

PRZEMYSŁOWY INSTYTUT AUTOMATYKI I POMIARÓW
MERA-PIAP
Al. Jerozolimskie 202 02-222 Warszawa Telefon 23-70-81

074 - Ośrodek Badań Niezawodności i Jakości

Grupa Problemowa d/s Kompatybilności Elektromagnetycznej

Główny wykonawca

Wykonawcy mgr inż. Cz. Godzisz
tech. K. Tekieli

Konsultant mgr inż. M. Nawrot

Nr zlecenia
RP-207

Identyfikacja zakłóceń i określenie wymagań kompatybilności elektromagnetycznej /KEM/ dla obwodu zasilania robota przemysłowego.
Zadanie 1.1. Analiza stosowanych metod i aparatury do pomiaru zakłóceń EM w obwodzie zasilania robota.
Określenie wymagań na kompletowaną aparaturę.

Zlecający CPBR 7.1

Praca rozpoczęto dnia 86.04.01

Kierownik Gr.Pr.

Z-ca Dyrektora
d/s Pomiarów

zakończono dnia 86.11.30

Kierownik OBN

mgr inż. Cz. Godzisz

dr inż. J. Winiecki

dr inż. St. Budzyński

Praca zawiera:

Rozdzielnik - ilość egz:

stron 29

Egz. 1 BOINTE

rysunków 7

Egz. 2 OBN

fotografii

Egz. 3 OBN

tabel 6

Egz. 4

tablic

Egz. 5

załączników

Egz. 6

Nr rejestr. 5734

Uwaga: Nie udostępniać.

Analiza deskryptorowa

AUTOMATYKA I POMIARY PRZEMYSŁOWE: ROBOTY PRZEMYSŁOWE; KOMPATYBILNOŚĆ
ELEKTROMAGNETYCZNA + ZASILANIE + POMIAR ZAKŁÓCEN ELEKTROMAGNETYCZNYCH

Analiza dokumentacyjna

Opracowanie zawiera analizę stosowanych metod i aparatury pomiarowej do pomiaru zakłóceń występujących w obwodzie zasilania sieciowego robota. Wyróżniono następujące rodzaje zakłóceń: dynamiczne zmiany napięcia sieci; zmiany częstotliwości; zakłócenia impulsowe /szerokopasmowe/, zakłócenia wąskopasmowe /harmoniczne/, określono parametry charakteryzujące zakłócenia oraz zaproponowano zestaw produkowanej aparatury niezbędnej do wykonania pomiarów. Omówiono zagadnienie przygotowania i obróbki informacji pomiarowej.

Tytuły poprzednich sprawozdań

UKD

PIAP-252/83-6000

SPIS TREŚCI

	str.
1. Wprowadzenie	1
2. Ogólna charakterystyka sieci energetycznej jako źródła zakłóceń urządzeń	2
3. Parametry charakteryzujące zakłócenia w sieci energetycznej	6
4. Metody i urządzenia do pomiaru zakłóceń	9
4.1. Urządzenia do pomiaru dynamicznych zmian napięcia sieci	14
4.2. Urządzenia do pomiaru zakłóceń o charakterze impulsowym	17
4.3. Urządzenia do pomiaru zakłóceń wąskopasmowych	20
5. Przygotowanie i obróbka informacji pomiarowych	22
6. Wybór aparatury pomiarowej	24
7. Wnioski	28
8. Wykaz literatury	29

1. Wprowadzenie

Podstawowym parametrem technicznym charakteryzującym zdolność poprawnej pracy robota przy zakłóceniach występujących w jego obwodzie zasilania sieciowego jest odporność robota na zakłócenia sieciowe. To stwierdzenie wynika z badań zakłócalności i doświadczeń aplikacyjnych systemów cyfrowych automatyki i robotów przemysłowych oraz z powszechnie znanej oceny, że przemysłowa sieć energetyczna jest głównym źródłem zakłóceń urządzeń.

Złożony charakter zakłóceń występujący w sieciach powoduje, że poziom odporności robota określa się dla kilku umownych /standardowych/ sygnałów zakłócających /patrz PN-86/E-0660/.

Przy formułowaniu założeń technicznych należy określić wymagania techniczne dotyczące KEM, w tym określić wymagane poziomy odporności. Zgodnie z wyżej wymienioną PN poziom odporności i umowne sygnały zakłócające powinny być określone na podstawie wyników pomiarów zakłóceń przeprowadzonych w miejscu pracy urządzenia. W przypadku braku informacji o zakłóceniach środowiska norma zaleca wybór wykonania urządzenia według jakościowego podziału środowisk /zakłócenia środowiska: b.niskie, niskie, średnie, wysokie i specjalne/. Podziału tego dokonano przy uwzględnieniu przeciętnych warunków środowiskowych i spotykanych w praktyce wykonaniach instalacji obwodów zewnętrznych urządzenia. Norma zastrzega, że podział ten jest arbitralny, ilościową charakterystykę tych środowisk powinny określić normy przedmiotowe. Sformułowania w normie wynikają z braku pełnych informacji z pomiarów zakłóceń występujących w typowych środowiskach. Podobna sytuacja występuje również w dokumentach normalizacyjnych międzynarodowych IEC, RWPG. W kraju nie były prowadzone badania zakłóceń środowisk. W literaturze zagranicznej spotykane ilościowe charakterystyki zakłóceń nie są pełne, bliżej problem ten przedstawiono w p. 2.

Celem pracy jest wykonanie pomiarów zakłóceń występujących w typowych sieciach elektroenergetycznych środowisk przemysłowych i na podstawie tych wyników dokonanie weryfikacji i uściślenia wymagań i metod badań dla normy przedmiotowej na roboty przemysłowe.

Wyniki pracy wypełnią powstałą lukę informacyjną, umożliwią efektywny wybór wymagań na urządzenie, tym samym zapewnią wzrost niezawodności urządzeń automatyki pracujących w środowisku przemysłowym.

4

Praca została podzielona na kilka etapów realizacji, główne to:

- . analiza stosowanych metod i aparatury do pomiaru zakłóceń w sieciach
- . kompletacja i uruchomienia aparatury
- . wykonanie pomiarów zakłóceń w sieci dla 3 różnego typu zakładów przemysłowych gdzie będą stosowane roboty przemysłowe
- . opracowanie wyników pomiarów
- . wybór umownych sygnałów zakłócających i metod symulacji, które w badaniach najwierniej odwzorowują rzeczywiste warunki zakłóceń
- . opracowanie wymagań i metod badań do normy przedmiotowej na roboty przemysłowe.

Niniejsze sprawozdanie dotyczy pierwszego etapu. Konieczność wykonania analizy metod i aparatury stosowanej przy pomiarach zakłóceń w sieci wynika ze złożonego charakteru zakłóceń.

Przykładowo amplituda zakłóceń może zmieniać się od mV do kilku kV, czas trwania zakłóceń od kilkunastu nanosekund do kilkunastu sekund, częstotliwość zakłóceń od częstotliwości niższych od częstotliwości sieci do GHz. Wymaga to zastosowania specjalizowanej aparatury pomiarowej, głównie zagranicznej z drugiego obszaru płatniczego.

Na podstawie przeprowadzonej analizy metod i stosowanych urządzeń pomiarowych, informacji katalogowych różnych firm, postawionych wymagań, dokonano wyboru zestawu urządzeń umożliwiającego wykonanie pomiarów zakłóceń w sieci energetycznej.

Dalsze etapy pracy uzależnione są od terminowej realizacji zakupu wybranej aparatury.

2. Ogólna charakterystyka sieci energetycznej jako źródła zakłóceń urządzeń

Zakłócenia sieci elektroenergetycznej są głównym źródłem zakłóceń urządzeń cyfrowych.

Teza ta została postawiona w pracach [6, 7] i potwierdzona w praktyce. Niezadowalająca jakość energii zasilania jest powodem przekłamań danych i transmisji informacji, błędnego funkcjonowania urządzeń i systemów, a nawet uszkodzeń.

Zakłócenia w sieci elektroenergetycznej pochodzą od stanów nieustalonych wywołanych od wewnętrznych procesów komutacyjnych i od oddziaływań zewnętrznych /np. wyładowań atmosferycznych/. Zwykle występujące w sieci zakłócenia /anomalie/ dzieli się na zakłócenia o charakterze wolnozmiennym, zakłócenia o charakterze szerokopasmowym /impulsowe/ oraz zakłócenia wąskopasmowe /harmoniczne/.

Charakter występujących zakłóceń jak również ich intensywność i częstość występowania związana jest z rodzajem sieci, rodzajem użytkowników, charakterem obciążeń.

Do zakłóceń o charakterze wolnozmiennym zalicza się dynamiczne zmiany napięcia zasilania: obniżenia /sags/, podwyższenia /surges/, zaniki napięcia /outages/ oraz zmiany /fluktuacje/ częstotliwości. Są one wywołane głównie załączaniem i wyłączaniem obciążeń i linii, działaniem automatyki energetycznej.

- Zakłócenia o charakterze impulsowym wywołane są iskrzeniem /glitches/ przy przełączaniach w sieci, krótkotrwałymi zwarciami, przyłączeniem kondensatorów poprawiających współczynnik mocy, wyłączaniem obciążeń o charakterze indukcyjnym, wyładowaniami atmosferycznymi.

W grupie zakłóceń wąskopasmowych /electrical noise/ występują zakłócenia radioelektryczne /dla częstotliwości powyżej 10 kHz/ oraz zakłócenia niskoczęstotliwościowe /głównie składowe harmoniczne sieci w zakresie do kilku kHz/.

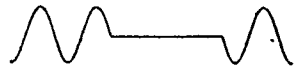
Zakłócenia te pochodzą od emisji radiowych, radaru, wyładowań niezupełnych na izolatorach i izolacji głównej systemu energetycznego, pracy urządzeń przetwarzających energię, tyrystorowych sterowników mocy, nieliniowego charakteru obciążeń itp.,

W celu zapoznania czytelników z nazewnictwem anglosaskim przytoczono za [10] tabelę /rys. 1/.

Brak jest pełnych informacji o parametrach występujących zakłóceń w różnych rodzajach sieci i dla różnych użytkowników. Zebrane i cytowane z różnych publikacji wyniki pomiarów np. w pracach [2,3,6,7,9,10] nie mogą być bezpośrednio wykorzystywane i porównywane, a to z racji różnych technik pomiarowych /nie zawsze opisanych w dostatecznym stopniu/, różnych celów ich przeznaczenia, przykładowo do reklamy środków przeciwzakłóceńowych, zbyt ogólnikowego potraktowania parametrów głównie w celu ilustracji problematyki zakłóceń.

