

JÓZEF BIEGALSKI, LECH KACZMAREK

UŻYTKOWANIE PRZYRZĄDÓW POMIAROWYCH



Kolegium Karkonoskie w Jeleniej Górze
(Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa)

KOLEGIUM KARKONOSKIE
w Jeleniej Górze
(Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa)
WYDZIAŁ TECHNICZNY



UŻYTKOWANIE PRZYRZĄDÓW POMIAROWYCH

Józef Biegalski

Lech Kaczmarek

Jelenia Góra 2009

RADA WYDAWNICZA KOLEGIUM KARKONOSKIEGO

Tomasz Winnicki (przewodniczący), Grażyna Baran,
Izabella Błachno, Aleksander Dziuda, Barbara Mączka,
Kazimierz Stapór, Józef Zaprucki

RECENZENT

Jan Jagielski

PROJEKT OKŁADKI

Barbara Mączka

PRZYGOTOWANIE DO DRUKU

Barbara Mączka

DRUK I OPRAWA

ALEX, Drukarnia Wydawnictwo
ul. Chałubińskiego 20a, 58-570 Jelenia Góra

WYDAWCA

Kolegium Karkonoskie
w Jeleniej Górze
(Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa)
ul. Lwówecka 18,
58-503 Jelenia Góra

ISBN 978-83-926801-7-8

Niniejsze wydawnictwo można nabyć w Bibliotece i Centrum Informacji Naukowej
Kolegium Karkonoskiego w Jeleniej Górze, ul. Lwówecka 18, tel. 075 645 33 52

Spis treści

1.	PRZEDMOWA	5
2.	LABORATORYJNE STANOWISKO POMIAROWE	7
2.1.	Stanowisko pomiarowe	7
2.2.	Zasady bezpiecznej pracy w laboratorium	11
2.2.1.	Zasady ogólne	11
2.3.2.	Zabezpieczanie i uziemianie	12
2.3.3.	Środowisko pracy	12
2.3.4.	Instrukcja postępowania w laboratorium	13
3.	OPISY PŁYT CZOŁOWYCH	15
3.1.	Multimetry - mierniki uniwersalne	15
3.1.1.	Multimetr cyfrowy APPA 207	15
3.1.2.	Multimetr cyfrowy MXD - 4660A	17
3.1.3.	Multimetry serii M-38xx	19
3.2.	Oscyloskopy	22
3.2.1.	Oscyloskop analogowy 3502C	22
3.2.2.	Oscyloskop cyfrowy GDS-820/840	24
3.3.	Miernik zniekształceń nieliniowych HM8027	29
3.4.	Mierniki wartości RLC elementów biernych	30
3.4.1.	Mierniki wartości RLC ELC3131D	30
3.4.2.	Mierniki wartości RLC MT4090	32
3.5.	Generatory przebiegów sinusoidalnych	34
3.5.1.	Generator HM8037	34
3.5.2.	Generator HM8032	35
3.6.	Generatory funkcyjne	36
3.6.1.	Generator funkcyjny HM8030-6	36
3.6.2.	Generator funkcyjny GFG-3015	38
3.6.3.	Generator funkcyjny MXG9816A	40
3.7.	Zasilacz laboratoryjny serii DF17xx	41
3.8.	Zestaw pomiarowy MS-9150 (9140, 9160)	43
3.8.1.	Częstościomierz z zestawu pomiarowego	44
3.8.2.	Generator funkcji z zestawu pomiarowego	45
3.8.3.	Multimetr z zestawu pomiarowego	46
3.8.4.	Zasilacz stabilizowany z zestawu pomiarowego	48
3.9.	Analizator widma HM5511 (HM5510)	49
4.	UŻYTKOWANIE PRZYRZĄDÓW	52
4.1.	Zasada działania multimetru cyfrowego	52
4.2.	Pomiary multimetrem APPA 207	54
4.2.1.	Pomiar napięć	54
4.2.2.	Pomiar prądów	54
4.2.3.	Pomiar rezystancji	55

4.2.4.	Pomiar temperatury.....	55
4.3.	Pomiary multimetrem MXD-4660.....	56
4.3.1.	Pomiar napięcia i prądu stałego.....	56
4.3.2.	Pomiar napięcia i prądu zmiennego.....	57
4.4.	Pomiary oscyloskopowe.....	58
4.4.1.	Kalibrowane pomiary napięć.....	59
4.4.2.	Obserwacja dwóch sygnałów wejściowych.....	60
4.4.3.	Niepewności pomiarów oscyloskopowych.....	60
4.4.5.	Pomiary napięć stałych.....	62
4.4.6.	Pomiary kąta fazowego.....	63
4.4.7.	Pomiar współczynnika głębokości modulacji amplitudy.....	64
4.5.	Pomiar zniekształceń nieliniowych.....	66
4.5.1.	Współczynnik zawartości harmonicznych.....	66
4.5.2.	Obsługa miernika zniekształceń nieliniowych.....	67
4.6.	Pomiary elementów biernych RLC.....	69
4.6.1.	Elementy RLC w obwodach prądu przemiennego.....	69
4.6.2.	Obsługa miernika wartości RLC MT 4090.....	72
4.6.3.	Wykonywanie pomiarów wartości elementów RLC.....	73
4.7.	Generatory funkcyjne.....	76
4.7.1.	Zasada działania generatora funkcyjnego.....	76
4.7.2.	Obsługa generatora funkcyjnego MXG-9810A.....	76
4.7.3.	Zasada cyfrowego pomiaru częstotliwości.....	79
4.7.4.	Obsługa częstotliciemierza generatora funkcyjnego MXG-9810A.....	81
5.	OPRACOWANIE WYNIKÓW POMIARÓW.....	83
5.1.	Wykres liniowy.....	83
5.2.	Wykres z podziałką logarytmiczną.....	85
5.3.	Histogram.....	86
5.4.	Wyznaczanie parametrów statycznych i dynamicznych.....	87
5.5.	Przykładowe zadanie.....	89
5.6.	Niepewność pomiaru [wg 15].....	90
5.6.1.	Niepewność standardowa - ocena typu A.....	95
5.6.2.	Niepewność standardowa - ocena typu B.....	95
5.6.2.1.	Niepewność wzorcowania.....	95
5.6.2.2.	Niepewność wzorcowania przyrządów analogowych.....	96
5.6.2.3.	Niepewność wzorcowania przyrządów cyfrowych.....	97
	ZAŁĄCZNIKI.....	99
Z 1.	Symbole bezpieczeństwa.....	99
Z 2.	Jednostki w układzie SI.....	99
Z 3.	Wykaz używanych skrótów i symboli.....	100
Z 4.	Mnożniki, oznaczenia, symbole.....	108
Z 5.	Stałe fizyczne.....	109
Z 6.	Znaki klasycznego alfabetu greckiego.....	110
Z 7.	Zasoby internetowe użyte do opracowania.....	111
Z 8.	Literatura użyta do opracowania.....	112

1. PRZEDMOWA

Publikacja przeznaczona jest dla słuchaczy Kolegium Karkonoskiego, realizujących zajęcia w laboratoriach Wydziału Technicznego. Informacje zawarte w niniejszym opracowaniu mają na celu ułatwienie przygotowania do ćwiczeń, usprawnienie toku pomiarów oraz pomóc w opracowaniu wyników i wniosków.

Celem ćwiczeń laboratoryjnych jest praktyczne zapoznanie się z techniką pomiarów, nabycie umiejętności w posługiwaniu się podstawowym sprzętem stosowanym w miernictwie elektrycznym, opanowanie zasad dokumentowania, opracowania wyników wraz z analizą błędów pomiarowych. Obecnie dostępne w laboratoriach przyrządy konstruowane są przy wykorzystaniu wyrafinowanych technik i technologii. Producenci gwarantują wysoką niezawodność działania i dużą precyzję pomiarów, co nie zawsze idzie w parze z prostotą obsługi. Pewność i poprawność wykonanego pomiaru jest kluczowym problemem każdego doświadczenia a w szczególności dla organizatora ćwiczeń laboratoryjnych. Świadomość tej problematyki musi być obecna nie tylko na etapie organizowania stanowiska pomiarowego ale też u wykonawcy zadania pomiarowego.

Autorzy chcą ułatwić wykonywanie procedur badawczych, które to nie można sprowadzić jedynie do wykonania odczytu i rejestracji wyników. Na bazie dydaktycznych doświadczeń widzimy możliwości usprawnienia procedur badawczych przez m.in. zebranie i wyodrębnienie niezbędnych informacji o właściwościach przyrządów pomiarowych i ich użyciu w konkretnym badaniu. Przedstawione przykłady opracowania wyników w postaci analitycznej oraz graficznej mają na celu wskazać istotne dla opracowania wyników pomiarów sposoby analizy, syntezy i prezentacji.

Sprawne i efektywne wykorzystanie przyrządów pomiarowych zależy od stopnia znajomości posługiwania się nimi. Pełne instrukcje posługiwania się aparaturą są dostępne w każdym laboratorium. Jednak mało kiedy studenci korzystają z nich. Zdaniem autorów, dla konkretnego zastosowania instrukcje fabryczne są zbyt obszerne i zawierają wiele szczegółów, sprawiając przez to spore utrudnienia podczas realizacji zadania pomiarowego. Ponadto dostarczane przez producenta wraz z przyrządem instrukcje nie zawsze pisane są w języku polskim co dodatkowo utrudnia ich wykorzystanie.

Wybór użytego przyrządu nie należy do słuchaczy, gdyż problem ten został rozwiązany na etapie projektowania ćwiczenia. Ograniczony czas na wykonanie ćwiczenia w połączeniu z małym doświadczeniem słuchaczy w wykonywaniu pomiarów, uzasadnia sporządzenie skróconych instrukcji posługiwania się przyrządami do realizacji określonych instrukcją laboratoryjną zadań na stanowisku pomiarowym.

W wydawnictwie zawarto też tablice zawierające najczęściej stosowane oznaczenia, wyjaśnienie skrótów i napisów używanych na przyrządach, symbole i wartości stałych fizycznych. Załączona bibliografia zawiera pozycje książkowe i internetowe, które mają ułatwić pogłębienie omawianych zagadnień na drodze indywidualnego studiowania.

Opracowanie przygotowano dla istniejącej w laboratoriach Wydziału Technicznego bazy sprzętowej i literatury zalecanej na wykładach, dostępnej w Bibliotece KK.

Publikacja zawiera opis stanowiska laboratoryjnego jako przykład typowego zestawu stosowanego w pracowniach Wydziału Technicznego.

W kolejnych rozdziałach opisane zostały przyrządy pomiarowe spotykane na stanowiskach pomiarowych. Opis przyrządów rozdzielono na dwie części: przedstawiającą płyty czołowe wraz z organami regulacyjnymi oraz część opisującą posługiwanie się tymi przyrządami. Opis posługiwania się przyrządami jest ściśle związany z ich zastosowaniem na stanowisku laboratoryjnym. Zgodnie z głównym celem tego opracowania w oddzielnym rozdziale przedstawiono wykorzystanie pomiarów, ze szczególnym naciskiem na: opracowanie wyników, sporządzanie wykresów i oszacowanie wiarygodności pomiarów.

2. LABORATORYJNE STANOWISKO POMIAROWE

Praktyczna weryfikacja wiedzy teoretycznej z wielu przedmiotów realizowanych podczas studiów na Wydziale Technicznym (WT) np.: z Fizyki, Przyrządów półprzewodnikowych, Elementów biernych, Układów elektronicznych analogowych, cyfrowych itp. odbywa się na stanowiskach pomiarowych (badawczych) w laboratoriach przedmiotowych.

2.1. Stanowisko pomiarowe



Stanowiska pomiarowe organizowane są dla potrzeb realizowanego przedmiotu. Zakres badań jest podporządkowany potrzebom programowym kształcenia zgodnie z kierunkiem nauki. Realizowane ćwiczenia praktyczne pozwalają na znaczną unifikację wyposażenia stanowisk laboratoryjnych mimo wielkiej różnorodności wielkości mie-

rzonych. Elementami stanowiska są też: uproszczone instrukcje posługiwania się przyrządami, opisy metod pomiarowych i sposobów opracowania wyników.

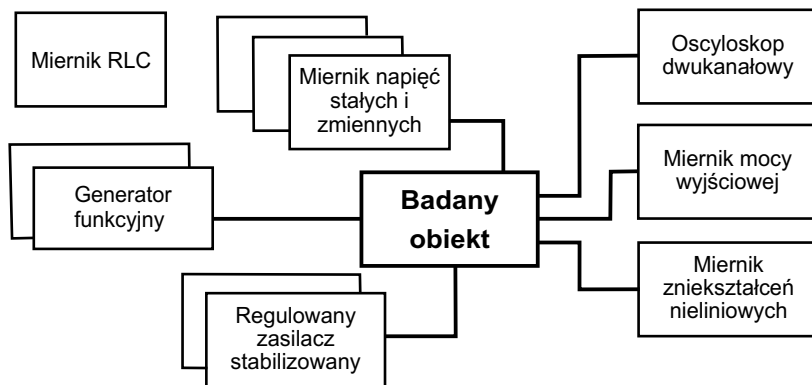
Zdjęcie przedstawia widok przykładowego zestawienia przyrządów spotykanych zazwyczaj na stanowiskach laboratoryjnych. Natomiast schemat blokowy typowego stanowiska laboratoryjnego przedstawia rys. 2.1. Tematyka ćwiczeń dla poszczególnych przedmiotów jest wcześniej określona, a opracowane instrukcje podają cele ćwiczenia, wiele szczegółów i informacji wprowadzających w istotę badania oraz szczegółowe schematy układów pomiarowych.

Niniejsze opracowanie ma na celu między innymi wykazanie uniwersalności technik pomiarowych, możliwości użycia tych samych przyrządów oraz podobieństwa problematyki pomiarowej do różnych pomiarów mimo, że często wydaje się brak związku między nimi.

Podobieństwo badania układów elektronicznych wynika z technologii i techniki produkcji elementów. Konstrukcja układów elektronicznych oparta jest na odpowiedniej kombinacji większej lub mniejszej ilości elementów biernych i czynnych. W układach tych można wyodrębnić punkty pomiarowe, tak aby badanie parametrów charakterystycznych (właściwości) sprowadzić do pomiarów napięcia i (lub) prądu zarówno stałego jak i zmiennego.

Parametry charakterystyczne elementów i układów badane są w określonych warunkach metodami określanymi w instrukcji laboratoryjnej. Przykładowo: jeżeli znamy napięcie na zaciskach elementu oraz znamy wartość jego rezystancji (lub impedancji) można wyznaczyć prąd płynący przez ten element. Natomiast przesunięcie fazowe między dwoma sygnałami zmiennymi można wyznaczyć przez obserwację na ekranie oscyloskopu przebiegów napięć jako funkcję czasu.

Do bezpośredniego pomiaru napięcia służy woltomierz, który przyłącza się równoległe do wybranych elementów, na których chcemy pomierzyć spadek napięcia. Jako miernik napięć stałych lub zmiennych w laboratoriach używa się miernika wielofunkcyjnego zwanego multimetrem.



Rys.2.1. Schemat blokowy typowego stanowiska pomiarowego

Multimetr wyposażony jest w kilkanaście funkcji nie tylko umożliwiających szeroki zakres pomiarów wielkości elektrycznych, ale również ułatwiających pracę np.: podświetlenie wyświetlacza - polepsza widoczność odczytu w złych warunkach oświetleniowych; kilka pól odczytowych - umożliwiają jednoczesny odczyt kilku mierzonych parametrów, np. przy pomiarach mocy można jednocześnie

odczytać: napięcie na odbiorniku, moc czynną pobieraną przez odbiornik oraz współczynnik mocy ($\cos \varphi$). Dzięki funkcji automatycznego doboru zakresu miernik samoczynnie wybiera zakres pomiarowy, zapewniając maksymalną dokładność odczytu mierzonej wartości. Inne funkcje pomiarowe dostępne w multimetrze, to np. pomiar względny (REL), porównanie poziomu sygnału (CMP), pamięć wyników (MEM), automatyczny wyłącznik, który odłącza zasilanie, itp.

Pomiary multimetrem napięć czy prądów przemiennych wysokiej częstotliwości ograniczone są górną częstotliwością pomiarową, rzędu 100kHz, stąd też godząc się na większą niedokładność stosuje się dla większych częstotliwości oscyloskopy. Głównym zadaniem oscyloskopu jest jednak prezentacja przebiegów czasowych. Uniwersalność tego przyrządu wynika z dużej czułości oraz możliwości oglądania przebiegów w szerokim paśmie częstotliwości.

Są to zasadnicze przyczyny, dla których oscyloskop jest chętnie stosowany na stanowiskach pomiarowych. Klasyczny oscyloskop pozwala na podstawie zobrazowania wykonać pomiary napięć i szeregu innych parametrów. Niestety dokładność tych pomiarów jest niska, a w wielu przypadkach niewystarczająca. Jednak możliwość szybkiej oceny badanych przebiegów oraz możliwość optycznej obserwacji reakcji badanego układu na wymuszenie stanowi o powszechnym jego stosowaniu.

Coraz powszechniejsze zastosowania zdobywają oscyloskopy cyfrowe. Są one kosztowniejsze od klasycznych. Wraz z wysoką ceną tych przyrządów idą w parze dużo większe możliwości pomiarowe. Dla zobrazowania przebiegów wykorzystywana jest obróbka cyfrowa badanego sygnału, która jednocześnie znacznie poszerza zakres mierzonych parametrów. Wprowadzenie techniki cyfrowej pozwoliło na bezpośrednią współpracę z innymi przyrządami i komputerem oraz znacznie poprawiło dokładność pomiarów, którą można porównać z pomiarami za pomocą multimetru.

W laboratoriach Wydziału Technicznego używane są podwójne zasilacze serii NDN-DF17xxS. Dostarczają one stabilizowanego napięcia stałego w dwóch trybach pracy: stabilizacji napięcia oraz stabilizacji prądu. Zarówno prąd i napięcie wyjściowe mogą być regulowane płynnie w zakresie od 0 do wartości nominalnej. Wyjścia regulowane mogą pracować: niezależnie, w połączeniu równoległym lub szeregowym.

Lista przyrządów używanych w laboratoriach Wydziału Technicznego nie jest długa. Z punktu widzenia praktycznego potwierdzenia zjawisk przedstawianych teoretycznie na wykładzie nie jest wymagana najwyższa klasa przyrządów pomiarowych. Istotne jest natomiast dobranie odpowiedniej aparatury i układu pomiarowego do metod stosowanych dla wyznaczenia zadanych parametrów i charakterystyk elementów i układów. Porównując ilość rodzajów przyrządów, wymienionych w tabeli nr 1, z ilością możliwych, zaplanowanych zestawów laboratoryjnych wystawianych na stanowiskach, potwierdza się założenie o możliwej unifikacji zestawów pomiarowych.

Sporządzając wykaz autorzy pominęli niektóre przyrządy, które należą do tej samej klasy, pełnią te same funkcje, a są po prostu wersją produkowaną wcześniej. Wykaz nie zawiera też przyrządów wskazówkowych zbudowanych w oparciu o elektromechaniczne ustroje pomiarowe.

Tabela nr 1. Wykaz przyrządów najczęściej używanych w laboratoriach

Lp.	Nazwa przyrządu	Typ
1.	Multimetr cyfrowy	APPA 207
2.	Multimetr cyfrowy	MXD-4660A
3.	Multimetr cyfrowy	M-3850M
4.	Multimetr cyfrowy	M-3809
5.	Oscyloskop analogowy dwukanałowy	3502C
6.	Oscyloskop cyfrowy	GDS-820C GDS-840
7.	Miernik zniekształceń nieliniowych	HM8027
8.	Miernik RLC	ELC-3131D
9.	Miernik RLC	MT 4090
10.	Generator sinusoidalny	HM8032
11.	Generator sinusoidalny	HM8037
12.	Generator funkcyjny	HM8030-6
13.	Generator funkcyjny	GFG-3015
14.	Generator funkcyjny	MXG9802A
15.	Generator funkcyjny	MXG9810A
16.	Zasilacz laboratoryjny	DF 1700S
17.	Laboratoryjny zestaw pomiarowy	MS-9140 MS-9150
18.	Zasilacz laboratoryjny	DF 1731SL2A DF 1731SB3A
19.	Miernik mocy wyjściowej	PWT-5A
20.	Analizator widma	HM 5510 HM 5511

Zasady posługiwania się przyrządami wymienionymi w tabeli nr 1 zostały opisane w następnych rozdziałach. Opisy przyrządów zostały rozdzielone na części zawierające: przeznaczenie elementów manipulacyjnych i zasady posługiwania się przyrządem do konkretnych pomiarów. Rozdzielenie nie jest przypadkowe, ma na celu zwrócenie uwagi na podobieństwo obsługi przyrządów przeznaczonych do tego samego rodzaju pomiarów.

Nie sposób opisać zasad posługiwania się wszystkimi dostępnymi przyrządami, jednak stosując analogię i rozumiejąc istotę pomiarów łatwiej się nimi posługiwać.

2.2. Zasady bezpiecznej pracy w laboratorium

Dla zachowania bezpieczeństwa obsługującego i zapewnienia odpowiednich warunków pracy przyrządu należy zwracać uwagę na ostrzeżenia i przestrzegać zaleceń ogólnych oraz zawartych w instrukcjach obsługi przyrządów.

2.2.1. Zasady ogólne

- 1) Napięcie na wejściu przyrządu pomiarowego nie może przekraczać wartości wybranego zakresu. Dla niektórych przyrządów jak np. woltomierze, na płycie czołowej podana jest wartość maksymalna V_{pp} (międzyszczytowa dla napięć zmiennych).
- 2) Nie należy na przyrządzie ustawiać żadnych ciężkich przedmiotów.
- 3) Podczas pracy i przenoszenia chronić urządzenie przed uderzeniami i silnymi wstrząsami, które mogą spowodować jego mechaniczne uszkodzenie.
- 4) Wykonując połączenia i dotykając elementów obwodu pomiarowego, należy pamiętać o możliwości wystąpienia ładunku elektrostatycznego i podjąć środki w celu jego kontrolowanego rozładowania.
- 5) Do podłączeń stosować tylko oryginalne przewody i adaptery z odpowiednimi końcówkami.
- 6) W czasie pracy otwory wentylacyjne na tylnej i bocznych ścianach urządzenia nie mogą być zasłonięte, w celu zapewnienia cyrkulacji powietrza chłodzącego.

Nie należy samodzielnie otwierać obudowy przyrządów i dokonywać wymiany jego podzespołów. Wszelkie naprawy przyrządu należy zlecać autoryzowanemu serwisowi fabrycznemu.

2.3.2. Zabezpieczanie i uziemianie

W praktyce laboratoryjnej stanowiska pomiarowe spełniają przedstawiane dalej warunki, jednak wykonujący pomiaru musi mieć pełną świadomość bieżącej kontroli i odpowiedzialności za przestrzeganie niniejszych zasad:

- 1) Napięcie zasilające nie powinno przekraczać $\pm 10\%$ zakresu znamionowego. Przed pierwszym podłączeniem przyrządu do sieci napięcia zmiennego sprawdzić, czy zainstalowany bezpiecznik sieciowy jest zgodny ze specyfikacją użytego przyrządu.
- 2) Aby uniknąć porażenia prądem elektrycznym należy zapewnić połączenie przewodu ochronnego kabla zasilającego z uziemieniem. Takie połączenie gwarantuje sprawne gniazdko sieciowe z kołkiem uziemiającym.
- 3) Dla zachowania poziomu bezpieczeństwa przeciwpożarowego spalony bezpiecznik może być zastąpiony jedynie elementem zgodnym ze specyfikacją.
- 4) Przed przystąpieniem do wymiany bezpiecznika odłączyć kabel zasilający.
- 5) Ponieważ spalenie bezpiecznika świadczy o usterce przyrządu, przed wymianą bezpiecznika zlokalizować przyczynę zwarcia w obwodach i dopiero wówczas wymienić bezpiecznik.
- 6) Czyszczenie przyrządu może być wykonane tylko po odłączeniu kabla zasilającego. Do czyszczenia obudowy używać miękkiej szmatki zwilżonej wodnym roztworem łagodnego detergentu. Zwracać uwagę, aby do wnętrza urządzenia nie dostał się żaden płyn (np. w postaci aerozolu, deszczu itp.).

2.3.3. Środowisko pracy

Przyrządy używane w laboratoriach zazwyczaj są przyrządami klasy A, więc mogą powodować interferencje radiowe wpływające na pracę innych urządzeń elektronicznych. W takim przypadku użytkownik zobowiązany jest do podjęcia niezbędnych środków zapobiegawczych.

Warunki otoczenia powinny być dobierane dla poprawnej pracy przyrządów wg następujących wymogów:

1. praca w pomieszczeniach bez zapylenia, z dala od silnych źródeł pola magnetycznego i w miejscach nie narażonych na bezpośrednie działanie promieniowania słonecznego,
2. wysokość n.p.m.: <2000m,
3. temperatura: 0° C - 50° C,
4. wilgotność względna: <80%,
5. kategoria instalacyjna: II,
6. stopień zanieczyszczeń: 2.

Przed każdorazowym użyciem przyrządu pomiarowego zasilanego z sieci energetycznej należy upewnić się, czy jest on prawidłowo uziemiony. Takie uziemienie zapewnia podłączenie przyrządu oryginalnym kablem do gniazda sieciowego z kołkiem ochronnym. Kolejną czynnością jest podpięcie przewodów pomiarowych do gniazd wejściowych badanego podzespołu, a po sprawdzeniu czy badane urządzenie jest wyłączone, do źródła sygnału. Dopiero po zestawieniu obwodu pomiarowego można włączyć zasilanie.

2.3.4. Instrukcja postępowania w laboratorium

Przygotowanie do zajęć laboratoryjnych.

Poprawna realizacja postawionych w trakcie odbywania zajęć laboratoryjnych zadań wymaga od studenta przygotowania, które powinno obejmować:

- dokładne zapoznanie z instrukcją do ćwiczenia,
- odświeżenie wiadomości teoretycznych do rozpatrywanego w zadaniu problemu,
- przygotowanie protokołu do pomiarów,
- odbycie przed realizacją ćwiczenia kolokwium sprawdzającego.

W celu zapewnienia bezpieczeństwa pracy w laboratorium należy przestrzegać następujących ogólnych zasad:

- zaznajomić się z umiejscowieniem wyłączników napięcia zasilającego stanowisko oraz wyłącznika głównego,
- przed przystąpieniem do montowania układu sprawdzić, czy źródła zasilania układów są wyłączone,
- nie używać uszkodzonych przewodów łączących,

- nie włączać układu pomiarowego pod napięcie bez sprawdzenia przez prowadzącego,
- usunąć ze stanowiska wszystkie zbędne przedmioty,
- nie dotykać w czasie pomiarów nie izolowanych elementów będących pod napięciem,
- montaż układu pomiarowego powinien zapewnić jak najkrótsze połączenia między elementami, przejrzyste, zgodne ze schematem pomiarowym rozmieszczenie przyrządów (ułatwia to sprawdzenie połączeń i obserwację wskazań),
- włączenie napięcia poprzedzić uprzedzeniem współpracujących przy stanowisku osób,
- w przypadku zauważenia zmian w układzie, mogących spowodować uszkodzenie urządzeń lub stworzyć niebezpieczeństwo porażenia, należy natychmiast wyłączyć napięcie zasilające i powiadomić o sytuacji prowadzącego,
- w celu dokonania zmian w układzie pomiarowym zasilanym napięciem bezpiecznym (do 25 V napięcia przemiennego i do 60 V napięcia stałego) nie trzeba wyłączać napięć zasilających badany układ i nie jest konieczne w takiej sytuacji wyłączenie z sieci przyrządów pomiarowych,
- właściwie dobrać zakresy pomiarowe przyrządów,
- rozłączenie obwodów powinno nastąpić po ustawieniu zasilacza na minimum napięcia i ich wyłączeniu. Demontaż przeprowadzamy od strony źródeł zasilania.

Porażenia prądem.

W razie porażenia osoby prądem elektrycznym w pierwszej kolejności należy uwolnić porażonego spod działania prądu i powiadomić prowadzącego zajęcia, w razie potrzeby udzielić pierwszej pomocy (np. masażu serca i sztucznego oddychania) i powiadomić lekarza.

Pożar

- wyłączyć napięcie zasilania,
- powiadomić współuczestników zajęć o niebezpieczeństwie,
- przystąpić do gaszenia pożaru przy pomocy dostępnych środków gaśniczych. Nie wolno gasić pożarów urządzeń elektrycznych wodą czy gaśnicami pianowymi, próba gaszenia niewłaściwymi środkami gaśniczymi może zakończyć się porażeniem osoby gaszącej,
- powiadomić straż pożarną.

