	20°	73	85	122	0,4
	37°	71,8–73,5	83–90	120–123	
		78	90	137	
Śledziona	20°	89	116	205	1,1
	37°	88–90	115–117	198–214	
		100	137	>200	
Nerki	20°	83,5	115	200	0,6
	37°	83–84	110–120		
		89,5	127	>200	
Mózg	20°	72,5	95	140	1,1
	37°	70–75	92–99	136–143	
		82,5	112	160	
Trzustka	20°	61	89	140	0,5
	37°	51–71	85–95	135–145	
		67	96	158	
Tkanka tłuszczowa	20°	12			
	37°	11–13			
Szpik kostny	20°	7,3			
	37°	6,8–7,7			
Krew	20°	73	86	120	0,3
	37°	72–73,5	85–87	115–125	
		74	89	140	
Surowica	20°	82			–0,4
	37°	76			
Płuca	20°	27–50			
	37°				
Żółć	20°	83,4			–0,35
	37°	77,6			

- 4) polaryzacja makrostrukturalna,
5) polaryzacja elektrolityczna.

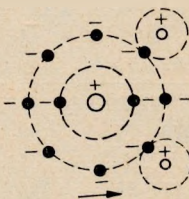
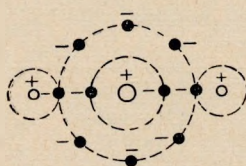
Wymienione powyżej rodzaje polaryzacji są przedstawione na rys. 3.



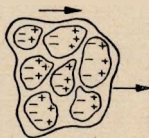
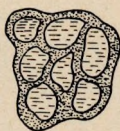
Elektronowa polaryzacja atomów i jonów (okres drgań $T = 10^{-16} - 10^{-14}$ sek). Polaryzacja atomu wodoru



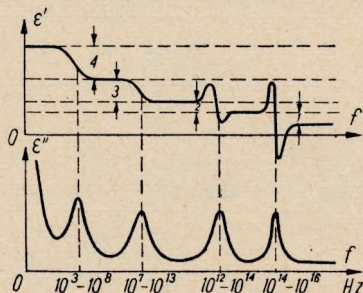
Atomowa polaryzacja przesunięcia jonowego ($T = 10^{-14} - 10^{-12}$ sek). Polaryzacja kryształu NaCl



Polaryzacja dipoli molekularnych. Czas relaksacji $\tau = 10^{-13} - 10^{-7}$ s. Molekuła H_2O symetryczna i niesymetryczna



Polaryzacja makrostrukturalna ($T = 10^{-8} - 10^{-3}$ sek). Komórka roślinna; w porach ciecze ustrojowe



Przenikalność dielektryczna $\tilde{\epsilon} = \epsilon' - j\epsilon''$ w funkcji częstotliwości f

Rys. 3. Rodzaje polaryzacji

U w a g a. Oprócz powyższych występuje jeszcze polaryzacja elektrolityczna ($\tau = 10^{-4} - 10^2$ sek)

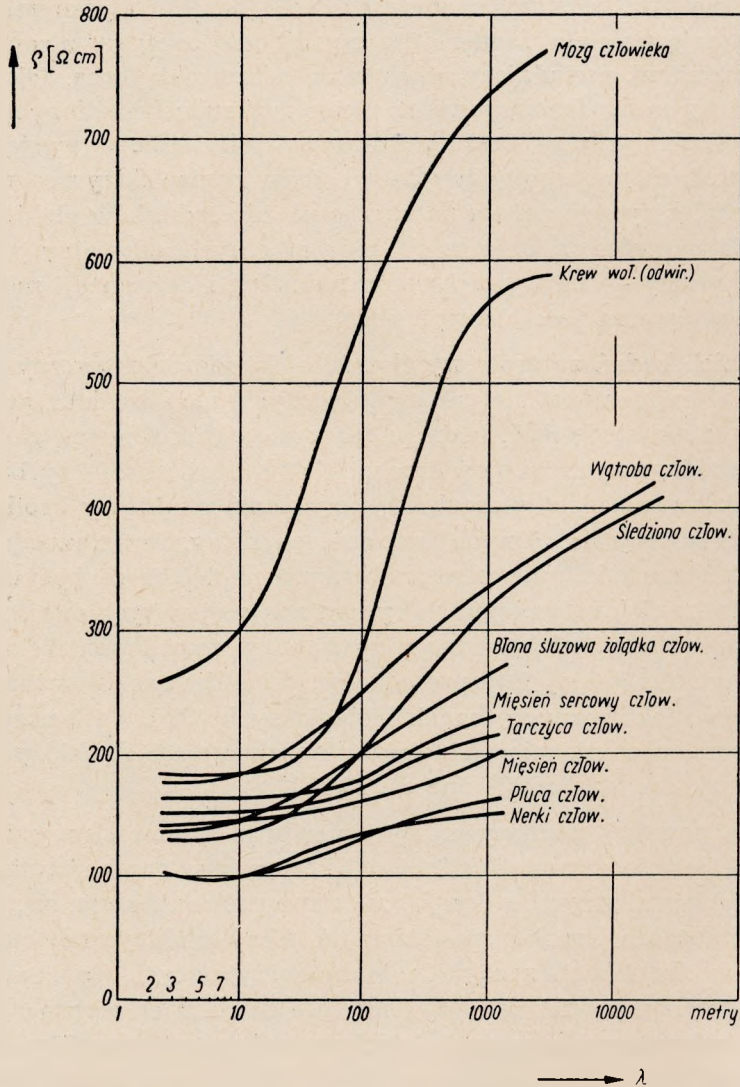
Trzy pierwsze rodzaje dotyczą polaryzacji mikrostrukturalnej, ostatni natomiast rodzaj — polaryzacji makrostrukturalnej.

W związku z rozwojem naszych poglądów na polaryzację teoria piezoelektryczności kryształów została rozszerzona na ciała anizotropowe w ogóle i na tzw. tekstury w szczególności. Piezoelektrycznymi teksturami nazywają się ciała, zawierające krystaliczne agregaty z zorientowanymi kryształami, posiadającymi własności piezoelektryczne. Jak się okazało, tekstury są bardzo rozpowszechnione w tkankach roślinnych i zwierzęcych. Stąd wypływa dość zaskakujący fakt silnego występowania w tych tkankach prostego i odwrotnego efektu piezoelektrycznego (prosty efekt piezoelektryczny polega na występowaniu ładunków elektrycznych na skutek naprężeń z deformacji mechanicznych odwrotny zaś efekt piezoelektryczny — na występowaniu naprężeń i deformacji mechanicznych pod wpływem pola elektrycznego).

Z ostatnich badań autorów wynika, że efekt piezoelektryczny w tkankach, jak zresztą i w polimerach syntetycznych, ma charakter punktowy. Można to łatwo stwierdzić, badając za pomocą elektrometru rozkład ładunków elektrycznych na powierzchni skóry człowieka. Przy badaniach tych wywoływano efekt piezoelektryczny przez punktowy krótkotrwały ucisk mechaniczny na różnych fragmentach skóry. Powstawanie w niektórych miejscach kilkudziesięciowoltowych napięć może być wytłumaczone efektem elektroforowym skóry, posiadającej w tych miejscach wyjątkowo dużą stałą dielektryczną przy słabej przewodności elektrycznej. O wiarygodności takiej interpretacji świadczą dane z literatury co do parametrów elektrycznych tkanek biologicznych (tabl. 2 i 3 oraz rys. 4); według pomiarów niektórych autorów przenikalność dielektryczna żywych tkanek dochodzi miejscami do 15 000.

Opisane powyżej pomiary miały na celu z jednej strony ilościową ocenę roli, jaką odgrywa efekt piezoelektryczny w mechanizmie działania pól szybkozmiennych, z drugiej zaś strony zorientowanie się, w jakim stopniu efekt ten zagraża powstawaniu iskry elektrycznej na skórze ludzkiej w warunkach specjalnie temu sprzyjających, to znaczy przy małej wilgotności powietrza (przygotowania do polskich wypraw arktycznych i antarktycznych w ramach Międzynarodowego Roku Geofizycznego z punktu widzenia bezpieczeństwa przeciwpożarowego przy użyciu benzyny). Należy zauważyć, że pierwszy komunikat *S. Manczarskiego* o występowaniu efektu piezoelektrycznego w ciałach anizotropowych wygłoszony był jeszcze w roku 1922 (sprawozdanie z posiedzeń Katedry Fizyki na Politechnice Warszawskiej pod przewodnictwem prof. *M. Grotowskiego*).