Opublikowane wyniki pomiarów pozwalają jednak na określenie parametrów charakteryzujących każdy rodzaj zakłóceń jak również oszacować ich przedziały zmienności.

Interesujące są wyniki badań i obserwacji niektórych firm zachodnich [10,11] dotyczące wpływu poszczególnych rodzajów zakłóceń na działanie urządzeń komputerowych. Umożliwiają one uszeregować rodzaje zakłóceń sieciowych w zależności od liczby spowodowanych zakłóceń pracy komputerów.

Type of Disturbance	Origin	Resulting Computer Problem
Electrical Noise 	• Atmospheric Conditions • Radar, Radio Signals • Arcing Equipment • Switching Apparatus	• Individual Data Bits Changed • Data Altered
Spikes 	• Lightning • Power Line Feeder Switching • Power Factor Capacitor Switching • Turn Off of Heavy Motors	• Data Altered, Wiped Out • Circuits Damaged
Surges 	• Sudden Load Decreases • Switching of Feeder Lines	• Data Altered • Equipment Shuts Down
Sags 	• Lightning • Turn-On of Heavy Loads	• Data Altered • Equipment Heats Up Excessively, Leading to Early Failure • Computer Shuts Down
Giliches 	• Power Line Feeder Switching • Circuit Breaker Reclosing • Brief Short-Circuits	• Disk Heads Crash • Data Altered • Equipment Shuts Down
Outages 	• Accidents Involving Power Lines • Transformer Failures • Generator Failures	• Disk Heads Crash • Data Altered • Equipment Shuts Down
Frequency Deviations 	• Generator Instabilities • Huge Load Changes	• Data Altered • Disks Shut Down

Rys.1. Rodzaje zakłóceń sieciowych

W pracy [11] podano wyniki obserwacji niepoprawnej pracy komputerów od zakłóceń sieciowych wykonane przez firmę IBM. Dla 72 % przypadków zakłócenie komputera spowodowane było zakłóceniami o charakterze impulsowym, dla 27 % przypadków obniżeniami i podwyższeniami napięcia sieci, dla ok. 1 % zanikami napięcia sieci. Podobne dane z badań długoterminowych tej firmy cytowane są w ulotce reklamowej firmy TOPAZ [9]. Stwierdzono, że komputer jest narażony średnio 128,3 razy w miesiącu na zakłócenia przekraczające jego odporność. W tym 49 % to zakłócenia łączeniowe typu oscylacyjnego /póchozące od komutacji kondensatorów korygujących współczynnik mocy, komutacji sieciowych i obciążeń/, 39,5 % to zakłócenia impulsowe o dużej energii /pochodzące od wyładowań atmosferycznych, komutacji sieciowych i urządzeń użytkowników/, 11 % to obniżenia o czasie dłuższym od pół okresu sieci /pochodzące od łączenia dużych obciążeń, zwarć i wyłączania zwarć/, 0,5 % to zaniki o czasie dłuższym od pełnego cyklu napięcia sieci /pochodzące od zwarć w sieciach użytkownika, przebieg w urządzeniach przetwarzających energetycznych/.

Inny udział zakłóceń sieciowych w niepoprawnej pracy systemów przetwarzania danych podano w [10]. W 87 % przypadków zakłócenia były spowodowane obniżeniami napięcia, 7,5 % zakłóceniami impulsowymi, 4,7 % zanikami, ok. 0,8% podwyższeniami napięcia. Wyraźna różnica w udziale zakłóceń impulsowych dla komputerów i systemów przetwarzania jest prawdopodobnie spowodowana błędem w opisie diagramu w [10].

Uwzględniając informacje z pomiarów zakłóceń zebrane w pracach [2,9] rodzaje zakłóceń, poczynając od zakłóceń powodujących najliczniejsze zakłócenia w pracy systemów cyfrowych, można uszeregować następująco:

- zakłócenia o charakterze impulsowym /impulsy pojedyncze, serie impulsów/
- zakłócenia spowodowane dynamicznymi zmianami napięcia sieci /obniżenia, zaniki, podwyższenia napięcia/
- zakłócenia wąskopasmowe /składowe harmoniczne sieci, zakłócenia radioelektryczne z zakresu 10 kHz do kilkuset MHz/
- fluktuacje częstotliwości sieci.

Analiza dostępnych wyników pomiarów wskazuje, że dwa pierwsze rodzaje zakłóceń powodują blisko 99 % przypadków zakłóceń, stanowią główną grupę najgroźniejszych zakłóceń.

Wynika stąd wniosek, że przy rozpatrywaniu metod i aparatury pomiarowej szczególną uwagę należy zwrócić na poprawny pomiar parametrów dla zakłóceń o charakterze impulsowym i dynamicznych zmian napięcia sieci.

Pozostałe rodzaje zakłóceń nie stanowią znaczących narażeń i nie powinny mieć decydującego wpływu na dobór aparatury pomiarowej.

3. Parametry charakteryzujące zakłócenia w sieci energetycznej

Źródło zakłóceń określone jest przez charakter i parametry generowanych zakłóceń oraz impedancję źródła.

W tabeli 1 podano parametry opisujące każdy rodzaj zakłóceń oraz zakresy wartości tych parametrów określone na podstawie informacji zamieszczonych w dostępnej literaturze. Należy zwrócić uwagę na znaczne rozpiętości wartości parametrów co musi znaleźć odzwierciedlenie w dynamicznych zakresach aparatury pomiarowej.

W zakresie częstotliwości radiowych, od 10 kHz do 30 MHz, typowe wartości impedancji sieci są znane. Na rys. 2 przedstawiono pomierzone średnie moduły wartości impedancji. Dla porównania na rysunku podano impedancje charakterystyczne sieci sztucznych stosowanych przy pomiarach zakłóceń radioelektrycznych emitowanych przez urządzenia. Z porównania impedancji sieci rzeczywistej i sieci sztucznej wynika, że jedynie przewidywana przez CISPR sieć sztuczna 50 ohm/50 μ H jest zbliżona do realnych właściwości sieci. Zalecana przez PN sieć sztuczna 150 ohm nie odwzorowuje właściwie impedancji rzeczywistych sieci.

Dla częstotliwości poniżej 10 kHz znana literatura nie podaje informacji o pomierzonych wartościach impedancji sieci. Jedynie dokument IEC [4] przy pomiarach zaleca stosować umowną impedancję systemu zasilania w zakresie do 40 harmonicznej sieci /maksymalnie do 100 harmonicznej/ określoną dla przewodu fazowego jako

$R_A = 0,24 \text{ ohm}$ i $X_A = 0,15 \text{ ohm}$ przy 50 Hz
oraz dla przewodu zerowego odpowiednio

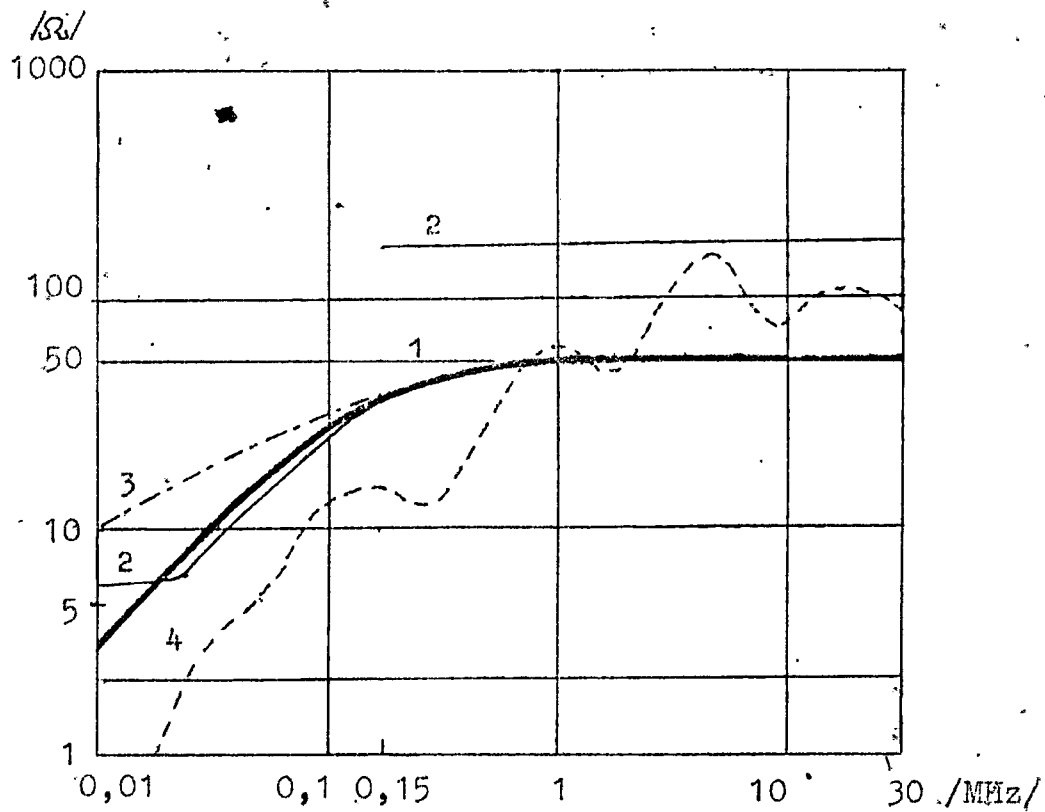
$R_N = 0,16 \text{ ohm}$ i $X_N = 0,10 \text{ ohm}$ przy 50 Hz

Dla sieci jednofazowej dwuprzewodowej 50 Hz impedancja łączna wynosi

$$/R_A + R_N/ + j/X_A + X_N/ = 0,4 + j0,25 [\text{ohm}]$$

Moduł impedancji dla sieci jednofazowej wynosi odpowiednio:

dla 50 Hz	0,47 ohm
100 Hz	0,64 ohm
1 kHz	5,0 ohm
2 kHz	10,0 ohm
10 kHz	50,0 ohm



Rys.2. Impedancja charakterystyczna sieci sztucznych oraz pomierzona średnia impedancja sieci energetycznej.

- 1 - sieć V50Ω/50μH
- 2 - PN, sieć V; 10÷150kHz, 150kHz÷30MHz
- 3 - impedancja sieci ZSRR
- 4 - impedancja sieci USA

Moduł impedancji już przy 40 harmonicznej częstotliwości sieci znacznie przekracza moduły impedancji sieci rzeczywistych pomiarowych dla częstotliwości 10 kHz.

Wynika stąd wniosek, że przy określaniu układu dopasowującego do pomiaru zakłóceń sieciowych należy dodatkowo przeanalizować wpływ impedancji sieci na wyniki pomiarów. Celowe jest rozważenie możliwości wyznaczenia impedancji sieci przy wykorzystaniu skompletowanej aparatury pomiarowej.