3. OPISY PŁYT CZOŁOWYCH

3.1. Multimetry - mierniki uniwersalne

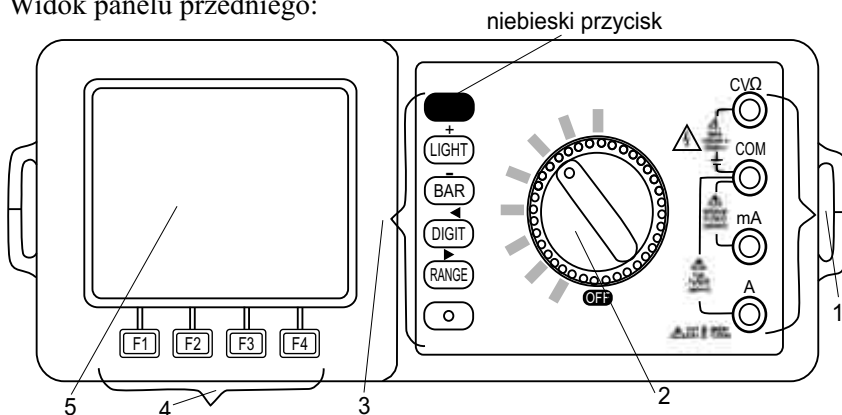
Współczesne multimetry sprawdziły się jako narzędzia o szczególnej użyteczności i stanowią dziś znaczącą grupę narzędzi pomiarowych. Wiedza o wykonywaniu przy ich pomocy pomiarów, interpretacja wyników pomiaru, stanowi ważne uzupełnienie programu studiów. Przedstawione multimetry cyfrowe należy traktować jako reprezentację najszerzej stosowanych elektrycznych narzędzi pomiarowych.

3.1.1. Multimetr cyfrowy APPA 207

Multimetr cyfrowy APPA 207 oprócz pomiaru napięć i prądów stałych oraz zmiennych pozwala mierzyć: rezystancję, pojemność, częstotliwość i temperaturę. Pokazuje rzeczywistą wartość skuteczną. Duży wyświetlacz, z podświetlonym tłem pokazuje trzy wartości jednocześnie. Posiada także analogową skalę (bargraph). Dokładność pomiaru: napięć stałych $0,1\%+2d$, napięć zmiennych $< 3\%+7d$, prądu stałego $0,2\%+4d$.



Widok panelu przedniego:



Rys. 3.1. Panel przedni multimetru APPA 207

1- gniazda wejściowe; 2 - obrotowy przełącznik funkcji; 3 - przyciski funkcyjne; 4 - przyciski menu funkcyjnego (przyciskami F1, F2, F3, F4 dokonuje się wyboru funkcji opcji z menu wskaźnika); 5 - wskaźnik LCD z potrójnym odczytem numerycznym.

Wybór funkcji pomiarowej, rodzaju pomiaru, dokonuje się przez obrót pokrętła obrotowego przełącznika funkcji zgodnie z kierunkiem ruchu wskazówek zegara (w prawo). Opis pozycji ma oznakowanie dwukolorowe: podstawowe na czarno i dodatkowe na niebiesko - aktywowane niebieskim przyciskiem. Wybranie funkcji sygnalizowane jest pojawieniem się ramki w menu (na wyświetlaczu) wokół nazwy wybranej funkcji:

LIGHT - przycisk do włączenia i wyłączenia oświetlenia wskaźnika,

BAR - przycisk do przełączania między rodzajami liniiki analogowej,

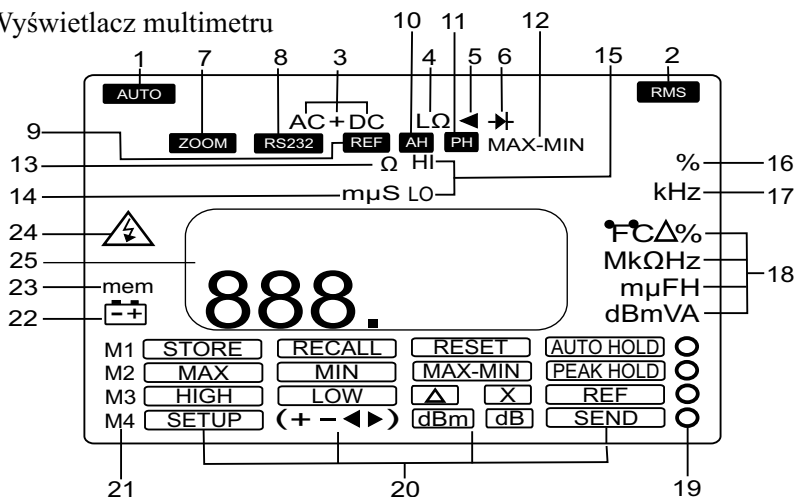
DIGIT - przycisk przełączania rozdzielczości odczytu cyfrowego

RANGE - przycisk włączenia ręcznego doboru zakresu pomiarowego.

PRZYCISK Z KÓŁKIEM - służy do ustawienia aktywnego wiersza menu funkcyjnego.



PRZYCISK NIEBIESKI - służy do włączania oznaczonych na niebiesko funkcji przełącznika obrotowego.

Wyświetlacz multimetru



Rys. 3.2. Wyświetlacz multimetru APPA 207

- (1) AUTO- automatyczny dobór zakresu.
- (2) RMS - pomiar wartości skutecznej.
- (3) AC+DC - rodzaj napięcia (DC stałe/AC przemienne/AC+DC złożone)

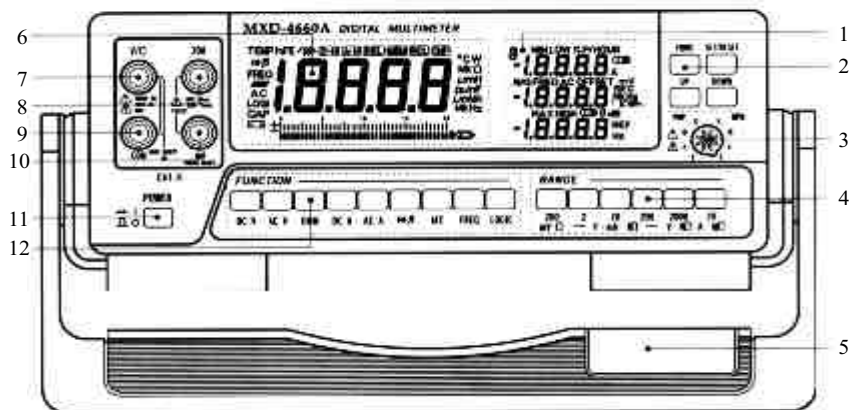
- (4) $L\Omega$ - pomiar rezystancji.
- (5) ◀ - test ciągłości.
- (6) →+ - test diod.
- (7) ZOOM - rozciąg liniiki analogowej.
- (8) RS232 - transmisja danych przez interfejs szeregowy.
- (9) REF - tryb pomiarów względnych.
- (10) AH - tryb „zamrażania” odczytu, automatycznie po osiągnięciu stabilnego odczytu (AUTO HOLD).
- (11) PH - tryb pomiaru wartości szczytowej.
- (12) MAX-MIN - pamięć wartości minimalnej i maksymalnej.
- (13) Ω – rezystancja obciążenia.
- (14) m μ s - pomiar okresu sygnału.
- (15) LO, HI - poziomy odniesienia.
- (16) % - pomiar względny.
- (17) kHz - pomiar częstotliwości.
- (18) jednostki pomiaru głównego pola odczytu - wyświetlane są w zależności od wybranego rodzaju pomiaru.
- (19) wskaźnik wierszy menu - wskazuje aktywny wiersz.
- (20) menu, podświetlany wskaźnik wybranej opcji z menu funkcyjnego.
- (21) M1, M2, M3, M4 - menu funkcyjne.
- (22)  - stan baterii.
- (23) mem - pamięć odczytów.
- (24)  symbol ostrzegawczy - jest wyświetlany kiedy napięcie wejściowe jest większe od 60V DC lub 30V AC.
- (25) pole pięciosegmentowego wyświetlacza wyniku pomiaru.

3.1.2. Multimetr cyfrowy MXD - 4660A

Multimetr MXD-4660A służy do pomiarów: napięć i prądów, rezystancji, częstotliwości oraz niektórych parametrów elementów półprzewodnikowych. Wynik pomiaru wyświetlany jest na wielofunkcyjnym wyświetlaczu LCD z podświetlaniem oraz na trzech dodatkowych polach odczytu wielkości pomocniczych. Dokładność pomiaru: napięć stałych 0,05%+3d, napięć zmiennych < 2,5%+10d, prądu stałego 1,5%+10d



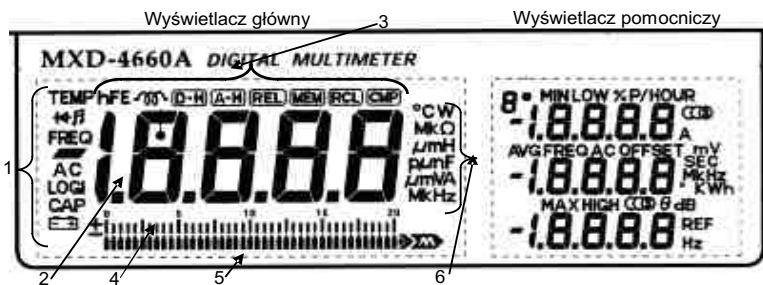
Opis elementów regulacyjnych:



Rys. 3.3. Widok panelu przedniego multimetru MXD-4660A

- (1) Pomocniczy wyświetlacz LCD.
- (2) Klawisz funkcji programowania.
- (3) Gniazdo przyłączenia tranzystora.
- (4) Przełącznik zakresu pomiarowego.
- (5) Rączka - podstawa.
- (6) Główny wyświetlacz LCD.
- (7) Gniazdo wejściowe pomiaru napięcia i rezystancji.
- (8) Gniazdo wejścia pomiaru prądu zakresu 20A.
- (9) Gniazdo wspólne dla wszystkich wejść pomiarowych.
- (10) Gniazdo wejścia pomiaru prądu zakresu mA.
- (11) Przycisk włączenia zasilania.
- (12) Przełączniki rodzaju pracy przyrządu.

Podczas pracy z miernikiem wyświetlane są tylko niektóre, zgodnie z wykonywaną funkcją, etykiety i znaczki dając jasny i czytelny obraz wykonanego pomiaru.

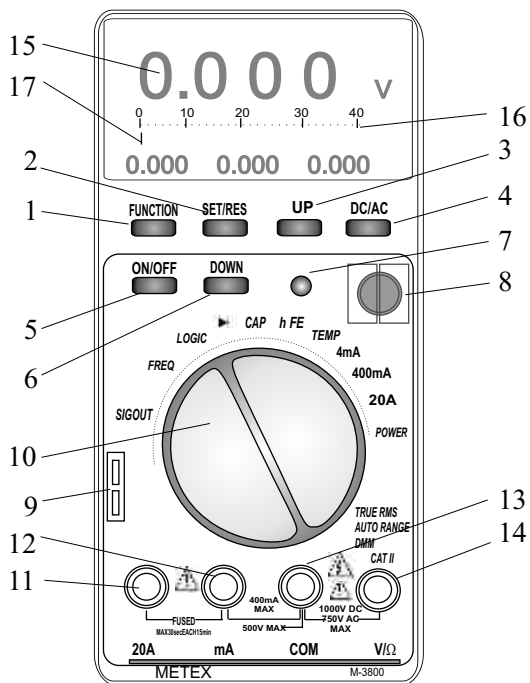


Rys. 3.4. Wyświetlacz multimetru MXD-4660A

- (1) wyświetlacz wybranego rodzaju pracy,
- (2) wyświetlacz cyfrowy,
- (3) wyświetlacz wybranej funkcji,
- (4) podziałka analogowa,
- (5) wyświetlacz analogowy,
- (6) wyświetlacz jednostek.

3.1.3. Multimetry serii M-38xx

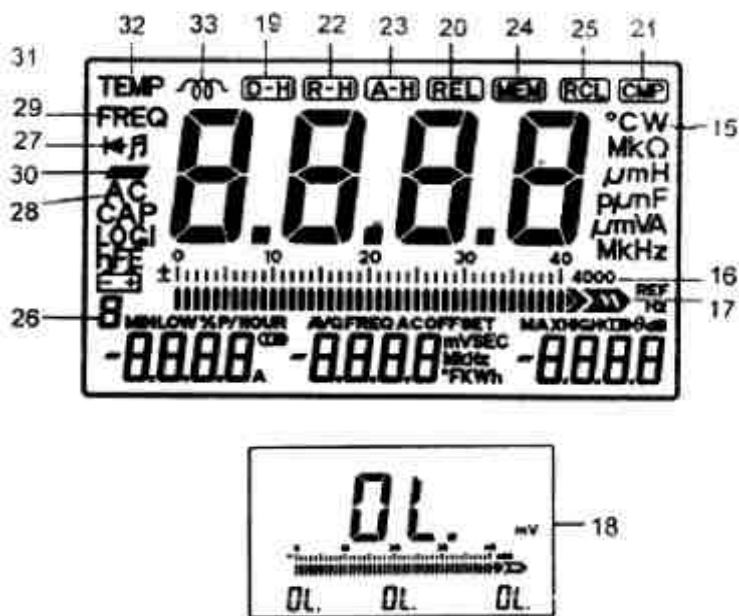
Współczesne nawet najprostsze multimetry przenośne (warsztatowe) pozwalają na pomiar tych samych wielkości, co do niedawna było właściwością stacjonarnych przyrządów laboratoryjnych. Wyposażone są we wskaźniki cyfrowe. Do realizacji pomiarów służą trzy zaciski oznaczone symbolami COM, V/Ω, A. Zacisk COM jest używany w każdym rodzaju pomiarów jako zacisk wspólny. Bardzo ważne jest użycie właściwych zacisków pomiarowych i prawidłowe ustawienie funkcji przyrządu. Dokładność pomiaru: napięcie stałych 0,3%+1d, napięcie zmiennych <1%+3d, prądu stałego 1,5%+5d



Rys. 3.5. Panel przedni multimetru M-3860

Opis elementów regulacyjnych:

- (1) FUNCTION - przycisk funkcyjny.
- (2) SET/RES - przycisk wyboru/kasowania
- (3) UP - przycisk wyboru wyższego zakresu pomiarowego w trybie ręcznego doboru zakresu.
- (4) DC/AC - przycisk wyboru rodzaju napięcia (stałe/zmienne).
- (5) ON/OFF - włącznik zasilania.
- (6) DOWN - przycisk wyboru niższego zakresu pomiarowego w trybie ręcznego doboru zakresu.
- (7) Włącznik podświetlenia wskaźnika.
- (8) Gniazdo pomiarowe tranzystorów.
- (9) Gniazdo pomiaru pojemności, indukcyjności i temperatury.
- (10) Obrotowy przełącznik zakresów i podstawowych funkcji pomiarowych.
- (11) 20A - wejście pomiarowe maksimum 20A. Zabezpieczone bezpiecznikiem topikowym 12A/250V.
- (12) mA - wejście pomiarowe wykorzystywane przy pomiarach prądów stałych (DC) i zmiennych (AC) do 400mA. Zabezpieczone bezpiecznikiem topikowym 800mA/250V.
- (13) COM - wejście pomiarowe wspólne (ujemne).
- (14) V/ Ω - wejście pomiarowe napięcia (plusowe) lub rezystancji.
- (15) Wyświetlacz LCD (3 ³/₄ cyfry, maksymalny odczyt 4000).
- (16) Linijka analogowa.
- (17) Wskaźnik linijki analogowej.
- (18) OL - wskaźnik, wyświetla przepełnienie.
- (19) D-H - wskaźnik funkcji DATA-HOLD. Wskaźnik ręcznego „zamrożenia” wybranego odczytu na wyświetlaczu.
- (20) REL - wskaźnik funkcji pomiarów względnych.
- (21) CMP - wskaźnik funkcji dyskryminatora - poziom sygnału.
- (22) R-H - wskaźnik funkcji ręcznego ustawiania zakresu.
- (23) A-H - wskaźnik funkcji AUTO-HOLD. Funkcja automatycznego zapamiętywania wartości maksymalnej, minimalnej i średniej danej serii pomiarowej. Wartości te są wyświetlane na wskaźnikach dodatkowych, gdy na wskaźniku podstawowym pokazywana jest bieżąca wartość pomiaru.
- (24) MEM - wskaźnik pamięci.
- (25) RCL - wskaźnik odczytu pamięci.



Rys. 3.6. Wyświetlacz multimetru serii M38xx

- (26) Numer komórki pamięci.
- (27) $\rightarrow +$ - wskaźnik testera diod.
- (28) AC - wskaźnik prądu lub napięcia zmiennego.
- (29) FREQ - wskaźnik pomiaru częstotliwości.
- (30) — - wskaźnik polaryzacji ujemnej sygnału wejściowego.
- (31) ♪ - wskaźnik akustycznego testu ciągłości
- (32) TEMP - wskaźnik pomiaru temperatury.
- (33) \sim - wskaźnik pomiaru indukcyjności.

Na ekranie widoczne są dodatkowe cyfrowe pola odczytowe używane w różnych trybach funkcyjnych:

- ☒ wskaźnik baterii;
- CAP - wskaźnik pomiaru pojemności,
- hFE - wskaźnik pomiaru wzmocnienia tranzystorów,
- LOG - wskaźnik testu stanów logicznych oraz wskaźniki jednostek wielkości pomiarowych: °C, W, MΩ, MkΩ, μH, mH, nF, μF, pF, μV, mV, V, μA, mA, A, MHz, kHz.

3.2. Oscyloskopy

Oscyloskop służy do prezentowania przebiegów czasowych. Obecnie używane są oscyloskopy analogowe. Coraz częściej można spotkać oscyloskopy cyfrowe z wyświetlaczem ciekłokrystalicznym. Bardzo powszechnie stosowany jest w laboratoriach oscyloskop dwukanałowy. Może on spełniać też funkcję woltomierza. Pomiar oscyloskopem analogowym nie jest takiej dokładności jak pozwala na to oscyloskop cyfrowy, ale wystarczający dla potrzeb prowadzonych badań w laboratorium.

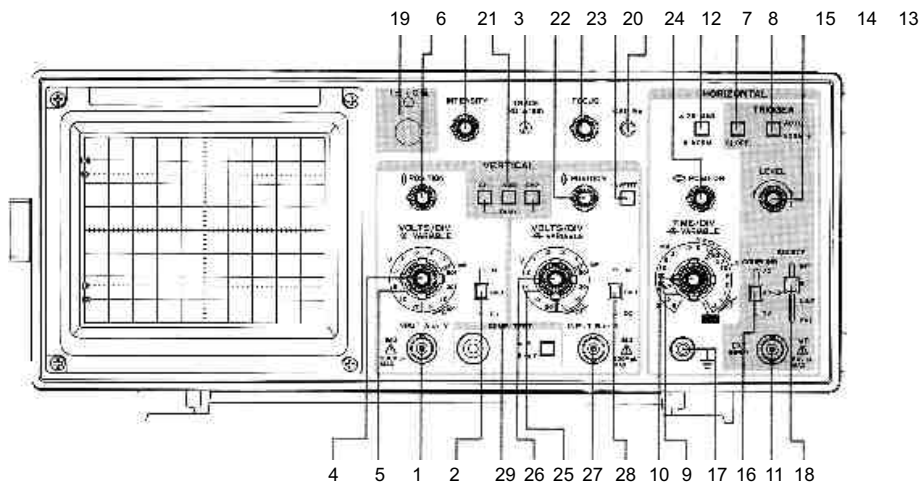
3.2.1. Oscyloskop analogowy 3502C

Przyrząd ten został szczególnie starannie zaprojektowany dla uproszczenia pracy w trybie X-Y (odchylenie strumienia sygnałami wejściowymi w osi pionowej i poziomej). Oscyloskop posiada: lampę oscyloskopową o przekątnej 15 cm z wewnętrzną siatką współrzędnych, dwa kanały wejściowe z czułością odchylenia od 5mV do 20V/dz, pasmo przenoszenia do 20MHz, impedancja wejściowa $1M\Omega \pm 3\%$, 30pF $\pm 3pF$.



Opis elementów regulacyjnych:

- (1) Gniazdo wejściowe sygnału kanału A.
- (2) Przełącznik rodzaju sprzężenia kanału A:
AC - składowe stałe sygnału blokowane.
GND - wejście wzmacniacza odchylenia pionowego na potencjale zerowym. Przebieg wejściowy odnoszony do poziomu zerowego.
DC - wszystkie składowe sygnału wejściowego wyświetlane na ekranie.
- (3) Przyciski trybu odchylenia pionowego:
A - wciśnięcie uruchamia odchylenie sygnałem kanału A,
B - wciśnięcie uruchamia odchylenie sygnałem kanału B,
ADD - wciśnięcie uruchamia odchylenie sumą sygnałów A i B.
Odwroćenie polaryzacji kanału B przyciskiem 24 (INVERT) spowoduje wyświetlanie na ekranie różnicy przebiegów A i B.



Rys.3.7. Elementy regulacyjne oscyloskopu 3502C

- DUAL - wciśnięcie przycisków A i B uruchamia tryb dwukanałowy.
- (4) Potencjometr płynnej regulacji czułości kanału A.
- (5) Przełącznik zakresów czułości wejściowej kanału A.
Warunkiem uzyskania kalibrowanej wartości tłumienia jest ustawienie potencjometru (4) w prawym skrajnym położeniu.
- (6) Pokrętko regulacji położenia w pionie przebiegu kanału A (CH-A).
- (7) Pokrętko regulacji położenia przebiegów w poziomie.
- (8) Przycisk rozciągu podstawy czasu.
- (9) Przełącznik skokowej regulacji okresu podstawy czasu.
20 kalibrowanych wartości od 0,2 μ s do 0,5s na działkę.
Obrót przełącznika w prawe skrajne położenie włącza tryb odchyłania X-Y - sygnał kanału B steruje odchyłaniem poziomym plamki.
- (10) Potencjometr płynnej regulacji okresu podstawy czasu.
- (11) Wejście (BNC) zewnętrznego sygnału wyzwalającego.
- (12) Wyjście (końcówka) sygnału kalibratora o przebiegu prostokątnym o napięciu 0,5Vp-p i częstotliwości ok. 1kHz.
- (13) Potencjometr regulacji poziomu wyzwalania.
- (14) Przycisk trybu wyzwalania. W pozycji AUTO (wciśnięty).
- (15) Przycisk wyboru zbrocza wyzwalającego - dodatnie (+) lub ujemne (-).

- (16) Przełącznik rodzaju sprzężenia sygnałów wyzwalających:
AC - praca normalna,
HF REJ - sprzężenie przez filtr dolnoprzepustowy,
TV - wewnętrzny kompletny sygnał TV.
- (17) Zacisk uziemienia.
- (18) Przełącznik źródła sygnału wyzwalającego:
INT - sygnałem wyzwalającym jest suma przebiegów wejściowych obu kanałów,
CH-A - sygnałem wyzwalającym jest przebieg kanału A, z tym że przy pracy jedno-kanałowej przebieg synchronizujący jest brany z aktualnie pracującego kanału,
CH-B - sygnałem wyzwalającym jest przebieg kanału B, z uwagą jak wyżej,
LINE - impulsy synchronizujące są generowane zgodnie z przebiegiem napięcia sieci,
EXT - impulsy wyzwalające są wytwarzane z przebiegu doprowadzonego do gniazda 11.
- (19) Włącznik sieciowy
- (20) Potencjometr regulacji ostrości obrazu.
- (21) Potencjometr regulacji jaskrawości obrazu.
- (22) Regulacji równoległości linii podstawy czasu.
- (23) Potencjometr regulacji położenia w pionie kanału B.
- (24) Przycisk odwracania polaryzacji sygnału kanału B - przycisk wciśnięty polaryzacja odwrotna. Funkcja zmiany polaryzacji umożliwi obserwację różnicy przebiegów w trybie ADD.
- (25) Przełącznik czułości wejściowej kanału B. (tak jak dla kanału A).
- (26) Potencjometr płynnej regulacji czułości kanału B.
- (27) Gniazdo wejściowe (BNC) sygnału kanału B (CH-B).
- (28) Przełącznik rodzaju sprzężenia kanału B.
Parametry jak dla kanału A.
- (29) Zespół testowania biernych podzespołów elektronicznych

3.2.2. Oscyloskop cyfrowy GDS-820/840

Zasadniczym podzespołem oscyloskopu cyfrowego jest szybki przetwornik analogowo-cyfrowy. Przetwornik ten umożliwia zamianę analogowego sygnału na sygnał cyfrowy, który zostaje zapisywany w pamięci cyfrowej oscyloskopu. Zapamiętany przebieg, po pobraniu go z pamięci cyfrowej, steruje układem rekonstrukcji przebiegu.

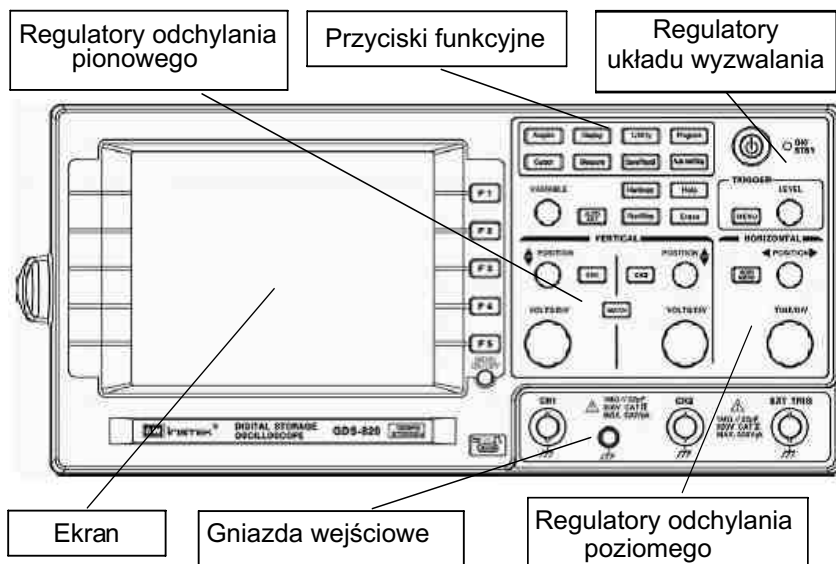
Oprócz możliwości bezpośredniego oglądania przebiegów na ekranie, oscyloskop cyfrowy pozwala na przesyłanie ich w postaci cyfrowej poprzez interfejs do dalszej obróbki i analizy. Interfejs taki pozwala również na zdalne sterowanie nastawami oscyloskopu i organizację pobierania próbek (ilość próbek w rekordzie, moment rozpoczęcia próbkowania, ilość zarejestrowanych rekordów). Najczęściej wykorzystywane w tym celu są interfejsy RS 232, GPIB i USB.

Oscyloskopy DS-820/840 są dwukanałowymi oscyloskopami cyfrowymi sterowane 32-bitowym mikroprocesorem. Pasma przenoszenia 150MHz (250MHz dla GDS-840) i częstotliwość próbkowania 100MS/s na kanał. Ekran o przekątnej 14cm.



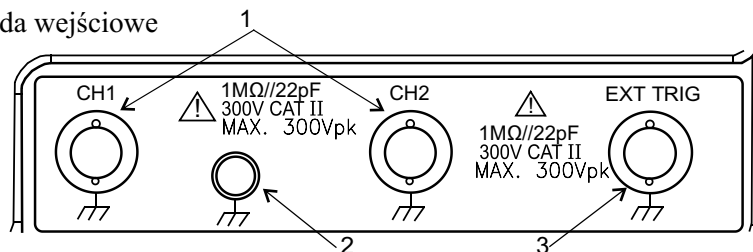
Zaprojektowany dla szerokiego zakresu zastosowań: jest przystosowany do fourierowskiej analizy sygnałów, posiada wbudowany 6-cyfrowy częstotściomierz, wyposażony w złącze równoległe (drukarkowe), RS-232 (szeregowe) oraz port USB.