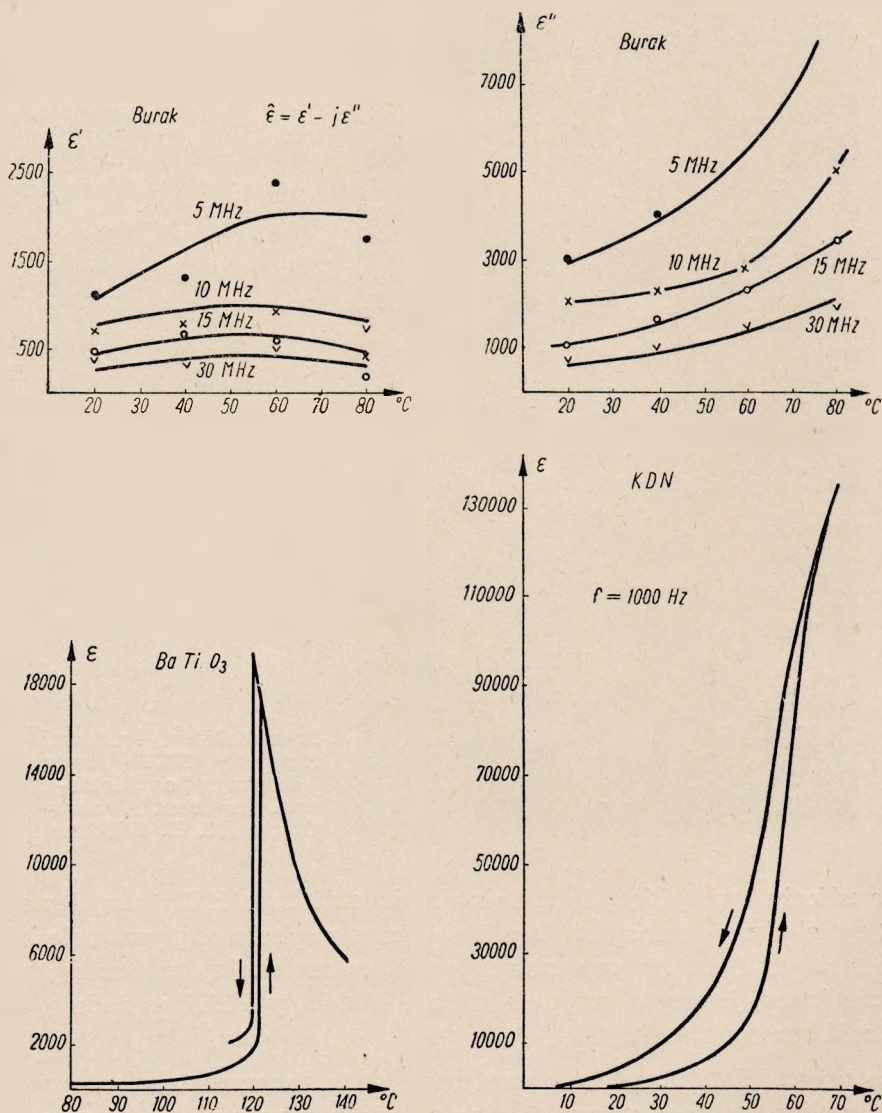
Poważną rolę w działaniu pól szybkozmiennych na żywe tkanki odgrywa niewątpliwie obecność w tych tkankach kwasu dezoksyrybonukleinowego (KDN). Jak się okazuje z badań przeprowadzonych w ostatnich latach, kwas ten posiada niespotykaną dotąd wysoką wartość stałej



Rys. 4. Oporność właściwa ρ różnych tkanek w funkcji długości fali λ (wg Rajewsky'ego)

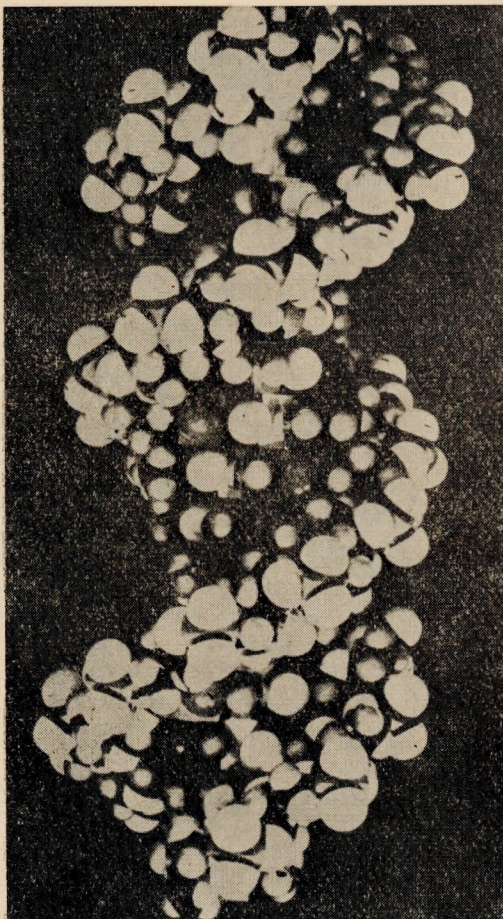
dielektrycznej, dochodząca do 140 000 (rys. 5). Dla porównania zestawiona jest na tym samym rysunku stała dielektryczna buraka, tytanatu baru (Ba Ti O_3) oraz KDN.

Molekuła KDN należy do polimerów posiadających charakterystyczną budowę śrubową. Model takiej śrubowej molekuly pokazany jest we fragmencie 1,5 obrotu na rys. 6 (wg *M. H. Wilkinsa*). W skład molekuly KDN wchodzi fosfor, węgiel, tlen i wodór. O budowie cząsteczki KDN wnioskujemy między innymi z obrazu dyfrakcyjnego, otrzymanego w promieniach Roentgena (rys. 7). Badania KDN są związane z nazwiskiem angielskiego uczonego prof. *A. Todda*, który otrzymał za nie nagrodę Nobla.



Rys. 5. Stała dielektryczna tekstur i ciał piezoelektrycznych

Cząsteczka KDN posiada bardzo ciekawe właściwości samoodtworzenia (replication — kopiowanie). Procesy te można obserwować na podstawie mikrofotografii elektronowych. Jedną z takich mikrofotografii przedstawia rys. 8 (wg C. Halla, powiększenie ok. 500 000 razy).



Rys. 6. Model śrubowej molekuly KDN (kwas dezoksyrybonukleiny). Fragment $1\frac{1}{2}$ obrotu (wg M. H. Wilkinsa)

Na zdjęciu tym widać, że spiralna makromolekuła KDN rozgałęzia się na 2 molekuly. W ten sposób rozdzielająca się spirala odgrywa rolę kodu albo matrycy i dzięki temu nowopowstająca molekula dokładnie powtarza strukturę jednej z połówek spirali. Molekuly KDN posiadają więc zdolność samorozmnażania.

Na tej podstawie zostały opracowane matematyczne teorie tego procesu, wykorzystujące cybernetyczną zasadę przenoszenia informacji (np. teoria Gamowa).

Nie jest jeszcze dostatecznie wyjaśnione, jaką rolę odgrywają w zakłóceniu tego procesu tzw. π elektrony, warunkujące powstawanie stereoizomerii. Chodzi tu po prostu o trudności matematyczne, ponieważ ściśle



Rys. 7. Obraz dyfrakcyjny cząsteczki KDN w promieniach X (wg Wilkinsa)



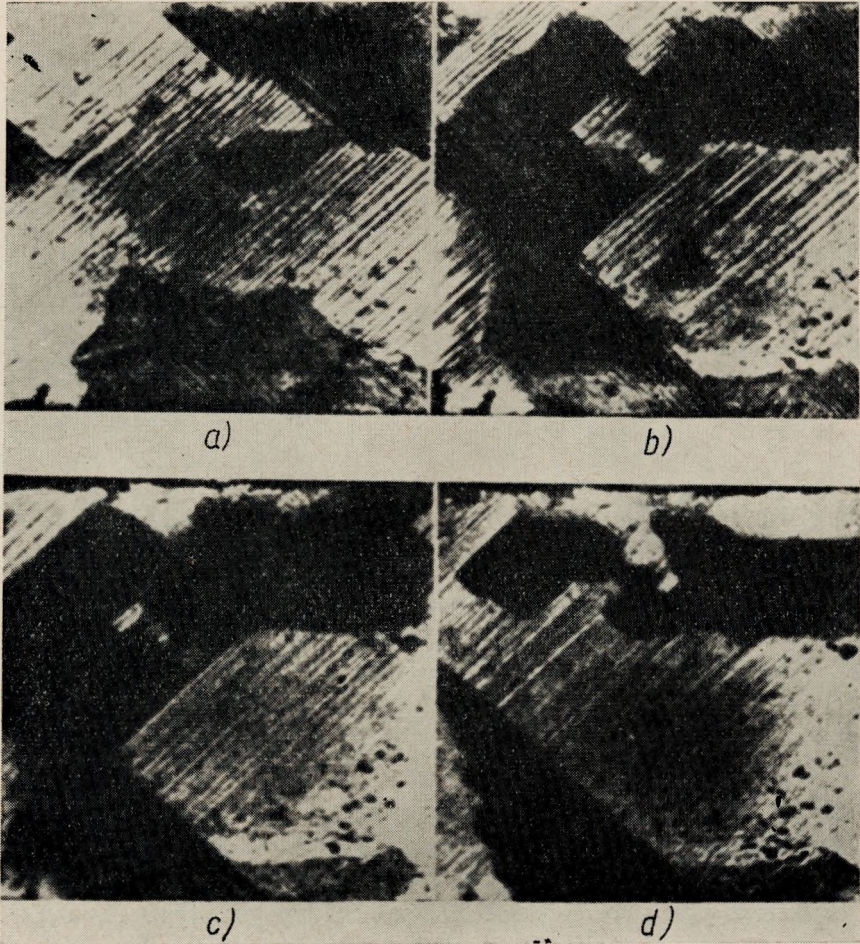
Rys. 8. Samoodtworzenie się cząsteczki KDN (mikrofotografia elektroniczna wg C. Halla; powiększenie ok. 500 000)

rozpatrzenie problemu wieloelektronowego jest niemożliwe w zwykłej przestrzeni trójwymiarowej i wymaga przejścia do przestrzeni wielowymiarowej.