Tabela 1. Parametry charakteryzujące zakłócenia i ich dynamiczny zakresy wartości

rodzaj zakłócenia	parametry charakteryzujące zakłócenia	zakres wartości parametrów
impulsowe /szerokopasmowe/	kształt amplituda czas trwania czas zbocza polaryzacja częstość występowania	impuls pojedynczy, oscylacyjny lub seria impulsów od kilku V do kilku kV od 20 ns do kilku ms od kilku ns do kilkudziesięciu μ s + lub - od kilku impulsów /serii/ na rok do kilkudziesięciu na sekundę
dynamiczne zmiany napięcia sieci /obniżenie, zanik, podwyższenie/	głębokość i czas trwania obniżenia czas zaniku wartość i czas trwania podwyższenia częstość występowania zakłóceń	od 15 do 70 % U_n od 1/2 okresu do kilku godzin od części półokresu do kilkunastu minut od 10 do 50 % U_n od półokresu do kilku minut od kilku na minutę do kilku na miesiąc
zakłócenia wąskopasmowe do 10 kHz	składowe harmoniczne sieci, wartość skuteczna amplitud.	od mV do kilkunastu V
radioelektryczne do szefek MHz	widmo amplitudowe lub gęstość widmowa	od 0...140 dB/ μ V lub odpowiednio w dB/ μ V/MHz
zmiany częstotliwości składowej podstawowej	wartość zmiany i czas trwania	powyżej +2 % f_n sekundy do godzin

4. Metody i urządzenia do pomiaru zakłóceń

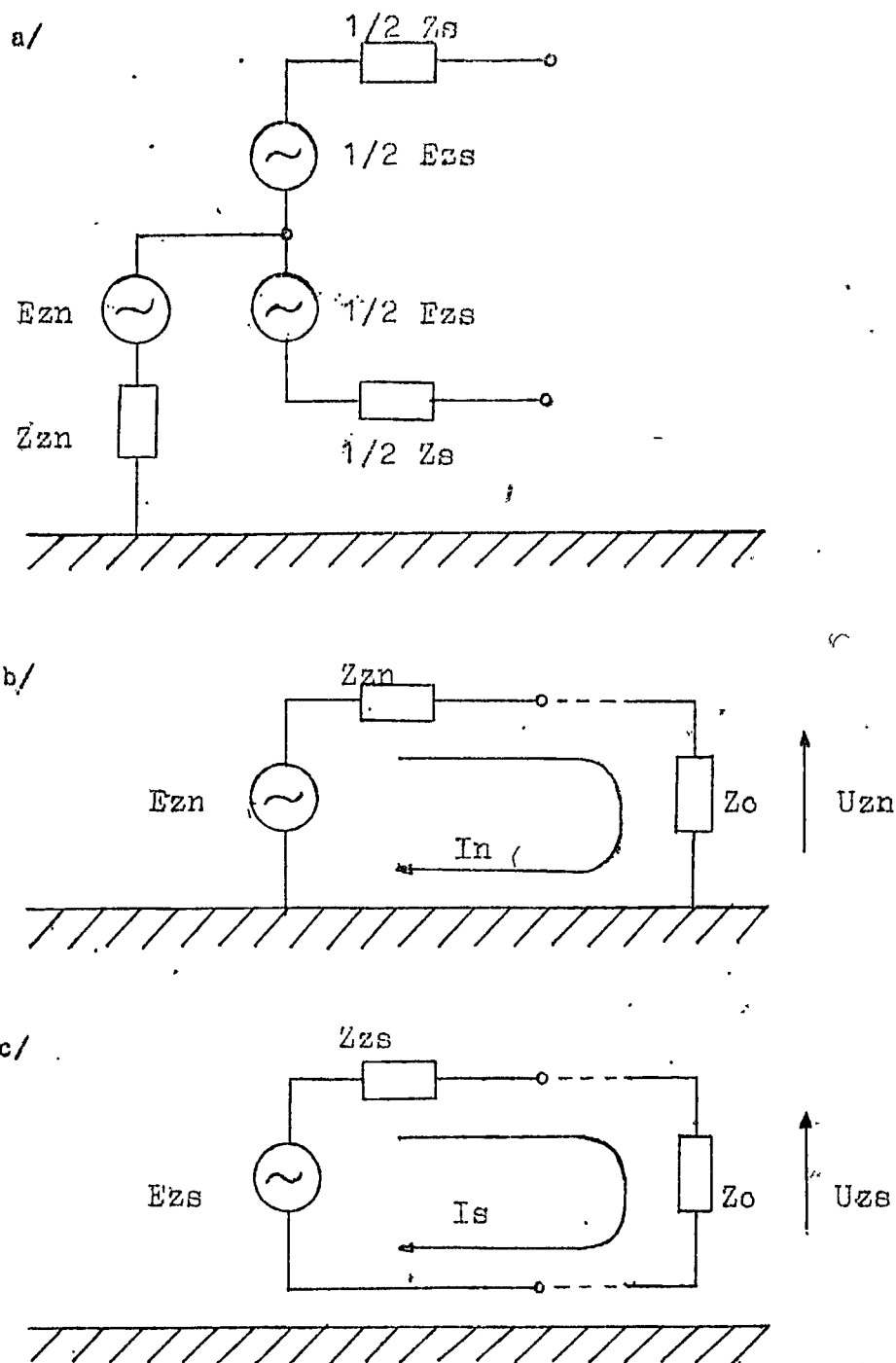
Źródło zakłóceń może być przedstawione jako kombinacja sił elektromotorycznych zakłóceń E_z i wypadkowych impedancji Z_z . Uproszczone układy zastępcze źródła zakłóceń dla zakłóceń przewodzonych symetrycznych i niesymetrycznych pokazano na rys. 3. Zwykle poziom zakłóceń źródła charakteryzuje się wartością napięcia lub prądu zakłóceń U_z , I_z w gałęzi o znanej impedancji [5]. Zakłócenia można opisać w dziedzinie częstotliwości /tzw. charakterystyki spektralne, widmowe/ podając zależność tych wielkości od częstotliwości U_z/f , I_z/f . Względnie w dziedzinie czasu /tzw. przebiegi czasowe/ podając zależności tych wielkości od czasu U_z/t , I_z/t .

Teoretycznie obie formy opisu są sobie równoważne, np.:

$$U_z(2M) = \int_{-\infty}^{+\infty} U_z(t) \exp(-j2\pi ft) dt$$

Pomiary powinny zapewnić uzyskanie obiektywnych i porównywalnych wyników. Uzyskuje się to przez standaryzację ogólnych warunków pomiarów, metod i urządzeń pomiarowych oraz odpowiedniej miary poziomu zakłóceń.

Przykładowo przy pomiarach zakłóceń radioelektrycznych, ze względu na charakterystykę sprzętu radiokomunikacyjnego, przyjęto opis w dziedzinie częstotliwości, czyli charakterystyki częstotliwościowe odpowiednich wielkości. Podstawowym urządzeniem pomiarowym jest selektywny miernik zakłóceń. Pomiary wykonuje się dla wielu kolejnych częstotliwości, ułożonych dostatecznie gęsto w interesującym zakresie. Poziom zakłóceń mierzy się woltomierzem selektywnym o specjalnie ukształtowanej charakterystyce wartościowania wg zaleceń CISPR, tzw. quasi-szczytowej. Stosuje się również wartości skuteczne i wartości szczytowe napięć zakłóceń. Najogólniej ujmując wyznacza się wartość napięcia /spadek napięcia na znanej impedancji miernika/ przy uwzględnieniu parametrów zastosowanego przetwornika pomiarowego /sieci sztucznej, transformatora prądowego/. Poziom zakłóceń określa się w jednostkach bezwzględnych μV , μA lub w jednostkach logarytmicznych dB przy przyjętym umownym poziomie 1 μV , 1 μA . Niekiedy poziom zakłóceń przedstawia się jako intensywność widmowa, gęstość widmowa odniesioną do umownej szerokości pasma /np. 1 MHz/ i wtedy jednostki wyraża się odpowiednio $\mu V/MHz$ lub $dB/\mu V/MHz$. Ten sposób wartościowania zakłóceń jest bardziej obiektywny dla zakłóceń o charakterze impulsowym, jest stosowany w USA.



Rys.3. Układ zastępczy źródła zakłóceń /a/ oraz uproszczone układy zastępcze źródła zakłóceń dla przy rozprzestrzani-
nianiu się zakłóceń przez przewodzenie w układzie
niesymetrycznym /b/ i symetrycznym /c/.

Stosowane metody i urządzenia pomiarowe zakłóceń radioelektrycznych w paśmie od 10 kHz do 1 GHz określają odpowiednie normy podane w [1]. Pomiary w dziedzinie czasu są stosowane powszechnie w technice impulsowej i cyfrowej. Pomiary takie umożliwiają jednoczesne uzyskanie informacji o kształcie /przebiegu czasowym/ oraz o podstawowych parametrach /amplitudzie, czasie trwania, czasach zboczy/ na podstawie analizy tego przebiegu.

Proces pomiaru impulsów przedstawiono na rys. 4. Przy wykorzystaniu oscyloskopu analiza przeprowadzana jest na ekranie lampy /np. z pamięcią/ lub po zarejestrowaniu obrazu na błonie fotograficznej. Przy wykorzystaniu przyrządów specjalizowanych /analyzerów, oscyloskopów, rejestratorów cyfrowych/ analiza jest przeprowadzana na podstawie informacji cyfrowej spróbkowanego przebiegu czasowego. Nowoczesne przyrządy pomiarowe /analyzer/ dzięki zastosowanej technice mikroprocesorowej umożliwiają określenie parametrów impulsów według zadanych algorytmów.