Opis elementów regulacyjnych:



Rys. 3.8. Widok panelu przedniego oscyloskopu GDS-820

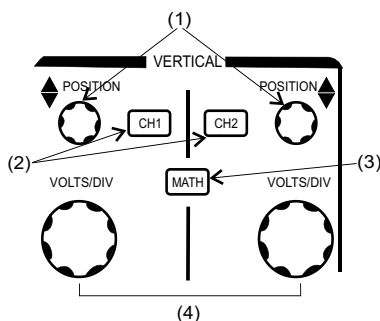
Gniazda wejściowe



Rys. 3.9. Gniazda wejściowe oscyloskopu

- (1) Gniazda wejściowe sygnałów kanałów 1. (CH1) i 2. (CH2).
- (2) Zacisk uziemienia.
- (3) Gniazdo zewnętrznego sygnału wyzwania.

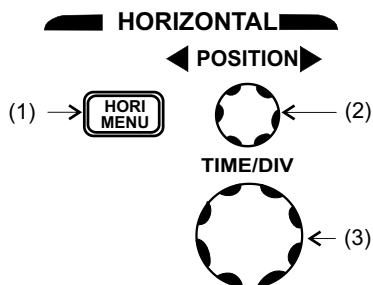
Regulatory odchylenia pionowego



Rys. 3.10. Regulatory odchylenia pionowego

- (1) Pokrętła regulacji położenia w pionie przebiegów kanału 1. i 2.
- (2) Przyciski menu wyboru funkcji układu odchylenia pionowego oraz włączania wyświetlania przebiegów kanału 1. (CH1) i 2. (CH2).
- (3) Przycisk wyboru funkcji matematycznych.
- (4) Pokrętła regulacji współczynnika odchylenia pionowego przebiegów kanału 1. i 2.

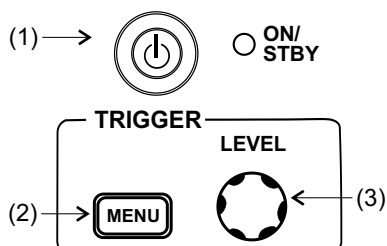
Regulatory układu odchylenia poziomego



Rys. 3.11. Regulatory odchylenia poziomego

- (1) Przycisk menu funkcji układu odchylenia poziomego.
- (2) Pokrętło regulacji położenia przebiegów w poziomie.
- (3) Pokrętło regulacji współczynnika podstawy czasu.

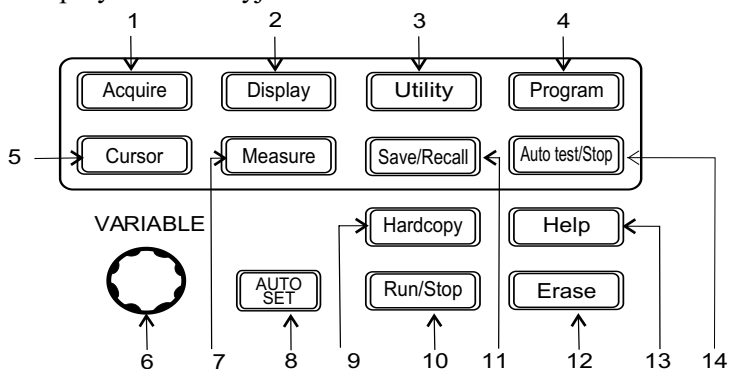
Regulatory układu wyzwalania



- (1) Włącznik zasilania oscyloskopu ON/STANDBY (załączony/czuwanie).
- (2) Przycisk menu wyzwalania (wybór rodzaju źródła i trybu wyzwalania podstawy czasu).
- (3) Pokrętko regulacji poziomu wyzwalania.

Rys. 3.12. Regulatory układu wyzwalania

Pozostałe przyciski funkcyjne

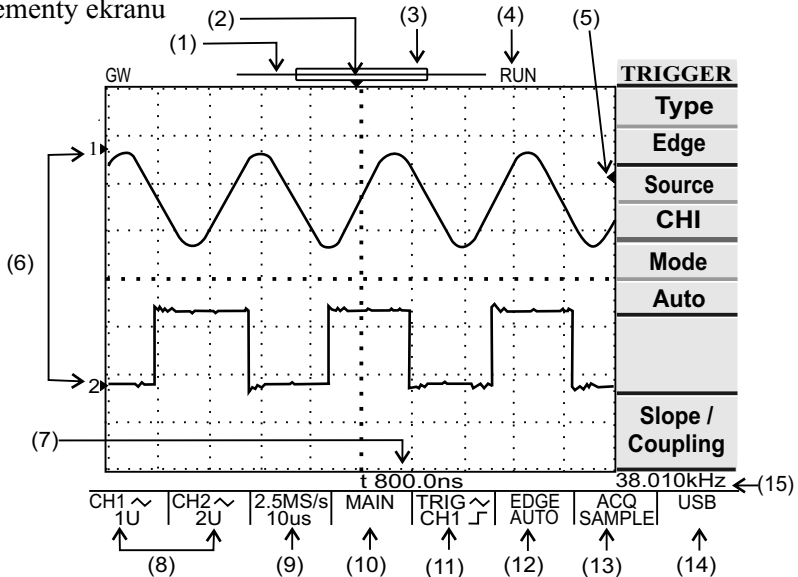


Rys. 3.13. Przyciski funkcyjne oscyloskopu GDS-820

- (1) Przycisk wyboru trybu akwizycji.
- (2) Przycisk wyboru trybu pracy ekranu.
- (3) Przycisk menu funkcji użytkowych (obsługa portów i drukarki, język komunikatów).
- (4) Ustawianie trybu „Program”.
- (5) Przycisk wyboru rodzaju kursorów.
- (6) Pokrętko wielofunkcyjne obsługi menu ekranowych.
- (7) Przycisk dostępu do 15. różnych pomiarów automatycznych.
- (8) Przycisk funkcji samonastawności (automatyczny dobór optymalnych ustawień oscyloskopu odpowiednio do sygnału wejściowego).
- (9) Wydruk zawartości ekranu.
- (10) Przycisk startu (Run) i zatrzymania (Stop) akwizycji danych przebiegu wejściowego.

- (11) Przycisk obsługi pamięci przebiegów i ustawień.
- (12) Przycisk czyszczenia zawartości ekranu.
- (13) Wyświetlanie plików pomocy na ekranie.
- (14) Przycisk zatrzymania odtwarzania procedury trybu „Program”.

Elementy ekranu



Rys. 3.14. Zobrazowanie badanych przebiegów i wyświetlanych wskaźników na ekranie oscyloskopu cyfrowego

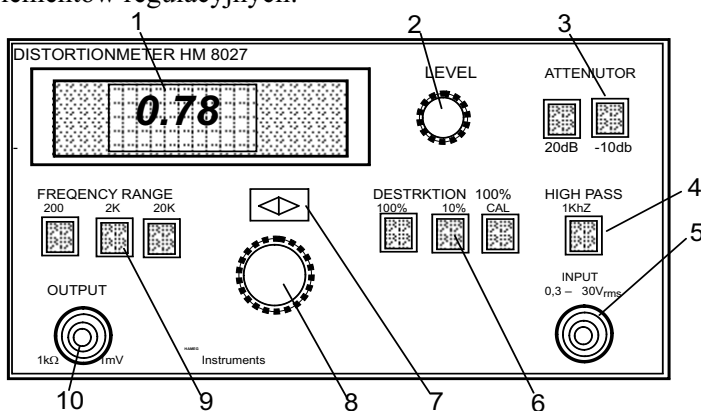
- (1) Pasek rekordu pamięci przebiegu.
- (2) Znacznik (T) punktu wyzwalania.
- (3) Wskaźnik wyświetlanego segmentu pamięci przebiegu.
- (4) Wskaźnik Run/Stop stanu pracy układu akwizycji.
- (5) Wskaźnik poziomu wyzwalania.
- (6) Wskaźniki położenia przebiegów kanału 1. i 2.
- (7) Wskaźnik wyzwalania opóźnionej podstawy czasu.
- (8) Współczynniki odchylenia pionowego kanału 1. i 2.
- (9) Wskaźnik częstotliwości próbkowania.
- (10) Wskaźnik trybu pracy odchylenia poziomego.
- (11) Wskaźnik źródła i zbocza wyzwalania.
- (12) Wskaźnik rodzaju i trybu wyzwalania.
- (13) Tryb akwizycji danych.
- (14) Wskaźnik rodzaju interfejsu.
- (15) Odczyt częstotliwości sygnału wyzwalania (częstościomierz).

3.3. Miernik zniekształceń nieliniowych HM8027

Miernik przeznaczony jest do pomiarów współczynnika zawartości zniekształceń nieliniowych w paśmie częstotliwości akustycznych. Zakres pomiaru współczynnika zniekształceń podzielony na dwa podzakresy: 10% i 100%. Wyświetlacz LED pozwala na cyfrowy odczyt współczynnika zniekształceń. Minimalne napięcie wejściowe dla uzyskania 100% kalibracji 300mV.



Opis elementów regulacyjnych:



Rys. 3.15. Elementy regulacyjne na płycie czołowej miernika HM8027

- (1) Wyświetlacz LCD.
- (2) LEVEL - pokrętko płynnej regulacji napięcia wejściowego.
- (3) ATTENUATOR - włączniki tłumików napięcia wejściowego.
- (4) HIGH PASS - Przycisk włączenia filtr górnoprzepustowego 1kHz.
- (5) INPUT - wejściowe gniazdo (BNC).
- (6) DESTRKTIION - przełącznik zakresów pomiarowych i kalibracji.
- (7) Wskaźnik dostrojenia (diody LED).
- (8) Pokrętko płynnej regulacji częstotliwości na wybranym zakresie.
- (9) FREQUENCY RANGE - przełącznik pomiarowych zakresów częstotliwości.
- (10) OUTPUT - wyjście kontrolne sygnału do oscyloskopowej analizy zniekształceń (BNC - odporne na zwarcie).

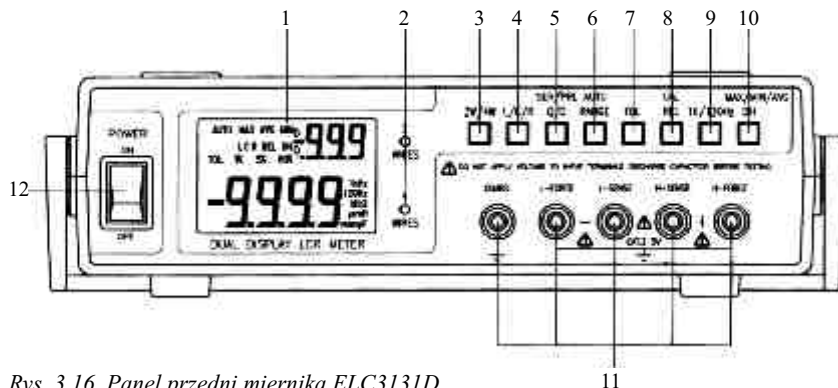
3.4. Mierniki wartości RLC elementów biernych

3.4.1. Mierniki wartości RLC ELC3131D

Jest to wysokiej klasy miernik służący do pomiaru wartości indukcyjności, pojemności i rezystancji. Posiada podwójny wyświetlacz ciekłokrystaliczny z podświetleniem. Typowy zakres pomiarowy wybierany automatycznie ułatwia pomiary: rezystancji, pojemności i indukcyjności z dokładnością 0,3%.



Opis elementów regulacyjnych:

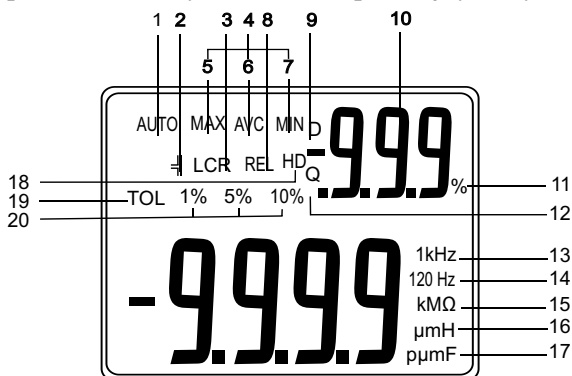


Rys. 3.16. Panel przedni miernika ELC3131D

- (1) Wyświetlacz LCD.
- (2) 2 WIRES 4 WIRES - diody LED sygnalizujące pomiar dwoma przewodami lub czterema przewodami.
- (3) 2W/4W - przełącznik wyboru ilości zacisków do pomiaru.
- (4) L/C/R - przełącznik wyboru rodzaju badanego elementu.
- (5) SER/PRL -Q/D - przełącznik podwyższonej dokładności pomiaru - pomiar dobroci/pomiar stratności.
- (6) AUTO RANGE - przycisk ręcznej zmiany zakresu.
- (7) TOL - przycisk wyboru tolerancji.
- (8) CAL REL - przełącznik względnego pomiaru lub kalibracja.
- (9) 1k/120Hz - przełącznik wyboru częstotliwości pomiarowej.

- (10) MAX/MIN/AVG - przycisk wyboru pamięci wartości: maksymalnej /minimalnej/średniej.
- (11) Pomiarowe gniazda wejściowe.
- (12) POWER - wyłącznik zasilania.

Wyniki pomiarów są wyświetlane na podwójnym wyświetlaczu LCD:



Rys. 3.17. Wyświetlacz miernika ELC3131D

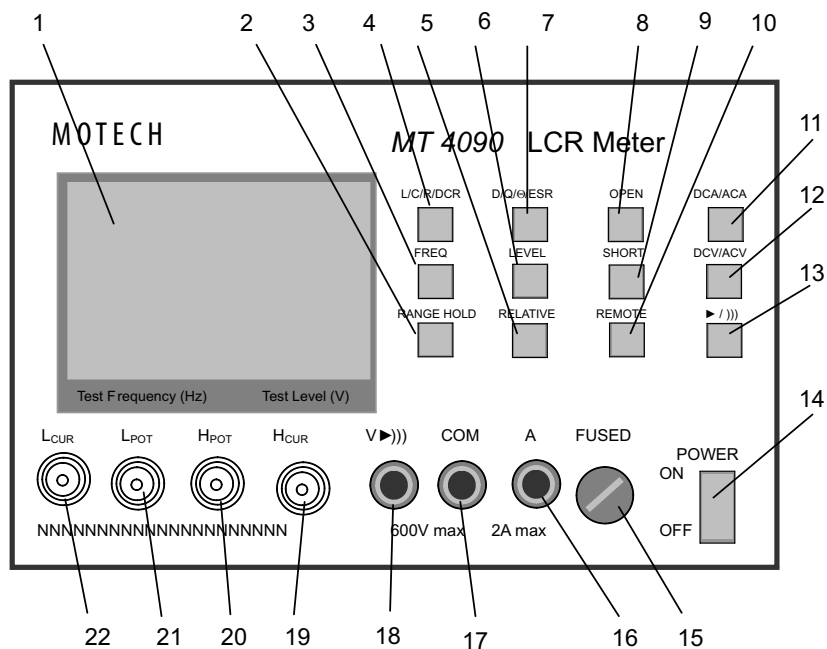
- (1) AUTO - sygnalizacja włączonego automatycznego pomiaru.
- (2) \parallel sygnalizacja „bipera” oraz dla trybu tolerancji.
- (3) L C R - wyświetlacz rodzaju mierzonej wielkości.
- (4) sygnalizacja rodzaj wyświetlanej wartości max/średnia/min:
- (5) MAX - sygnalizacja wartości największej,
- (6) AVC - sygnalizacja wartości średniej,
- (7) MIN - sygnalizacja wartości najmniejszej.
- (8) REL - sygnalizuje pomiar względny.
- (9) D - sygnalizuje pomiar stratności.
- (10) wyświetlacz pomocniczy.
- (11) % - sygnalizuje tolerancję w procentach.
- (12) Q - sygnalizuje pomiar dobroci.
- (13) 1kHz - sygnalizuje włączoną częstotliwość pomiaru - 1kHz.
- (14) 120Hz - sygnalizuje włączoną częstotliwość pomiaru - 120Hz.
- (15) kMΩ sygnalizuje jednostkę pomierzonej wielkości.
- (16) μmH sygnalizuje jednostkę pomierzonej wielkości.
- (17) pμmF sygnalizuje jednostkę pomierzonej wielkości.
- (18) HD - wskaźnik zatrzymania odczytu (hold).
- (19) TOL - wskaźnik włączenia tolerancji.
- (20) 1%, 5% 10% - wskaźnik wartości tolerancji.

3.4.2. Mierniki wartości RLC MT4090

Miernik MT4090 LCR jest precyzyjnym przyrządem laboratoryjnym służącym do pomiarów impedancji i rezystancji cewek indukcyjnych, kondensatorów i rezystorów. Podstawowa dokładność 0,1%. Dodatkowe funkcje umożliwiają pomiar prądu i napięcia stałego i zmiennego oraz wykonanie testów diod.



Opis elementów regulacyjnych:



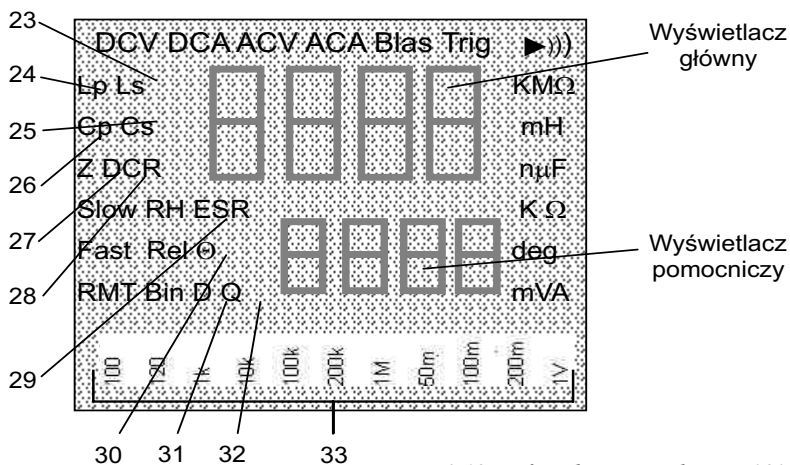
Rys. 3.18. Widok panelu przednika miernika MT4090

- (1) Wyświetlacz
- (2) RANGE HOLD - przycisk doboru zakresu.
- (3) FREQ - przycisk wyboru częstotliwości testowej.
- (4) L/C/Z/DCR - przycisk funkcji pomiarowej.

- (5) RELATIVE - przycisk funkcji pomiarów względnych.
- (6) LEVEL - przycisk wyboru napięcia testowego.
- (7) D/Q/θ/ESR - przycisk wyboru funkcji pomiarowej.
- (8) OPEN - przycisk kalibracji rozwarciowej.
- (9) SHORT - przycisk kalibracji zwarciowej.
- (10) REMOTE - przycisk obsługi zdalnej.
- (11) DCA/ACA - przycisk wyboru rodzaju prądu.
- (12) DCV/ACV - przycisk wyboru rodzaju napięcia.
- (13) ►))) - Przycisk wyboru testu diod lub ciągłości.
- (14) POWER - włącznik zasilania.
- (15) FUSED - bezpiecznik topikowy 2A.
- (16) A - gniazdo pomiarowe prądowe multimetru.
- (17) COM - gniazdo wspólne multimetru.
- (18) V - gniazdo woltomierza multimetru.
- (19) H_{CUR} - gniazdo pomiarowe prądu.
- (20) H_{POT} - gniazdo pomiarowe napięcia.
- (21) L_{POT} - gniazdo pomiarowe napięcia.
- (22) L_{CUR} - gniazdo pomiarowe prądu.

Elementy wyświetlacza:

parametry wyświetlane na wyświetlaczu głównym:



Rys.3.19. Wyświetlacz miernika MT4090

- (23) Ls - indukcyjność w szeregowym układzie zastępczym,
- (24) Lp - indukcyjność w równoległym układzie zastępczym,
- (25) Cs - pojemność w szeregowym układzie zastępczym,

- (26) C_p - pojemność w równoległym układzie zastępczym,
- (27) Z - impedancja (pomiar prądem przemiennym),
- (28) DCR - rezystancja (pomiar prądem stałym).

Parametry wyświetlane na wyświetlaczu pomocniczym:

- (29) ESR - równoważna rezystancja szeregową,
- (30) Θ - kąt fazowy,
- (31) D - stratność (tangens kąta strat),
- (32) Q - dobroć,
- (33) 100, 120, 1k, 10k, 100k, 200k - częstotliwość sygnału pomiarowego.

3.5. Generatory przebiegów sinusoidalnych

Generatory przebiegów sinusoidalnych stanowią dużą grupę źródeł sygnałów wykorzystywanych do wielu pomiarów w zakresie częstotliwości akustycznych. Charakteryzują się wysoką stabilnością amplitudy sygnału wyjściowego i bardzo małymi zniekształceniami. Generatory wyposażane są zazwyczaj w dwa koncentryczne (BNC) wyjścia sygnału o impedancjach: 600Ω oraz 50Ω . Amplituda sygnału wyjściowego jest regulowana w zakresie nawet 80dB za pomocą kilku tłumików skokowych (np.: -10dB, -20dB, -40dB) i tłumika płynnej regulacji -10dB.

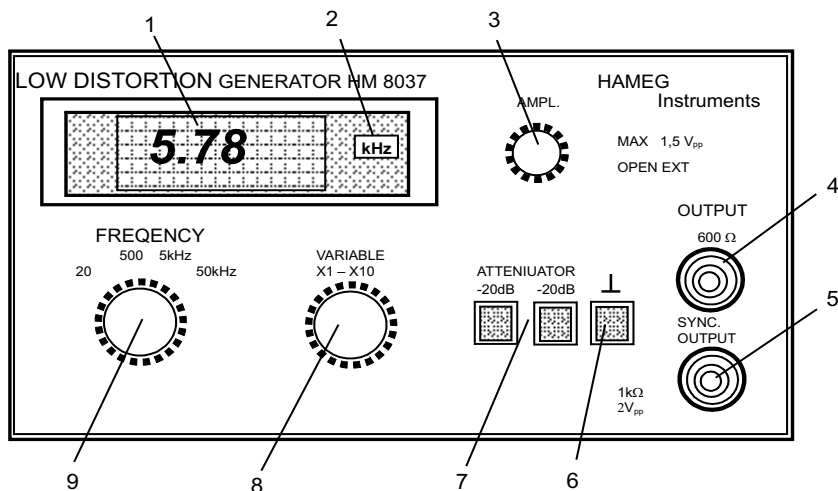
3.5.1. Generator HM8037

Generator sinusoidalny. Zakres częstotliwości od 5Hz do 50kHz. 3-cyfrowy odczyt częstotliwości. Napięcie wyjściowe: $\leq 1,5V$. Dzięki 3-pozycyjnemu, siedmiosegmentowemu wyświetlaczowi LED można dokładnie regulować częstotliwość sygnału wyjściowego.



Opis elementów regulacyjnych:

- (1) Wyświetlacz: 3-cyfrowy, dokładność ± 1 wartości ostatniej cyfry.
- (2) Wyświetlacz jednostki generowanej częstotliwości.
- (3) Płynna regulacja poziomu: 0dB \div -20dB.



Rys. 3.20. Widok panelu przedniego generatora HM8037

- (4) Wyjście sygnału 600Ω.
- (5) Wyjście synchronizujące.
- (6) Przycisk włączający funkcję odizolowywania od masy wyjść sygnału.
- (7) Dwa tłumiki skokowe po 20dB (tłumienie łącznie z płynną regulacją = 60dB).
- (8) Płynna regulacja częstotliwości w zakresie 1:10.
- (9) Regulacja skokowa częstotliwości w 4 podzakresach.

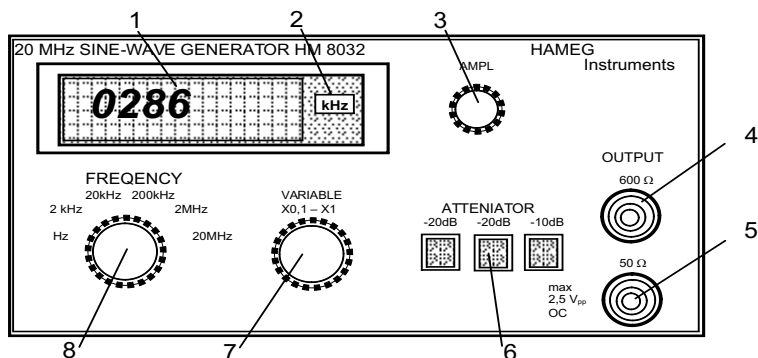
3.5.2. Generator HM8032

Generator sinusoidalny. Generacja oparta na oscylatorze w układzie z mostkiem Wien'a. Charakterystyczna cecha, to górna częstotliwość 20MHz. Przyrząd szczególnie nadaje się do szerokopasmowych pomiarów wzmacniaczy liniowych i filtrów. Dzięki czteropozycyjnemu wyświetlaczowi LED można dokładnie regulować częstotliwość sygnału wyjściowego.



Opis elementów regulacyjnych:

- (1) Wyświetlacz generowanej częstotliwości.
- (2) Wskaźnik jednostki generowanej częstotliwości.
- (3) Pokrętko regulacji amplitudy sygnału wyjściowego.
- (4) Gniazdo wyjściowe $R_w=600\Omega$
- (5) Gniazdo wyjściowe $R_w=50\Omega$
- (6) Przyciski włączenia tłumików.
- (7) Pokrętko płynnej regulacji częstotliwości.
- (8) Przełącznik zakresów częstotliwości.



Rys. 3.21. Widok panelu przedniego generatora HM8032

3.6. Generatory funkcyjne

Generatory te znajdują wiele zastosowań w technice pomiarowej jako uniwersalne źródło napięciowych przebiegów: sinusoidalnych, prostokątnych i trójkątnych. Podstawowym parametrem jest płaska charakterystyka amplitudowa w całym zakresie częstotliwości. Wszystkie wyjścia generatora są elektronicznie zabezpieczone przed skutkami zwarcia oraz przed przypadkowym przyłożeniem zewnętrznego napięcia.

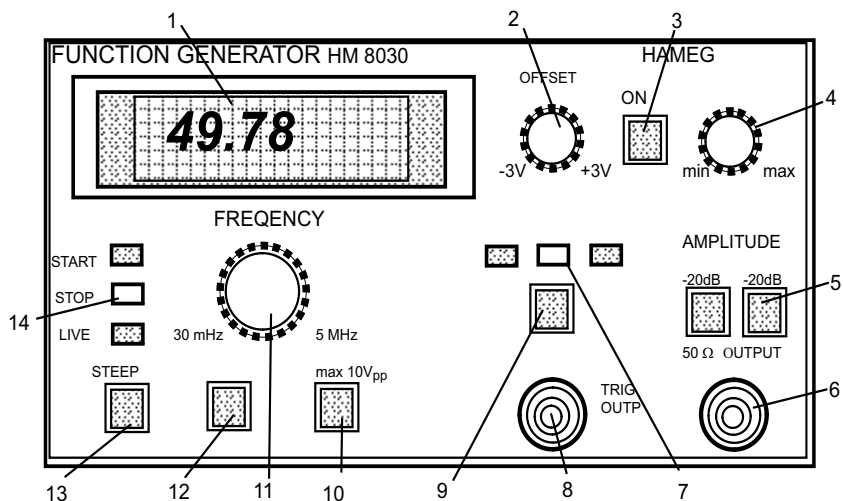
3.6.1. Generator funkcyjny HM8030-6

Częstotliwość sygnału odczytuje się na czteropozycyjnym wyświetlaczu LED. Dzięki niemu można dokładnie



regulować częstotliwość wyjściową (regulacja płynna w zakresie wybranym przyciskiem). Poziom składowej stałej i amplituda sygnału regulowane są płynnie.