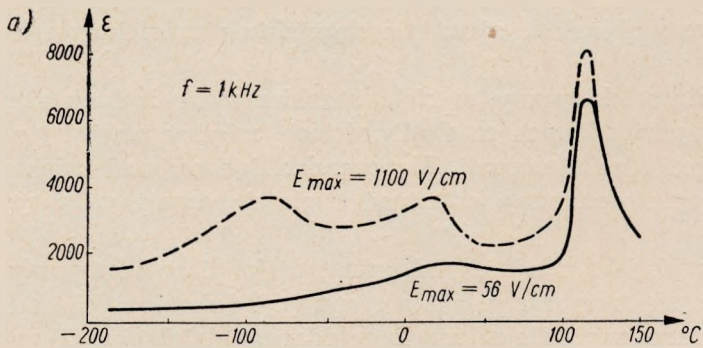
Charakterystyczną cechą ciał piezoelektrycznych typu $BaTiO_3$ jest występowanie domen (rys. 9). Pojawienie się domen związane jest z własnościami strukturalnymi $BaTiO_3$ oraz występowaniem sprzężeń zwrotnych i przesunięć jonowych, co pokazane jest na rys. 10. Analogiczne zjawisko ma niewątpliwie miejsce w odniesieniu do KDN, czym tłumaczy się punktowy charakter zjawienia się efektu piezoelektrycznego w tkankach.

Efekt piezoelektryczny w ciele ludzkim może być eksperymentalnie wykazany przy różnych częstotliwościach, między innymi i przy częstotliwości sieci oświetleniowej (Manczarski: Badania nad zniekształceniami zapisu magnetofonowego oraz nad czułością czucia wibracyjnego przy 50 Hz).

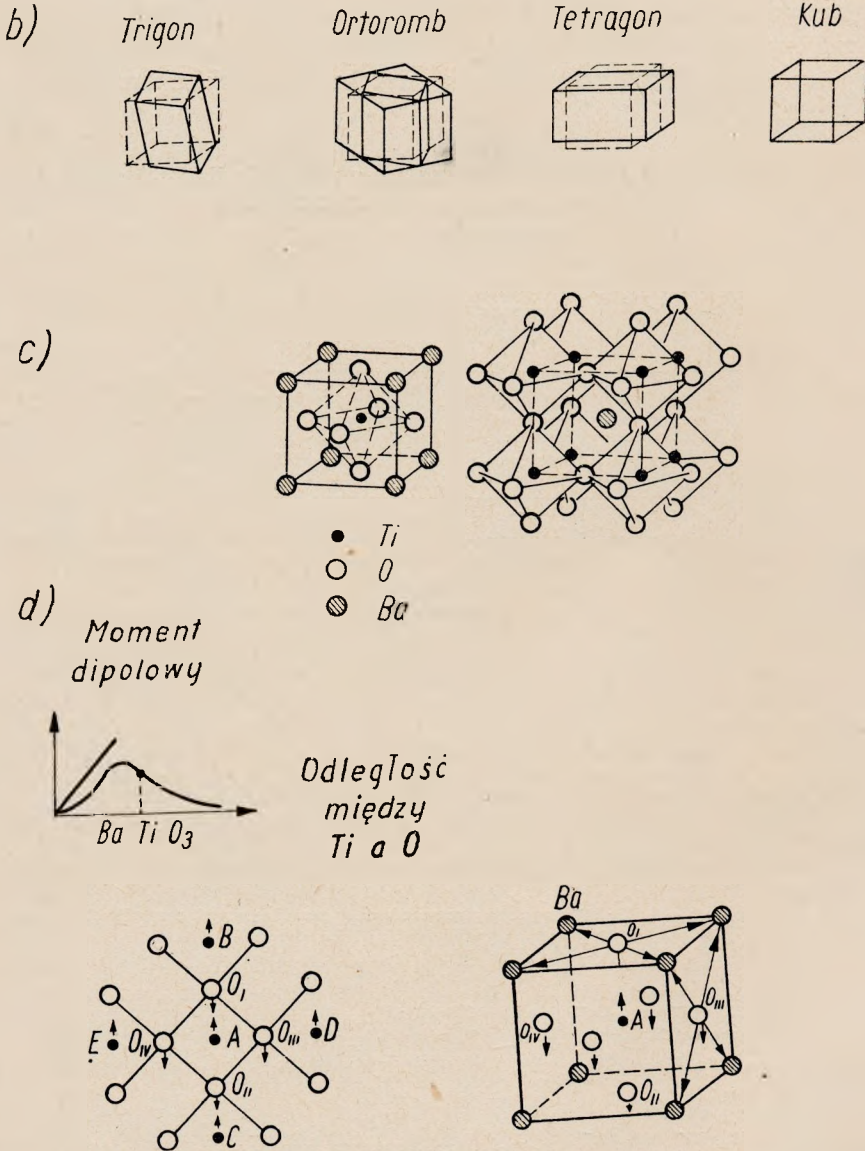
Na tle roli, jaką zdaje się odgrywać efekt piezoelektryczny w teksturach, staje się zrozumiały fakt następujący. Szkodliwości i wielkości dawek dopuszczalnych dla człowieka poddanego działaniu pól szybkozmiennych są bardzo zbliżone do tych, jakie obserwuje się przy stosowaniu



Rys. 9. Domeny w kryształach BaTiO_3 i wpływ na nie pola: a) pola nie ma; b) nałożone pole $+2000 \text{ V/cm}$; c) pole zdjęte; d) nałożone pole odwrotne -2000 V/cm



Rys. 10. Opis — patrz pod dalszą częścią rysunku



Rys. 10. Własności i struktura $Ba Ti O_3$ (wg A. R. von Hippela, 1952): a) przenikalność dielektryczna $Ba Ti O_3$; b) przejścia fazowe $Ba Ti O_3$; c) idealna struktura $Ba Ti O_3$; d) sprzężenie zwrotne i przesunięcie jonów w $Ba Ti O_3$

ultradźwięku. Spostrzeżenie to znajduje przekonujące wytłumaczenie w świetle występowania prostego i odwrotnego efektu piezoelektrycznego w tkankach ludzkich.

Efekt piezoelektryczny w teksturach związany jest z pojawieniem się przy różnych częstotliwościach zjawisk rezonansowych, molekularnych

i jądrowych (tabl. 4). Zjawiska te najdogodniej mogą być badane metodami radiospektroskopii. Ten nowy dział radiofizyki rokuje poważne nadzieje co do wytłumaczenia wielu subtelnych mechanizmów zachodzą-

T a b l i c a 4

Rezonanse molekularne i jądrowe, występujące na różnych długościach fal w postaci linii widmowych (wg D. J. E. Ingram)

Typy oddziaływań wzajemnych	Jądrowe	Elektrony wewnętrzne	Elektrony zewnętrzne		Wewnątrzcząsteczkowe oraz wewnątrzkrystaliczne		Momenty jądrowe z zewnętrznym polem magnetycznym
Kwant $eV \ h \nu$	$10^9 \ 10^7$	$10^5 \ 10^3$	10		$10^{-1} \ 10^{-3} \ 10^{-5}$	$10^{-7} \ 10^{-9}$	
λ cm	Promienie γ	Promienie Roentgena	Prom. ultrafioletowe	Prom. optyczne	Promienie infraczerw.	Promieniowanie mikrofalowe	Promieniowanie częst. radiowych
Aparatura badawcza	Cyklotrony	Lampy roentgenowskie	Systemy optyczne z soczewkami kwarc.	Interferometry	Odbijające siatki dyfrakcyjne	Fotoelementy	Aparatura na częstotliwości radiowe

Typy oddziaływań wzajemnych znajdują wyraz w następujących 5 rodzajach absorpcji, zachodzących w widmie hertzowskim:

- 1) absorpcja dipolowa Debye'a,
- 2) absorpcja przez rotację molekularną,
- 3) absorpcja paramagnetyczna elektronowa,
- 4) absorpcja paramagnetyczna nuklearna,
- 5) absorpcja kwadrupolowa nuklearna.

Występowanie rodzaju 3) i rodzaju 4) uwarunkowane jest obecnością zewnętrznego stałego pola magnetycznego H .

W założeniu, że $h = 6,625 \cdot 10^{-27}$ erg. sek, wzory na kwanty energii są w tych przypadkach następujące:

ad 3) $h\nu = g\beta H$,

gdzie

$$\left. \begin{array}{l} g_{el} \cong 2 \\ \beta \cong 0,9273 \cdot 10^{-20} \text{ erg. Oe}^{-1} \\ \text{magneton Bohra} \end{array} \right\} \nu \text{Hz} = 2,8 \cdot 10^4 \cdot H_{\text{Oe}}$$