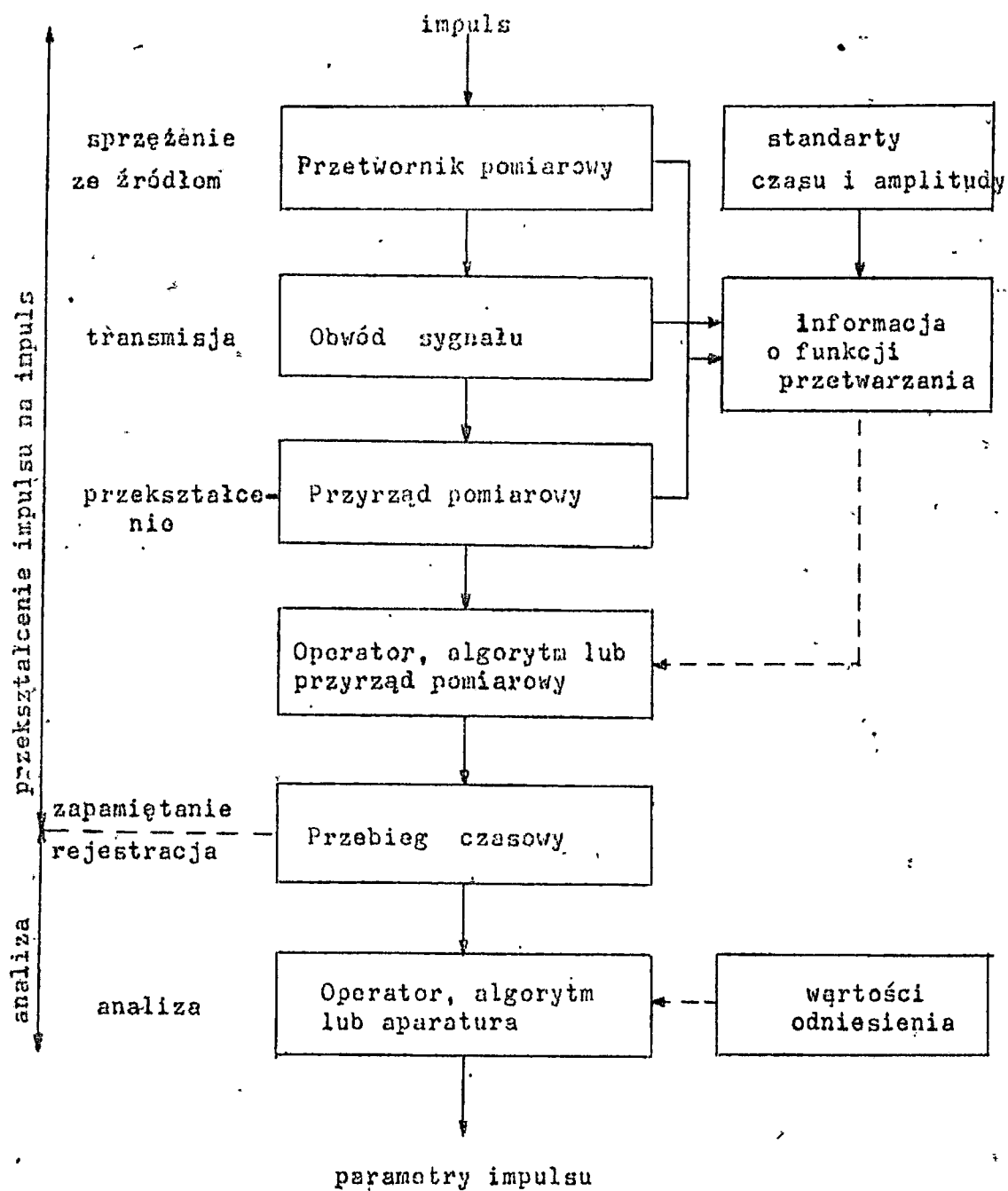
Przekształcenia Fouriera pozwala na określenie wzajemnego związku istniejącego pomiędzy dziedziną czasu i częstotliwości. Dokładności wzajemnego odwzorowania tych dwóch dziedzin określa pewna analityczna zależność [2]. Orzeka ona, że iloczyn szerokości pasma częstotliwości danego sygnału B_s i czasu jego trwania t_s nie może być mniejszy od $1/4\pi$.

W analizie widmowej zasada ta mówi, że niemożliwe jest równoczesne dokładne wyznaczenie gęstości widmowej sygnału w dokładnie określonej chwili czasu. Im krótszy jest czas trwania analizowanego sygnału tym szersze jest jego widmo, tym możliwa do osiągnięcia elementarna rozdzielczość częstotliwościowa składowych spektralnych $B_{\Delta f}$ tego sygnału jest coraz gorsza.

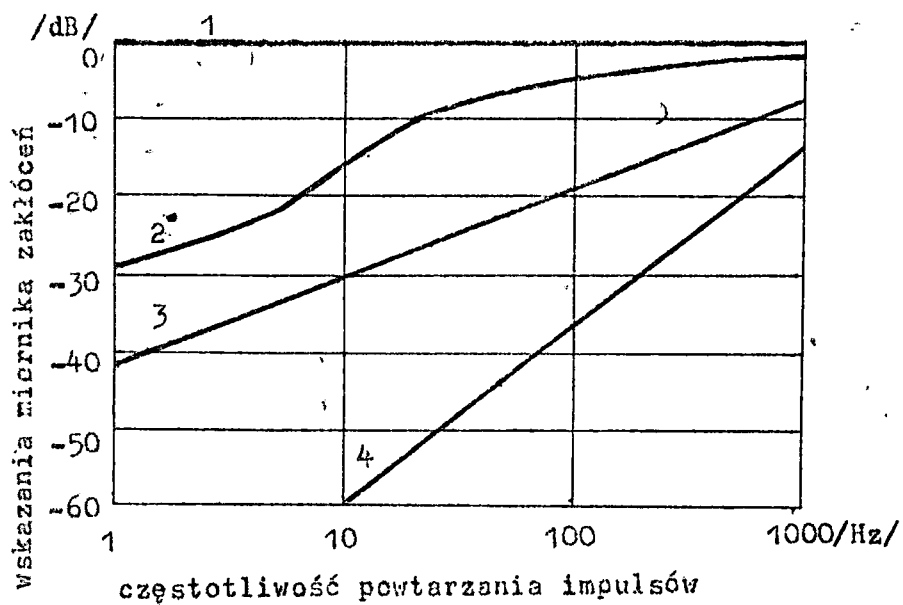
Sformułowana powyżej tzw. zasada nieoznaczoności stwierdza, że nie jest możliwe uzyskanie nieograniczonego wysokiego stopnia rozdzielczości równocześnie w dziedzinie czasu i częstotliwości.

W obu metodach pomiarowych urządzenia pomiarowe wprowadzają ograniczenia w ich stosowaniu. Wynikają one z technicznych realizacji urządzeń w oparciu o aktualną bazę elementową i uzgodnień normalizacyjnych.

Przykładowo selektywne mierniki zakłóceń radioelektrycznych /wg CISPR, PN/ w przypadku przebiegów impulsowych dają wskazania Um opisane zależnością:



Rys.4. Proces pomiaru parametrów impulsu



Rys.5. Charakterystyka impulsowa miernika zakłóceń
dla różnych detektorów pomiarowych:

- 1 - wartość szczytowa
- 2 - detektor wartości quasi-szczytowej
- 3 - detektor wartości skutecznej
- 4 - detektor wartości średniej

$$U_m/f_s/ = F/f_s/ K/fr/$$

gdzie: f_s – częstotliwość dostrojenia miernika zakłóceń

$K/fr/$ – współczynnik wyrażany w Hz zależny od licznych parametrów miernika takich jak impulsowej szerokości pasma, stałych czasowych ładowania i rozładowania detektora pomiarowego, rezerwy liniowości toru pomiarowego oraz od częstotliwości powtarzania ~~licz~~ badanych impulsów fr

$F/f_s/$ – gęstość widmowa odosobnionego impulsu przy częstotliwości dostrojenia f_s określona w $\mu V/Hz$, $\mu V/MHz$

Oznacza to, że przy wzroście rozdzielczości woltomierza selektywnego /zmniejszaniu impulsowej szerokości pasma/ dynamika miernika maleje. Przy skończonej rezerwie liniowości toru pomiarowego i impulsowej szerokości pasma poprawność wskazań osiąga się przy określonej częstotliwości powtarzania zakłócenia impulsowego /rys.5/. Nie jest możliwa praca w czasie rzeczywistym.

W większości oscyloskopów charakterystyka częstotliwościowa wzmacniacza odchyłania pionowego jest ukształtowana tak, że iloczyn pasma i czasu narastania wynosi ok. 0,35. Przykładowo przy paśmie 100 MHz odpowiedź impulsowa wynosi 3,5 ns, pomiar czasu narastania impulsu z dokładnością 2 % może być wykonany dla zboczy powyżej 17,5 ns, a z dokładnością 10 % dla zboczy ok. 7 ns.

Przy cyfrowym przetwarzaniu sygnałów stosowanym w analizatorach cyfrowych, aby uniknąć tzw. zjawiska dwuznaczności /aliasing/, częstotliwość próbkowania sygnału mierzonego powinna być większa od częstotliwości Nyquista

$$f_p \gg 2 f_{max}$$

gdzie: f_{max} – najwyższa częstotliwość sygnału

Znane spektralne metody pomiarowe zapewniają określenie jedynie widma amplitudowego względnie gęstości widmowej. Na podstawie takiej informacji nie jest możliwe odtworzenie sygnału w dziedzinie czasu. Pełne odtworzenie sygnału w dziedzinie czasu może nastąpić na podstawie widm amplitudowego i fazowego sygnału.

Znane w praktyce różne sygnały impulsowe o takich samych widmach amplitudowych. Jedynie dla niektórych najprostszych kształtów impulsów /sygnałów/ jest możliwe ich odtworzenie w dziedzinie czasu na podstawie widma amplitudowego [3].

4.1. Urządzenia do pomiaru dynamicznych zmian napięcia sieci

Metoda pomiaru jest oparta o analizę czasową wartości napięcia przemienne o częstotliwości sieci, ściśle wartości szczytowych napięcia dla każdego półokresu. Wartość napięcia szczytowego zmierzona dla każdego półokresu jest porównywana z wartościami minimalną i maksymalną, zadanymi przez operatora. W przypadku kiedy wartość zmierzona jest mniejsza od wartości zadanej minimalnej to występuje zdarzenie zwane obniżeniem napięcia.

W przypadku przeciwnym, zdarzenie jest nazywane podwyższeniem napięcia. Zwykle urządzenia do pomiaru dynamicznych zmian napięcia są typu analizującego rejestrujących. Każde wykryte zdarzenie jest określone zespołem informacji zawierającej:

- . rodzaj wykrytego zdarzenia; obniżenie, podwyższenie, zanik napięcia
- . czas rzeczywisty początku zdarzenia
- . czas trwania zdarzenia, zwykle określany w półokresach napięcia sieci lub czasem rzeczywistym końca zdarzenia /powrotu wartości

- napięcia do wartości zadanych/
 . minimalna wartość napięcia przy obniżeniu lub maksymalna wartość napięcia przy podwyższeniu

Dla zilustrowania różnorodności rozwiązań urządzeń do pomiaru i rejestracji zmian napięcia sieci w tabeli 2 podano podstawowe parametry techniczne urządzeń niektórych firm. Cechą charakterystyczną nowych rozwiązań jest zastosowanie techniki mikroprocesorowej umożliwiającej programowanie i różne algorytmy analizy oraz przetwarzania a/c zapewniającego wysokie dokładności pomiarów /poz.5/. Wprowadzone są też dodatkowe algorytmy analizy, przykładowo analizę wartości średniej amplitudy napięcia przy różnych czasach uśredniania. Podstawowym urządzeniem wyjściowym informacji jest lokalna mała drukarka termiczna lub mozaikowa. Dwie firmy /poz.3 i 5/ oferują dodatkowo interfejs RS232 do transmisji informacji. Produkowane są urządzenia przystosowane do monitorowania sieci jednofazowej z możliwością rozszerzenia na sieć 3 fazową /poz.2 i 3/ lub sieci 3 fazowej /poz.5/. Zwykle urządzenia zawierają dodatkowe kanały pomiarowe dla zakłóceń impulsowych, zmian częstotliwości sieci, zmian napięcia stałego, temperatury i wilgotności powietrza /poz.2,3,5/. Różne są wykonania konstrukcyjne urządzeń. Przykładowo urządzenia /poz.4,5/ mają konstrukcję walizkową, /poz.2/ konstrukcję aparaturową przystosowaną do zainstalowania w warunkach przemysłowych, pozostałe mają konstrukcję przyrządową.