Opis elementów regulacyjnych:



Rys. 3.22. Widok panelu przedniego generatora HM8030-6

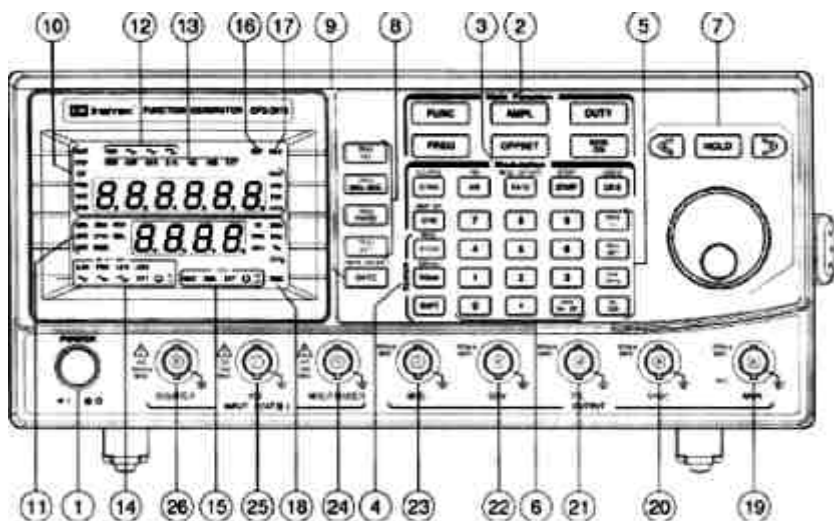
- (1) Wyświetlacz LCD.
- (2) OFFSET - pokrętko zmiany składowej stałej.
- (3) ON - wyłącznik składowej stałej.
- (4) Pokrętko regulacji amplitudy.
- (5) AMPLITUDE - przyciski włączenia tłumików sygnału wyjściowego.
- (6) OUTPUT - gniazdo sygnału wyjściowego.
- (7) Diody sygnalizujące wybrany kształt generowanego sygnału.
- (8) TRIG OUTPUT - gniazdo wyjściowe sygnału TTL do synchronizacji.
- (9) Przycisk wyboru kształtu generowanego sygnału.
- (10) STEEP - Przycisk sterujący startem generowanego sygnału.
- (11) Pokrętko płynnej regulacji częstotliwości.
- (12) Przycisk zmiany zakresu generowanego sygnału - w górę.
- (13) Przycisk zmiany zakresu generowanego sygnału - w dół.
- (14) Diody sygnalizujące czynności: START, STOP, LIVE.

3.6.2. Generator funkcyjny GFG-3015

Generator ten jest bardzo stabilnym i precyzyjnym źródłem sygnałów elektrycznych. Przyrząd jest źródłem przebiegów sinusoidalnych, prostokątnych, trójkątnych i piłokształtnych w zakresie częstotliwości od 0,01 Hz do 15MHz. Generowany sygnał może być modulowany w amplitudzie lub w częstotliwości. Wbudowany 6-cyfrowy licznik częstotliwości służy do wskazywania częstotliwości generowanego sygnału, może być też użyty do pomiarów sygnałów zewnętrznych w paśmie do 150MHz.



Opis elementów regulacyjnych:



Rys.3.23. Widok panelu przedniego generatora funkcyjnego GFG-3015

- (1) POWER - wyłącznik zasilania.
- (2) Main Function - główne przyciski funkcyjne.
- (3) Modulation - przyciski funkcji modulacji i przemiatania częstotliwości.
- (4) System - Przyciski systemowe.
- (5) Unit keys - Przyciski jednostek.

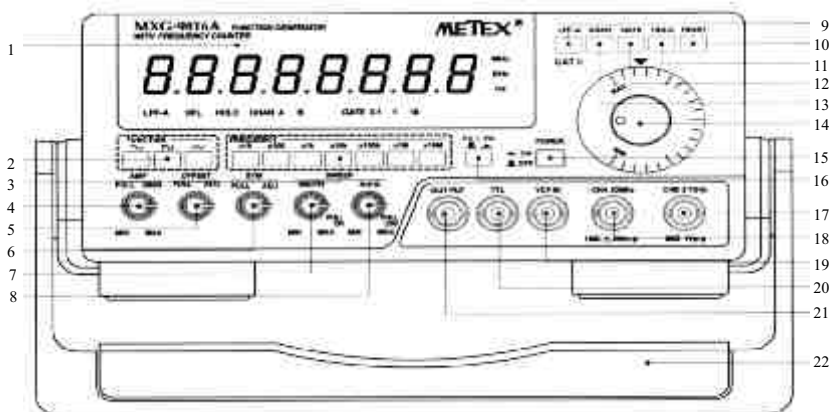
- (6) Klawiatura numeryczna.
- (7) Przyciski nawigacyjne.
- (8) Przyciski funkcji wyzwalania.
- (9) Przycisk funkcji częstotściomierza.
- (10) Wyświetlacz A: sześciocyfrowy wyświetlacz ustawianych parametrów ze wskaźnikami diodowymi stanu przyrządu i jednostek.
- (11) Wyświetlacz B: Czterocyfrowy wyświetlacz parametrów ze wskaźnikami diodowymi stanu przyrządu i jednostek.
- (12) Wskaźniki funkcji wyjściowej.
- (13) Wskaźniki częstotściomierza: diody LED wskazujące aktualne ustawienie okresu bramki (GATE TIME) przy pomiarach sygnału zewnętrznego.
- (14) Wskaźniki funkcji modulacji i przemiatania: diody LED wskazujące bieżący status funkcji modulacji i przemiatania.
- (15) Wskaźniki funkcji wyzwalania: diody LED wskazujące bieżący status funkcji wyzwalania.
- (16) Wskaźnik przycisku SHIFT - dioda SHIFT sygnalizuje aktywację funkcji drugorzędnej przycisków dwufunkcyjnych.
- (17) Wskaźnik trybu HOLD - dioda HOLD sygnalizuje zablokowanie wszystkich klawiszy modyfikujących wartości parametrów wyjściowych.
- (18) Wskaźnik RS232 - dioda RS232 sygnalizuje aktywność interfejsu szeregowego RS-232.
- (19) MAIN - gniazdo BNC, wyjście sygnału podstawowego generatora o rezystancji 50Ω .
- (20) SYNC - gniazdo BNC, wyjście sygnału synchronicznego z sygnałem podstawowym.
- (21) TTL - gniazdo BNC, wyjście sygnałów o poziomach TTL.
- (22) GCV - gniazdo BNC, wyjście sygnału, którego amplituda zmienia się (od $0,2V$ do $2V$) proporcjonalnie do zmian częstotliwości podstawowej generatora.
- (23) MOD - gniazdo BNC, wyjście wewnętrznego sygnału modulującego lub przemiatającego. Impedancja wyjściowa $10k\Omega$.
- (24) MOD/TRIGGER - gniazdo BNC, wejście zewnętrznego sygnału modulacji (AM i FM) lub przemiatania.
- (25) VCF - Gniazdo wejściowe BNC napięciowego sygnału sterowania częstotliwością wyjściową. Impedancja wejściowa $10k\Omega$.
- (26) COUNTER - gniazdo BNC, wejście częstotściomierza. Impedancja wejściowa $1M\Omega / 150pF$.

3.6.3. Generator funkcyjny MXG9816A

Generuje przebiegi: sinusoidalne, prostokątne, sinusoidalne pochylone, piłokształtne, impulsowe oraz prostokątne TTL. Zakresy częstotliwości od 10 Hz do 10 MHz. Amplituda sygnału wyjściowego do 10V_{pp} na obciążeniu 50Ω.



Opis elementów regulacyjnych:



Rys. 3.24. Widok panelu przedniego generatora funkcyjnego MXG9816A

- (1) Wyświetlacz typu LED.
- (2) FUNCTION - przełącznik wyboru typu sygnału - funkcji.
- (3) FREQUENCY - przełącznik wyboru podzakresu częstotliwości.
- (4) AMPLITUDE - pokrętko regulacji amplitudy.
- (5) OFFSET - pokrętko regulacji offsetu.
- (6) SYM - pokrętko regulacji symetrii.
- (7) SWEEP WIDTH - pokrętko regulacji szerokości przemiatania.
- (8) SWEEP RATE - pokrętko regulacji szybkości przemiatania.
- (9) LPF-A - przycisk włączający filtr dolnoprzepustowy w kanale A.
- (10) RESET - przycisk zerowania.
- (11) HOLD - przycisk zamrażania wskazania wyświetlacza.
- (12) GATE - przełącznik czasu bramkowania.
- (13) CHAN - przełącznik wyboru kanału (A lub B).

- (14) FREQ - pokrętło ze skalą- do dokładnej regulacji częstotliwości.
- (15) POWER - wyłącznik zasilania.
- (16) FC/FG - przełącznik częstościomierz/generator.
- (17) CHB 2,7GHz - gniazdo wejściowe kanału B.
- (18) CHA 20MHz - gniazdo wejściowe kanału A.
- (19) VCF IN gniazdo wejściowe napięcia sygnału przestrajania.
- (20) TTL gniazdo wyjściowe sygnału do synchronizacji.
- (21) OUTPUT - gniazdo wyjściowe sygnału generatora funkcyjnego.
- (22) Uchylna podstawka.

3.7. Zasilacz laboratoryjny serii DF17xx

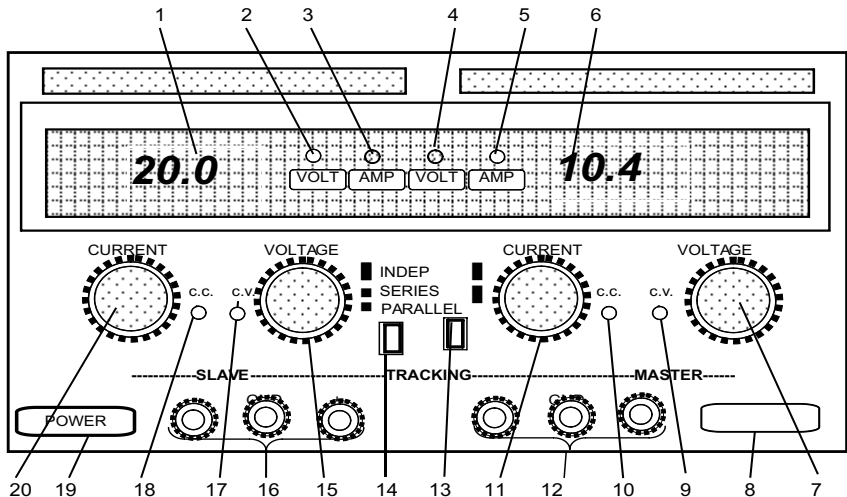
Zasilacze laboratoryjne serii NDN-DF17xxS są precyzyjnymi urządzeniami dostarczającymi stabilizowanego napięcia stałego w dwóch trybach pracy: C.V. - stabilizacja napięcia i C.C. - stabilizacja prądu. Zarówno prąd i napięcie wyjściowe mogą być regulowane płynnie w zakresie od 0 do wartości nominalnej 30V.



Opis elementów regulacyjnych:

Zasilacz MASTER (nadrzędny):

- (4) Diodowy wskaźnik włączenia pomiaru napięcia
- (5) Diodowy wskaźnik włączenia pomiaru prądu
- (6) Wskaźnik cyfrowy napięcia lub prądu wyjściowego .
- (7) VOLTAGE - potencjometr regulacji napięcia wyjściowego.
- (8) Miejsce na gniazda wyjścia 5V.
- (9) Diodowy wskaźnik trybu pracy ze stabilizacją napięcia (c.v.).
- (10) Diodowy wskaźnik trybu pracy ze stabilizacją prądu (c.c.).
- (11) CURRENT - potencjometr regulacji ograniczania prądu wyjściowego.
- (12) Zespół gniazd wyjściowych.
- (13) (13)/(14) TRACKING - przyciski sterowania rodzajem pracy:
 INDEP - niezależna (■■),
 SERIES - szeregową (■ ■),
 PARALLEL - równoległa (■■■).



Rys. 3.25. Elementy regulacyjne zasilacza DF17xx

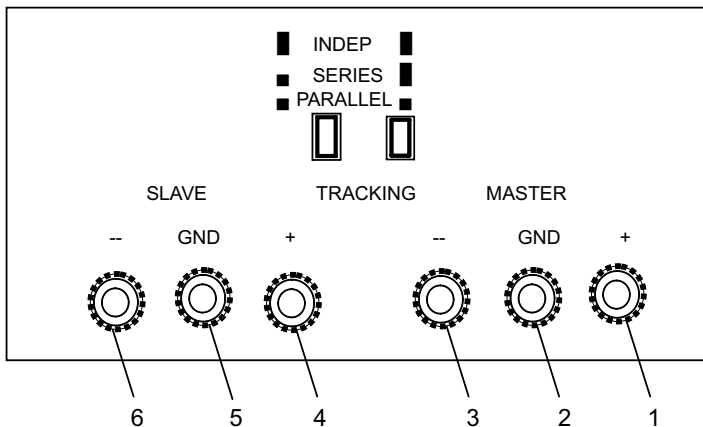
Zasilacz SLAVE (podrzędny)

- (1) Wskaźnik cyfrowy napięcia lub prądu wyjściowego.
- (2) Diodowy wskaźnik włączonego pomiaru napięcia.
- (3) Diodowy wskaźnik włączonego pomiaru prądu.
- (15) VOLTAGE - potencjometr regulacji napięcia wyjściowego.
- (16) Zespół gniazd wyjściowych.
- (17) Diodowy wskaźnik trybu pracy ze stabilizacją napięcia (c.v.).
- (18) Diodowy wskaźnik trybu pracy ze stabilizacją prądu (c.c.).
- (19) Główny wyłącznik sieciowy zasilacza.
- (20) CURRENT - potencjometr regulacji prądu wyjściowego (prądu ograniczania).

Podłączenie obciążenia do zasilacza.

Gniazda po lewej stronie (3,6) to ujemny biegun napięcia wyjściowego. Środkowe gniazdo (2,5) (masa - chassis urządzenia) połączone jest galwanicznie z przewodem ochronnym sieci zasilającej. Natomiast gniazdo po prawej stronie (1,4) to dodatni biegun napięcia wyjściowego.

- (1) dodatni zacisk wyjściowy zasilacza MASTER.
- (2) uziemienie zasilacza MASTER - nie łączyć z zaciskiem (5) uziemienia zasilacza SLAVE.



Rys. 3.26. Gniazda podłączenia obciążenia do zasilacza

- (3) ujemny zacisk zasilacza MASTER.
- (4) dodatni zacisk wyjściowy zasilacza SLAVE.
- (5) uziemienie zasilacza SLAVE - nie łączyć z zaciskiem (2) uziemienia zasilacza MASTER.
- (6) ujemny zacisk zasilacza SLAVE.

Uwaga: Podczas pracy w układzie szeregowym następuje połączenie wewnętrzne zacisków (3) i (4). Natomiast przy pracy równoległej następuje połączenie wewnętrzne zacisków (1) i (4) jako zacisk dodatni oraz zaciski (3) i (6) jako zacisk ujemny.

! W PRAKTYCE WYDZIAŁU TECHNICZNEGO, PODCZAS ZESTAWIANIA STANOWISKA, PRZYJĘTO ZASADĘ NIE UZIEMIANIA ODDZIELNIE PRZYRZĄDÓW NA STANOWISKACH ZACHOWUJĄC JEDYNNIE POŁĄCZENIA OCHRONNE DLA KAŻDEGO PRZYRZĄDU REALIZOWANE ZA POMOCĄ KABLA SIECIOWEGO ZASILAJĄCEGO PRZYRZĄDY.

3.8. Zestaw pomiarowy MS-9150 (9140, 9160)

Laboratoryjny zestaw pomiarowy zawiera w jednej obudowie: generator funkcyjny, częstotściomierz, zasilacz stabilizowany i multimetr. Przyrządy te mają właściwości użytkowe i sposób obsługi odpowiedni do klasycznych, konstruowanych jako osobne urządzenia zasilane z sieci lub baterii.

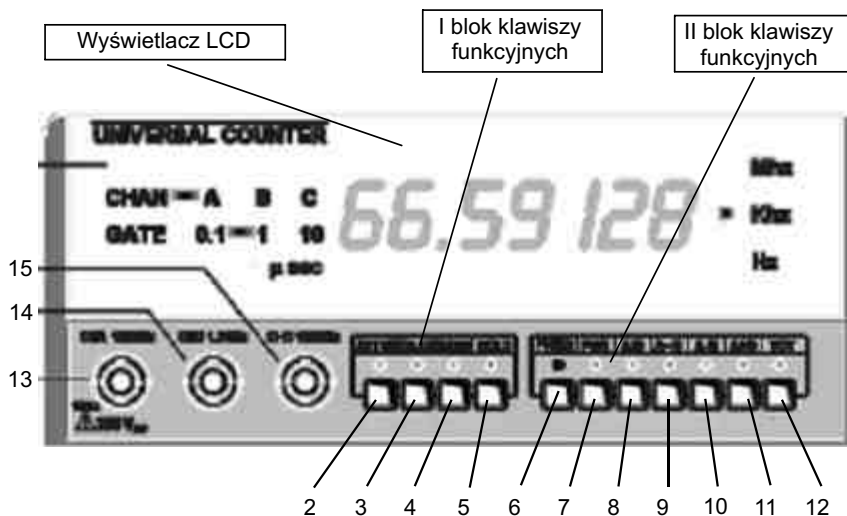
Opis elementów regulacyjnych laboratoryjnego zestawu pomiarowego:



Rys. 3.27. Widok od przodu zestawu pomiarowego MS-9150

3.8.1. Częstościomierz z zestawu pomiarowego

Miernik częstotliwości umożliwia mierzenie częstotliwości w przedziale od 5Hz do 1300 MHz (2,7GHz). Możliwy jest pomiar częstotliwości generatora wchodzącego w skład zestawu poprzez wewnętrzne połączenie.



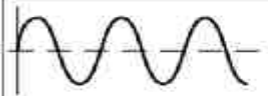
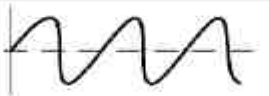

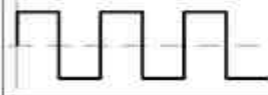
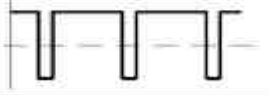
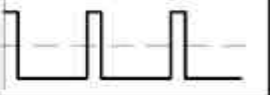



Rys. 3.28. Panel częstościomierza z zestawu pomiarowego

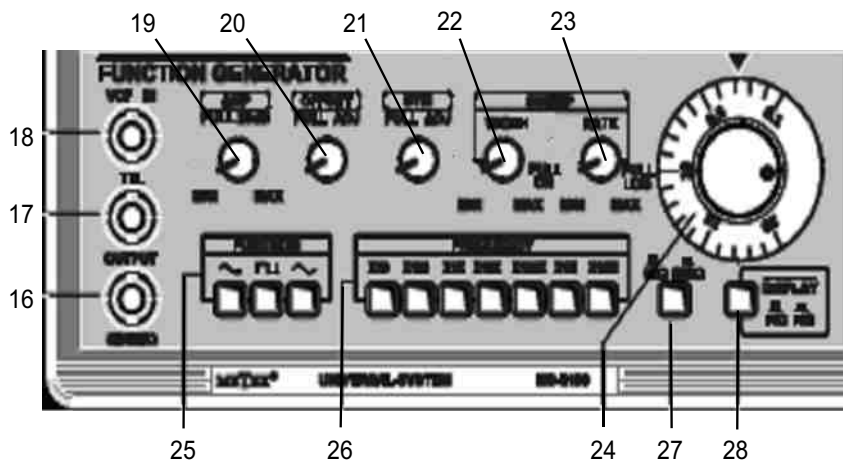
- (2) ATTEN - tłumik sygnału przychodzącego.
- (3) CHAN - wybór kanałów A, B, C.
- (4) GATE - ustawienie czasu bramki.
- (5) HOLD - zatrzymanie określonej wartości częstotliwości.
- (6) FREQ - zmiana jednostki odczytywanej częstotliwości - Hz, kHz, MHz.
- (7) PERI - pomiar okresu sygnału w sekundach.
- (8) A/B - stosunek A/B.
- (9) A=>B pomiar przedziałów czasowych.
- (10) A - B - różnica sygnałów kanału A i B.
- (11) A + B - dodawanie sygnałów kanałów A i B.
- (12) TOT - licznik impulsów.
- (13) CH-A -Gniazdo wejścia dla 5Hz do 100MHz, rezystancja 1M Ω .
- (14) CH-B -Gniazdo wejścia dla 0,2Hz do 100MHz, rezystancja 50 Ω .
- (15) CH-C - Gniazdo wejścia dla 100MHz do 1300MHz, rezystancja 50 Ω .

3.8.2. Generator funkcji z zestawu pomiarowego

Generator funkcji dostarcza sygnał o różnych kształtach: sinus, trójkąt, prostokąt, sinus pochylony (zgodnym lub przeciwnym do kierunku ruchu wskazówek zegara), impulsowy o regulowanym współczynniku wypełnienia oraz sygnał standardu TTL. Najczęściej używane sygnały przedstawia tabela nr 2.

Tabela nr 2. Przykłady generowanych sygnałów

PRZEBIEG PODSTAWOWY	OBRÓT W PRAWO	OBRÓT W LEWO
		
SINUS	SINUS SKOŚNY	SINUS SKOŚNY
		
PROSTOKĄT	IMPULSOWY	IMPULSOWY
		
TRÓJKĄT	PIŁOKSZTAŁTNY	PIŁOKSZTAŁTNY



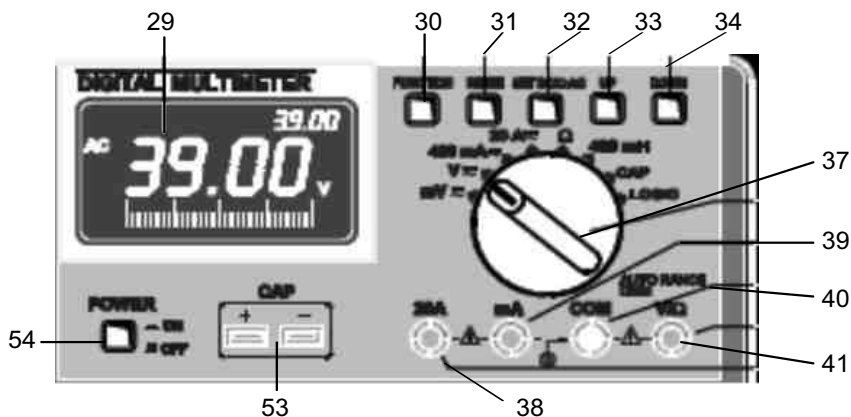
Rys. 3.29. Panel generatora z zestawu pomiarowego

- (16) OUTPUT - gniazdo wyjścia generatora funkcji.
- (17) TTL - wyjście sygnału TTL.
- (18) VCF IN - gniazdo wejścia sterującego generatorem VCF.
- (19) AMP - pokrętko nastawiania amplitudy.
- (20) SYM - pokrętko nastawiania symetrii.
- (21) OFFSET - pokrętko nastawiania składowej stałej.
- (22) SWEEP WIDTH - pokrętko regulacji zakresu przemiatania.
- (23) SWEEP RATE - pokrętko regulacji charakterystyki przemiatania.
- (24) pokrętko z podziałką do płynnej regulacji generowanej częstotliwości.
- (25) FUNCTION - przełącznik kształtów generowanych sygnałów.
- (26) FREQUENCY - przełączniki zakresów częstotliwości.
- (27) Przełącznik impedancji wejściowej.
- (28) DISPLAY - przełącznik trybu pracy wyświetlacza miernik/generator.

3.8.3. Multimetr z zestawu pomiarowego

Multimetr cyfrowy wchodzący w skład przyrządu jest zasilany z baterii 9V i całkowicie izolowany elektrycznie od pozostałych urządzeń zestawu oraz chassis. Mierzy napięcia rzędu 1000V stałego i 750V zmiennego, prądy stałe i zmienne o natężeniu do 20A, rezystancje do 40M Ω , pojemności i indukcyjności. Multimetr wyposażono w tester

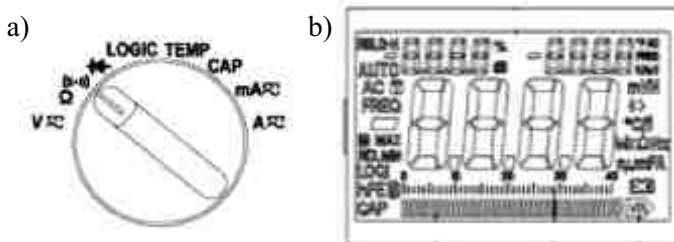
zgodności, port RS232, pamięć mierzonych wartości oraz układy do pomiaru i porównania wartości mierzonych wielkości. Korzystanie z multimetru cyfrowego odbywa się analogicznie jak z multimetrów firmy METEX lub odpowiednich. Dokładność pomiaru: napięcie stałych 0,3%+1d, napięcie zmiennych <0,8%+3d, prądu stałego 0,8%+1d.



Rys.3.30. Panel multimetru z zestawu pomiarowego

- (29) Wyświetlacz LCD multimetru (3 ³/₄ cyfry).
- (30) FUNCTION - przycisk funkcyjny.
- (31) SET/RESET - przycisk ustawianie/kasowanie.
- (32) AC/DC - przycisk zmiany rodzaju prądu - zmienny stały.
- (33) UP - przycisk zmiany zakresu w górę.
- (34) DOWN - przycisk zmiany zakresu w dół.
- (37) Przełącznik obrotowy funkcja/zakres pomiarowy.
- (38) 20A - wejście pomiarowe prądu (max. 20A).
- (39) mA - wejście pomiarowe prądu (max. 400mA).
- (40) COM - wspólne gniazdo pomiarowe napięcie i prądów.
- (41) V/Ω - wejście pomiarowe napięcia (max. 600V) i pomiaru rezystancji.
- (53) CAP - wejście sondy pomiarowej.
- (54) POWER włącznik baterii zasilającej multimetr.

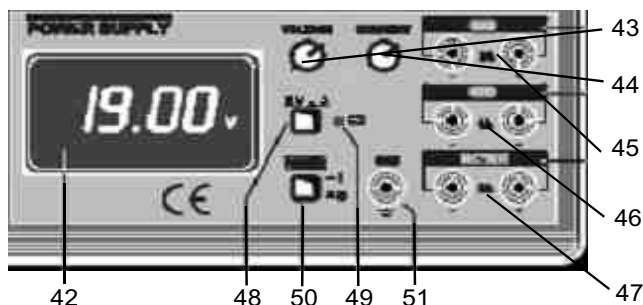
Zestawy laboratoryjne MS-91XX wykonywane są w różnych wersjach, które różnią się dodatkowymi możliwościami i wyświetlaczami. Przykładowo pokazano dalej inne wersje wyświetlacza i przełącznika obrotowego funkcji oraz zakresów pomiarowych. Widać podobieństwo do multimetru APPA 207, zarówno w wyglądzie i sposobie używania.



Rys. 3.31. Widok przełącznika obrotowego funkcji (a) oraz wyświetlacza multimetru z zestawu pomiarowego (B)

3.8.4. Zasilacz stabilizowany z zestawu pomiarowego

Zasilacz sieciowy dostarcza następujące napięcia stałe: stabilizowane 5V/2A, stabilizowane 15V/1A oraz stabilizowane napięcie regulowane od 0 do 30V i regulowany próg ograniczenia prądu wyjściowego max. 3A. Przekroczenie ustawionego progu prądowego jest sygnalizowane świeceniem diody.



Rys. 3.32. Widok panelu zasilacza z zestawu

- (42) Podświetlany wyświetlacz wbudowanego miernika napięcia i prądu.
- (43) CURRENT - pokrętko ustawienia poziomu prądu.
- (44) VOLTAGE - pokrętko ustawienia poziomu napięcia.
- (45) Zaciski wyjściowe zasilacza nieregulowanego: 5V/2A.
- (46) Zaciski wyjściowe zasilacza nieregulowanego: 15V/1A.
- (47) Zaciski wyjściowe zasilacza regulowanego: 0 do 30V/2A.
- (48) \blacksquare V \blacksquare A - przełącznik rodzaju pomiaru na wyjściu regulowanym.
- (49) c.c. - wskaźnik ogranicznika prądu.
- (50) POWER - główny wyłącznik sieciowy.
- (51) GND - zacisk uziemiający (masa urządzenia).

3.9. Analizator widma HM5511 (HM5510)

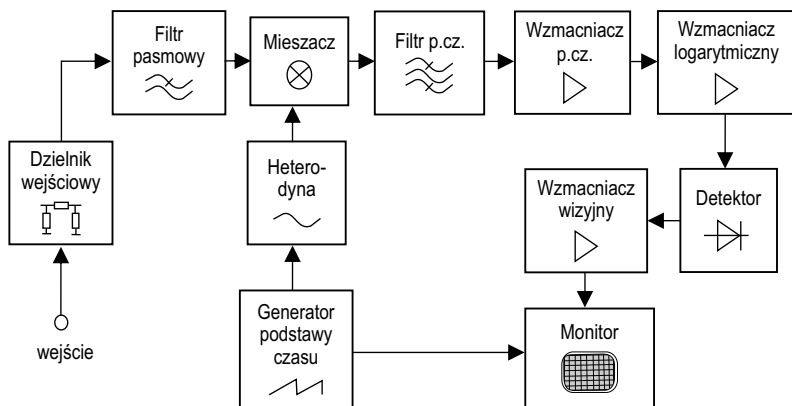
Analizator widma to urządzenie pomiarowe służące do prezentacji widma częstotliwościowego danej wielkości fizycznej zmiennej w czasie. Najbardziej powszechnie termin ten używany jest jednak jako określenie elektronicznego przyrządu pomiarowego służącego do prezentacji widma sygnału elektrycznego.