ad 4) $h\nu = g_1 \beta_N H$,

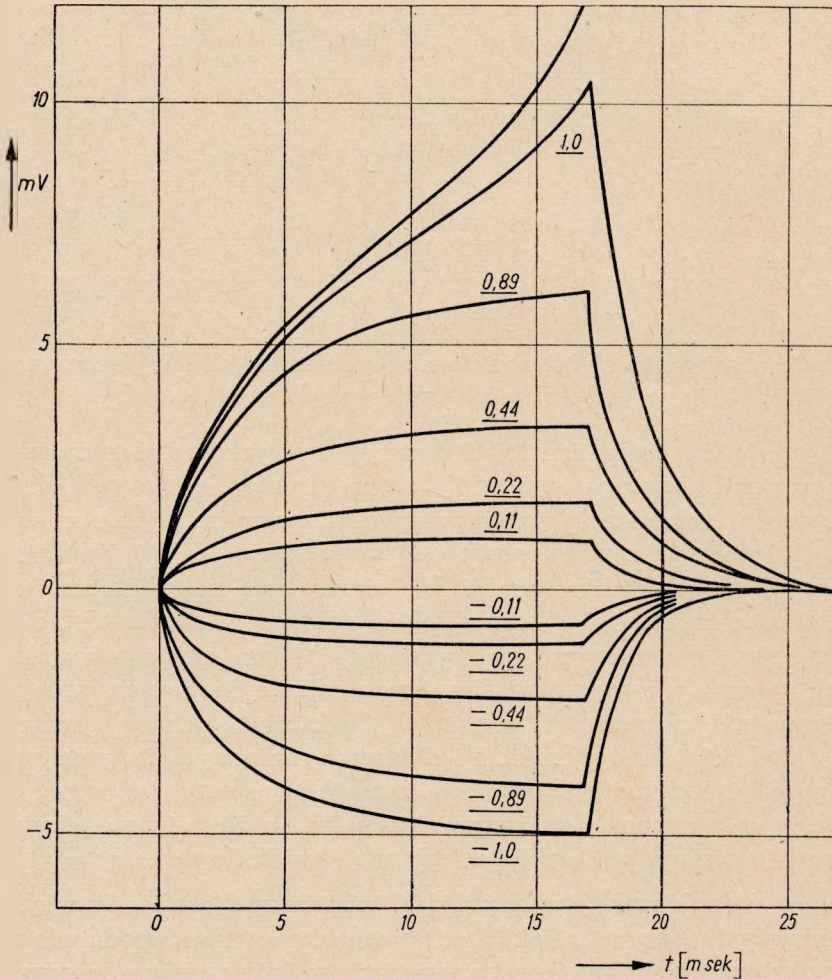
gdzie

$$\left. \begin{array}{l} g_1 \cong 0,3 \div 6 \\ \beta_N \cong 0,505 \cdot 10^{-23} \text{ erg. Oe}^{-1} \\ \text{magneton jądrowy} \\ \text{dla protonu } g_1 = 5,5855 \end{array} \right\} \nu \text{Hz} = (228 \div 4580) H_{\text{Oe}}$$

1 eV = $1,602 \cdot 10^{-12}$ erg

cych w ciałach pod wpływem pól szybkozmiennych z udziałem pola magnetycznego. Należy też mieć nadzieję, że w ramach wspomnianych badań znajdą miejsce również i drgania parametryczne, które obok drgań harmonicznnych odgrywają niewątpliwie znaczną rolę w procesach oddziaływania pól szybkozmiennych na żywe organizmy.

Mówiąc o tych oddziaływaniach, nie podobna pominąć działania detekcyjnego włókien nerwowych. Sprawa ta uwidoczniła się na charakterystyce woltoamperowo-sekundowej aksona (włókna nerwowego), przedstawionej na rys. 11.

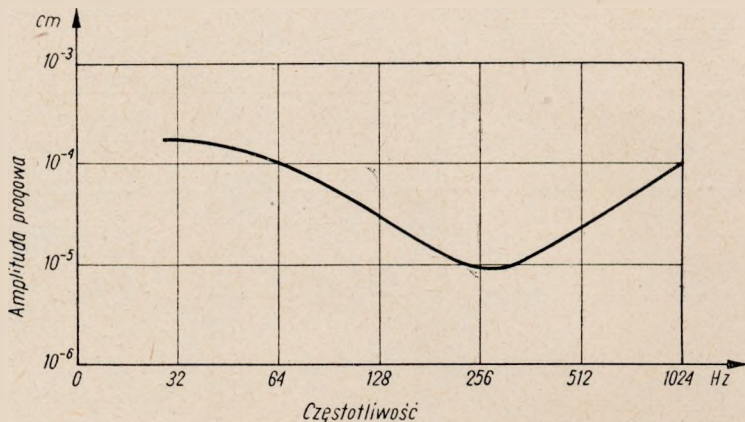


Liczby podkreślone wyrażają ułamek prądu progowego

Rys. 11. Reakcja aksona na bodźce elektryczne (charakterystyka wolto-amperowo-sekundowa)

Wyrazem reakcji człowieka na pole szybkozmiennego jest naruszenie tzw. czucia wibracyjnego, którego charakterystyka jest przedstawiona na rys. 12. Dla badania tych naruszeń skonstruowano specjalny przyrząd — wibromierz, służący do pomiaru progu czułości czucia wibracyjnego

w palcach (rys. 13). Przyrząd ten został wypróbowany w poliklinice Uniwersytetu Warszawskiego.

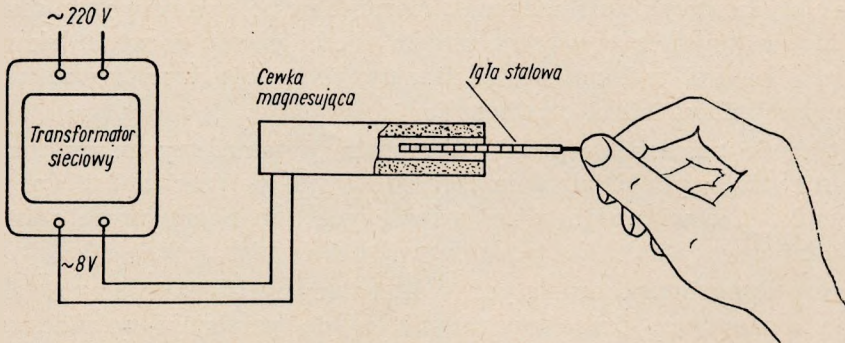


Rys. 12. Charakterystyka częstotliwościowa czucia wibracyjnego w palcach (wartości progowe, wg M. F. Malikowa)

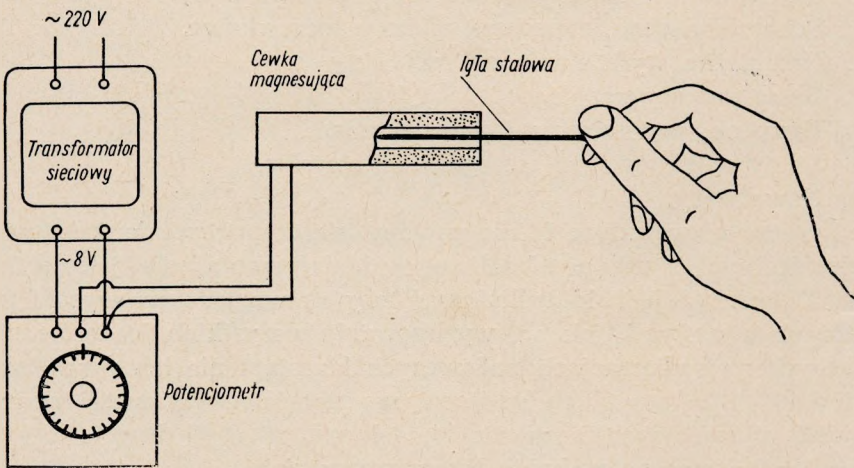
I jeszcze jeden mechanizm, niedostatecznie dotychczas doceniany i zbędny; jest on związany z cybernetycznym punktem widzenia. Pomiedzy różnorodnymi czynnikami, jak prądem elektrycznym, płynącym w ciele pod wpływem pola szybkozmiennego, temperaturą ciała, jego wilgotnością, przewodnością elektryczną, stałą dielektryczną, naprężeniami i deformacjami mechanicznymi, przewodnością cieplną, elektroosmozą, elektrolizą, reakcjami chemicznymi, polaryzacją i efektami rezonansów molekularnych i jądrowych, występują wzajemne oddziaływania tworzące skomplikowany łańcuch sprzężeń zwrotnych. Niektóre z tych sprzężeń zwrotnych są dodatnie, inne ujemne. Po dłuższym oddziaływaniu pola szybkozmiennego rozpoczyna się stopniowo narastający proces lawinowy, przebiegający w pewnym określonym kierunku, o ile ujemne sprzężenia zwrotne nie zdołają go w porę zatrzymać i ustabilizować.

Procesy jednokierunkowe prowadzą po pewnym czasie do większych lub mniejszych zaburzeń. Taki mechanizm bierze prawdopodobnie udział w stopniowym rozwijaniu się zarówno niegroźnych objawów odwracalnych, np. ból głowy, jak i groźnych nieodwracalnych, jak katarakta punktowa. Na tym tle przejawia się między innymi efekt kumulacyjny, którego występowanie jest obserwowane w zespole różnych oddziaływań pól szybkozmiennych. Ale jeszcze niebezpieczniejszy jest proces jednokierunkowy, który może toczyć się dalej nawet po wyłączeniu czynnika, który go sprowokował (np. postępujący proces tworzenia się katarakty ocznej). W jakim stopniu zjawiska te zachodzą w odniesieniu do pól szybkozmiennych, powinno być przedmiotem badań najbliższych lat.

a)



b)



Rys. 13. Wibromierz (do pomiaru czucia wibracyjnego w palcach) wg S. Manczarskiego, 1955: a) pomiar przy stałej wartości prądu w cewce magnesującej oraz przy regulowanej głębokości zanurzenia sondy; b) pomiar przy stałej głębokości zanurzenia sondy oraz przy regulowanym prądzie w cewce magnesującej

4. DOPUSZCZALNE WARTOŚCI POLA

W zagadnieniu tym należy wziąć pod uwagę cały szereg różnorodnych momentów.

Z doświadczenia wynika, że wrażliwość człowieka na wielkość dawki pola szybkozmiennego waha się u różnych osobników w granicach więk-

szych niż 1 : 100. Tym tłumaczy się fakt, że są ludzie, którzy reagują na stosunkowo słabe pole szybkozmiennne (np. $E < 1$ V/m na falach krótkich), podczas gdy inni wykazują znaczną odporność na pole wielokrotnie silniejsze. Podobne zjawisko występuje zresztą w odniesieniu do wielu lekarstw i trucizn. Nie jest wykluczone, że fale radiowe mogą wywoływać u niektórych osobników efekt anafilaksji.