Z podanych w tabeli urządzeń na uwagę zasługuje monitor zakłóceń sieciowych model 3600 /poz.5/ wyróżniający się największą dynamiką zakresu napięciowego, wejścia, przystosowaniem do pomiarów w sieciach 3 fazowych, posiadaniem interfejsu transmisji informacji i dodatkowymi funkcjami pomiarowymi oraz wykonaniem walizkowym przydatnym do pomiarów na obiektach.

20

Tabela 2. Urządzenia do pomiaru i rejestracji dynamicznych zmian napięcia sieci

poz.	1	2	3	4	5
typ urządzenia producent ----- parametry	rejestrator za- klóceń wolnozmien. RS 5KB Wilno	analizator za- klóceń sieci 606-1 /3/ DRANETZ	uniwersalny ana- lizator zakłóceń 626-1 /3/ DRANETZ	monitor napięcia sieci VMS101 SUPERIOR ELECTRIC	monitor zakłóceń sieciowych Model 3600 FRANKLIN ELECTRIC
<u>WEJSCIE</u>					
liczba faz	1	1 /3/	1 /3/	1	3
zakres napięciowy V	20...330	40...250	50...600	80...280	50...800
dokładność	20 V ± 10 %	6...30V ± 1 %	1...60V ± 1 %	2/4/ V	1 V ± 1 %
czas zdarzenia /ms/	10...1000	pow. 10	pow. 10	10...1000	pow. 10
impedancja	-	100 k	100 k	-	2 M /różnicow./
<u>WYJSCIE INFORM.</u>					
lokalne	wskaźnik cyfr.	drukarka	drukarka	drukarka	drukarka
interfejs	-	-	RS232C	-	RS232C
pojemność pamięci	16 zdarzeń	18 zdarzeń			2 k
ochrona pam. /h/	0,5	4	0,25	-	2
<u>DODATKOWE</u>					
wykonanie	przysrządowe	aparaturowe	przysrządowe	walizkowe	walizkowe
waga /kg/	32	7	9	11	9,1
pobór mocy /VA/	140	90	50	-	30
jedn.sterująca	-	μP	μP	μP	2 x μP
<u>dodatkowe pomiary</u>					
impulsy	-	+	+	+	+
częstotliwość	-	45...65 Hz	45...65 Hz		40 do 80 Hz $\pm 0,1$
GMV	-	-	-	1...50 kHz 5 V	-
zmiany dc	-	+	0,5...80 V	-	1...22V $\pm 0,1$ V
temperatura	-	-	0...100°C	-	+
wilgotność	-	-	0...100 %	-	+
kalibracja wewn.	-	-	-	-	+
rejestracja zdarzeń	-	-	8 wejść	-	-

4.2. Urządzenia do pomiaru zakłóceń o charakterze impulsowym

Zasada pomiaru zakłóceń impulsowych jest oparta o analizę czasową sygnału. Typowe urządzenie do pomiaru i rejestracji zakłóceń impulsowych w sieci składa się z kilku charakterystycznych układów pokazanych na rys.6.

Blok wejściowy zawiera układy dopasowania umożliwiające bezpośrednie przyłączenie urządzenia do obwodu sieci. Zawiera on filtr górnoprzepustowy, o odpowiedniej charakterystyce tłumienia składowych napięcia o częstotliwości podstawowej i harmonicznych sieci. Sygnał wyjściowy z bloku ma postać impulsów, które są wprowadzane na układy dyskryminacji i pomiarów parametrów impulsów/amplitudy, czasu trwania i polaryzacji impulsu/. Informacja o parametrach impulsu jest zapamiętywana w rejestrach, z których wyprowadzana jest na wyjściowe urządzenie rejestrujące lub układy interfejsu.

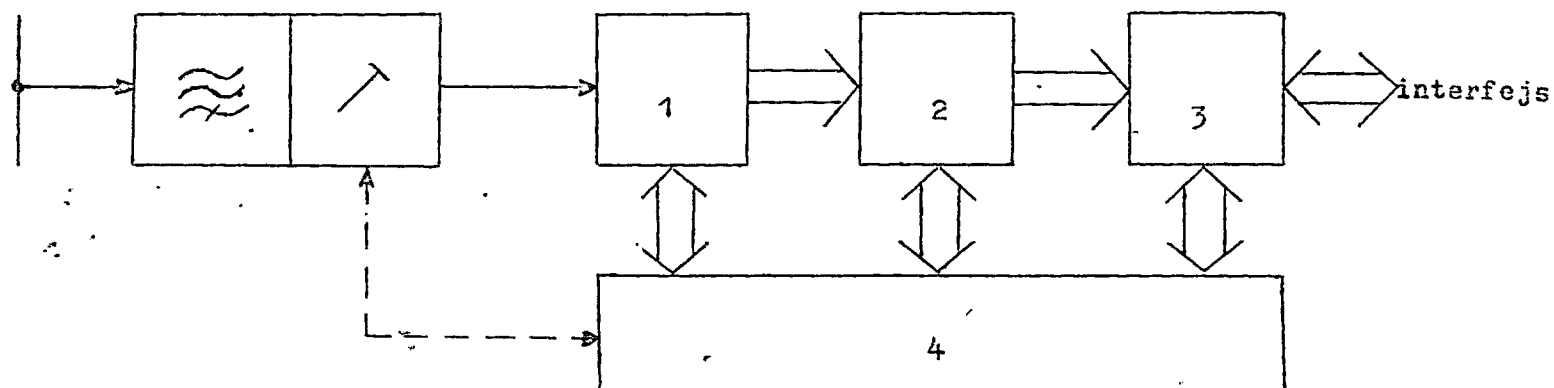
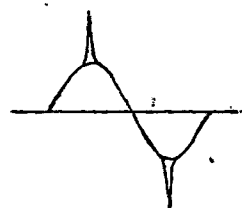
Układ sterowania zapewnia realizację podstawowych procedur transmisji informacji pomiędzy blokami oraz zadanych algorytmów analizy informacji.

Zasadnicze różnice w rozwiązaniach urządzeń występują w bloku dyskryminacji i pomiarów parametrów impulsu.

Występują rozwiązania realizujące pomiar parametrów impulsu w czasie rzeczywistym /w czasie jego trwania/ lub z opóźnieniem /po jego zakończeniu/.

Pierwsze rozwiązanie wymaga zastosowania układów pomiarowych dla każdego parametru impulsów, pracujących równolegle. Przykładem takiego rozwiązania może być urządzenie dokonujące pomiaru amplitudy i czasu trwania impulsu za pomocą dyskryminatorów amplitudy o różnych progach. Gęstość progów określa dokładność pomiaru amplitudy. Czas trwania impulsu jest mierzony dla każdego progu lub dla progu zadawanego przez operatora. Rozwiązanie umożliwia pomiar amplitudy impulsów o bardzo krótkim czasie trwania i o dużej częstotliwości występowania. Maksymalna częstość występowania impulsów wejściowych jest ograniczona czasem potrzebnym do przesłania informacji pomiarowej do rejestrów buforowych, układów wyjściowych.

Drugie rozwiązanie polega na próbkowaniu i kwantyzacji przebiegu czasowego impulsu. Parametry impulsu są określane na podstawie analizy informacji zapamiętanej w rejestrach. Dokładność pomiaru amplitudy określa dokładność przetwornika analogowo-cyfrowego, a dokładność pomiaru czasu określa częstotliwość próbkowania. Maksymalna częstotliwość próbkowania sygnału ograniczona jest czasem przetwarzania a/c. Przebieg czasowy opisany jest zbiorem zapamiętanej w rejes-



Rys.6. Schemat blokowy urządzenia do pomiaru i rejestracji zakłóceń o charakterze impulsowym

- 1 - dyskryminatory parametrów
- 2 - pamięć
- 3 - układy wyjściowe
- 4 - układy sterowania i programowania

Tabela 3. Urządzenia do pomiaru i rejestracji zakłóceń impulsowych w sieciach

poz.	1	2	3	4	5
typ urządzenia	rejestrator za-	analizator za-	uniwersalny ana-	monitor napięcia	monitor zakłóceń
producent	kłóceń R3	kłóceń sieci 606	lizator zakłóceń	sieci VMS101	sieciowych Model 3600
parametry	SKB Wilno	/616/	626	SUPERIOR	FRANKLIN
		DRANETZ		ELECTRIC	ELECTRIC
<u>WEJSCIE</u>					
amplituda imp. V	0,1...2,4	50...400	25...4000	0...1000	50...1500
próg dysk.	co 0,1 V	50, 100, 200	co 1 V	co 1 V	co 1 V
dokładność	0,1 V	5 %	5 %	15 %	10 %
czas impulsu	40 ns... 80 μ s	0,5...800 μ s	0,5...800 μ s	0,2...50 μ s	0,3 μ s ... 1 ms
rozdzielczość	40 ns	6 dB	6 dB	6 dB	1...150 μ s /10 %/
impedancja wej.	10 M/10 pF	100k	100 k	-	2 M
liczba monit.faz	1	1 /3/	1 /3/	1	3
<u>WYJSCIE INFORM.</u>					
lokalne	wskaźnik cyf.	drukarka	drukarka	drukarka	drukarka
interfejs	perforator.	-	RS232C	-	RS232C
amplituda max	+	+	+	na 10 ms	na 30 ms
czas trwania	poj. i serii	imp.max	imp.max	imp.max	imp.max
polaryzacja	-	+ pole	+ pole	+	+
czas rzeczywisty	między imp.	wystąp.imp.	wystąp.imp.	wystąp.imp.	wystąp.imp.
liczba impulsów	poj. i w serii	+	+	+	+
<u>Dodatkowe</u>					
wykonanie	zestaw urz.	aparaturowe	przrządowe	walizkowe	walizkowe
waga kg	34,5	7	9	11	9,1
pobór mocy VA	250	max 1 A	50	-	30
inne	do pomiarów	Tabl.2	Tabl.2	Tabl.2	Tabl.2
	serii impuls.				