Widmo obserwowane na ekranie analizatora reprezentuje analizowany sygnał w funkcji częstotliwości. Wynikiem działania idealnego analizatora widma jest obraz sygnału wejściowego będący efektem przekształcenia matematycznego znanego jako transformata Fouriera.

Idea działania analizatora widma realizowana jest przy użyciu filtrów pozwalających wydzielić określone częstotliwości składowe z badanego sygnału.

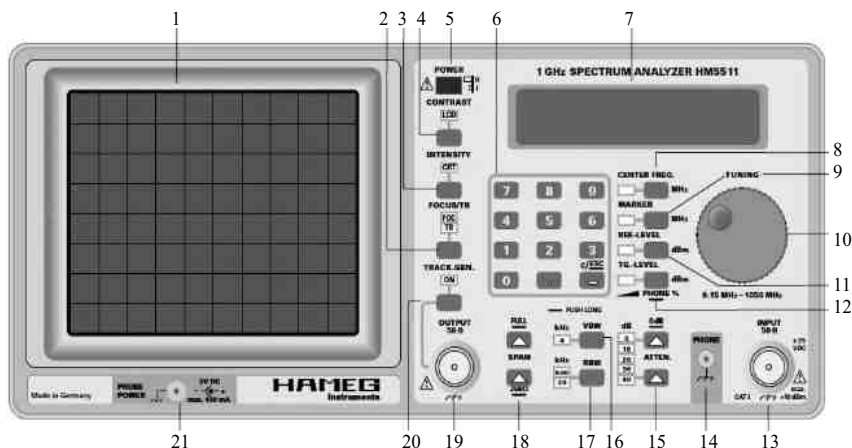
Postęp w rozwoju przetworników A/C (analogowo-cyfrowych) umożliwił próbkowanie sygnału pośredniej częstotliwości i dalsze jego przetwarzanie (detekcja, filtracja wizyjna, wizualizacja) w postaci cyfrowej. Współczesny analizator widma jest właściwie uniwersalnym cyfrowym analizatorem sygnałów, którego funkcjonalność determinuje jego własne oprogramowanie, a wizualizacja widma sygnału w dziedzinie częstotliwości jest tylko jednym z rodzajów pracy. Schemat funkcjonalny analizatora widma HM5511 przedstawia rysunek 3.33.



Rys. 3.33. Schemat funkcjonalny analizatora widma HM5511

Dane techniczne analizatora widma HM 5511:

- Zakres częstotliwości od 150kHz do 1 GHz.
- Zakres pomiarowy amplitudy -100dBm do + 10 dBm.
- Synchroniczna fazowo, bezpośrednia, cyfrowa synteza częstotliwości (DDS).
- Szerokości pasma rozdzielczości (RBW) 20kHz i 500kHz.
- Blok klawiszy do precyzyjnych i powtarzalnych nastawień częstotliwości.
- Analogowa obróbka wstępna i przedstawienie sygnału.
- Oscylator wzorcowy z kompensacją temperatury.
- Wyjście sygnału próbnego.
- Generator śledzący o poziomie wyjściowym od -50 dBm do 0 dBm.



Rys. 3.34. Widok płyty czołowej analizatora widma HM5511

Opis elementów regulacyjnych:

- (1) Wyświetlacz.
- (2) FOCUS/TR - przycisk regulacji skupienia plamki na ekranie.
- (3) INTENSITY przycisk regulacji intensywności świecenia obrazu CRT.
- (4) CONTRAST - przycisk optymalizacji kontrastu zobrazowania.
- (5) POWER - wyłącznik zasilania sieciowego.
- (6) Klawiatura numeryczna.
- (7) Wyświetlacz LCD w 2 liniach po 20 pozycji.

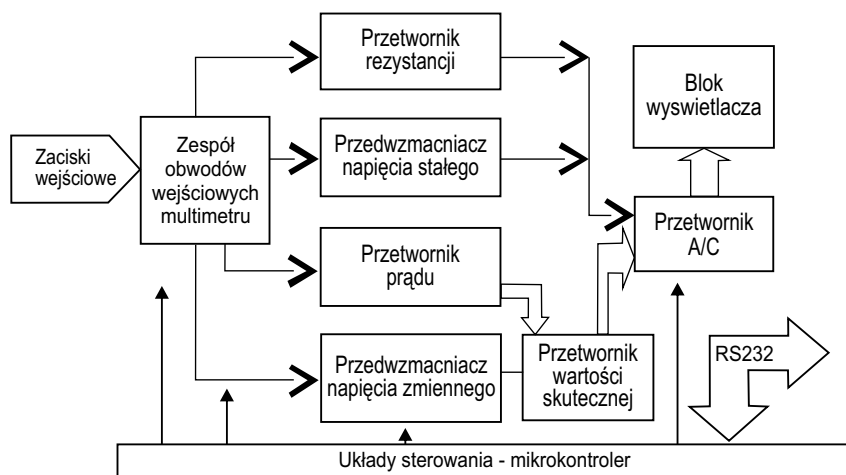
- (8) CENTER FREQ - przycisk ustawienia środka przemiatania w częstotliwości.
- (9) MARKER - przycisk ustawienia poziomu odniesienia.
- (10) TUNING - pokrętko dostosowania włączonych czynności regulacyjnych: FOCUS/TR, INTENSITY, CONTRAST, CENTRUM FREQ., MARKER oraz REF.-LEVEL i PHONE.
- (11) REF-LEVEL - tryb pomiarów.
- (12) PHONE - głośność słuchawki.
- (13) INPUT 50Ω- gniazdo wejściowe sygnału, maksimum. 25V_{DC}.
- (14) PHONE - 3.5mm gniazdo dla słuchawek.
- (15) ATTEN - tłumik wejściowy.
- (16) VBW włącznik filtra wideo ograniczający zakłócenia.
- (17) RBW - przełącznik rozdzielczości 20kHz i 500kHz.
- (18) SPAN - przyciski zmiany rozpiętości zobrazowania.
- (19) OUTPUT 50Ω- gniazdo wyjściowe sygnału testowego.
- (20) TESTSIGNAL - przycisk włączenia sygnału testowego.
- (21) PROBE POWER - gniazdo zasilania sondy pomiarowej (6V_{DC}).

4. UŻYTKOWANIE PRZYRZĄDÓW

Rozdział zawiera skrócone opisy pomiarów. Przyrządy użyte na stanowiskach zazwyczaj wykorzystywane są zgodnie z głównym ich przeznaczeniem, wykorzystując jedną z jego funkcji. Takie użycie jest uzasadnione zachowaniem niezmienności warunków pomiaru dla różnych wprowadzanych parametrów wynikających z wykonywanego zadania. Opis pomiarów wzbogacony został też o podstawowe informacje dotyczące zasady działania przyrządu.

4.1. Zasada działania multimetru cyfrowego

Sygnałem wejściowym multimetru może być: napięcie lub prąd, stałe lub zmienne. Tak samo przyłączenie do zacisków wejściowych rezystancji, sondy temperaturowej, cewki indukcyjnej powoduje powstanie sygnałów, które są zamieniane na napięcie stałe przekazywane w celu dopasowania do zakresu przetwarzania przetwornika A/C. Przetwornik A/C dokonuje zamiany tych sygnałów (napięcia) na odpowiednią postać cyfrową. Na tej podstawie tworzony jest obraz na wyświetlaczu. Układ sterowania, wykonywany jest na mikrokontrolerze, zarządza przepływem informacji wewnątrz przyrządu, koordynuje wewnętrzne funkcje oraz poprzez standardowe interfejsy, dokonuje transferu danych pomiarowych do zewnętrznych przyrządów.



Rys. 4.1. Ogólny schemat funkcjonalny multimetrów cyfrowych

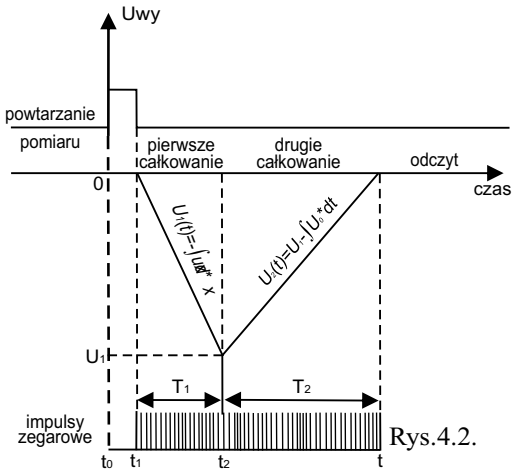
Podstawowym pomiarem wykonywanym przez miernik cyfrowy jest pomiar napięcia stałego. Wszystkie inne wielkości elektryczne lub nieelektryczne są mierzone pośrednio i przetwarzane na pomiar napięcia.

Zasadniczym podzespołem miernika cyfrowego (rys.4.1.) jest układ przekształcający analogowe napięcie na napięcie o postaci cyfrowej.

Współczesne przetworniki analogowo-cyfrowe, stosowane w multimetrach cyfrowych, to układy należące do rodziny przetworników całkujących, przetwarzających napięcie do nich doprowadzone na ciąg impulsów w ilości wprost proporcjonalnej do tego napięcia.

Sygnał mierzony jest całkowany w integratorze. Napięcie na jego wyjściu (rys. 4.2.) maleje do pewnej wartości wyznaczonej przez czas zliczania impulsów T_1 . Zakończenie pierwszego całkowania i przejście do drugiego odpowiada zliczeniu przez licznik pewnej ściśle określonej liczby impulsów. W tym momencie w układzie przetwornika zostaje włączone źródło odniesienia i licznik impulsów zegarowych zostaje wyzerowany.

Rozpoczyna się druga faza całkowania, w której jest całkowane napięcie odniesienia. Napięcie na wyjściu integratora rośnie do zera (wartość bezwzględna napięcia maleje do zera). Jednocześnie licznik liczy impulsy zegarowe przez czas T_2 . Czas ten zależy już od wartości mierzonego napięcia. Jeżeli np. mierzymy napięcie o wartości 1,999V (maksymalne wskazanie na danym zakresie pomiarowym), to w czasie drugiego całkowania licznik zliczy przez czas T_2 1999 impulsów. Gdy napięcie wejściowe będzie równe 1V (połowa napięcia maksymalnego danego zakresu pomiarowego), to licznik zliczy 1000 impulsów przez czas T_2 o połowę krótszy od poprzedniego.



Rys. 4.2. Ilustracja przetwarzania napięcia w ciągu impulsów w integratorze

4.2. Pomiary multimetrem APPA 207

Multimetry sprawdziły się jako narzędzia o szczególnej użyteczności. APPA207 jest miernikiem, który posiada wiele funkcji. Instrukcja fabryczna wymienia 13 podstawowych i 23 dodatkowe. Jednak w laboratorium wykorzystywany jest głównie do pomiarów: napięć, prądów, rezystancji oraz temperatury. Dlatego zgodnie z założeniami w niniejszej publikacji znajdują się opisy zastosowania wymienionych funkcji.

Do realizacji pomiarów służą trzy zaciski wejściowe oznaczone symbolami V/Ω , A oraz zacisk COM jako wspólny w każdym rodzaju pomiarów. Bardzo istotne jest użycie właściwych zacisków pomiarowych i prawidłowe ustawienie funkcji przyrządu. Błąd podłączenia przewodów pomiarowych może spowodować uszkodzenie miernika.

Włączenie i wyłączenie zasilania wykonuje się obrotowym przełącznikiem funkcji. Wyjściowe położenie przełącznika to pozycja wyłączony - pokrętło w pozycji pionowej, znacznikiem skierowanym do dołu. Włączenie zasilania następuje po obróceniu pokrętła zgodnie z ruchem wskazówek zegara. Miernik wyposażony jest w automatyczny wyłącznik zasilania i jest wyłączany po upływie nastawionego czasu. Aby włączyć miernik po automatycznym wyłączeniu, wystarczy zmienić na moment pozycję przełącznika obrotowego.

4.2.1. Pomiar napięć

Napięcia stałe i zmienne mierzymy podłączając jeden przewód do gniazda oznaczonego $\overset{\circ}{C} V \Omega \text{ } \text{---} \text{---}$ a drugi do gniazda COM.

Rodzaj mierzonego napięcia: stałego (DC), zmiennego (AC) i zmiennego ze składową stałą (AC+DC) wybiera się za pomocą niebieskiego przycisku funkcyjnego. Informacja o wybranym rodzaju pomiaru wyświetlana jest na wyświetlaczu odpowiednim skrótem literowym odpowiednio: DC, AC, AC+DC. Do pomiaru napięć mniejszych od 200mV przewidziano oddzielny zakres, który włączamy ustawiając przełącznik zakresów w pozycję mV.

4.2.2. Pomiar prądów

Prądy stałe i zmienne mierzymy podłączając jeden przewód, z obwodu prądowego, do gniazda oznaczonego A lub mA, a drugi do gniazda COM. Pomiar prądów może być wykonany na jednym z dwóch zakresów: małych prądów mA (do 400mA) i dużych A (nie większych

niż 10A). Wybór zakresu wykonuje się przy pomocy przełącznika zakresów. Ustawiając przełącznik w pozycji mA należy przewód pomiarowy umieścić w gnieździe oznaczonym mA, natomiast wybierając zakres A przewód pomiarowy należy przełożyć do gniazda A. W przypadku niezgodności wybranego gniazda pomiarowego i zakresu wyświetlane zostaje ostrzeżenie na ekranie i uruchamiany sygnał dźwiękowy.

Rodzaj mierzonego prądu: stałego (DC), zmiennego (AC) i zmiennego ze składową stałą (AC+DC) wybiera się za pomocą niebieskiego przycisku funkcyjnego, w sposób taki sam jak przy pomiarze napięcia.

Czas trwania pomiarów dużych prądów powinien wynosić maksimum 30 sekund, przy czym niezbędne jest zachowanie dwuminutowej przerwy między pomiarami celem wystudzenia opornika bocznikującego.

Uwaga: Na zakresach zmiennoprądowych pomiar dokonywany jest w trybie True RMS tj. detekcji i odczytu rzeczywistej wartości skutecznej.

4.2.3. Pomiar rezystancji

Rezystancje mierzymy podłączając jeden przewód do gniazda oznaczonego $^{\circ}C V \Omega \left\{ \right\}$ a drugi do gniazda COM. Przełącznik zakresów należy przestawić w pozycję Ω . Wynik pomiaru rezystancji wyświetlony zostanie na ekranie.

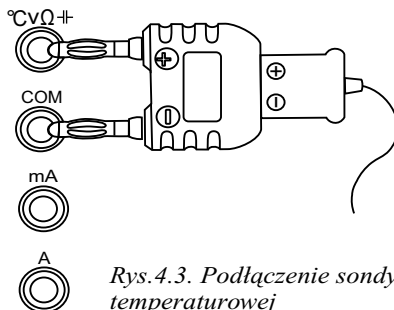
Informacja o wybranym rodzaju pomiaru wyświetlana jest na wyświetlaczu odpowiednim skrótem literowym. Pomiar odbywa się automatycznie, więc zanim wyświetlony zostanie ostateczny wynik, pojawiają się kolejno jednostki pochodne badanego zakresu oporności: M Ω , k Ω , Ω .

Możliwy jest także pomiar przy zmniejszonej wartości napięcia omomierza (L Ω). Wybór tego rodzaju pomiaru dokonuje się niebieskim przyciskiem.

4.2.4. Pomiar temperatury

Dla wykonania pomiaru temperatury należy do gniazd $^{\circ}C V \Omega \left\{ \right\}$ i COM (rys. 4.3.) podłączyć adapter z sondą temperaturową oraz ustawić przełącznik zakresów w pozycję $^{\circ}C$.

Wynik pomiaru temperatury (sondą pomiarową) wyświetlany zostaje na głównym wyświetlaczu. Wartość temperatury otoczenia wyświetlana jest w prawej górnej części wskaźnika. Niebieskim przyciskiem można zmienić jednostkę na stopnie ($^{\circ}\text{F}$) Fahrenheita lub ($^{\circ}\text{C}$) Celsjusza.



Rys.4.3. Podłączenie sondy temperaturowej

4.3. Pomiary multimetrem MXD-4660

4.3.1. Pomiar napięcia i prądu stałego

Dla dokonania pomiaru należy wybrać przyciskiem rodzaju pomiaru DCV oraz zakres RANGE stosownie do przewidywanej wartości.

Przewody pomiarowe podłącza się do zacisków V/Ω (+) i COM (-). Jeżeli polaryzacja mierzonego napięcia będzie odwrotna to przed wynikiem pomiaru pojawi się znak „-”. Mierzone napięcie nie może być większe niż 1000V.



Rys.4.4. Wynik pomiaru napięcia na wyświetlaczu

Pomiar prądu można dokonać po zmianie zacisków pomiarowych na prądowe. Dla pomiaru prądów większych niż 0,2A należy korzystać z zacisku 20A. Wynik pomiaru wyświetlany jest analogicznie jak przy pomiarze napięcia. W miejscu jednostki napięcia wyświetlana jest jednostka prądu.

Na rysunku 4.4. przedstawiono wyświetlacz cyfrowy wyświetlający wartość mierzonego napięcia do trzeciego miejsca po przecinku natomiast wskaźnik analogowy pokazuje przybliżoną wartość 10V. Wyświetlacz pomocniczy pokazuje trzy wartości (tutaj jednakowe) jako wynik kolejnych cykli pomiarowych wykonywanych automatycznie w odstępach kilkusekundowych. Jeżeli zmieni się wartość mierzonego napięcia to obserwacja tego wyświetlacza pozwoli określić kierunek zmiany. Zgodnie z zaleceniami dotyczącymi opracowywania wyników pomiarów odczyt należy ograniczyć do drugiego miejsca po przecinku.

Miernik pozwala na pomiar z znacznie większą dokładnością niż to wynika z potrzeb badanego zjawiska. Ostateczną odpowiedź na ile miejsc po przecinku zaokrąglić wynik odczytu daje rachunek niepewności przedstawiony w następnym rozdziale.

4.3.2. Pomiar napięcia i prądu zmiennego

Dla dokonania pomiaru należy wybrać przyciskiem rodzaju pomiaru AC V oraz zakres RANGE stosownie do przewidywanej wartości. Przewody pomiarowe podłącza się do zacisków V/ Ω i COM.

Mierzone napięcie nie może być większe niż 750V. Impedancja wejściowa miernika wynosi 10M Ω a równoległa pojemność wejściowa 100pF. Wynik pomiaru napięcia zmiennego opatrywany jest etykietą AC wyświetlaną z lewej strony wyświetlacza (rys. 4.5). Wskaźnik analogowy pokazuje przybliżoną wartość napięcia. Na wyświetlaczu pomocniczym wyświetlana jest częstotliwość mierzonego napięcia zmiennego.

Pomiar prądu można dokonać po zmianie zacisków pomiarowych na prądowe. Dla pomiaru prądów większych niż 0,2A należy korzystać z zacisku 20A. Wynik pomiaru wyświetlany jest analogicznie jak przy pomiarze napięcia, w miejsce V widoczna jest jednostka mA lub A. Wyświetlacz pomocniczy pokazuje częstotliwość mierzonego prądu (kHz). Pomiar powtarzany jest automatycznie w odstępach kilkusekundowych.



Rys.4.5. Wynik pomiaru częstotliwości na wyświetlaczu

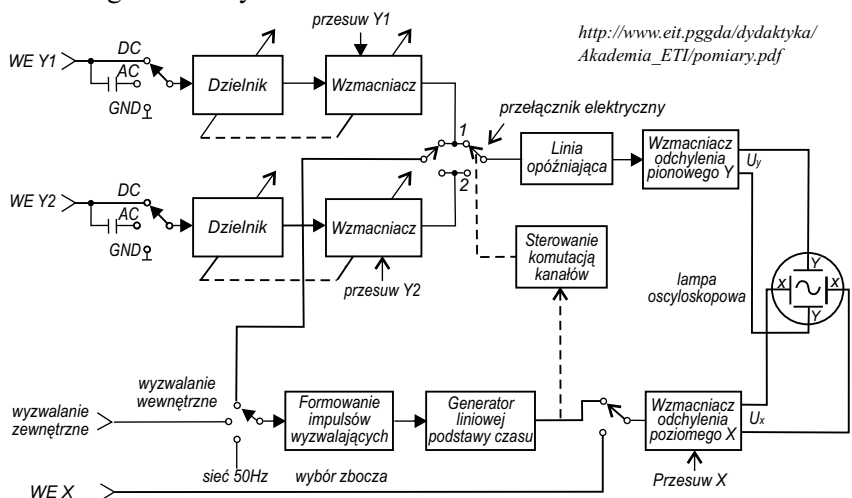
Multimetr MXD-4660A posiada szerokie możliwości pomiarowe, oprócz pomiarów napięć i prądów oraz rezystancji można nim:

- mierzyć współczynnik wzmocnienia prądowego tranzystorów n-p-n i p-n-p,
- sprawdzać diody: germanowe i krzemowe,
- wykonywać podstawowe testy układów cyfrowych,
- mierzyć częstotliwość sygnałów zmiennych w zakresie do 2MHz,
- wykonywać pomiar ciągłości obwodów elektrycznych,
- obsługiwać komputer w zakresie dla przekazywania wyników pomiarów.

4.4. Pomiary oscyloskopowe

Do obserwacji i pomiaru elektrycznych przebiegów służy oscyloskop. Przebieg odkształcony, okresowy lub nieokresowy kreślony jest na ekranie plamką świetlną. Dzięki odpowiednio długiej poświacie ekranu, tworzy ślad w postaci linii. Schemat na rysunku 4.6 przedstawia strukturę oscyloskopu analogowego.

Przemieszczenie plamki wywołane jest napięciem przyłożonym do płytek odchylenia pionowego (Y) i poziomego (X). Napięcie przyłożone do płytek odchylenia poziomego narasta liniowo i tworzy linię poziomą nazywaną podstawą czasu. Istotne jest aby szybkość przemieszczania plamki była stała w obszarze roboczym ekranu. Powrót plamki jest niewidoczny, gdyż na czas powrotu, znacznie krótszego od roboczego, jest wygaszany. Przyłożenie napięcia np.: sinusoidalnie zmiennego do płytek odchylenia pionowego przy jednoczesnym uruchomieniu podstawy czasu daje nam obraz przebiegu czasowego sinusoidy.



Rys.4.6. Schemat funkcjonalny oscyloskopu analogowego

Mierzony sygnał przez dzielnik wejściowy o skokowo regulowanej wartości tłumienia steruje wzmacniaczem. Wzmocnienie jego można zmieniać skokowo i płynnie. Taka regulacja pozwala zmienić amplitudę sygnału wejściowego stosownie do wymaganej wysokości obrazu na ekranie.

W oscyloskopach dwukanałowych występuje przełącznik elektroniczny, który przełącza sygnał ze wzmacniaczy wejściowych (kanał A, kanał B) na jeden wspólny tor. W torze wspólnym kanału Y znajduje się linia opóźniająca niezbędna dla poprawnej synchronizacji z generatorem podstawy czasu. Symetryczny wzmacniacz steruje płytki odchylenia pionowego lampy oscyloskopowej. Pokrętko przesuwu Y_1 i Y_2 ustala położenie obrazu na ekranie w kierunku pionowym, oddzielnie dla każdego kanału, w dogodnym miejscu ekranu.

Aby na ekranie oscyloskopu otrzymać stabilny i nieruchomy obraz badanego przebiegu elektrycznego należy spełnić jednocześnie kilka warunków. Przede wszystkim musi zachodzić synchronizm podstawy czasu i sygnału. Okres przebiegu musi być krótszy od czasu jaki potrzebuje plamka na przebycie drogi (wzdłuż podstawy czasu) odcinka roboczego ekranu. Jeżeli okres sygnału będzie kilka razy mniejszy od okresu wyświetlania podstawy czasu to na ekranie będzie widocznych kilka cykli tego przebiegu. Istotne jest aby amplituda sygnału nie przekraczała zakresu liniowego wzmacniacza odchylenia pionowego. Dotyczy też składowej stałej, która może występować w sygnale.

Sygnał synchronizujący steruje układy wyzwiania i generacji podstawy czasu. Synchronizacja może pochodzić od jednego ze wzmacniaczy kanałów lub od sygnału zewnętrznego. Generator generuje piłokształtne napięcie liniowo narastające synchronicznie do częstotliwości badanego źródła sygnału a następnie po wzmocnieniu w symetrycznym wzmacniaczu odchylenia poziomego X steruje płytki odchylenia lampy oscyloskopowej.

Oscyloskopy cyfrowe mają identyczne elementy regulacyjne do zobrazowania. Jednak z racji cyfrowej obróbki sygnału oscyloskopy cyfrowe oprócz możliwości oscyloskopów analogowych pozwalają na zapamiętanie badanego przebiegu, współpracę z komputerem, pomiary za pomocą kursorów, a także pomiary automatyczne wielu parametrów sygnału takich jak np. częstotliwość, okres, napięcie, czasy trwania, opadania i narastania impulsów.

4.4.1. Kalibrowane pomiary napięć

Dla uzyskania kalibrowanych wartości interesujących napięć należy postępować zgodnie z poniższą procedurą.

1. Przekręcić potencjometr płynnej regulacji czułości na pozycję CAL (do oporu zgodnie z kierunkiem wskazówek zegara),

a następnie przełącznikiem czułości odchylenia skokowego ustawić wygodną do obserwacji wysokość przebiegu. Potencjometrem położenia POSITION można przebieg przesunąć do wybranej linii siatki, aby ułatwić odczyt pomiaru.

2. Dla sygnałów złożonych i stałoprądowych przełącznik sprzężenia ustawić najpierw w pozycji GND, aby potencjometrem POSITION ustalić poziom odniesienia. Następnie przełączyć sprzężenie na pozycję DC i zaobserwować wielkość odchylenia. Napięcie dodatnie przesunie obraz w górę, a ujemne w dół. Wartość napięcia określić, mnożąc wielkość odchylenia w działkach przez nastawioną na przełączniku wartość czułości.

4.4.2. Obserwacja dwóch sygnałów wejściowych

Po ustawieniu przycisków w tryb DUAL - wciśnięte przyciski CH-A i CH-B, jest możliwa obserwacja dwóch sygnałów wejściowych. Pozostałe operacje wykonuje się analogicznie jak opisano wyżej.

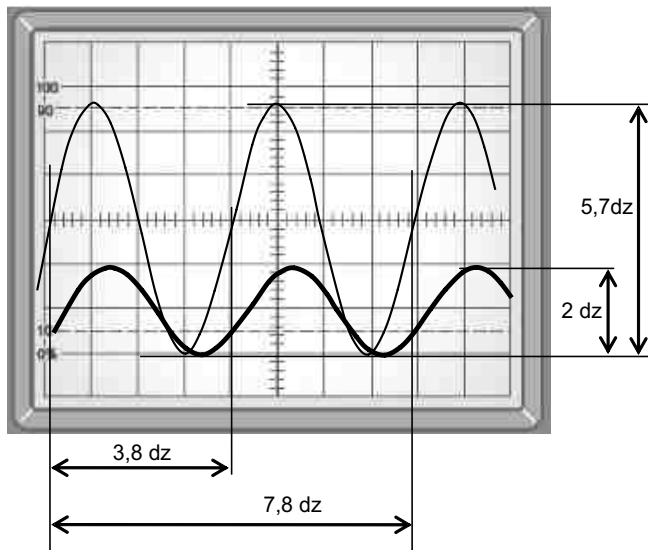
Dla obserwacji algebraicznej sumy sygnałów kanałów A i B wystarczy włączyć tryb ADD odchylenia pionowego. W tym trybie, odwrócenie fazy przebiegu INVERT kanału B, pozwala na obserwację różnicy algebraicznej sygnałów CH-A i CH-B.

Podczas pomiarów napięcia i częstotliwości, pokrętkła płynnej regulacji czułości odchylenia i podstawy czasu należy ustawić w pozycje kalibrowane CAL - obrót w prawo do zaskoku. Do pomiaru amplitudy lub czasu należy dążyć aby oscylogram był jak największy i w miarę możliwości zajmował przynajmniej 80% obszaru ekranu.