Na tym tle nasuwa się przede wszystkim pytanie, czy mamy chronić przed niepożądanym działaniem fal radiowych wszystkich bez wyjątku pracowników, nawet najbardziej wrażliwych lub obarczonych różnymi chorobami, czy też należałoby zastosować wobec nich pewną selekcję.

Według danych, zaczerpniętych z literatury radzieckiej i angielskiej, istnieją następujące przeciwskazania co do personelu zatrudnionego w polu fal radiowych:

1. Wszystkie choroby krwi, w tym wtórna anemia.
2. Gruźlica płuc w postaci aktywnej.
3. Organiczne schorzenia systemu nerwowego w postaci progresującej.
4. Wyraźnie przebiegające schorzenia gruczołów dokrewnych.
5. Schorzenia oczu, zwłaszcza zmiany soczewkowe.
6. Nadmierne wydzielanie cukru.
7. Ostre procesy zapalne.
8. Krwotoki, wybroczyny i przesiąkania.
9. Stany obrzękowe, w szczególności stawów.
10. Nowotwory.

Jest rzeczą niewątpliwą, że nie powinno się dopuszczać do powstawania nieodwracalnych skutków szkodliwego oddziaływania pola, jak np. katarakta. Można już jednak dyskutować, czy ze względu na wysoki koszt niektórych inwestycji, jak np. wyrugowanie wszystkich feederów napowietrznych na radiostacjach nadawczych i zastąpienie ich przez bardzo kosztowne kable o małych stratach, nie należałoby dopuścić pewnych objawów chorobowych u personelu, jak np. niezbyt długotrwałe bóle głowy lub nieznaczne wahania temperatury ciała.

Do rozwiązań kompromisowych należy również dopuszczenie silniejszego pola w pobliżu urządzeń zgrzewnych wielkiej częstotliwości pod warunkiem, że personel obsługujący te urządzenia będzie każdorazowo odsuwać się od pieca wielkiej częstotliwości na czas włączenia prądu. Oczywiście, musi to być okupione pewną stratą czasu, a więc pogorszeniem wydajności danego procesu produkcyjnego.

Należy tu zauważyć, że powszechne wprowadzenie całkowitego ekranowania urządzeń wielkiej częstotliwości lub pomieszczeń, gdzie są one zainstalowane, nie zawsze jest opłacalne. Dotyczy to np. dużych budynków istniejących już w radiostacji. Ażeby ekranowanie było skuteczne, w budynkach takich należy dodatkowo zaekranować całą elektryczną

sieć zasilającą, łącznie z przewodami oświetleniowymi, telefonicznymi i sygnalizacyjnymi, uziemić instalację kaloryferów oraz wykonać ekrany separujące poszczególne pomieszczenia. Niezaekranowanie sieci elektrycznych powoduje przenoszenie się energii szybkozmienną wzdłuż różnych przewodów i powstawanie na tej drodze silnych pól w różnych zupełnie nieoczekiwanych miejscach budynku. Dodatkową komplikację stanowi w związku z tym tworzenie się pułapek pola szybkozmiennego w niektórych pomieszczeniach ekranowanych.

W tych warunkach pewnym rozwiązaniem kompromisowym jest zastosowanie klatek ekranujących, w których umieszcza się biurka kontrolne wraz z obsługującym je personelem. Sposób ten nie rozwiązuje sprawy radykalnie, pozwala jednak na skrócenie czasu przebywania ludzi w silnym polu szybkozmiennym (rys. 14).

W niektórych przypadkach okoliczności pracy niezmiernie utrudniają ustalenie jakiejś rozsądnej normy na dopuszczalną wartość pola. Ze zjawiskiem takim spotykamy się na przykład przy diatermii. W Polsce sprawa ta została uregulowana na drodze czysto administracyjnej Zarządzeniem Ministerstwa Zdrowia z dnia 9 lipca 1956 r. przez przyznanie specjalnego dodatku pracownikom zatrudnionym przy diatermii krótko- i długofalowej i innych urządzeniach (Monitor Polski nr 64 z dnia 6 sierpnia 1956 r. poz. 754).

Normowanie dopuszczalnych wartości pola natrafia jeszcze na trudności ze względu na niedostatecznie dotychczas zbadane działanie impulsów, jakie stosowane są w urządzeniach radarowych. W sprawie tej można przytoczyć następujące dane z pracy: Fortschritte der Kurzwellen-Therapie von *Erwin Schliephake*, Ergebnisse der physikalisch-diatetischen Therapie. Bd. 6. S. 81. 1958.

H. Witte, *Strathmann* i *E. Hertel* naświetlali w sposób ciągły larwy muchy *Drosophila* falami ultrakrótkimi w postaci impulsów o długości 10^{-5} sek. Moc w impulsie wynosiła 50 kW, co odpowiadało 300 W obciążenia średniego.

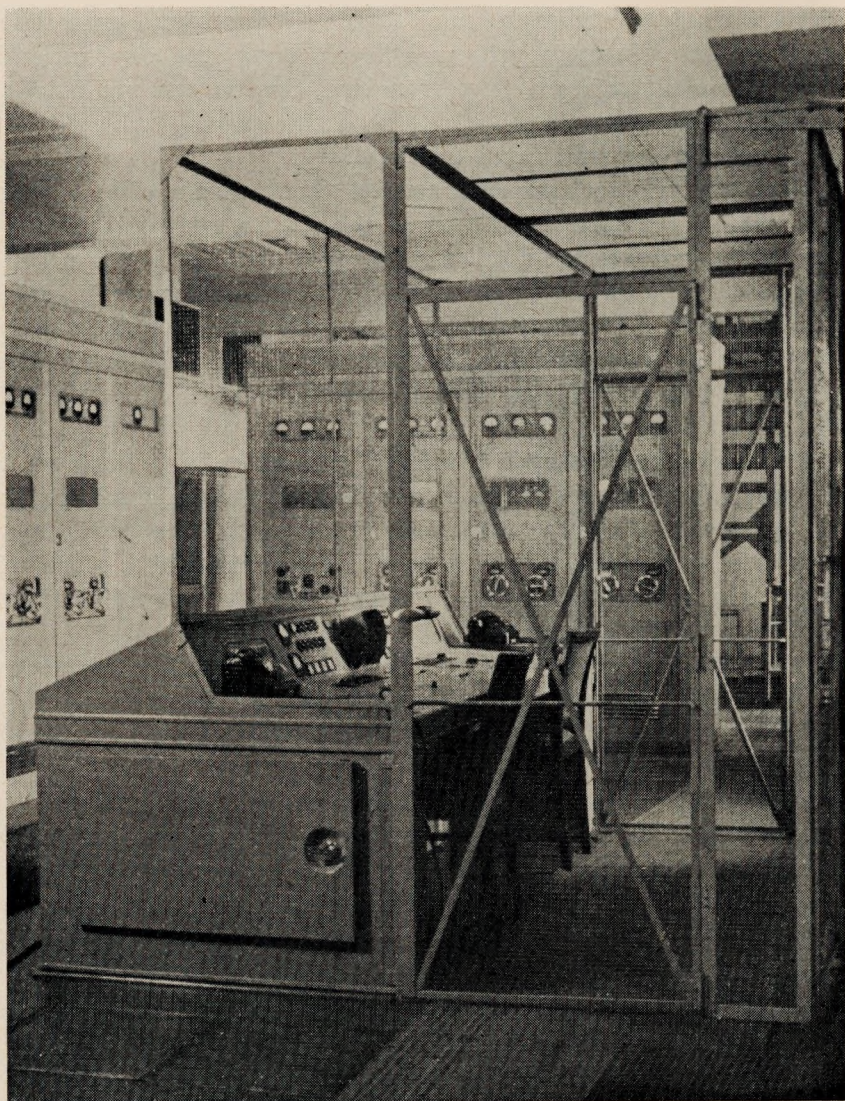
W warunkach wytwarzania tego samego ciepła procent uśmierconych w ten sposób larw okazał się znacznie wyższy przy użyciu impulsów niż w polu ciągłym, chociaż obliczone podwyższenie temperatury w ciele zwierzęcia na impuls mogło wynosić zaledwie $0,0037^{\circ}$.

Badacze przypuszczają, że mogło tu zachodzić selektywne nagrzanie ważnych pod względem życiowym ośrodków larw, gdyż na skutek impulsów mogły być koncentrowane w opisanych punktach znacznie większe energie niż przy użyciu ciągłym.

Jak z powyższego widać, istnieją obiektywne powody, dla których sprawa dopuszczalnych wartości pola szybkozmiennego nie została dotąd w sposób konsekwentny rozwiązana nie tylko u nas, ale również

i w innych państwach. Ogłoszone dotąd w ZSRR i USA normy fragmentaryczne dotyczą odcinka najbardziej zagrożonego, to znaczy fal centymetrowych i decymetrowych. Ale i na tym odcinku zarysowała się bardzo silna rozbieżność między danymi radzieckimi i amerykańskimi, przy czym normy radzieckie są znacznie ostrzejsze od amerykańskich.

W Polsce niektóre resorty wydały w ostatnim czasie tymczasowe przepisy, oparte na normach radzieckich, jako najbardziej humanitarnych



Rys. 14. Klatka ekranująca obsługę biurka kontrolnego na warszawskiej radiostacji telewizyjnej

w zakresie szkodliwości pól szybkozmiennych. Stacja Sanitarno-Epidemiologiczna w Warszawie przyjęła te przepisy jako podstawę do sporządzenia pełniejszej tabeli danych, dotyczących dopuszczalnych dla człowieka intensywności pola fal radiowych, obejmujących fale centymetrowe, decymetrowe, metrowe i dekametrowe. Dane odnośnie ekstrapolowanego obszaru fal oparte są na materiałach doświadczalnych: polskich i radzieckich (tabl. 5).