146.

Tabela 4. Cyfrowe analizatory przebiegów tranzjentowych

poz.	1	2	3	4	5
typ przyrządu producent parametry	rejestrator tranz- jentów DL920/922/ DATA LAB	programowny cyfryzator przebiegu 7D20	7612D TEKTRONIX	7912AD	programowany oscylo- skop cyfrowy 7854
<u>WEJSCIE</u> amplituda V rozdzielczość zakres częstot. MHz impedancja czas /zakres//działkę rozdzielczość częst.próbkowania liczba kanałów wej.	0,1...50 8 bit 6 /2 %/ 1M/48 pF 0,1ms...4s 50 ns 20 MHz 2	0,005...5/dz 8 bit 70 1 M/20 pF 50 ns...20 s 10 bit 40 MHz 2	0,01...5/dz 8 bit 80 1 M/20 pF 5 ns...1 s 8 bit 200 MHz 2	0,01...5/dz 9 bit 500 1 M/20 pF/50/ 0,5 ns...1 ms 9 bit 100 GHz 2	0,01...5/dz 10 bit 400 1 M/15 pF 5 ns/dz 7...10 bit 0,5 MHz 2 /4/
PAMIĘĆ pojemn. liczba przebiegów	2k /8 bit/ -	1k /przeb 6	2k /kanał 2...16	512 x 512 1	1k /słowo 40
<u>WYJSCIE INFORM.</u> interfejs wy.rejestrator. video/lampa osc.	TTL równ/szereg. XY -	GPIO - lampa osc.	GPIO XY -	GPIO XYZ video	GPIO - lampa, osc.
<u>Algorytmy pracy</u> wyzwalanie	AUTO , TRIG DC, AC + próg,opóźnienie	AUTO , TRIG opóźnienie	programowe	próg	jak w oscyloskopie oraz programowe
inne		programowe uśrednianie,	pomiar kursorem		max 2000 instrukcji
<u>Dodatkowe</u> wykonanie waga kg pobór mocy VA	przrządowe 18,2 130	wkładka 10,4 180	przrządowe 25 400	przrządowe 24,7 360	przrządowe 20 230

trach/pamięci/informacji, liczby słów na przebieg. Długość słowa odpowiada zakresowi przetwornika a/c, liczba słów odpowiada liczbie próbek. Częstotliwość /lub liczba/ zarejestrowanych przebiegów jest ograniczona pojemnością pamięci i szybkością odczytu /transmisji informacji do zewnętrznej pamięci/. Rozwiązanie to znalazło zastosowania w urządzeniach typu cyfryzator /digitizer/, rejestrator tranzjentów /transient recorder/ oraz oscyloskopach z pamięcią cyfrową. Urządzenia te umożliwiają rejestrację pojedynczych impulsów, wielokrotną rekonstrukcję zarejestrowanego przebiegu do dalszej analizy. W tabelach 3, 4 podano podstawowe parametry urządzeń różnych firm opracowane na podstawie posiadanych informacji katalogowych i reklamowych.

W tabeli 3 zestawiono urządzenia specjalizowane, przeznaczone do bezpośredniego pomiaru zakłóceń impulsowych w sieciach. Największy dynamiczny zakres wejścia i interfejsy transmisji informacji posiadają urządzenia lp. 3 i 4. Analizator zakłóceń firmy DRANETZ wydaje dodatkowo informację o powierzchni impulsu, która może być przydatna przy analizie widmowej impulsu.

W przypadku wystąpienia serii impulsów żadne z produkowanych urządzeń nie zapewnia pełnej informacji o takim zdarzeniu jak to jest w rejestratorze lp. 1. Rejestrowana jest jedynie co 1 s informacja o impulsie o maksymalnej amplitudzie i liczba impulsów przekraczających zadany poziom amplitudy.

W tabeli 4 zestawiono urządzenia, przyrządy pomiarowe cyfrowe, które mogą być użyte do pomiaru impulsów w sieci pod warunkiem zastosowania odpowiedniego układu wejściowego, dopasowująco-filtrującego. Układ wejściowy powinien zawierać filtr górnoprzepustowy i dzielnik napięcia. W grupie urządzeń firmy TEKTRONIX występują urządzenia różniące się dokładnościami pomiaru amplitudy i czasu, liczbą pamiętanych przebiegów. Rejestrację pojedynczych nanosekundowych przebiegów, impulsów, zapewnia cyfryzator 7912AD, w którym częstotliwość próbkowania wynosi 100 GHz przy rozdzielczości amplitudy i czasu 9 bitów.

Cyfryzator 7612D zapewnia rozdzielczość 8 bitową przy częstotliwości próbkowania 200 MHz i zapamiętanie do 16 przebiegów.

Cyfrowy oscyloskop 7854 umożliwia zapamiętanie do 40 pojedynczych przebiegów czasowych, ale częstotliwość próbkowania wynosi tylko 0,5 MHz. Przy powtarzalnych przebiegach umożliwia rejestrację przebiegów w paśmie do 400 MHz.

Zaletą użytkową urządzeń tej firmy jest interfejs GPIB /IEEE488/ umożliwiający sprzężenie kilku urządzeń pomiarowych i komputera w

jednolity system pomiarowy.

4.3. Urządzenia do pomiaru zakłóceń wąskopasmowych

Zasada pomiaru zakłóceń wąskopasmowych jest oparta o analizę częstotliwościową sygnałów. Typowym przyrządem pomiarowym jest selektywny woltomierz. Działanie takiego woltomierza wykorzystuje zasadę pracy wzmacniacza z przestrajanym filtrem środkowoprzepustowym lub zasadę pracy wzmacniacza heterodynowego z przemianą częstotliwości. W pierwszym przypadku mierzy się napięcie dla składowej częstotliwości dostrojenia filtru. Zakres częstotliwości pomiarowych takich przyrządów osiąga 50 kHz. W drugim przypadku mierzy się napięcia dla składowej o częstotliwości sumacyjnej lub różnicowej. Dla niskich częstotliwości /do ok. 50 kHz/ stosuje się częstotliwości sumacyjne, częstotliwości różnicowe stosuje się dla wysokich częstotliwości /do kilkuset MHz/.

Woltomierzem selektywnym pomiary wykonuje się dla kolejnych częstotliwości uszeregowanych w zadanym paśmie pomiarowym. Wybór i dostrojenie do częstotliwości pomiarowych zwykle odbywa się ręcznie, jedynie w najnowszych rozwiązaniach czynności te są zautomatyzowane i mogą być programowane /np. w analizatorach widma/.

Poprawność pomiarów jest zapewniona jedynie dla przebiegów okresowych lub przebiegów quasistacjonarnych w rozumieniu PN.

Charakterystyka widmowa pojedynczego impulsu może być określona jedynie urządzeniami pomiarowymi w dziedzinie czasu wyposażonymi w układy szybkiej transformaty Fouriera /FFT/.

Podstawowymi parametrami woltomierzy selektywnych i analizatorów widma są zakres i rozdzielczość częstotliwości, zakres sygnału wejściowego, wartościowanie sygnału wyjściowego, algorytmy działania. Istotnym parametrem jest rozdzielczość częstotliwościowa statyczna. Określa ona minimalny odstęp między dwoma częstotliwościami, dla których można osiągnąć wymagane dokładności pomiaru. Przy pracy dynamicznej wynikają dodatkowe uchyby od czasu ustalania, który jest odwrotnie proporcjonalny do szerokości pasma filtru przepustowego. W tabeli 5 zestawiono parametry różnych typów mierników zakłóceń radioelektrycznych spełniających wymagania CISPR oraz analizatorów widma. Interesujące jest rozwiązanie firmy TEKTRONIX, która proponuje wkładki analizatorów widma do oscyloskopów serii 7000. Dwie wkładki zapewniają pomiar zakłóceń w pełnym zakresie od 20 Hz do 1,8 GHz. Praca analizatorów jest programowana i posiadają one interfejs GPIB /IEEE488/.

Tabela 5. Urządzenia do pomiaru zakłóceń wąskopasmowych

Typ przyrządu producent parametry	Mierniki zakłóceń radioelektrycznych				Analizator widma		
	INCO Wrocław		ROHDE SCHWARZ		TEKTRONIX		
	NMZ-5	LMZ-5	ULMZ-4	DLMZ-4	ESVP	7L5 7L14	
<u>WEJSCIE</u>							
zakres częstotliwości	10 kHz 150 kHz	0,15 MHz 30 MHz	25 MHz 300 MHz	300 MHz 1 GHz	20 MHz 1,3 GHz	20 Hz 5 MHz	10 kHz 1,8 GHz
rozdzielczość	200 Hz	9 kHz	120kHz	120 kHz	1 kHz	10Hz+30kHz	pr 3 MHz progr.
amplituda dB	-20	0	0	5	-10	10 nV	0,3 nV
dokładność dB	+130	120	122	122	+137	2,5 V	3,1 mV
impedancja	1,5 50	1 50	2 50	2 50	1 50	1,5 50, 600 1 M/28 pF	1,5 50
<u>WYJSCIE</u>							
wartościowanie							
wy GISP	+	+	+	+	+ /MILStd/	-/MILStd/	
wy lin/log	+	+	+	+	+	+	+
wy średnia i szczytowa	-	-	-	-	-	z pamięcią max wartości	
<u>Interfejs cyfr.</u>							
- rejestrator	XY	XY	XY	XY	brak danych XY	GPIO XY	GPIO XY
- video	-	-	-	-	+	+	+
<u>Algorytm dział.</u>	ręczny	ręczny	ręczny	ręczny	autom. /μP/ program.	autom. /μP/ program.	autom. /μP/ program.
<u>Dodatkowe wykonanie</u>	przysrządowe	przysrządowe	przysrządowe	przysrządowe	przysrządowe	wkładki do oscylpskopów 7854 i 7603	

5. Przygotowanie i obróbka informacji pomiarowych

Ze względu na znaczną objętość informacji uzyskanej z pomiarów konieczne jest zastosowanie komputerowego przetwarzania danych. Wymaga to rozwiązania szeregu dodatkowych zadań dotyczących przygotowania informacji wsadowych.