4.4.3. Niepewności pomiarów oscyloskopowych

Ocenę niepewności pomiaru oscyloskopowego można dokonać tak samo jak to wykonuje się dla pomiarów przyrządem wskazówkowym (patrz rozdział 5.7.2.2). Podziałką jest siatka ekranowa, której duże oczka mają wymiar 10mm. Centralnie umieszczona jest podziałka pomocnicza, która dzieli na pięć części (co 2 mm) dużą działkę. Rolę wskazówki pełni linia oscylogramu. Istotne dla uzyskania dużej dokładności jest dobieranie największej ostrości co zazwyczaj idzie w parze ze zmniejszeniem jasności. Można bez trudu uzyskać tak cienką linię, że rozmiar mierzonego oscylogramu odczytać będzie można nawet z dokładnością

połowy małej działki czyli 1mm. Porównaj przebiegi na rysunku, gdzie specjalnie pogrubiony został jeden przebieg (tylko dla uzasadnienia powyższego, bo w rzeczywistości regulacja ostrości i jasności dotyczy obu przebiegów).



Rys. 4.7. Ilustracja pomiarów napięcia i okresu przebiegu sinusoidalnego

PRZYKŁAD:

Na ekranie (rys. 4.7) wyświetlony jest przebieg sinusoidalny.

Nastawy: czułość 2V/dz, szybkość podstawy czasu 5ms/dz.

Posługując się siatką ekranową odczytano rozmiar pionowy (podwójną amplitudę) przebiegu sinusoidalnego: 5,7dz (57mm). W przypadku przebiegów symetrycznych względem osi odczytanie wygodniej i zarazem dokładniej zalecane jest odczytywanie podwójnej amplitudy. Zatem:

a) napięcie międzyszczytowe:
$$U_{pp} = 2 \frac{V}{dz} \cdot 5,7 dz = 11,4 V$$

b) amplituda:
$$U_m = \frac{1}{2} U_{pp} = 5,7 V$$

c) Napięcie skuteczne (rms) sygnału:
$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = \frac{5,7 V}{1,41} = 4,04 V$$

Jeżeli obraz rozciągnięty będzie na maksymalny rozmiar ekranu to można wtedy uzyskać największą dokładność pomiaru czyli najmniejszą względną niepewność pomiarową. W przykładzie wyliczono napięcie podwójnej amplitudy $U_{pp}=11,4V$ więc graniczna niepewność pomiarowa wynosi, dla odczytu z dokładnością 0,1 działki:

$$\pm \Delta U = \pm \frac{U_{pp}}{57} = \pm \frac{11,4}{57} = \pm 0,20V \quad (4.1)$$

Czyli względna niedokładność pomiaru wynosi

$$u(x) = \frac{\pm \Delta U}{U_{pp}} 100\% = \pm 1,70\% \quad (4.2)$$

Należy tu zwrócić uwagę na względność uzyskanych wyników. Jeżeli mamy do czynienia z małymi wartościami napięć wówczas aby uzyskać duży wymiar zobrazowania należy zwiększyć czułość wzmacniacza odchylenia w pionie. Wówczas odpowiednio zmniejszą się wartości U_{pp} oraz ΔU , natomiast stosunek tych wartości może pozostać taki sam czyli zostanie zachowana ta sama dokładność pomiaru małych i dużych napięć pod warunkiem, że każdorazowo dobierać będziemy największy z możliwych zobrazowań oscylogramu.

Ta sama zasada, szacowania niepewności dotyczy też pomiaru czasu i wszystkich innych pomiarów dokonywanych na podstawie oscylogramów. Można to łatwo zauważyć na prezentowanym rysunku. Postępując podobnie można wyznaczyć parametry czasowe przebiegu: okres $T = 39$ ms a częstotliwość jako odwrotność okresu wynosi: $f=1/T=1/39=(25,64 \pm 0,32)Hz$. Zatem niepewność $u(x)=1,2\%$.

4.4.5. Pomiary napięć stałych

Jeżeli ustawimy przełącznik sprzężenia sygnału wejściowego w pozycję AC to na ekranie wyświetlane będą tylko składowe zmienne sygnału wejściowego. Natomiast w pozycji DC możliwy jest pomiar składowej stałej badanego przebiegu. Dla dokładnego pomiaru składowej stałej przebiegu należy w pierwszej kolejności przełączyć sprzężenie na GND, wcisnąć przycisk AUTO i dokładnie ustawić linię podstawy czasu na wybranej pozycji odniesienia 0V (np. na linii siatki pomocniczej). Następnie przełączyć sprzężenie na pozycję DC - podstawa czasu ulegnie przesunięciu w pionie (w górę lub w dół).

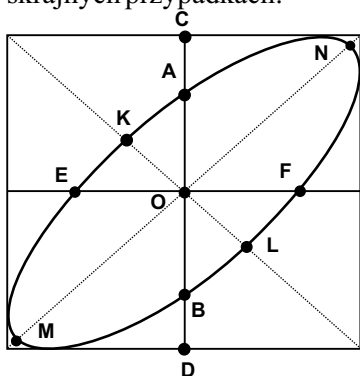
Kierunek przesunięcia w górę (+) lub w dół (-) zależy od polaryzacja napięcia. Wielkość przesunięcia określa wartość napięcia składowej stałej sygnału wg wzoru:

$$\text{napięcie DC [V]} = \text{przesunięcie [dz]} \text{ razy czułość (V/dz)}. \quad (4.3)$$

4.4.6. Pomiary kąta fazowego

Badając np. charakterystyki amplitudowo-fazowe szeregu układów często zachodzi potrzeba wyznaczenia przesunięcia fazowego między napięciem wejściowym i wyjściowym. Badanie przesunięć wykonywane jest sygnałem sinusoidalnym.

Dwa napięcia sinusoidalne, o tej samej częstotliwości doprowadzone do kanałów CH-A i CH-B oscyloskopu pracującego w trybie X i Y, tworzą na ekranie obraz w postaci elipsy (rys.4.8). Rozmiar i kształt elipsy zależy od amplitud sygnałów U_{xm} i U_{ym} zobrazowanych na ekranie oraz od przesunięcia w fazie $\Delta\varphi$ między tymi sygnałami. Warunkiem koniecznym, poprawnego pomiaru fazy, jest równość amplitud sygnałów z obu kanałów ($U_{xm} = U_{ym}$). Można to uzyskać dobierając odpowiednie wzmocnienie w obu kanałach (elipsa na ekranie wpisana w kwadrat). Wówczas kształt krzywej zależy od wielkości przesunięcia fazowego. Warto wiedzieć, że można bardzo dokładnie oszacować przesunięcie w skrajnych przypadkach:



Rys. 4.8. Charakterystyczne punkty oscylogramu do pomiaru kąta fazowego

- jeżeli przesunięcie $\Delta\varphi = 0^\circ$ widoczna jest prosta pochylona (zgodnie z przekątną) pod kątem 45° lub -45° ,
- jeżeli przesunięcie $\Delta\varphi = 90^\circ$ widoczny jest okrąg (wpisany w kwadrat),
- pochylenie elipsy (lub prostej) może być zgodne z jedną z przekątnych kwadratu, na którym opiera się elipsa. Na tej podstawie można wnioskować o znaku przesunięcia $+\Delta\varphi$ lub $-\Delta\varphi$.

- Zobrazowanie przesunięcia fazowego jest jednoznaczne w przedziale od $+90^\circ$ do -90° , co całkowicie wystarcza w praktyce laboratoryjnej przy badaniu charakterystyki amplitudowo-fazowej

np. wzmacniacza tranzystorowego lub innych układów, dla których zadane jest wykonanie takiego pomiaru.

Korzystając z wymiarów maksymalnego MN i minimalnego KL promienia elipsy można również określić wartość przesunięcia fazowego, z zależności :

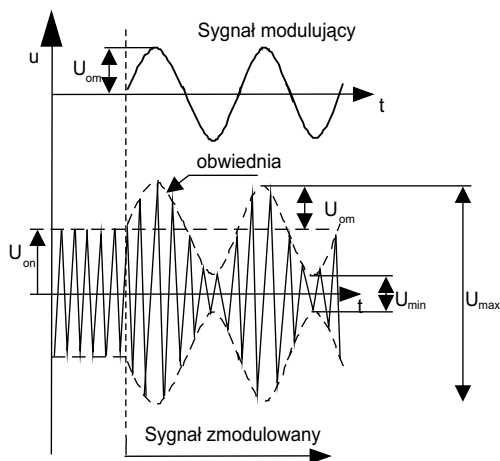
$$\frac{\Delta\varphi}{2} = \text{arc tg} \frac{KL}{MN} \quad (4.4)$$

Obliczenie wartości przesunięcia fazowego można też dokonać posługując się wartościami odcinków leżących na osi pionowej: odcinek CD jako największy wymiar w pionie i AB - odcinek wyznaczony przez przecięcia elipsy z osią pionową według wzoru:

$$\Delta\varphi = \text{arc sin} \frac{AB}{CD} \quad (4.5)$$

4.4.7. Pomiar współczynnika głębokości modulacji amplitudy

Miara stopnia zmodulowania fali nośnej w modulacji AM jest współczynnik głębokości modulacji m . Wskazuje w jakim stopniu została zmieniona amplituda fali nośnej w stosunku do swojej wartości znamionowej U_{on} . Im większa amplituda sygnału modulującego, tym większy jest zakres zmian wartości międzyszczytowej obwiedni fali AM, czyli głębokość modulacji.



Rys.4.9. Sygnał zmodulowany AM

Współczynnik głębokości modulacji przyjmuje wartości: od $m = 0$ - brak modulacji, do 1 - pełna modulacja (100 %). Typowa głębokość modulacji powinna wynosić od 0,2 do 0,8 (czyli 20 - 80 %) rys. 4.9.

Istnieją różne metody pomiarów głębokości modulacji AM. Można zastosować pomiar metodą obwiedni. Sposób ten ma zastosowanie, gdy często-

tliwość nośna sygnału mieści się w paśmie przenoszenia oscyloskopu. Współczynnik głębokości modulacji i zniekształcenia modulacji można kilkoma sposobami określić na podstawie obrazu oscyloskopowego.

Jeżeli do płytek odchyłania pionowego (kanał Y) oscyloskopu doprowadzimy sygnał zmodulowany i skorzystamy z wewnętrznego wyzwalania podstawy czasu, to na ekranie uzyskamy obraz przebiegu zmodulowanego.

Współczynnik głębokości modulacji m określamy z zależności:

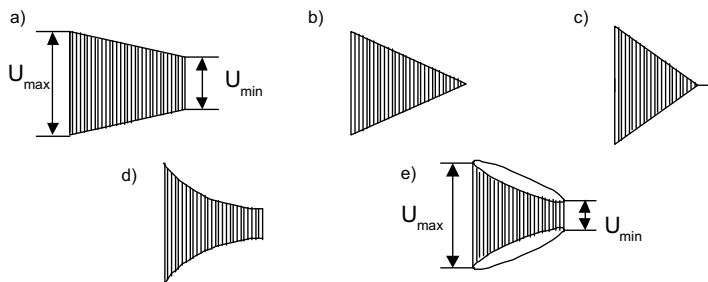
$$m = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_{\max} + U_{\min}} \cdot 100\% \quad (4.6)$$

gdzie: U_{\max} , U_{\min} - wartości międzyszczytowe.

W metodzie drugiej, oscyloskop przełączamy do pracy X-Y. Po doprowadzeniu do płytek odchyłania pionowego napięcia zmodulowanego, zaś do płytek odchyłania poziomego (kanał X) napięcia modulującego, na ekranie lampy otrzymamy obraz o kształcie trapezu, którego wymiary będą zależne od stosunku amplitud sygnału modulującego i nośnego. Na rys. 4.10 przedstawiono oscylogramy obrazu trapezowego przy modulacji amplitudy (rys. 4.9):

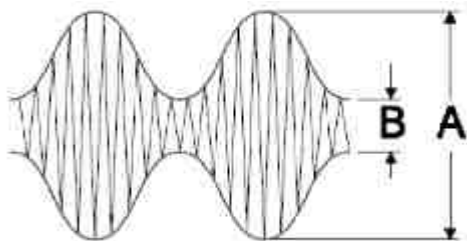
- a) $m < 1$;
- b) $m = 1$;
- c) $m > 1$;
- d) obraz przy zniekształceniach nieliniowych w modulatorze;
- e) obraz przy przesunięciu fazowym między sygnałem modulującym a obwiednią w.cz.

Jeśli między sygnałem modulującym a obwiednią w.cz. występuje przesunięcie fazowe lub sygnały są zniekształcone nieliniowo, jest to widoczne na obrazie trapezowym (rys. 4.10 d, e). Współczynnik modulacji m określamy jest podobnie jak poprzednio z zależności (4.6).



Rys.4.10. Pomiar współczynnika modulacji amplitudy metodą trójkąta

Współczynnik głębokość modulacji jest wielkością bezwymiarową i może być wyliczony na podstawie wymiarów oscylogramu bez wyliczania amplitud napięcia modulującego i modulowanego. Jeżeli nie interesuje nas wartość napięcie to wyliczenie współczynnika dokonujemy zgodnie ze wzorem:



$$m = \frac{A - B}{A + B} 100\% \quad (4.7)$$

gdzie: A - największy wymiar oscylogramu (odpowiada U_{max}),
B - najmniejszy wymiar oscylogramu (odpowiada U_{min}).

Rys.4.11. Pomiar współczynnika modulacji amplitudy na podstawie przebiegu czasowego

Źródłami błędów pomiarowych dającymi kilkuprocentowy błąd są:

- niedokładności pomiaru odcinków na oscylogramie,
- nieliniowości odchyleń poszczególnych kanałów oscyloskopu,
- pasożytnicze wewnętrzne przesunięcia fazy.

4.5. Pomiar zniekształceń nieliniowych

Miernik zawartości zniekształceń nieliniowych HM8027 wraz z generatorem sinusoidalnym HM8037 (rys.4.12) tworzą kompletny zestaw pomiarowy, wykorzystywany do wysokiej jakości pomiarów w zakresie częstotliwości akustycznych. Miernik zniekształceń wykorzystuje się do pomiarów i obliczeń stopnia odkształcenia badanego sygnału w odniesieniu do wzorcowego sygnału sinusoidalnego.



Rys. 4.12. Zestaw do pomiaru zniekształceń nieliniowych: miernik HM8027 (po lewej) i generator HM8030 (po prawej)

4.5.1. Współczynnik zawartości harmonicznyc

Źródłem wzorcowego sygnału sinusoidalnego może być generator MH8037 (panel z prawej strony). Jego sygnał podajemy na wejście badanego układu. Na skutek nieliniowości układów w sygnale wyjściowym, oprócz sygnału podstawowego, pojawią się nowe składowe, których częstotliwości są całkowitą wielokrotnością

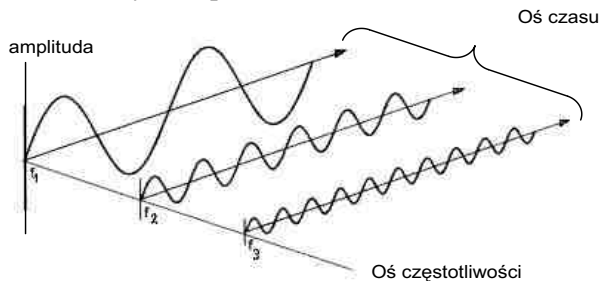
częstotliwości generatora. Amplitudy tych składowych (harmoniczne) maleją ze wzrostem częstotliwości. Przebieg wyjściowy jest sumą wszystkich składowych. W zależności od ilości i wielkości amplitud harmonicznnych przebieg będzie mniej lub więcej odkształcony w stosunku do sinusoidalnego sygnału wejściowego. Praktycznie istotnych jest kilka pierwszych składowych, gdyż amplitudy kolejnych wyższych harmonicznnych szybko maleją.

Wartość skuteczna składowych harmonicznnych przebiegu odkształconego pozbawiona składowej podstawowej może być miarą zniekształceń nieliniowych. Parametrem stosowanym do opisu zniekształceń nieliniowych jest współczynnik zawartości harmonicznnych. Wyraża on udział harmonicznnych w sygnale całkowitym. Miernik HM8027 pozwala na określenie tego współczynnika obliczanego ze wzoru:

$$h = \frac{\sqrt{U_{f1}^2 + U_{f2}^2 + U_{f3}^2 + \dots + U_{fn}^2}}{U_0} 100\% \quad (4.8)$$

w którym: h = współczynnik zawartości harmonicznnych,
 $U_{f1}, U_{f2}, U_{f3}, U_{fn}$ = napięcie skuteczne kolejnych harmonicznnych,
 U_0 = napięcie skuteczne badanego sygnału odkształconego.

Odształcenie przebiegu sinusoidalnego rzędu 3% jest już widoczne na ekranie oscyloskopu.



Rys. 4.13. Przebiegi harmoniczne w układzie zależnym od czasu i częstotliwości

4.5.2. Obsługa miernika zniekształceń nieliniowych

Badany sygnał doprowadzamy do gniazda wejściowego miernika.

1. Kalibracja amplitudy - należy ustawić przyrząd na 100-procentową, pełną detekcję sygnału (kalibracja 100%). W dopuszczalnym zakresie napięć wejściowych dostosowuje się napięcie wejścia przyrządu za pomocą dwóch tłumików

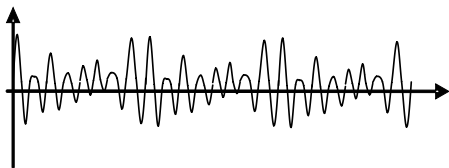
i pokrętką kalibracji. Tryb dopasowania wejścia przyrządu do badanego sygnału wybiera się naciskając przycisk kalibracji. Wykonanie 100-procentowej kalibracji jest wymagane każdorazowo, gdy ulegnie zmianie amplituda sygnału wejściowego.

2. Strojenie częstotliwości - po zakończeniu procesu kalibracji na 100% przeprowadza się procedurę strojenia częstotliwości. W trakcie strojenia częstotliwości częstotliwość filtra wewnętrznego miernika jest dopasowywana do częstotliwości sygnału wejściowego. W tym celu należy najpierw wybrać właściwy podzakres częstotliwości sygnału wejściowego naciskając odpowiedni przycisk. Następnie pokrętką płynnej regulacji częstotliwości na danym podzakresie doprowadzić do wygaszenia diod. W trakcie regulacji częstotliwości diody LED wskazują kierunek odchylenia częstotliwości wbudowanego filtra w odniesieniu do częstotliwości sygnału wejściowego. Na przykład, gdy świeci się prawa dioda, pokrętką regulacji należy pokręcać w kierunku przeciwnym do ruchu wskazówek zegara aż do momentu gdy dioda ta zgaśnie, gdy natomiast świeci się lewa dioda, to należy pokręcić pokrętką w kierunku zgodnym z ruchem wskazówek zegara aż dioda przestanie świecić. Gdy obie diody nie świecą procedura strojenia jest zakończona. Dokładną regulację częstotliwości prowadzi wewnętrzny układ automatycznego dostrajania.
3. Pomiar - po zakończeniu strojenia częstotliwości należy wybrać potrzebny podzakres pomiarowy zniekształceń. W wypadku gdy wielkość mierzona (w trybie pełnej detekcji) przekroczy maksymalną wartość podzakresu, wyświetlacz miernika zacznie pulsować.

Przy pomiarze zniekształceń urządzeń zasilanych z sieci sygnał pomiarowy jest często zdeformowany przez sygnały zakłócające o niskich częstotliwościach. Zadanie eliminacji części tych zakłóceń ma filtr gómpoprzepustowy o częstotliwości odcięcia 1kHz, który można włączyć w tor sygnałowy. Filtr skutecznie tłumi wszystkie zakłócenia sieciowe o częstotliwościach poniżej 1kHz.

Dla oceny jakościowej zniekształceń, np. za pomocą oscyloskopu, korzystać można z sygnału z gniazda WYJŚCIE. Można sprawdzić czy wskazana zawartość harmonicznych jest związana ze zniekształceniami nieliniowymi czy też z szumami. W przypadku dużych zniekształceń na wyjściu pojawia się znaczny przebieg (rys. 4.14),

w którym łatwo można zaobserwować jego wielokrotność częstotliwości podstawowej. Przebieg nieznkształcony (o bardzo małych zniekształceniach nieliniowych) zawiera bardzo małe harmoniczne więc na oscyloskopie, zwiększając czułość, można będzie zaobserwować jedynie sygnał o charakterze szumowym.



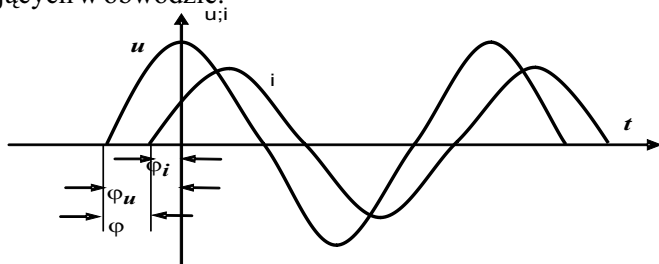
Rys.4.14. Sygnał na wyjściu miernika zniekształceń

4.6. Pomiary elementów biernych RLC

Miernik ELC-3131D oraz MT4090 umożliwiają pomiary z dużą dokładnością rzędu $\pm 0,3\%$. Wewnętrzna pamięć umożliwia pomiar względny (funkcja REL), rejestrację i obróbkę wyników pomiarów (Static Recording) oraz sortowanie elementów według założonej tolerancji (TOL). W zależności od rodzaju sygnału testowego stosowanego przez miernik w czasie pomiaru elementów RLC otrzymuje się możliwość pomiaru: impedancji i kąta fazowego oraz rezystancji. Standardowy multimetr cyfrowy mierzy jedynie rezystancję elementu (napięcie testowe jest napięciem stałym), natomiast oba prezentowane przyrządy mogą mierzyć wymienione składowe.

4.6.1. Elementy RLC w obwodach prądu przemiennego

W obwodach prądu przemiennego występują oprócz rezystancji, reaktancje. Za ich przyczyną napięcie i prąd w obwodzie mogą wykazywać przesunięcie fazowe $\varphi = \varphi_i - \varphi_u$ (rys. 4.15). Wielkość przesunięcia zależy od wielkości i rodzaju reaktancji oraz rezystancji występujących w obwodzie.



Rys. 4.15. Przebiegi napięcia i prądu na impedancji

Napięcie na rezystancji jest w fazie z prądem. Zależność napięcia od prądu na elementach idealnych przedstawia tabela nr 3.

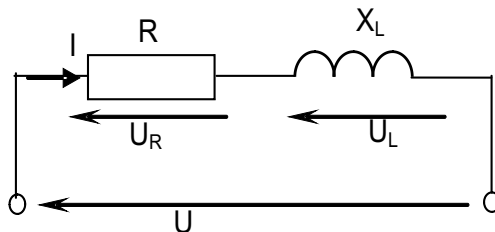
Tabela nr 3. Zależności napięcia od prądu na elementach idealnych R, C i L

Elementy idealne	Rezystancja	Pojemność	Indukcyjność
Napięcie na elemencie	$u = R \cdot i$	$u_C = \frac{1}{C} \int_0^t i \cdot dt$	$u_L = L \cdot \frac{di}{dt}$
kąt fazowy $\langle \varphi_i, \varphi_u \rangle$	0°	-90°	$+90^\circ$

Rzeczywiste elementy obwodów elektrycznych, takie jak cewka indukcyjna, dławik lub transformator oprócz dominującej cechy jaką jest dla nich indukcyjność zawierają rezystancję. Podobnie kondensator zawiera rezystancję strat jako element pasożytniczy. W rezystancji energia prądu elektrycznego zamienia się na ciepło i uchodzi z obwodu bezpowrotnie jednocześnie nagrzewając element. Rzeczywisty rezystor zawiera w swoim schemacie oprócz dominującej rezystancji pojemność i indukcyjność. Istnienie rezystancji utrudnia określenie rzeczywistej wartości indukcyjności i pojemności. Natomiast nawet szczątkowe wartości reaktancji powodują niewłaściwy wynik pomiaru rezystancji.

Rzeczywiste elementy biernie przedstawiane są jako dwójniki szeregowo lub równoległe. Zazwyczaj rezystancja strat cewki indukcyjnej związana jest z oporem drutu, z którego jest nawinięta i jest mała w porównaniu z reaktancją indukcyjną, więc przewiduje się jej pomiar parametrów jak dla dwójnika szeregowego. Wówczas moduł impedancji wyniesie:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} \quad (4.9)$$

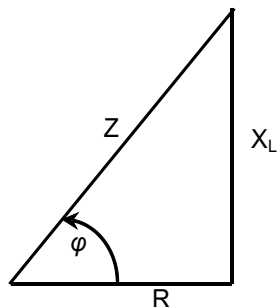


Rys.4.16. Dwójnik szeregowy RL w obwodzie prądu przemiennego

a kąt fazowy przesunięcia między prądem i napięciem na elemencie:

$$\varphi = \arctg \frac{X_L}{R} \quad (4.10)$$

Na rys. 4.17 pokazano trójkąt impedancji dla rezystora drutowego, który zawiera dużą reaktancję o charakterze indukcyjnym, kąt fazowy φ jest dodatni. Rezystory wykonane w innej technologii wykazują znacznie mniejszą wartość kąta fazowego a w obwodach wysokiej częstotliwości konstrukcja rezystora powinna być bezindukcyjna.



Rys.4.17. Trójkąt impedancji dwójnika szeregowego

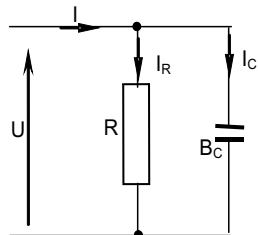
Konstrukcja kondensatorów pozwala na zachowanie charakteru bardzo zbliżonego do idealnej pojemności. Straty związane są z upływem prądu przez dielektryk. Dlatego wygodniej stosować przy pomiarach schemat zastępczy w postaci układu dwójnika równoległego (rys.4.18)

Moduł admitancji wynosi:

$$Y = \sqrt{G^2 + B_C^2} \quad (4.11)$$

natomiast argument admitancji czyli kąt fazowy między napięciem i prądem:

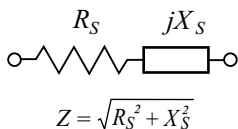
$$\varphi = \arctg \frac{B_C}{G} \quad (4.12)$$



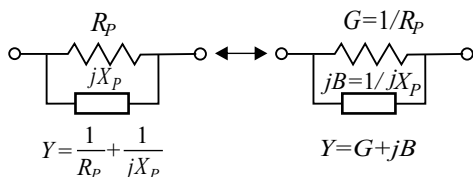
Rys.4.18. Dwójnik równoległy RC w obwodzie prądu przemiennego

Pomiar elementów R, L i C może być wykonywany przy różnych częstotliwościach. Wybór częstotliwości zależy od użytkownika. Pomiar powinien być wykonywany w pobliżu częstotliwości roboczej elementu.

Przyrząd pozwala na pomiary cewek indukcyjnych i kondensatorów zarówno w układzie szeregowym jak i równoległym. W zależności od rodzaju sygnału testowego stosowanego przez miernik w czasie pomiaru impedancji otrzymuje się dwie wartości - impedancje zmiennoprądową i stałoprądową (rezystancje). Pomiar impedancji można wykonać dla następujących częstotliwości: 100Hz, 120Hz, 1kHz, 10kHz, 100kHz i 200kHz.



Rys. 4.19. Schemat zastępczy dla pomiaru typowej cewki indukcyjnej



Rys. 4.20. Schemat zastępczy typowy dla pomiaru rezystora lub kondensatora

Jak wcześniej wspomniano dla celów analizy i pomiarów stosowane są dwa obwody zastępcze elementów impedancyjnych - szeregowy i równoległy.

W przypadku pomiaru indukcyjności układem typowym jest układ szeregowy (rys.4.19) a w przypadku pomiaru pojemności i rezystancji, układ równoległy (rys.4.20). Układy równoległe pokazano w dwóch postaciach jako sobie równoważne.

Miernik pozwala na pomiar zarówno w jednym jak i w drugim układzie, z jednoczesnym wyświetlaniem symbolu typu układu (*PAR*, *SER*). Wybór jego zależy od użytkownika. Wynik uzyskany przez pomiar w układzie równoległym może być auto-matycznie przetworzony na wynik w układzie szeregowym i odwrotnie, odpada zatem pracochłonne przeliczanie.

Podczas pomiaru impedancji wyświetlane są dwa dodatkowe parametry charakteryzujące bierne podzespoły elektroniczne - dobroć (Q) lub współczynnik stratności (D). Dobroć z zasady podawana jest dla cewek indukcyjnych, natomiast współczynnik stratności – dla kondensatorów.

$$Q = \frac{1}{D} = \frac{1}{\tan \delta} = \frac{|X_s|}{R_s} = \frac{\omega L_s}{R_s} = \frac{1}{\omega C_s R_s} = \frac{|B|}{G} = \frac{R_p}{|X_p|} = \frac{R_p}{\omega L_p} = \omega C_p R_p \quad (4.13)$$

4.6.2. Obsługa miernika wartości RLC MT4090

Niniejszy opis dotyczy też obsługi miernika ELC3131, który ma prawie wszystkie elementy manipulacyjne i zasadę działania podobną mimo, że konstrukcja znacznie się różni.