Tabela 5

Tymczasowe dane odnośnie dopuszczalnych dla człowieka intensywności pola fal radiowych¹⁾ (SANEPID)

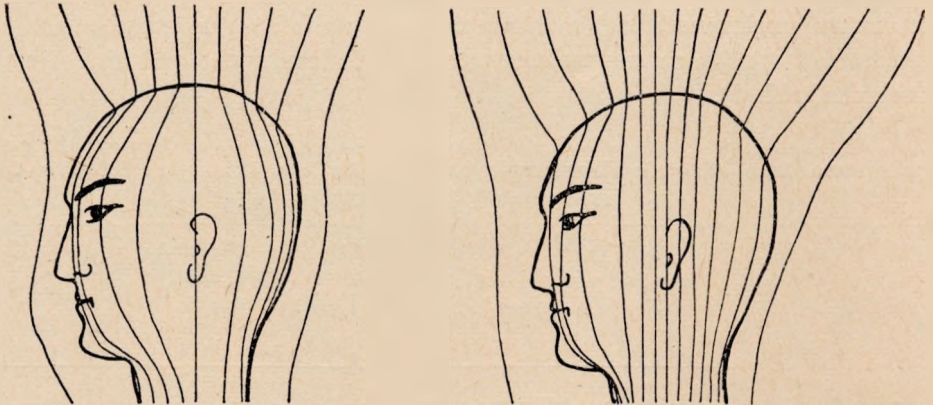
	Zakres fal i warunki przebywania w polu szybkozmiennym		Gęstość mocy $P \left[\frac{\mu W}{cm^2} \right]$	Natężenie pola $E \left[\frac{V}{m} \right]$	Cel ograniczenia P lub E
Przepisy Ministerstwa Przemysłu Ciężkiego z 15. 4. 1959	Fale centymetrowe i decymetrowe	Przebywanie przez cały dzień pracy	10	6,1	Unikanie zaburzeń nieodwracalnych oraz poważniejszych zaburzeń odwracalnych
		Przebywanie nie dłużej niż 2 godz. na dzień	100	19,4	
		Przebywanie nie dłużej niż 15–20 min. na dzień z okularami ochronnymi	1000	61	
Wyniki doświadczalne radzieckie i polskie	Fale metrowe i kilkunastometrowe	Przebywanie ok. 1 godz. w polu kondensatorowym	—	50	
	Fale krótkie $\lambda > 20$ m		—	100	

¹⁾ Odnośnie zakresu częstotliwości 300—300 000 MHz ($\lambda = 100 \div 0,1$ cm) zostało ostatnio wydane rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 20 października 1961 r. (Dziennik Ustaw PRL Nr 48 z dnia 14 listopada 1961 r.)

W tabelicy tej uwzględniono specyfikę pomiarową pól szybkozmiennych w postaci umieszczenia oddzielnych rubryk dla gęstości mocy P oraz dla natężenia pola E .

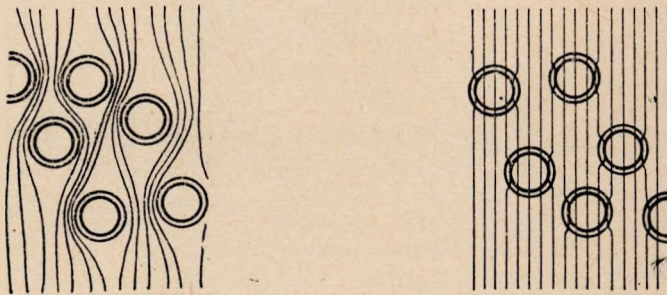
Sprawa ta wiąże się z innym przenikaniem w głąb organizmu pola szybkozmiennego, wytwarzanego przez falę bieżącą, która w znacznym

stopniu odbija się od powierzchni ciała, oraz pola szybkozmiennego typu kondensatorowego. Penetracja linii takiego pola przedstawiona jest na rys. 15.

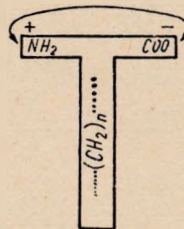


Przy falach średnich i długich

Przy falach krótkich i ultrakrótkich



W środowisku erytrocytów



*Drgania Debye'a
w polu szybkozmiennym*

Rys. 15. Penetracja pola kondensatorowego

W całości, figurujące w tablicy dane nie stwarzają warunków zbyt uciążliwych lub zbyt kosztownych dla użytkowników urządzeń wielkiej czę-

stotliwości i stanowią rozsądną podstawę do przeprowadzenia akcji zmniejszenia szkodliwości, związanej z przebywaniem ludzi w polach szybkozmiennych.

5. POMIARY POLA SZYBKOZMIENNEGO

Człowiek obsługujący urządzenia wielkiej częstotliwości jest narażony na działanie pola szybkozmiennego, którego charakter i związana z tym metoda pomiaru są różne w każdym z trzech następujących przypadków:

a) gdy przeważa pole kondensatorowe (w pobliżu anteny lub urządzeń nadawczych),

b) gdy przeważa pole indukcyjne (w pobliżu cewek z prądami szybkozmiennymi),

c) gdy przeważa pole promieniowania (z dala od układów promieniujących), czyli gdy występuje płaska bieżąca fala.

Jedynie w przypadku c) można stosować wzór Poyntinga, wiążący natężenie pola elektrycznego E V/m z gęstością mocy P watów, która trafia na powierzchnię S m², czyli

$$P = \frac{E^2}{120\pi} S$$

Do pomiaru P lub E nadają się wówczas klasyczne mierniki z anteną ramową dla fal średnich, krótkich i metrowych lub z anteną tubową dla fal centymetrowych (rys. 16). Stosunek pola elektrycznego do magnetycznego posiada w tym przypadku wartość stałą ($120\pi = 377 \Omega$ w układzie jednostek MKS).

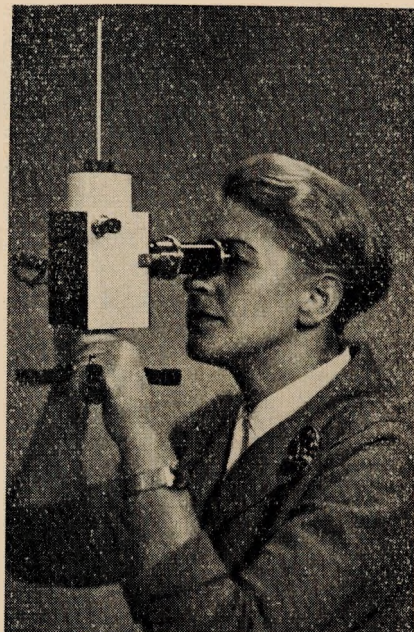
Jednakże w pomieszczeniach zamkniętych mamy przeważnie do czynienia z polem kondensatorowym, dla którego wymienione powyżej zależności nie obowiązują i użycie klasycznych mierników pola prowadzi do bardzo dużych błędów. Znacznie lepsze rezultaty daje wówczas zastosowanie mierników typu Q-metr z woltomierzem lampowym lub elektrostatycznym oraz z niewielką anteną prętową (rys. 17). Przyrządy w tym układzie zostały wprowadzone przy tych badaniach do techniki pomiarowej pola elektromagnetycznego w roku 1955. Jest rzeczą bardzo ważną, że woltomierz elektrostatyczny z małym mikroskopem umożliwia znaczną miniaturyzację całego miernika przy równoczesnym uniezależnieniu go od sieci oświetleniowej; pozwala to z kolei na szybki i dogodny pomiar natężenia pola w pobliżu głowy osoby przeprowadzającej pomiary.

Należy tu nadmienić, że z punktu widzenia oddziaływania fal radiowych na ośrodki nerwowe (*hypothalamus*) bardziej niekorzystnie przedstawia się pole kondensatorowe niż pole wytwarzane przez falę bieżącą.

Przyczyna leży w tym, że pole kondensatorowe silnie wnika w głąb mózgu i przy wyższych częstotliwościach ulega w nim nawet koncentracji, podczas gdy fala bieżąca w znacznym stopniu odbija się od zewnętrznej powierzchni ciała.



Rys. 16. Aparatura do pomiaru gęstości mocy na falach centymetrowych



Rys. 17. Pomiar natężenia pola szybkozmennego w pobliżu głowy za pomocą miernika w układzie Q-metru z woltomierzem elektrostatycznym i antenką prętową

Nie ulega wątpliwości, że sprawa użycia właściwego sprzętu pomiarowego odgrywa istotną rolę w ustaleniu i spełnieniu dopuszczalnych wartości pola szybkozmennego z punktu widzenia zredukowania jego szkodliwości dla człowieka.

Dokonanie wyboru odpowiedniej metody pomiarowej oraz odpowiedniego sprzętu pomiarowego jest podyktowane znajomością zachodzących zjawisk fizycznych. Konkretnie należy tu rozważyć zjawiska fizyczne towarzyszące promieniującemu dipolowi na różnych odległościach.

Dla uproszczenia rozpatrzmy promieniujący dipol elementarny.

Definicja elementarnego dipola określa go jako antenę prostoliniową, krótką w porównaniu z długością fali, w której to antenie istnieje jednorodny rozkład przepływającego prądu. Przepływający przez dipol prąd sinusoidalnie zmienny powoduje powstawanie wokół niego sinusoidalnie zmiennych pól elektrycznych i magnetycznych. Pola te mają inny charakter w pobliżu dipola i inny na dużej od niego odległości.