Można wyróżnić następujące etapy w przygotowaniu i obróbce danych pomiarowych:

1/ zapis informacji pomiarowej

Pomiary zakłóceń są wykonywane w czasie rzeczywistym. Każde urządzenie pomiarowe ma określone formaty informacji wyjściowej o zdarzeniach /parametrach zdarzeń/. Urządzenia pomiarowe różnią się zdolnością zapamiętywania informacji. Przy dużej liczbie lub częstotliwości zdarzeń wystąpi przepełnienie pamięci wewnętrznej, urządzenie pomiarowe może zostać zablokowane lub zmienić algorytm swojej pracy. W obu przypadkach wystąpi utrata części informacji pomiarowej. Dlatego istotne jest rozwiązanie zagadnienia odczytu informacji z urządzeń pomiarowych i jej zapis na odpowiednio wierny nośnik informacji magnetycznej /przykładowo taśmę magnetyczną, dysk elastyczny/. Rozwiązanie tego zagadnienia sprowadza się do wyboru lub opracowania odpowiednich środków technicznych sprzętowych i programowych zapewniających sprzężenie urządzenia pomiarowego z wybranym rodzajem pamięci kasetowej lub dyskowej. Rozwiązanie układu sprzężenia będzie zależeć od interfejsu urządzenia pomiarowego i powinno zapewniać takie szybkości transmisji informacji aby nie ograniczały one zdolności pomiarowych urządzenia pomiarowego. Istotnym wymaganiem na sprzężenie jest zapewnienie wysokiej odporności na zakłócenia obiektywne. Przy wyborze nośnika do zapisu informacji należy kierować się względami prostoty obsługi i niezawodności jednostki pamięci w warunkach obiektywnych, w środowisku przemysłowym.

2/ przygotowanie danych pomiarowych wsadowych do komputera

W tym etapie następuje przepisanie informacji pomiarowej na nośnik informacji masowej wygodny do obróbki komputerowej. Pod kontrolą odpowiednich programów dokonuje się:

- kontroli formalnej zapisu informacji pomiarowej według kryteriów wynikających z protokołu interfejsu. Informacje nieodpowiadające warunkom kontroli są wyprowadzane do analizy i decyzji kwalifikacyjnych operatora.
- zakwalifikowana informacja podlega sortowaniu, uszeregowaniu i skalowaniu dla różnych rodzajów zakłóceń. Dokonuje się przeliczeń wartości na ustalone jednostki z uwzględnieniem charakterystyk korekcyjnych mierników i obliczeń wartości dodatkowych parametrów.

Nietypowe zdarzenia o parametrach przekraczających zdolności pomiarowe mierników są wyprowadzane do analizy i kwalifikacji przez operatora.

- zapisu informacji na nośnik masowej informacji /np. dysk twardy/ według ustalonych matryc danych. Dodatkowo informacje pomiarowe uzupełniane są informacjami identyfikacyjnymi o warunkach i miejscu pomiaru. .

Tak opracowana i trwalona informacja pomiarowa stanowi bank danych do obróbki statystycznej.

3/ obróbka statystyczna danych

Odpowiednie programy komputerowe /zwykle dostarczane w ramach biblioteki programów standardowych/ zapewniają wykonanie dla każdego parametru na zbiorze danych następujących działań:

- poszukiwanie wartości ekstremalnych
- obliczenie charakterystyk liczbowych /średniej arytmetycznej, średniego odchylenia, dyspersji, korelacji momentów między drugim dowolnie wybranym parametrem itp./
- powtórne obliczenia charakterystyk liczbowych po wykluczeniu wielkości przekraczających określony zakres odchylenia
- wyprowadzenie na urządzenie wyjściowe komputera obliczonych charakterystyk liczbowych i wartości wyraźnie odstających.

4/ budowa i analiza rozkładów

Dałsze etapy obróbki statystycznej danych pomiarowych obejmują czynności:

- budowę histogramów rozkładów wartości parametrów pomierzonych /eksperymentalnych/ przy ustalonych przedziałach
- aproksymację rozkładów eksperymentalnych znanymi funkcjami teoretycznymi i ocena ich zgodności
- wyprowadzenie histogramów na odpowiednie urządzenia wyjściowe komputera /monitor, drukarka/ oraz do pamięci biblioteki danych eksperymentalnych.

Obróbka danych pomiarowych wymaga zastosowania komputera o bogatym oprogramowaniu dotyczącym obróbki wyników eksperymentalnych. Zwykle nowoczesne komputery posiadają odpowiednie biblioteki programów, jak i urządzenia peryferyjne do wprowadzania i wyprowadzania danych.

Problem zapisu informacji pomiarowej z mierników na nośnik magnetyczny powinien być rozwiązany przez opracowanie odpowiednich układów sprzężenia interfejsów urządzeń pomiarowych z pamięcią kasetową lub dyskową lub wykorzystanie przenośnych systemów mikroprocesorowych z odpowiednimi zgodnymi z urządzeniami pomiarowymi interfejsami.

6. Wybór aparatury pomiarowej

Urządzenia do pomiaru zakłóceń powinny spełniać szereg wymagań wynikających ze specyfiki pomiarów:1

1. Aparatura pomiarowa powinna być przystosowana do wykonywania pomiarów na obiektach przemysłowych. Oznacza to, że powinna być odporna na narażenia środowiskowe w tym na zakłócenia elektromagnetyczne środowiska przemysłowego. Jeżeli aparatura jest zasilana z sieci to powinna być odporna na zakłócenia sieciowe. Przykładowo powinna zawierać źródła rezerwowego zasilania dla przypadków zaników i dużych zmian napięcia sieci, powinna być zabezpieczona na przypadki wystąpienia dużych poziomów zakłóceń.

2. Konieczność zastosowania komputerowej obróbki danych pomiarowych wymaga aby urządzenia pomiarowe wydawały informację w postaci cyfrowej. Wyjściowe interfejsy powinny zapewniać łatwe sprzężenie z typowymi urządzeniami zapisu informacji na nośnikach magnetycznych /taśma, dysk elastyczny/. Wskazane jest aby typ interfejsu wyjściowego charakteryzował się wysoką odpornością na zakłócenia i możliwością transmisji informacji na duże odległości. Zapewni to możliwość umieszczania urządzeń współpracujących w pomieszczeniach poza strefą o dużym poziomie zakłóceń.

3. Zdolność pomiarowa aparatury powinna zapewnić pomiar parametrów zakłóceń w przedziałach podanych w tabeli 1. Wskazane jest aby aparatura umożliwiała zadawanie wartości progu pomiarowego. Przykładowo pomiaru impulsów o amplitudach większych od zadanej, pomiaru obniżenia napięcia sieci poniżej zadanej wartości. W przypadku wyposażenia aparatury w algorytmny wstępnej obróbki danych, algorytmy te powinny być ściśle określone. Szczególnie dotyczy algorytmów dla przypadków wystąpienia parametrów wykraczających poza przedziały pomiarowe.

4. Typowa dokładność pomiaru parametrów powinna być lepsza od $\pm 10\%$ / ± 2 dB/. Mniejszą dokładność pomiaru czasu dopuszcza się dla przebiegów o krótszym czasie trwania poniżej 10 μ s. Dla przebiegów wolnozmiennych dokładność pomiaru amplitudy powinna być wyższa, przykładowo pomiar napięcia sieci powinien być wykonany z dokładnością $\pm 2\%$.

5. Aparatura powinna zapewnić jednocześnie monitorowanie 3 faz sieci energetycznej. Powinna zapewniać programowanie zakresu parametrów i algorytmów działania przez operatora lub poprzez interfejs we/wy, okresową kalibrację i testowanie poprawności działania.

6. Uzyskana informacja pomiarowa powinna zapewnić możliwość rekonstrukcji zakłóceń w warunkach laboratoryjnych dla celów symulacji.

Porównując wymagania z danymi technicznymi urządzeń pomiarowych oferowanych przez przodujące firmy światowe /p.4/ można stwierdzić, że specjalizowana aparatura do pomiaru zakłóceń sieciowych nie spełnia wszystkich wymagań. Przykładowo przy pomiarach czasu trwania zakłócenia impulsowego oferowany zakres dynamiczny pomiaru osiąga wartości od 150 do 3000 przy wymaganej 10^6 /120 dB/.

W tabeli 6 podano propozycję zestawu urządzeń pomiarowych zapewniających pomiary parametrów zakłóceń sieciowych. Przydatność urządzenia do pomiaru parametrów określonych zakłóceń oceniono stopniem spełnienia wymaganego zakresu i dokładności, spełnia wymagania /SW/ i niespełnia wymagań /NW/. Przystosowanie urządzenia do pomiarów scharakteryzowano informacjami obejmującymi: typ interfejsu wyjściowego, wymaganym zewnętrznym obwodem dopasowującym wejście pomiarowe, liczbą monitorowanych faz sieci lub wejść, posiadaniem układów wewnętrznej kalibracji i zasilania rezerwowego, wykonaniem urządzenia, zakresem programowalności.

Z wymienionych w tabeli urządzeń pomiarowych najwyższą ocenę przydatności i przystosowania do pomiarów zapewnia monitor zakłóceń sieciowych model 3600 FRANKLIN ELECTRIC.

Do pomiaru zakłóceń impulsowych o czasie trwania poniżej 0,3 μ s oraz do zarejestrowania kształtu należy zastosować cyfryzatory lub cyfrowy oscyloskop.

Zakłócenia wąskopasmowe w zakresie od 20 Hz do 1,8 GHz zapewniają dwie wkładki analizatorów widma do oscyloskopu cyfrowego.

W wybranych urządzeniach występują dwa typy interfejsów, które zapewniają sprzężenie z typowymi komputerami, a tym samym współpracę z urządzeniami zapisu informacji na nośnikach magnetycznych i utworzenie komputerowego systemu pomiarowego /rys.7/.