Mostek MT4090 ma przewidziane cztery tryby pracy: *Normal*, który jest dostępny dla użytkownika oraz *Binning*, *Remote* i *Remote*

Binning dla serwisu. Wyboru trybu pracy dokonuje się przyciskiem *REMOTE*.

Tryb normalny jest domyślnym trybem pracy przyrządu po włączeniu zasilania. W trybie tym funkcje miernika kontrolowane są przyciskami z płyty czołowej a wyniki wyświetlane na wyświetlaczu i przesyłane poprzez port szeregowy RS232 do współpracującego komputera klasy PC.

Miernik MT4090 LCR jest precyzyjnym przyrządem laboratoryjnym służącym do pomiarów impedancji i rezystancji cewek indukcyjnych, kondensatorów i rezystorów z podstawową dokładnością równa 0,1%. Dodatkowo, dzięki wbudowanym funkcjom pomiaru prądu i napięcia AC/DC oraz testera diod półprzewodnikowych i ciągłości MT4090 nie tylko służy do analizy charakterystyk podzespołów elektronicznych ale staje się użytecznym przyrządem na stanowisku pomiarowym.

Domyślnie miernik MT4090 jest ustawiony na automatyczny dobór zakresu pomiarowego, przy czym zakres można ustawiać również ręcznie, korzystając z przycisku funkcyjnego *Range Hold*.

Przy pomiarach impedancji (tryb LCR) na każdym dostępnym zakresie pomiarowym można ustawić jedną z częstotliwości testowych: 100Hz, 120Hz, 1kHz, 10kHz, 100kHz lub 200kHz. Podczas pomiaru napięcia lub prądu albo testu diod lub ciągłości do wyświetlania wyniku wykorzystywane jest jedynie dodatkowe pole odczytowe (dolna linia wyświetlacza).

Funkcja *Static Recording* umożliwia uzyskiwanie z serii pomiarów wartości minimalnej, maksymalnej oraz wartości średniej. Funkcja *TOL* jest wykorzystywana do sortowania podzespołów R, L i C, przy zaprogramowanej tolerancji 1%, 5% i 10 %. Po wprowadzeniu do pamięci miernika wartości wzorcowej (dołączenie i pomiar elementu wzorcowego), przyrząd sygnalizuje akustycznie zarówno przekroczenie ustalonej wartości tolerancji jak i fakt, że wartość mierzona mieści się w dopuszczalnym zakresie.

4.6.3. Wykonywanie pomiarów wartości elementów RLC

Dla zwiększenia dokładności pomiarów dużych i małych impedancji zaleca się wykonywanie kalibracji każdorazowo po zmianie napięcia lub częstotliwości sygnału testowego. Kalibracja polega na sprawdzeniu czy miernik przy zwarciu zacisków pomiarowych wskaże

zero a przy rozwarciu nieskończoność. Miernik MT4090 ma wbudowaną funkcję kalibracji zwartej i rozwartej wejścia.

1) Kalibracja:

- a) kalibracja rozwarciowa - rozewrzeć gniazda pomiarowe i nacisnąć przycisk *OPEN*. Na wyświetlaczu ukaże się odczyt: *CAL O*. Kalibracja ta zajmuje około 15 sekund. Po zakończeniu procedury miernik MT4090 dźwiękiem (beeper) sygnalizuje wykonanie kalibracji.
- b) kalibracja zwarciowa - zewrzeć gniazda pomiarowe przyrządu. Następnie nacisnąć przycisk *SHORT*, co spowoduje ukazanie się na wyświetlaczu odczytu: *CAL I*. Kalibracja ta zajmuje około 15 sekund. Po zakończeniu procedury miernik MT4090 dźwiękiem (beeper) sygnalizuje wykonanie kalibracji.

2) Tryb pomiarów względnych

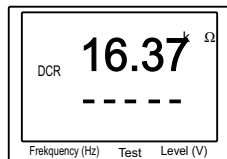
Tryb pomiarów względnych pozwala użytkownikowi na łatwe sortowanie podzespołów dostarczonych w większej partii. W pierwszej kolejności należy na wejście miernika podpiąć element wzorcowy, aby uzyskać wartość odniesienia (stabilny odczyt uzyskuje się po około 5 sekundach). Po naciśnięciu przycisku *RELATIVE*, zmierzona wartość wzorcowa zostaje zapisana do pamięci przyrządu a na wyświetlaczu odczyt przyjmuje wartość zero. Podpinając teraz kolejno testowane podzespoły uzyskuje się odczyty będące różnicą wartości zmierzonej i wzorcowej.

3) Ręczny dobór zakresu

Funkcja *Range Hold* umożliwia ręczne ustawienie zakresu pomiarowego przyrządu. Aby ręcznie ustawić zakres pomiarowy, należy w pierwszej kolejności na wejście przyrządu wpiąć impedancję wzorcową, której wartość będzie mieściła się w zadanym zakresie i odczekać około 5 sekund na ustabilizowanie się odczytu. Po naciśnięciu teraz przycisku *RANGE HOLD* miernik ustawi zakres równy 0,5 do 2 razy zakresu bieżącego.

4) Pomiar rezystancji stałoprądowej (rys. 4.21.)

Aby uruchomić funkcję pomiaru rezystancji stałoprądowej, należy przyciskiem *L/C/Z/DCR* ustawić opcję *DCR*.



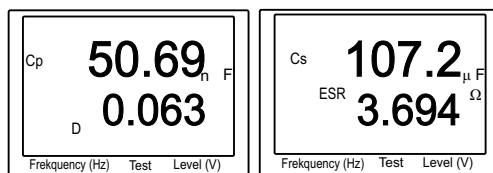
Rys. 4.21. Wynik pomiaru rezystancji

5) Pomiar impedancji

Funkcja służy do pomiaru impedancji Z dowolnego elementu biernego. Aby uruchomić funkcję pomiaru impedancji, należy przyciskiem L/C/Z/DCR ustawić opcję Z .

5a) Pomiar pojemności (rys. 4.22)

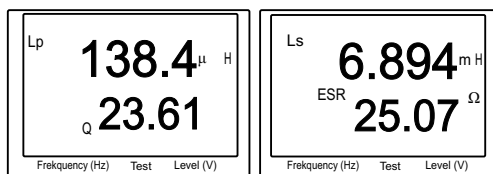
Przy pomiarze pojemności użytkownik może przyciskiem L/C/Z/DCR ustawić tryb szeregowy (C_s) lub równoległy (C_p) pomiaru. Po ustawieniu trybu szeregowego na dodatkowym polu odczytowym wyświetlana jest wartość dobroci (Q), stratności (D) lub rezystancji zastępczej (ESR). W trybie równoległym na dodatkowym polu odczytowym wyświetlana jest tylko wartość dobroci lub stratności. Poniżej przykładowe odczyty wyświetlacza podczas pomiaru pojemności.



Rys. 4.22. Zobrazowanie wyników pomiarów kondensatora

5b) Pomiar indukcyjności (rys. 4.23.)

Przy pomiarze indukcyjności przyciskiem L/C/Z/DCR ustawia się szeregowy (L_s) lub równoległy (L_p) tryb pomiaru. Jeżeli ustawiony został tryb szeregowy na dodatkowym polu odczytowym wyświetlana jest wartość dobroci (Q), stratności (D) lub rezystancji zastępczej (ESR). W trybie równoległym na dodatkowym polu odczytowym wyświetlana jest tylko wartość dobroci lub stratności. Poniżej przykładowe odczyty wyświetlacza podczas pomiaru indukcyjności.



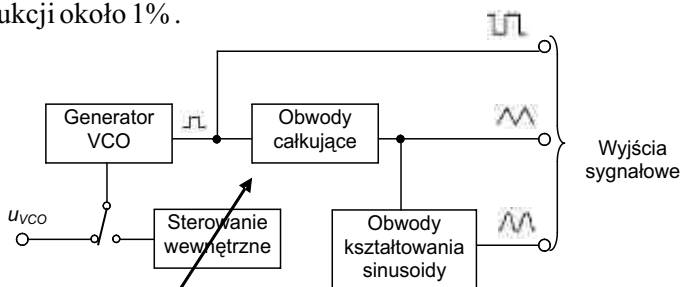
Rys. 4.23. Zobrazowanie wyników pomiarów cewki indukcyjnej

4.7. Generatory funkcyjne

Generatory funkcyjne wytwarzają zwykle trzy rodzaje sygnałów o różnym kształcie, tj. o kształcie prostokąta, trójkąta i sinusoidy. Niektóre modele takich generatorów umożliwiają ponadto otrzymanie sygnału piłokształtnego oraz różnych przebiegów impulsowych. Bardzo często generatory mają wbudowane częstościomierze cyfrowe do wskazywania bieżącej generowanej częstotliwości, można używać je jako oddzielny przyrząd. Informacje o obsłudze generatorów funkcyjnych podzielono w niniejszym opracowaniu na dwie części: obsługa generatora i obsługa częstościomierza. Znajduje się tu też krótki opis zasady działania generatora funkcyjnego i częstościomierza.

4.7.1. Zasada działania generatora funkcyjnego

Podstawowym elementem typowego generatora funkcyjnego (rys. 4 24) jest wewnętrzny generator sterowany napięciem, który wytwarza sygnał o kształcie prostokątnym. Sygnał o kształcie trójkątnym jest wytwarzany z sygnału prostokątnego w układzie całkującym. Poddanie go dalszej obróbce w układzie kształtującym umożliwia uzyskanie sygnału o kształcie sinusoidy. Dlatego też zniekształcenia takiego sygnału są stosunkowo duże i wynoszą w przypadku tanich konstrukcji około 1%.



Rys. 4.24. Ogólny schemat blokowy generatora funkcyjnego

4.7.2. Obsługa generatora funkcyjnego MXG-9810A

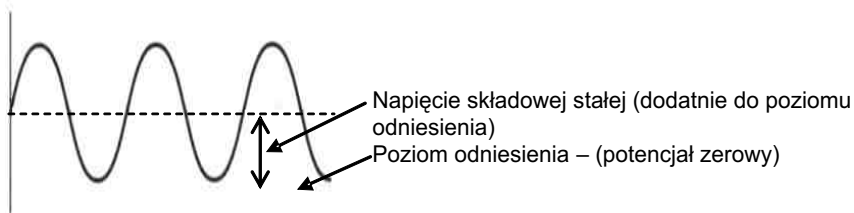
Aby ustabilizować warunki pracy przyrządu, należy przed rozpoczęciem pracy pozwolić mu się wygrzać przez co najmniej 20 minut. Po włączeniu zasilania generatora na jego wyświetlaczu pojawi się wskazanie „0”. Przełącznikiem wyboru podzakresu częstotliwości wybrać potrzebny podzakres. Elementy obsługowe ustawić zgodnie z tabelą nr 4.

- Sterowanie generowanej częstotliwości (VCF) napięciem - aby włączyć funkcję VCF, należy przekręcić pokrętkę regulacji częstotliwości maksymalnie w lewo, po czym do gniazd wyjściowych VCF generatora dołączyć napięcie zewnętrzne. Częstotliwość wyjściową generatora można zmieniać doprowadzając z zewnątrz do jego wejścia VCF napięcie stałe. Dla napięć stałych zmienianych w zakresie od 0 do 10 V, częstotliwość wyjściowa generatora zmienia się w stosunku 1:2, w zależności od ustawienia przełącznika wyboru częstotliwości.

Tabela nr 4. Zalecane ustawienia pozycji elementów obsługowych

Elementy obsługowe	Pozycja ustawienia
Funkcja	sygnał sinusoidalny
Wybór podzakresu częstotliwości	x 1k
Pokrętko strojenia częstotliwości	w środkowym położeniu
Pokrętko regulacji amplitudy	w położeniu „wyłączone” (off)
Pokrętko regulacji offsetu	
Pokrętko regulacji symetrii	
Pokrętko regulacji szerokości przemiatania	
Pokrętko regulacji szybkości przemiatania	

- Regulacja amplitudy - amplitudę napięcia na wyjściu generatora można zmieniać w sposób ciągły pokrętłem regulacji amplitudy w zakresie -20 dB. Pokrętko regulacji amplitudy można wyciągnąć i w ten sposób poziom sygnału wyjściowego obniżyć o dodatkowe -20 dB. Przy nieobciążonych gniazdach wyjściowych maksymalna amplituda napięcia wyjściowego jest około 20V.
- Regulacja offsetu - poziom sygnału stałego nałożonego na wyjściowy sygnał przemienny (rys. 4.25) można regulować w sposób ciągły pokrętłem regulacji offsetu w zakresie $\pm 10V$. Aby wyregulować poziom offsetu należy wyciągnąć pokrętko regulacji offsetu, a następnie przekręcać nim powoli w prawo (napięcia dodatnie) lub w lewo (napięcia ujemne). Gdy pokrętko regulacji offsetu jest wciśnięte, to na wyjściu generatora nie ma składowej stałej, jest tylko na nim obecne napięcie przemienne.

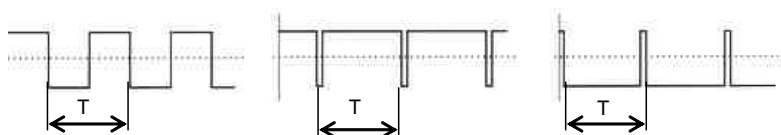


Rys. 4.25. Ilustracja offsetu

- Regulacja symetrii (poziomej) - współczynnik wypełnienia sygnału na wyjściu generatora można zmieniać w sposób ciągły pokrętkiem regulacji symetrii w zakresie 1:3 lub 3:1. Aby ustawić symetrię przebiegu, należy wyciągnąć pokrętko regulacji symetrii, a następnie przekręcić je powoli wg potrzeb.

Uwaga:

Przy zmianie symetrii sygnału częstotliwość wyjściowa generatora zmienia się, dlatego też należy ją skorygować (rys.4.26). Przybliżoną wartość częstotliwości sygnału wyjściowego można również odczytać mnożąc wartość ustawioną wg skali na pokrętku regulacji częstotliwości przez wybraną wartość mnożnika zakresu częstotliwości.



Rys. 4.26. Zmiana symetrii sygnału wzdłuż osi czasu

- Regulacja przemiatania (częstotliwości) - włączenie wewnętrznej zmiany częstotliwości (przemiatanie) dokonuje się przez wyciągnięcie pokrętkła regulacji szerokości przemiatania. Zakres zmiany częstotliwości przemiatania można regulować w sposób ciągły w przedziale 100:1. Dla maksymalnego zwiększenia szerokość przemiatania, należy pokrętko regulacji częstotliwości przekręcić maksymalnie w prawo.
- Wyjście sygnału TTL - sygnał o poziomie TTL jest dostępny na wyjściu TTL. Z wyjścia tego można wysterować maksymalnie 30 układów TTL znajdujących się w stanie wysokim lub 20 będących w stanie niskim. Jeden typowy układ TTL pobiera w stanie niskim prąd ok. 40 μ A, a w stanie wysokim ok. 1,6 mA.

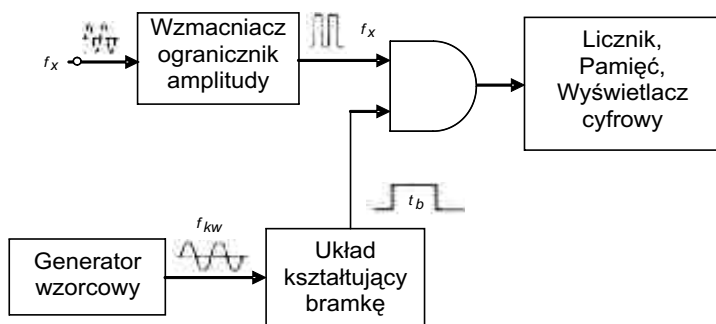
4.7.3. Zasada cyfrowego pomiaru częstotliwości

Pomiar częstotliwości polega na zliczaniu impulsów, które otrzymuje się po przetworzeniu sygnału okresowego, w czasie otwarcia bramki. Zasada pomiaru częstotliwości wyjaśniona zostanie w najprostszym układzie, gdyż istotniejszym zamiarem jest objaśnienie powstania niepewności pomiarowej przy pomiarze częstotliwości.

Najprostszy układ częstotściomierza cyfrowego składa się z ogranicznika amplitudy, układu bramkowania, generatora bramki i licznika z wyświetlaczem. Częstotliwość mierzona f_x jest określana na podstawie wskazań stanu licznika N i czasu otwarcia bramki t_b ze wzoru :

$$f_x = \frac{N}{t_b} \quad (4.14)$$

Istotę pomiaru częstotliwości przedstawia rys. 4.27. Na czas otwarcia bramki t_b , przykładowo jedną sekundę przepuszczane są impulsy z wyjścia wzmacniacza z ogranicznikiem na wejście licznika. Wzmacniacz wejściowy z układem ogranicznika przetwarza sygnał okresowy wejściowy (może być o dowolnym kształcie i amplitudzie w zakresie odpowiednim dla danego przyrządu) na sygnał prostokątny o takiej samej częstotliwości.



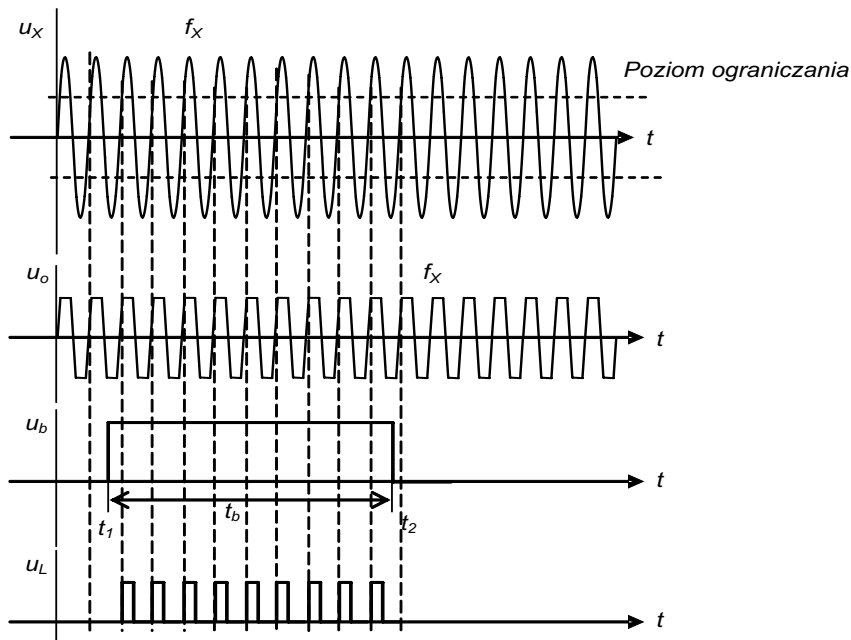
Rys. 4.27. Schemat funkcjonalny częstotściomierza

Bramka jest układem umożliwiającym odblokowanie wejścia licznika dziesiętnego na czas t_b . Licznik dziesiętny zlicza impulsy prostokątne przepuszczane przez bramkę. Po zakończeniu zliczania stan licznika jest proporcjonalny do mierzonej częstotliwości. Zliczanie impulsów odbywa się cyklicznie, tj. po zakończeniu bieżącego cyklu zliczania wynik zostaje wpisany do pamięci i jest wyświetlany, podczas gdy licznik automatycznie rozpoczyna kolejny cykl zliczania.

Dokładność pomiaru częstotliwości metodą cyfrową jest ograniczona przez błędy zliczania, wynikające z tego, że licznik może zliczyć jedynie całkowitą liczbę impulsów. Bezpośrednio po otwarciu i podobnie przed jej zamknięciem, impuls odpowiadający okresowi sygnału wejściowego, który nie w pełni mieści się w czasie bramkowania nie zostaje zliczony. Opisany mechanizm może doprowadzić do zliczania o jeden impuls za dużo lub o jeden impuls za mało (rys.4.28).

Jeśli liczba zliczonych impulsów N jest mała, to niepewność pomiaru częstotliwości metodą cyfrową jest duża. Zwiększenie dokładności jest możliwe jedynie przez zwiększenie liczby zliczonych impulsów, a zatem przez wydłużenie czasu bramkowania.

Dokładność pomiaru częstotliwości opisaną wyżej metodą zależy w głównym stopniu od dokładności ustawienia czasu pomiaru t_b . Czas ten przyjmuje się zwykle w granicach od 1 ms do 10s. Jeżeli np. przy pomiarze częstotliwości 10Hz czas otwarcia bramki $t_b = t_2 - t_1$ będzie równy 1 s, to w czasie tym licznik powinien zliczyć 10 impulsów. Jeżeli natomiast czas t_p będzie równy 1,1s to na wyświetlaczu pokaże się wartość 11. Błąd pomiaru wyniesie zatem 10%.



Rys. 4.28. Przebiegi czasowe cyfrowego pomiaru częstotliwości w układzie z rys. 4.27

Cechą charakterystyczną wyżej opisanej metody pomiaru częstotliwości jest zależność dokładności pomiaru od mierzonej częstotliwości f_x oraz czasu pomiaru t_b . Dokładność ta jest wprost proporcjonalna do częstotliwości i czasu pomiaru, tzn. im większa jest częstotliwość mierzona i im dłuższy czas pomiaru tym dokładność jest większa.

4.7.4. Obsługa częstościomierza generatora funkcyjnego MXG-9810A

Po włączeniu zasilania przyrządu, na wyświetlaczu pojawi się wskazanie „0”. Czas bramkowania *Gate time* ustawić na 1 s. Przełącznikiem wyboru kanału *Chanel* wybrać pozycję kanał A. Przełączniki zamrażania wskazania *Data Hold* i filtru dolnoprzepustowego *LPF-A* ustawić w położenie wyłączone (OFF). Na wyświetlaczu zaświecą się następujące wskaźniki:

- *GATE 1* - bramkowanie 1,
- *CHANA* - kanał A wskazanie częstotliwości „0”,
- *Hz* - wskazania częstotliwości w Hz.
- Włączenie filtru - przełącznik *LPF-A*. Przełącznikiem tym włącza się i wyłącza filtr dolnoprzepustowy wykorzystywany do usuwania zakłóceń występujących zwykle wtedy, gdy w kanale A mierzy się częstotliwości mniejsze od 300 kHz.
- Wybór kanału. Z kanału A korzysta się wtedy, gdy mierzona częstotliwość mieści się w zakresie od 1 Hz do 20 MHz. Natomiast kanał B służy do pomiarów częstotliwości z zakresu od 20 MHz do 2700 MHz.
- Przełączanie czasu bramkowania - aby otrzymać lepszą rozdzielczość otrzymywanych wyników pomiaru częstotliwości, zaleca się wybrać wcześniej odpowiedni czas bramkowania. W przypadku gdy częstotliwość sygnału jest mniejsza od 1 kHz, zaleca się wybrać czas bramkowania równy 1 s lub 10 s. Gdy wybierze się 0,1 s, to wartość wskazaną przez częstościomierz należy pomnożyć przez 10. Wtedy jednak błąd pomiaru może być równy 10% lub większy.
- Przełącznik zamrażania wskazania wyświetlacza *Data Hold* - po uaktywnieniu tego trybu, wynik wyświetlony na ekranie typu *LED* częstościomierza zostanie zapamiętany i pozostaje nim, nawet po odłączeniu przewodów pomiarowych od punktu pomiarowego.

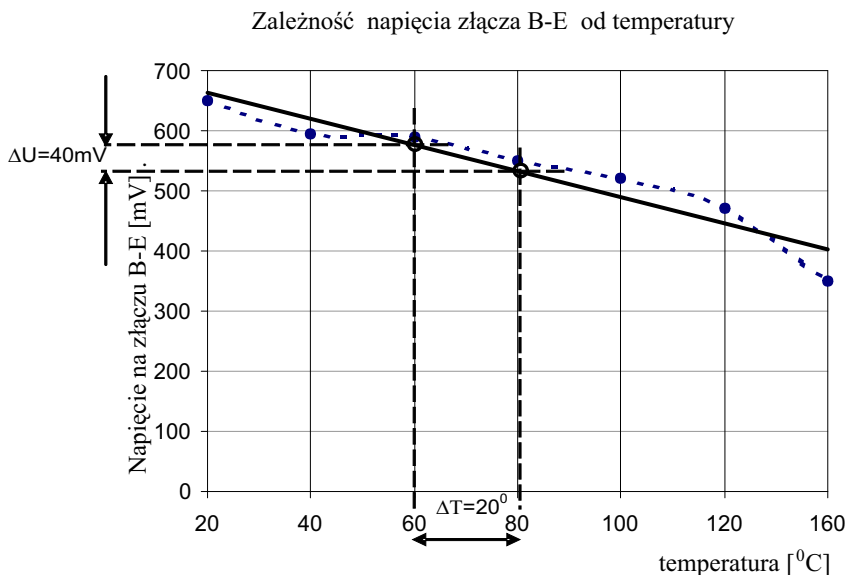
- Przełącznik zerowania *RESET* - przycisk ten należy nacisnąć przy potrzebie wyzerowania wskazania wyświetlacza.
- Wskaźnik przepełnienia typu *LED* - gdy zliczony wynik przekroczy wartość ośmiu cyfr, zaczyna pulsować dioda typu *LED* oznaczona symbolem *OFL* (przepełnienie).
- Pomiar częstotliwości sygnału wytwarzanego przez generator funkcyjny - aby dokonać pomiaru częstotliwości sygnału wytwarzanego przez generator funkcyjny, należy nacisnąć przycisk *FC/FG* ustawiając go w pozycję *FG* (generator funkcyjny). Ze względu na to, że maksymalna częstotliwość sygnału wyjściowego generatora funkcyjnego wynosi 10 MHz, przełącznik wyboru kanału należy ustawić w pozycję kanał A, gdyż tylko w tym kanale można zmierzyć (odczytać) tę częstotliwość.

5. OPRACOWANIE WYNIKÓW POMIARÓW

Rozdział zawiera podstawy opracowania wyników pomiarów, szacowania błędów i przygotowania do sporządzenia wykresów. W sprawozdaniu należy zamieścić schematy układów, podać wyniki pomiarów oraz wyniki i wnioski końcowe, zanalizować przyczyny występowania różnic w wynikach pomiarów określoną metodą a przewidywanym przebiegiem zjawiska badanego.

Do prezentowania zależności między różnymi wielkościami fizycznymi stosuje się metodę graficzną. Graficzna metoda prezentowania danych ilościowych polega na wzajemnie jednoznacznym przyporządkowaniu każdej wartości prezentowanej, punktu na prostej zwanej osią liczbową. W tym przypadku każdy punkt na płaszczyźnie reprezentuje określoną parę liczb będących jego współrzędnymi. Zazwyczaj stosujemy układ prawoskrętny, a wykres zależności funkcyjnych wykonujemy na tak zwanym papierze funkcyjnym czyli rysunku układu współrzędnych prostokątnych X, Y posiadającym odpowiednie podziałki.

5.1. Wykres liniowy



Rys. 5.1. Przykład aproksymacji linią prostą dla wyznaczenia parametru charakterystycznego

W przypadku opracowania wyników pomiarów wielkości zależnych, gdy $y = f(x)$, stosujemy metodę graficzną wykonując wykresy. Mogą być one wykonane ręcznie na papierze milimetrowym lub za pomocą programów komputerowych, ale w obu przypadkach muszą spełniać określone reguły:

- Oś układu powinny być opisane, tzn. podane wielkości, które odkładamy na osiach oraz ich jednostki.
- Odpowiednio dobrana skala tak, by na osi znajdował się cały przedział zmienności wielkości fizycznej (oznacza to, że podziałka nie musi zaczynać się od zera) oraz można było łatwo odczytać współrzędne punktów.
- Należy zaznaczyć punkty pomiarowe oraz niepewności pomiarowe (punkt pomiarowy znajduje się w prostokącie niepewności pomiarowych).
- Wykreślona krzywa powinna przechodzić przez wszystkie prostokąty niepewności. Wykreślając linię funkcji nie łączymy punktów łamaną!