Rozpatrzmy kolejno poszczególne obszary promieniowania.

A. Obszar bliski — rozciąga się w odległości $r \ll \frac{\lambda}{2\pi}$, gdzie λ jest długością fali.

W obszarze tym wektory pola elektrycznego i magnetycznego są przesunięte w fazie prawie o 90° . Oznacza to, że w ciągu jednego półokresu energia wypływa z dipola, w ciągu zaś drugiego półokresu powraca do dipola. Zatem w pobliżu dipola strumień energii jest prawie bezwzględnie zerowy.

Jak z tego wynika, ta część energii, która jest w rzeczywistości wypromieniowana z dipola, jest nieporównanie mała z ilością energii pola niepromieniowanego. Dlatego też w obszarze bliskim — z punktu widzenia wartości pola — można pominąć promieniowanie E .

Istnieje tutaj głównie pole elektryczne typu kondensatorowego.

W obszarze bliskim stosunek modułów składowych pola przedstawia się następująco:

$$\frac{E\varphi}{H} = \frac{\lambda}{2\pi r} \cdot z$$

gdzie:

$E\varphi$ — natężenie pola elektrycznego,

H — natężenie pola magnetycznego,

λ — długość fali,

z — opór falowy wolnej przestrzeni.

B. Obszar przejściowy — rozciąga się w promieniu r , który jest porównywalny ze stosunkiem $\frac{\lambda}{2\pi}$. W tym obszarze muszą być brane pod uwagę zarówno pole kondensatorowe, jak i pole promieniowane.

C. Obszar daleki — zwany obszarem promieniowania — rozciąga się w odległości $r \gg \frac{\lambda}{2\pi}$.

W tym obszarze wektory pola elektrycznego i magnetycznego pozostają w fazie i są do siebie prostopadłe. Przepływ energii odbywa się wzdłuż kierunków wychodzących z dipola i gubiących się w nieskończoności.

Stosunek składowych pól wyraża się dla tzw. fali płaskiej następującym wzorem:

$$\frac{E}{H} = 120 \pi = 377 \Omega$$

Z powyższych rozważań dotyczących zjawisk fizycznych, zachodzących w poszczególnych obszarach rozciągających się wokół promieniującego dipola, należy zapamiętać, że:

1) dla obszaru bliskiego stosunek składowych pola

$$\frac{E}{H} = \frac{\lambda}{2\pi r} \cdot z$$

2) dla obszaru promieniowania

$$\frac{E}{H} = 120\pi = 377\Omega$$

Wiąże się to ściśle z pomiarami natężenia pola. Dla obszaru bliskiego obowiązują inne związki fizyczne niż dla obszaru promieniowania. Dlatego też należy rozróżniać metody pomiarowe.

Wykonywanie pomiarów w obszarze bliskim odbywa się zazwyczaj w pomieszczeniach radionadawczych, np. w sali aparatuwej. Znamiennej rzeczą jest fakt, że struktura pola szybkozmennego w tych pomieszczeniach zupełnie nie odpowiada tzw. fali płaskiej, z jaką mamy do czynienia w dużych odległościach od źródła promieniowania, której natężenie pola mierzy się zazwyczaj urządzeniem ramowym. Chodzi o to, że przy fali płaskiej występuje określony stosunek wektora elektrycznego do magnetycznego, jak już było powyżej podane, i wynosi

$$\frac{E}{H} = z = 120\pi$$

W przypadku fali płaskiej (pole promieniowania) wystarczy zmierzenie jednego z tych wektorów, ażeby zdawać sobie sprawę co do wartości pola. W pomieszczeniu radiostacji stosunki wymienionych wektorów w każdym miejscu kształtują się inaczej, ponieważ pole jest wynikiem wielu promieni biegnących z różnych stron po odbiciu się od ścian, obiektów i ludzi.

Daje to efekty fali stojącej, przy których w miejscach strzałki napięcia mamy do czynienia z polem typu kondensatorowego.

Poza tym pole to bywa zagęszczone przez najrozmaitsze masy metalowe, znajdujące się w pomieszczeniu stacyjnym, które również sprzyjają pojawianiu się pola typu kondensatorowego. Przede wszystkim zaś należy uwzględnić tę okoliczność, że pole w tych przypadkach jest głównie polem elektrycznym, w porównaniu z którym pole magnetyczne może posiadać bardzo małą wartość. Wobec tego nie można stosować tych samych przeliczeń pola elektrycznego na podstawie pola magnetycznego, pomierzonego miernikiem pola z anteną ramową, ponieważ przeliczenie to opiera się na wzorze Poyntinga i jako takie dla strefy pobliskiej jest niemiarodajne, gdyż $\frac{E}{H} \neq 120\pi$, natomiast jak już było wspomniane, wynosi

$$\frac{E}{H} = \frac{\lambda}{2\pi r} \cdot z$$

W najprostszym przypadku pomiar może odbywać się elementarną anteną, reagującą na pole elektryczne, tzw. dipolem.

Na zakończenie powyższego warto sformułować następujące wnioski praktyczne, dotyczące pomiarów natężenia pola w bliskiej odległości:

A. Dla fal długich, średnich, krótkich i ultrakrótkich aż do fal metro-
wych należy mierzyć natężenie pola, a nie gęstość mocy przeliczoną ze wzoru Poyntinga.

B. Dla fal krótszych od około 1 metra właściwiej jest mierzyć gęstość
mocy w oparciu o wzór Poyntinga; przemawiają za tym zarówno względy
konstrukcyjne wymiarów miernika, jak i fakt występowania silnych pól
wypromieniowanych.

6. WNIOSKI

Poglądy na mechanizm szkodliwego oddziaływania pól szybkozmiennych uległy w ostatnich latach znacznym przeobrażeniom na skutek postępu w badaniach fizyki, chemii i biologii.

Sprawę tę nie można jednak traktować jako ostatecznie zamkniętą i odnośnie badania powinny być kontynuowane w skali krajowej.

W związku z powyższym przyjęte przez Stację Sanitarno-Epidemiologiczną przepisy co do dopuszczalnych wartości natężenia pola mają charakter danych tymczasowych, mających na celu unikanie zaburzeń nieodwracalnych oraz poważniejszych zaburzeń odwracalnych.

Jak wynika z powyżej przytoczonego materiału, kierunek naszych badań i uzyskane dyrektywy co do budowy mierników pokrywają się z badaniami radzieckimi.

WYNIKI BADAŃ DRA LEMPKEGO W LATACH 1960/1961

Badania lekarskie, przeprowadzone w ostatnim kwartale 1960 roku oraz częściowo w styczniu 1961 roku pod kierunkiem dra *Lempkego*, dotyczą sześciu wybranych pracowników jednej z radiostacji krótkofalowych.

Pracowali oni w polach szybkozmiennych od 6 do 14 lat. Skargi subiektywne, wymieniane przez poszczególnych pracowników, są następujące: pobudliwość, bóle głowy. W czasie pracy miewali uczucie nagrzewania się różnych okolic skóry oraz ataki wzmożonego pragnienia. Występuje wzmożone pocenie się. Pod koniec pracy „człowiek czuje się oszołomiony, rozbity, otępiały”. Po pracy uczucie silnego osłabienia, złe samopoczucie, senność. Występują też zaburzenia snu oraz sensacje ze strony serca.

Po całonocnej pracy uczucie ciężaru i napięcia w okolicy karku „jak gdyby coś ściągało kręgi”. Po każdym urlopie istnieją trudności przystosowania się do warunków pracy.

Badania laryngologiczne wykazały u większości przekrwione migdałki podniebienne.

Badania okulistyczne wykazały prawie u wszystkich przekrwienie i powiększenie spojówek gałkowych lub powiekowych. U dwóch osób stwierdzono w soczewce ocznej we wszystkich warstwach widoczne drobne, punkcikowate zmętnienia. U jednego z sześciu przebadanych soczewki obu oczu bardzo delikatnie opalizują.

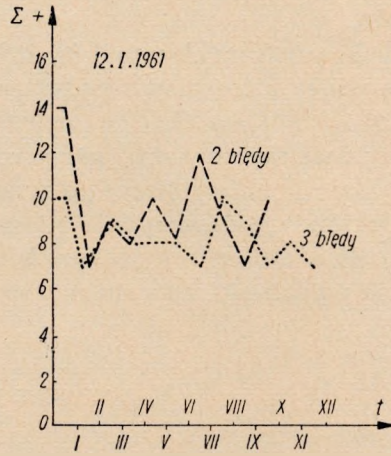
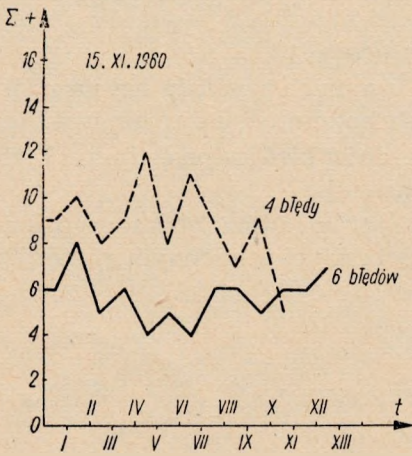
Pięć spośród sześciu wymienionych osób, stanowiących jedną zmianę dyżurną na radiostacji, poddano testowi Kraepelina na tzw. „męczliwość”.

Test Kraepelina polega na tym, że badany zlicza kolumny cyfr, przy czym co minutę określa się ilość zsumowanych przez niego kolumn. Tę samą czynność powtarza się z badanym dwukrotnie w ciągu jednego badania.