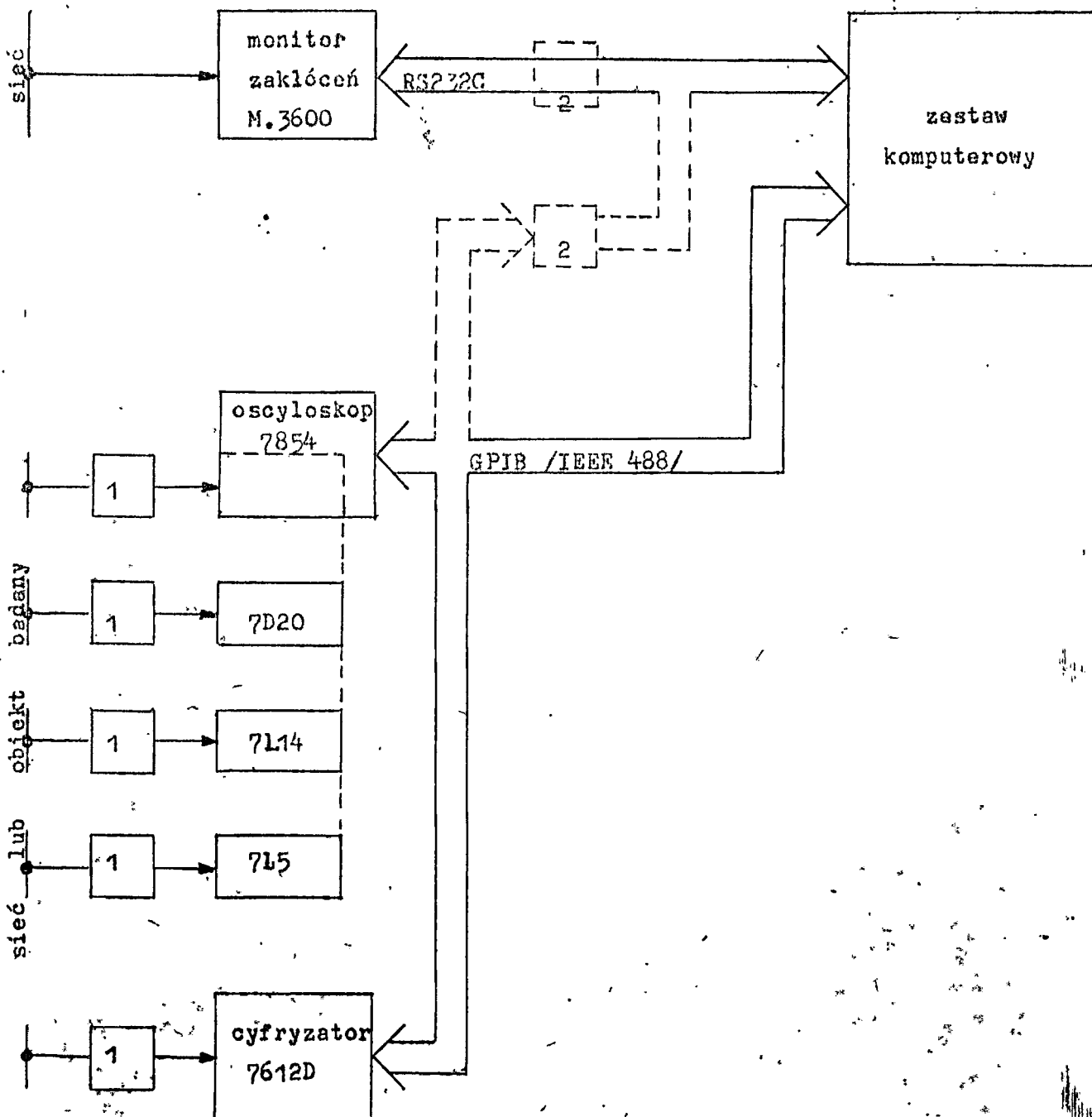
Dodatkową zaletą zaproponowanego zestawu aparatury firmy TEKTRONIX jest zapewnienie w kraju autoryzowanego serwisu oraz oparcie się na jednym systemie modułowym serii 7000. Zapewnia to możliwość wykorzystania istniejącego wyposażenia pomocniczego /sondy pomiarowe, układy dopasowujące/ oraz dalsze rozszerzenie funkcjonalne przez zakup pojedynczych modułów /wkładek do oscyloskopów/.

Tabela 6. Proponowany zestaw aparatury do pomiarów zakłóceń sieciowych

Lp.	Rodzaj zakłócenia	monitor B600 FRANKLIN ELECTRIC	oscylloskop cyfrowy 7854 TEKTRONIX	cyfryzator /digitizer/ 7612 7D20 TEKTRONIX	analizator widma 7/L5 7L14 TEKTRONIX
A. Zdolność pomiaru parametrów zakłóceń					
1.	dynamiczne zmiany napięcia sieci	SW	-	-	-
2.	zmiany częstotliwości	SW	-	-	-
3	zakłócenia impulsowe	NW dla 0,3 us	SW dla zakłóceń repetycyjn. NW dla pojed. 1 us	SW 80 MHz próbk. 200 MHz 70 MHz próbk. 40 MHz	NW gęstość widmowa dla repetyc. impulsów
4	zakłócenia wąskopasmowe	-	SW z wkładkami 7L5 i 7L14	-	SW 20 Hz 10kHz 50 Hz 18GHz
5	inne funkcje pomiarowe	dc, temp. wilgotność tabl.2	rekonstrukcja kształtu obliczenia	tabl. 4	tabl. 5
B. Przystosowanie do pomiarów					
1	interfejs	RS 232C	GPIO /IEEE488/		
2	zewnętrzny obwód dopasow. wejście	nie wymaga	można wykorzystać wyposażenie pomocnicze systemu 7000		
3	liczba monitorowanych faz lub wejść	3	2 /4/	1 2	1 1
4	programowanie	przez operatora	przez interfejs lub przez operatora		
5	kalibracja, zasilenie rezerw	posiada posiada	brak informacji może być zastosowane		
6	wykonanie	walizkowe	przrządowe	7603	wkładki systemowe 7854 7603

SW - spełnia wymagania

NW - nie spełnia wymagań



Rys.7. System pomiarowy utworzony z aparatury komputerowej

1 - układy wejściowe dopasowujące

2 - pamięć kasetowa lub dyskowa do lokalnego zapisu informacji

7. Wnioski

1. W tabeli 6 podano zestaw specjalizowanej aparatury pomiarowej zapewniającej wykonywanie pomiarów zakłóceń występujących w sieciach elektroenergetycznych, istotnych dla poprawnej pracy robota. Jest to aparatura importowana z USA gdyż w krajach RWPG nie jest ona produkowana.

2. Kompletna aparatura pomiarowa zapewnia budowę automatycznego systemu pomiarowego zakłóceń przy wykorzystaniu komputera posiadającego kontrolery interfejsów RS232C i GPIB /IEEE488/ przykładowo komputera IBM **XT**. Umożliwia również rejestrację informacji pomiarowej na nośniku magnetycznym i późniejszą jej obróbkę na komputerze. Wyboru rozwiązania należy dokonać po dokładnej analizie szczegółowych parametrów technicznych uwzględniających głównie odporność tych rozwiązań na zakłócenia występujące w miejscu pomiaru. W aktualnie dostępnych informacjach katalogowych brak jest odpowiednich parametrów umożliwiających dokonanie tego wyboru.

3. Wymieniona w tabeli 6 aparatura została umieszczona w planach zakupu zlecenia za wyjątkiem cyfryzatorów. Przeprowadzona analiza parametrów zakłóceń i metod ich pomiarów wykazała, że kompletowany zestaw aparatury należy rozszerzyć o cyfryzator 7612 /lub 7D20/ firmy TEKTRONIX.

4. Warunkiem wykonania pracy jest realizacja zakupu aparatury oraz zapewnienie dostępu do zestawu komputerowego dla obróbki wyników pomiarów. Komputer powinien posiadać typowe oprogramowanie do obróbki wyników eksperymentalnych.

5. Monitor zakłóceń sieciowych model 3600 FRANKLIN ELECTRIC umożliwia przeprowadzenie pomiarów zakłóceń w miejscu pracy robota, przykładowo przed zainstalowaniem robota. Zapewnia to możliwość oszacowania wpływu lokalnych zakłóceń na pracę robotów oraz wybór dodatkowych środków przeciwwzakłóceńowych odpowiednich do lokalnych zakłóceń i wymaganej niezawodności pracy przed zainstalowaniem robota. Pozostała aparatura umożliwia przeprowadzenie badań dotyczących identyfikacji źródeł zakłóceń, mechanizmów rozprzestrzeniania zakłóceń w urządzeniach i systemach, wyboru efektywnych środków tłumienia zakłóceń.

Fakt wyboru zestawu urządzeń z jednego systemu przyrządów znanego producenta gwarantuje łatwe rozszerzanie funkcjonalne przez zakup odpowiednich wkładek /generatorów, zasilaczy/, korzystanie z bogatego asortymentu urządzeń pomocniczych /sondy pomiarowe, dzielniki, transformatory pomiarowe/ jak również zapewnia serwis urządzeń przez autoryzowane firmy krajowe.

8. Wykaz literatury

- 1 PN-86/E-06600. Automatyka i pomiary przemysłowe. Kompatybilność elektromagnetyczna urządzeń. Ogólne wymagania i badania.
- 2 Hołownia J. Współczesne ~~problemy~~ problemy kompatybilności elektromagnetycznej sprzętu komputerowego. Raport nr 128/SPR-008/86 Politechnika Wrocławska
- 3 Gurwicz J.S. Zaszczita EWM ot wniesznich pomiech. Eniergoatomidat. Moskwa 1984
- 4 IEC 555 2 Dokument 77/Central Office/7. Disturbances in Supply Systems Caused by Household Appliances and Similar Electrical Equipment. Part.2 Reference Impedances /Draft, Julay 1980/
- 5 Rotkiewicz W. Kompatybilność elektromagnetyczne w radiotechnice. WKŁ, Warszawa 1978
- 6 Godzisz Cz. Odporność urządzeń automatyki na zakłócenia sieci energetycznej. Prace VIII Krajowej Konferencji Automatyki, Szczecin 1980
7. Godzisz Cz. i inni: Kompatybilność elektromagnetyczna systemów komputerowych i sieci elektromagnetycznej. Prace Krajowej Konferencji Zastosowań Komputerów w Przemysle. Szczecin 1981
- 8 Godzisz Cz. Kompatybilność elektromagnetyczna urządzenia cyfrowego i środowiska. Biuletyn TI MERA, 9/1983
- 9 Godzisz Cz. i inni: Zalecane wymagania i metody ochrony niezawodności środków ETÖ od zewnętrznych zakłóceń elektromagnetycznych. Wymagania dotyczące kompatybilności elektromagnetycznej urządzeń komputerowych. TNOiK Warszawa, nr 28/U/84
- 10 Rechsteiner EB. Clean, Stable Power for Computers. EMC Technology no 3, 1985
- 11 Grossman M. Focus on UPS System: They Keep the Power Flowing. Electr. Design, May 10, 1980
- 12 Ozimek E. Podstawy teoretyczne analizy widmowej sygnałów. PWN, Poznań 1985
- 13 Sobkowski J. Częstotliwościowa analiza sygnałów. WMON, Warszawa 1975
- 14 Katalogi wyrobów i informacje reklamowe firm: TEKTRONIX 84, DATA LAB, DRANETZ catalog L, SUPERIOR ELECTRIC, FRANKLIN ELECTRIC, Programmed Power Division, NOISE LABORATORY, Informacyjny listok o nauczno-technicznym dostizienji nr 84-67, 84-68, 84-69 LITNIINTI 1984, sygnalizator zakłóceń sieciowych RZS 2 /MERA PIAP/.