Badania przeprowadzono w dwóch seriach:

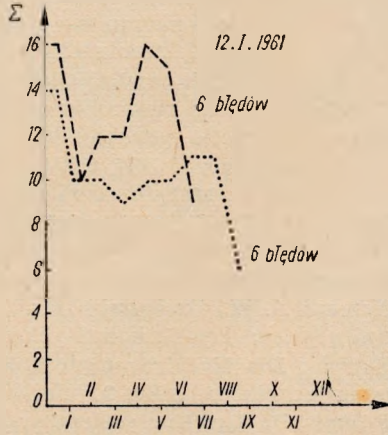
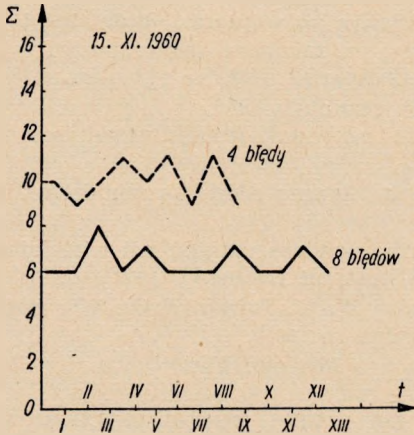
I seria przed rozpoczęciem dyżuru nocnego i po jego zakończeniu, II seria przed dyżurem dziennym o godzinie 8,30 i w połowie dyżuru, wliczając w to przerwę obiadową, tj. o godz. 15,30.

a)



Badany P-cki, radiotechnik, 8 lat pracy

b)



Badany K-ski, radiotechnik, 9 lat pracy

----- przed przystąpieniem do pracy
 ————— po dyżurze nocnym na radiostacji
 po " dziennym "

Rys. 18. Testy Kraepelina na zliczanie kolumn cyfr (wg dra Lempkego)

Po każdej z tych operacji oblicza się ilość błędów, która obok szybkości liczenia także rzuca światło na wydolność umysłową badanego obiektu.

Próbki uzyskanych wyników ilustruje rys. 18.

Jak widać z tego rysunku, u osób badanych wydłuża się na ogół czas reakcji i zmniejsza ilość zsumowanych kolumn w ciągu minuty. Równocześnie daje się zauważyć zwiększenie ilości błędów po dyżurze. Zjawisko to występuje najwybitniej po pracy nocnej.

Całokształt badań wydaje się wskazywać (mimo braku grup kontrolnych), że u osób przebywających w polu szybkozmiennym następuje obniżenie wydolności aparatu mózgowego.

WYKAZ LITERATURY

1. *Andrijaszewa N. M.*: O profwriednosti U.W.Cz.U.K.W. i zaszcitnych mieroprijatijach. Biologiczeskoje diejstwije ultra wysokiej czastoty. Moskwa 1937.
2. *Anikin*, *Warszawer*: Osnovy fizjoterapii. 1950.
3. *Blair William M.*: Some Radio Waves Kill when Beamed At Monkey's Brain. *New York Times* 26. 4. 1959.
4. *Dänzer, Hollman, Rajewsky, Schaeffer, Schliephake*: Ultrakurzwellen in ihren medizinischbiologischen Anwendungen. Leipzig 1938.
5. *Gordon W.*: Itogi naucznowo sowieszczanija po woprosam dozimetrii i gigeniczskoj ocienki elektromagnitnych polej pri rabotie s gienieratorami wysokich i swierchwysokich czastot. Gigijena i Sanitarija, 1955, nr 11.
6. *Korolkowa W. I.*: Elektrobiezopasnost'. Oborongiz 1956.
7. *Kostin*: Wlijanije ultrakorotkich wołn na pronicajemnost' kapilarow. Trudy Instituta Fizjologii, 1947, t. IV.
8. *Manczarski S.*: Metody zapobiegania szkodliwemu oddziaływaniu fal radiowych. *Prace CIOP*, 1953, r. III, z. IV.
9. *Manczarski S., Mikke D.*: Systematyczne pomiary natężeń pól wielkiej częstotliwości na radiostacjach nadawczych. Instytut Łączności, 1958.
10. *Netusził A. W., Zuchowski B. J., Kuden W. N., Parinin E. P.*: Wysokoczastotnyj nagriew dielektrikow i połuprowodnikow. 1959.
11. *Pätzold*: Die Hochfrequenztechnik in der Medizin. *Fortschritte der Hochfrequenztechnik*, 1945, Bd. 2.
12. *Pflomm E.*: Zur Kurzwellentherapie. *Zbl. f. Chir.*, 1934, 61, 2557.
13. *Presman A. S.*: Metody zaszcitoty ot diejstwija elektromagnitnych poliej radiozczastot w proizwodstwiennych usłowijach. Gigijena i Sanitarija, 1958, I.
14. *Szubnikow A.*: Piezoelektriczeskije tekstury. 1946.
15. *Teuchmann I. K.*: Wpływ pola elektromagnetycznego na organizm ludzki. *Ochrona Pracy*, 1959, nr 11—12.
16. *Walawski H.*: Prądy wysokiej częstotliwości w biologii i lecznictwie. *PZWL* 1952.
17. *Williams R. J.*: *Biochemical Individuality*. 1956.
18. *Elektronika w medycynie*. Moskwa 1960.
19. *Blakely C. E. and Bailey R. N.*: Making Transmitters RFI. *Free Electronics Industries*. March 1960, s. 138.

20. *Jaski T.*: Radio-waves and life. Radio Electronics, 1960. Vol. XXXI, No 9.
21. Min. Radiotechnicznej Promyslnosci SSRR, Biuro Technicznej Informacji. Informacja: Profilaktyczeskije i zaszczytnyje mieroprijatija pri rabocie z gienieratorami santimetrowych wołn. Moskwa 1956.
22. *Herrick F., Krusen F. H.*: Problems which are challenging investigators in medicine-IRE Trans. on Medical Electronics, GGME-4, February 1956, s. 10.
23. Gigijena i Sanitarija: Metody zaszczyty od diejstwija elektromagnitnych poliej radioczastot w proizwostwiennych usłowijach. 1958 I.
24. *Walawski H.*: Prądy wielkiej częstotliwości w biologii i lecznictwie. PZWL 1952.
25. *Berg A. I.*: Elektronika w medycynie. 1960.
26. *Magoun H. W.*: The waking brain. 1958.
27. *Von Hippel A. R.*: Molecular science and molecular engineering. 1959.
28. *Wolkensztein M.*: Molekuły i ich strojenie. 1955.
29. *Franke H. W.*: Magie der Moleküle. 1858.
30. *Manczarski S.*: Szkodliwości związane z przebywaniem człowieka w polach szybkozmiennych. Zdrowie Publiczne. 1960, nr 6.

C. Манчарски, Д. Микке

ИССЛЕДОВАНИЕ ВРЕДНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ В. Ч. ПОЛЕЙ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА

Резюме

В статье синтетически представлены вопросы, касающиеся пребывания человека в высокочастотных полях.

Рассмотрены поочередно следующие темы:

1. История вопроса.
2. Симптомы болезни.
3. Биологическое воздействие высокочастотных полей.
4. Допускаемые значения поля.
5. Измерения высокочастотного поля.

В работе резюмирован опыт по данному вопросу накопленный у нас и в других странах, а также рассмотрены специфические свойства вышеуказанной проблемы в польских условиях.

S. Manczarski, D. Mikke

STUDY OF HARMFUL EFFECTS OF HIGH FREQUENCY FIELDS ON HUMAN BODY

Summary

The paper deals in a general manner with the problems of harmful effects of high frequency fields on human body.

The following items are discussed in particular:

- 1) the history of the problem,

- 2) morbid symptoms,
- 3) biological effects of high frequency fields,
- 4) admissible values of a high frequency field,
- 5) measurements of high frequency fields.

In the article there are given observations gathered in Poland and abroad and shown some problems specific for Polish conditions.

S. Manczarski, D. Mikke

LES RECHERCHES SUR L'INFLUENCE NUISIBLE DES CHAMPS DE FREQUENCE ELEVEE SUR L'ORGANISME HUMAIN

R e s u m é

L'article examine d'une manière générale le problème de l'influence nuisible des champs de fréquence élevée sur l'organisme humain.

En particulier sont traitées les questions suivantes:

- 1) l'histoire du problème,
- 2) les symptômes malades,
- 3) les effets biologiques des champs de fréquence élevée,
- 4) les valeurs admissibles du champ de fréquence élevée,
- 5) les mesures des champs de fréquence élevée.

Dans cet article sont ensuite groupées les observations faites dans ce domaine en Pologne et à l'étranger, en outre sont examinés les problèmes caractéristiques dans les conditions polonaises.

S. Manczarski, D. Mikke

UNTERSUCHUNG DER SCHÄDLICHEN BEEINFLUSSUNG DES MENSCHLICHEN ORGANISMUS DURCH HOCHFREQUENZFELDER

Z u s a m m e n f a s s u n g

Der Aufsatz bespricht zusammenfassend die Fragen der Schädlichkeit des Aufenthalts von Menschen in Hochfrequenzfeldern.

Es werden nacheinander folgende Angelegenheiten besprochen:

- 1) Geschichte der Frage,
- 2) pathologische Symptome,
- 3) biologische Wirkung von Hochfrequenzfeldern,
- 4) zulässige Feldwerte,
- 5) Messung eines Hochfrequenzfeldes.

In dem Aufsatz werden in- und ausländische Beobachtungen auf diesem Gebiet zusammengefasst sowie das Eigenartige der Frage unter den Bedingungen Polens erwogen.

Cena zł 25.—