Wskazania mierników cyfrowych cechuje duża precyzja, która pozwala na odczyt liczb o wielu miejscach po przecinku. Dzieje się tak, gdyż producent przyrządu przekazuje użytkownikowi decyzję o dokładności odczytu stosownie do potrzeb przyszłej obróbki wyników. Zbyt duża ilość pozycji po przecinku nie zawsze idzie w parze z możliwościami eksponowania tej precyzji w wynikach końcowych. Zazwyczaj odczytana wielkość służy do sporządzenia wykresu. Przyjmując zalecany rozmiar wykresu 170x170 milimetrów, bo taki rysunek mieści się na arkuszu formatu A4, to najmniejsza możliwa do sensownego pokazania wielkość zmiany (podziałka) do rozróżnienia wynosi 1 mm czyli około 1% maksymalnej wielkości na osi X lub Y skali wykresu.

Mając powyższe na uwadze sugeruje się ograniczyć, podczas zapisywania odczytanych wartości, ilość miejsc po przecinku. Przykładowo jeżeli wskazanie wynosi 112,345[V] należy zapisać 112,3 ze względu na umieszczenie tego odczytu na wykresie.

Wykresy wykonujemy przy pomocy środków technicznych, linijki, krzywika, na papierze milimetrowym lub za pomocą komputera. Na wykresach sporządzonych komputerowo możemy ręcznie dorysować brakujące, ważne punkty charakterystyczne.

Wykresy prowadzimy linią ciągłą przez punkty wypośrodkowując między punktami pomiarowymi. Z różnych przyczyn wykreślone punkty pomiarowe mogą wykazywać maksima zamiast monotonicznie wykazywać przebieg funkcji w postaci linii prostej. Nie należy liczyć na odkrycie nowych praw wrysowując w wykresy charakterystyk dodatkowe lokalne ekstrema. W tej sytuacji można wykazać się znajomością badanego zjawiska i dokonać dyskusję skąd oraz jak mógł powstać tego typu błąd.

Wielkości prezentowanej funkcji nanosimy w określonej skali. Zastosowane skale mogą być liniowe, wówczas wielkości nanoszone na wykres są liniowe:

$$x = kx; \quad y = ly \quad (5.1)$$

gdzie: k i l są wielkościami stałymi o wymiarze wielkości prezentowanej x lub y na milimetr lub centymetr.

5.2. Wykres z podziałką logarytmiczną

Skale logarytmiczne otrzymać można przedstawiając wielkości następująco:

$$x' = k \log x; \quad y' = l \log y \quad (5.2)$$

Podziałkę logarytmiczną na osiach współrzędnych, na jednej lub obu jednocześnie, używa się w przypadku gdy zakres wartości liczbowych rozciąga się na więcej niż jedną potęgę dziesiętną (dekadę). Oś liczbowa z podziałką logarytmiczną może zawierać więcej niż jedną dekadę, prezentując ciąg wartości np. 1, 10, 100, 1000 (rys. 5.2).

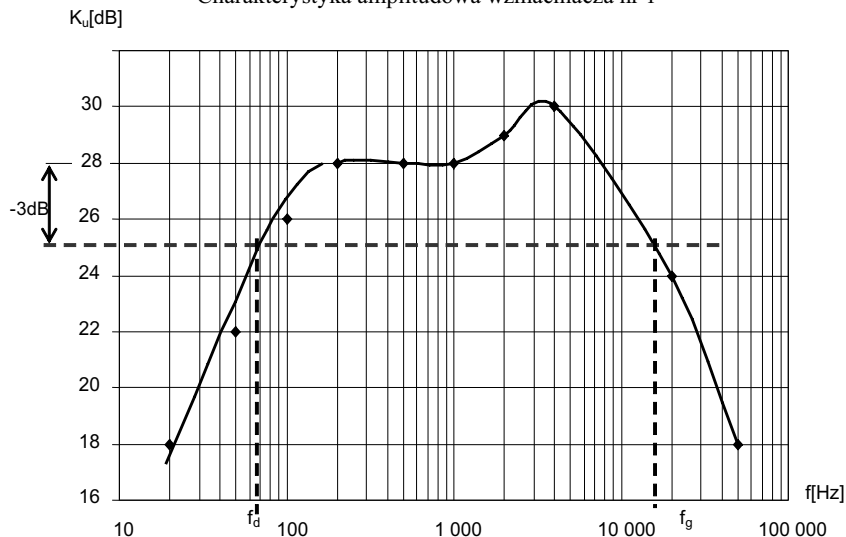
Często stosowaną podziałką w skali logarytmicznej jest podział wyrażony w decybelach. Przykładowo współczynnik wzmocnienia napięciowego $K_u(f) = 20 \log(U_2/U_1)$, wówczas oznaczając kolejnymi liczbami znaczniki otrzymujemy skalę wyrażoną w [dB] (rys. 5.2).

Dokładny podział dekady dla otrzymania podziałki logarytmicznej otrzymamy na podstawie przeliczenia według wzoru:

$$dz = K \log n \quad (5.3)$$

gdzie: dz - długość podziałki, K - długość podziałki na jedną dekadę, n - 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 i 9 (wartość działki w dekadzie)

Charakterystyka amplitudowa wzmacniacza nr 1



Rys. 5.2. Typowy wykres charakterystyk przenoszenia układów elektronicznych

W tabeli nr 5 podano wartości $\log(n)$, którą należy przemnożyć przez wartość długości dekad K . Jeżeli wykres rozciąga się na kilka dekad to dla każdej należy przenieść te wartości.

Tabela nr 5. Wartości logarytmów z liczb całkowitych

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\log(n)$	0,00	0,30	0,48	0,60	0,70	0,78	0,85	0,90	0,95	1,00

5.3. Histogram

Sporządzenie histogramu (rys. 5.3) w arkuszu kalkulacyjnym EXCEL z pakietu MSOFFICE nie jest skomplikowaną, jednak dość pracochłonną czynnością. O ile nie dysponujemy narzędziem Histogram to można posłużyć się prostymi funkcjami takimi jak:

Wartość min, Wartość max oraz Częstość.

Aby utworzyć histogram użyj poleceń:

Narzędzia → Analiza danych → Histogram

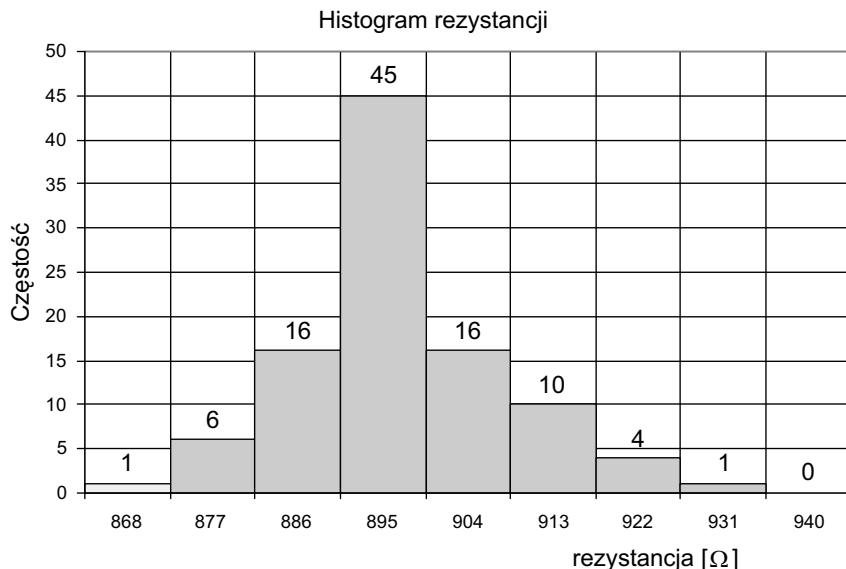
Jeśli nie ma Analizy danych to należy ją wstawić wydając następujące polecenia:

Narzędzia → *Dodatki* → *dodaj AnalysisToolPak; AnalysisToolPakVBA*

Histogram będzie strukturą o zabudowie ciągłej jeżeli wydamy polecenia:

Formatuj serię danych → *Opcje* → *Szerokość przerwy* → 0

Przykładowy histogram badania rozrzutu wartości znamionowej rezystorów przedstawia rys. 5.3.



Rys. 5.3. Histogram jako wynik badania rozrzutu wartości rezystancji

5.4. Wyznaczanie parametrów statycznych i dynamicznych

Obecnie powszechnie korzystamy z komputera. Jest to narzędzie pomocne w wielu dziedzinach naszego życia. Jednak do opracowania wyników pomiarów laboratoryjnych raczej się nie nadaje. Być może w tym momencie wzbudzamy zdziwienie i słusznie tak długo, aż uświadomimy sobie, że to wspaniałe narzędzie jest bardzo przydatne pod warunkiem korzystania z odpowiedniego oprogramowania. W tym miejscu należy wyraźnie podkreślić, że standardowe wyposażenie

komputera nie przewiduje specyficznego naszego zapotrzebowania. Dopiero znajomość posługiwania się komputerem i zainstalowanymi aplikacjami pozwolą nam skorzystać z jego usług.

W tym miejscu ta uwaga jest ważna, bo zadanie do realizacji nie jest dla komputera ale dla jego użytkownika, który musi wykazać się umiejętnością przystosowania np. pakietu OFFICE do potrzeb wynikających z wykonania zadania laboratoryjnego. Nie przypadkowy jest ten długi wstęp. Chodzi o to, że zbyt wiele żądamy od „maszyny” pozostawiając często na boku nasze umiejętności.

Zadanie polegające na opracowaniu wyników pomiaru takich parametrów jak rezystancje statyczne i dynamiczne nie można przekazać bezpośrednio komputerowi i zainstalowanemu tam arkuszowi kalkulacyjnemu. Wspomniana aplikacja przygotowana jest zupełnie w innym celu. Dla potrzeb naszego sprawozdania należy dokonać kilku przemyślanych zmian. Przede wszystkim zmienić należy grafikę, która przewidziana jest do wykonywania prezentacji multimedialnych, gdzie potrzeba grubych wydruków i małych rozmiarów wykresów. Należy przystosować rozmiar cyfr wyświetlanych i ilość miejsc po przecinku itd.

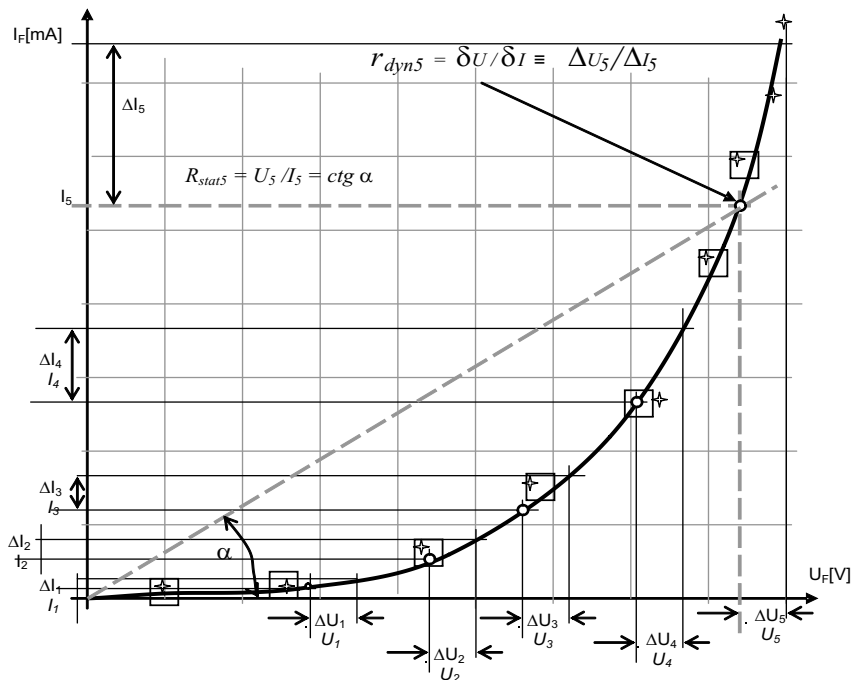
Bardzo łatwo wykonać wykres zależności prądu od napięcia np. dla diody w kierunku przewodzenia, tak jak to widać na załączonym rysunku. Jednak aby skorzystać z tak opracowanego wykresu należy zadbać o odpowiedni jego rozmiar. Zachodzi tu pewna sprzeczność. Bardzo łatwo i szybko można taki wykres sporządzić na podstawie kilku wyników pomiarów. Jednak dalsza obróbka komputerowa, przy małej ilości pomiarów prowadzi zazwyczaj do błędnego wyznaczenia parametrów pochodnych, takich jak wspomniane rezystancje statyczne i dynamiczne w funkcji napięcia na diodzie.

Istota wyznaczania rezystancji dynamicznej, wynikająca z definicji, wymaga przyjęcia bardzo małych przedziałów zmiennej niezależnej, którą jest napięcie na diodzie. Oznacza to, że napięcie diody należałoby zmieniać o bardzo małą wartość (chodzi o zmiany rzędu 0,01V), co praktycznie nie jest możliwe, ale gdyby mieć takie dane, to wtedy można użyć arkusza kalkulacyjnego do wyliczeń na podstawie tabeli pomiarowej.

Mówiąc jaśniej wyznaczenie parametrów statycznych i dynamicznych należy wykonać na podstawie sporządzonego wykresu $f(u)$. Nie jest istotna wielość punktów pomiarowych ale uzasadnienie zjawiska w oparciu o otrzymane wyniki.

5.5. Przykładowe zadanie

Obliczyć rezystancję dynamiczną r_{dyn} złącza stanowiącą odwrotność nachylenia stycznej do charakterystyki w wybranych punktach (rys. 1.11), r_{dyn} obliczać metodą przyrostową biorąc z charakterystyki niewielkie przyrosty wokół wybranego punktu pomiarowego. Wykonać wykres zależności $r_{dyn} = f(I_F)$.



Rys. 5.4. Wyznaczanie rezystancji statycznej i dynamicznej diody na podstawie charakterystyki $I_F = f(U_F)$ złącza PN

- ✧ punkty pomiarowe na podstawie, których sporządzono wykres,
- kwadraty niepewności pomiarów napięcia i prądu
- punkty, w których wyznaczono rezystancji R_{stat} i r_{dyn}

Zadany wykres $I_F = f(U_F)$ łatwo wykonać posługując się arkuszem kalkulacyjnym. Podkreślić warto, że dla odwzorowania charakterystyki nie ma potrzeby wykonywania wielu pomiarów. Na rysunku zaznaczono gwiazdkami rzeczywiste punkty pomiarowe. Kwadratami natomiast zaznaczono oszacowaną niepewność pomiarową, która obejmuje

swoim obszarem poszczególne punkty pomiarowe (gwiazdki). Obszary te zaznaczono aby pokazać działanie funkcji EXCELA, która nazywa się linią trendu, bardzo przydatną do uzyskania najszybciej pożądanego wykresu.

Dopiero teraz po wydrukowaniu można przystąpić do wykonania głównego zadania czyli wyznaczyć rezystancje: dynamiczną r_{dyn} i statyczną R_{stat} dla różnych wartości napięcia diody.

Uwaga końcowa. Linia trendu w niczym nie odpowiada warunkom wykonanych pomiarów ale sporządzana jest na drodze poszukiwania takiej funkcji, która przeprowadzona przez podane punkty lub w ich pobliżu będzie odpowiadała: linii prostej, funkcji parabolicznej lub innej, którą wybrać można z menu proponowanych przez program. Jest to pewne uproszczenie zadania bo nie ma gwarancji, że linia trendu akurat odpowiada funkcji prądowo-napięciowej dla diody półprzewodnikowej w kierunku przewodzenia opisanej wzorem:

$$I = I_0 \left[\exp\left(\frac{eU}{kT}\right) - 1 \right] \quad (5.4)$$

Przedstawiono tutaj szczególny przypadek, aby pokazać jak znacznie odbiegają proponowane funkcje aproksymujące gotowego oprogramowania i potrzeb wynikających z zadania laboratoryjnego.

Ponieważ głównym celem ćwiczeń laboratoryjnych jest aktywizowanie samodzielności studentów więc pozostawiamy problematykę uzasadnienia postępowania w opracowaniu wyników pomiarów do indywidualnego rozwiązania, jedynie sugerując kierunki działania.

5.6. Niepewność pomiaru [wg 15]

Praca w laboratorium polega na wykonywaniu pomiarów wielkości fizycznych. Badanie elementów, obwodów czy też złożonych układów elektronicznych opiera się na pojedynczych pomiarach napięcia, prądu czy też innych parametrów za pomocą odpowiednich przyrządów. Przez określenie pojedyncze pomiary, należy traktować pomiary bez ich powtarzania. Wszystkie pomiary obarczone są niepewnościami pomiarowymi, które można nieograniczenie zmniejszać, lecz nie można ich całkowicie wyeliminować.

W roku 1995 uzgodniono międzynarodowe normy dotyczące terminologii i sposobu określania niepewności w pomiarach. Międzynarodowa Organizacja Normalizacyjna (ISO) opublikowała odpowiedni

„Przewodnik”. Dokonano jego przekładu na język polski [39]. Stosowanie norm ISO w zakresie obliczania i podawania niepewności pomiarów jest obowiązkiem, podobnym do obowiązku stosowania układu SI.

Laboratoryjne zestawy pomiarowe przygotowane są w ten sposób aby zastosować odpowiednią metodę, właściwą dla badania zadanego zjawiska, a użyte przyrządy tak dobrane aby wykonawca ćwiczenia nie miał wątpliwości, że nie zniekształcają badanych parametrów i charakterystyk układu lub elementu. Jednocześnie pozostaje świadomość, że pomiary mogą być wykonane tylko z pewnym stopniem dokładności. To ograniczenie wynika z:

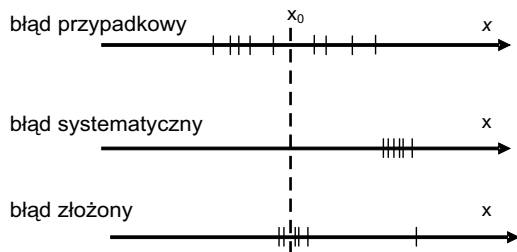
- niedoskonałości przyrządów i metod użytych podczas pomiaru,
- skończonej precyzji narzędzi zmysłów obserwatora.

Wymienione czynniki składają się na to, że każdy, nawet najbardziej precyzyjnie wykonany pomiar obarczony jest niepewnością pomiarową (czasem używany jest termin: błąd pomiarowy) i stanowi jedynie przybliżenie wartości rzeczywistej. W znaczeniu ilościowym przez błąd pomiaru rozumiemy różnicę między wartością zmierzoną x_i i rzeczywistą x_0 :

$$\text{błąd pomiaru} = x_i - x_0 \quad (1.1) \quad (5.5)$$

W praktyce wartość rzeczywistą x_0 można utożsamiać z wynikiem pomiaru wykonanego przy pomocy innej, znacznie dokładniejszej metody lub jako średnią (\bar{x}) z wielu pomiarów wykonanych w tych samych warunkach.

Rysunek 5.5 ilustruje trzy rodzaje błędów pomiarów: przypadkowy, systematyczny i złożony. Pokazano na osi liczbowej wzajemną relację między wartością rzeczywistą x_0 i szeregiem wartości x_i uzyskanych w pomiarach. Zaznaczone kreskami na osi liczbowej poszczególne wyniki pomiarów przypisane są do zbioru wartości rzeczywistej x_0 .



Rys. 5.5. Ilustracja błędów pomiarowych na osi liczbowej

Jedynym sensownym sposobem zapisu wartości x wielkości mierzonej jest zapis:

(wartość wielkości mierzonej \pm niepewność pomiarowa) [jednostka]

Oznacza to, że wartość rzeczywista wielkości mierzonej znajduje się w przedziale równym podwojonej wartości niepewności pomiarowej, często z założonym z góry prawdopodobieństwem.

Wielkość mierzoną i jej niepewność wyrażamy w tych samych jednostkach np.:

$$U = (21,2254 \pm 0,06832)V \quad (5.6)$$

Zgodnie z zalecanymi regułami niepewność zaokrąglamy do dwóch cyfr znaczących. Wynik zaokrąglamy tak, aby jego ostatnia cyfra znacząca była na tym samym miejscu dziesiętnym co i niepewność. Ostateczny wynik podajemy:

$$U = (21,22 \pm 0,07)V \quad (5.7)$$

Niepewności pomiarowe wyrażone są w tych samych jednostkach co wynik pomiarowy. W takim zapisie jest to całkowita niepewność pomiarowa.

Do niedawna słowa „błąd” i „niepewność” były używane wymiennie. Obecnie wprowadza się jasne rozgraniczenie tych pojęć. Zasadnicze znaczenie słowa „błąd” jest jakościowe, jako nazwa dla faktu, że wartość mierzona różni się od wartości rzeczywistej. Błąd pomiaru zdefiniowany wzorem (5.5) nie stanowi miary dokładności metody pomiarowej, gdyż podobny pomiar, ale wykonany innym przyrządem, w innym czasie i miejscu, da inną wartość. Zatem x_i jest liczbą losową, której wartości przewidzieć się nie da, podobnie jak nie można przewidzieć rezultatu rzutu kostką.

Celem rachunku niepewności jest przybliżone oszacowanie rozrzutu wyników pomiarów. W tym celu wprowadzono termin: niepewność standardowa oznaczana jako $u(x)$. Symbol u pochodzi od ang. *uncertainty*, symbol wewnątrz nawiasu określa, co jest wielkością mierzoną. Zaletą wprowadzonej przez Przewodnik notacji jest przejrzystość i unikanie indeksów. Możliwość zapisu wielkości mierzonej w postaci słownej, jak np. $u(\text{moc wydzielona na obciążeniu})$, ułatwia tworzenie dokumentacji pomiaru.

Niepewność u posiada wymiar, taki sam jak wymiar wielkości mierzonej. Niepewnością względną $w(x)$ nazywamy stosunek niepewności (bezwzględnej) do wielkości mierzonej,

$$w(x) = \frac{u(x)}{x} \quad (5.8)$$

Niepewność względna $w(x)$ jest wielkością bezwymiarową, często wyrażaną w procentach. Daje lepsze wyobrażenie o dokładności pomiaru niż niepewność bezwzględna u . Umożliwia też porównanie niepewności wielkości fizycznych posiadających różny wymiar. Pojęciem jakościowym, związanym ze słowem niepewność jest dokładność. Zaletą tego słowa jest możliwość utworzenia przymiotnika: pomiar dokładniejszy, to pomiar o mniejszej niepewności.

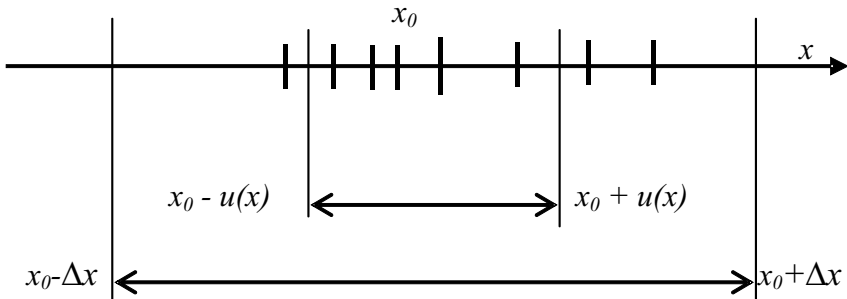
Niepewność pomiaru jest związana z parametrem pomiaru charakteryzującym rozrzut wyników, który można przypisać wartości mierzonej. Definicja sugeruje, że możliwe są różne miary niepewności. Dla określenia niepewności pomiaru bezpośredniego wykorzystujemy dwie miary:

- niepewność standardowa $u(x)$,
- niepewność graniczna Δx .

W przypadku niepewności granicznej Δx staramy się określić przedział:

$$x_0 - \Delta x < x_i < x_0 + \Delta x \quad (5.9)$$

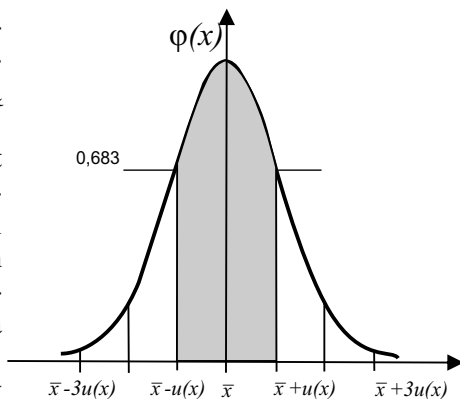
w którym mieszczą się wszystkie wyniki pomiaru x_i (rys. 5.6).



Rys. 5.6. Określanie przedziałów niepewności

Niepewność graniczna jest miarą deterministyczną, gdyż twierdzimy, że wartość prawdziwa zawarta jest na pewno w przedziale $x_0 \pm \Delta x$. Niepewność graniczna (maksymalna) jest stosowana w określonych sytuacjach, np. jako miara dokładności elektrycznych przyrządów pomiarowych.

Miarą dokładności pomiaru najpowszechniej stosowaną i uznaną za podstawową jest niepewność standardowa. Niepewność standardowa jest oszacowaniem odchylenia standardowego $u(x)$ od wartości średniej \bar{x} z serii wykonanych pomiarów. Odchylenie standardowe zdefiniować można jako pierwiastek z średniej wartości kwadratu różnicy wartości zmierzonej i rzeczywistej (średniej \bar{x}).



Rys. 5.7. Interpretacja przedziału niepewności

Przy wykonywaniu dużej liczby pomiarów tej samej wielkości fizycznej otrzymujemy różne wyniki. Niektóre z nich powtarzają się z różną częstością. Dla celów użytkowych zachodzi konieczność podania miary niepewności, która określa przedział otaczający wynik pomiaru zawierający dużą, z góry określoną, część wyników, jakie można przypisać wielkości mierzonej. W praktyce laboratoryjnej wykonujemy zawsze skończoną liczbę pomiarów dlatego szerokości rozkładu Gaussa $\varphi(x)$ (rys.5.7) przyjmuje się umownie. Oznacza to, że wykonanie kolejnych, pojedynczych pomiarów dostarczy nam wartości, które będą mieścić się z prawdopodobieństwem 0,683 w przedziale.

Tabela nr 5. Najważniejsze elementy Międzynarodowej Normy Oceny Niepewności Pomiaru [39]

Wielkość	Symbol i sposób obliczania
Niepewność standardowa: ocena typu A	Statystyczna analiza serii pomiarów, w tym: $u(x)$ dla serii n równoważnych pomiarów $u(x) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$
Niepewność standardowa: ocena typu B	Naukowy osąd eksperymentatora, $u(x) = \frac{\Delta x}{\sqrt{3}}$ (gdy znana jest niepewność Δx – wzorcowania)
Zalecany zapis niepewności	standardowa $g = 9,781 \text{ m/s}^2$, $u_c(g) = 0,076 \text{ m/s}^2$ $g = 9,781(76) \text{ m/s}^2$ rozszerzona $g = 9,78 \text{ m/s}^2$, $U(g) = 0,15 \text{ m/s}^2$ $g = (9,78 \pm 0,15) \text{ m/s}^2$ (zasada podawania 2 cyfr znaczących niepewności)

Interpretacja taka jest równoznaczna ze stwierdzeniem, że wartość rzeczywista mierzonej wielkości mieści się we wspomnianym przedziale właśnie z prawdopodobieństwem 0,683.

Spośród dwu sposobów skrótowego zapisu wartości mierzonej i jej niepewności (patrz Tabela nr 6), utrwała się zasada, by zapis z użyciem symbolu „±” stosować wyłącznie do niepewności rozszerzonej, natomiast zapis z użyciem nawiasów do niepewności standardowej.

5.6.1. Niepewność standardowa - ocena typu A

Ocena typu A opiera się na analizie statystycznej serii wyników pomiarów. Wykonywanie n pomiarów bezpośrednich jest odpowiednikiem losowania n elementowej próbki $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ z nieskończenie licznej populacji, którą stanowią wszystkie możliwe do wykonania pomiary. Za wynik pomiaru przyjmuje się średnią arytmetyczną n wyników pomiarów

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (5.10)$$

Niepewnością standardową wyniku pomiaru wielkości x_i nazywamy odchylenie standardowe eksperymentalne średniej arytmetycznej \bar{x} , które oblicza się ze wzoru

$$u(x) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (5.11)$$

5.6.2. Niepewność standardowa - ocena typu B

Niepewność standardową szacuje się metodą typu B w przypadku, gdy dostępny jest tylko jeden wynik pomiaru, albo gdy wyniki nie wykazują rozrzutu. Wówczas niepewność standardową ocenia się na podstawie wiedzy o danej wielkości lub o przedziale, w którym wartość rzeczywista powinna się mieścić.

5.6.2.1. Niepewność wzorcowania

W przypadku wyników nie wykazujących rozrzutu głównym przyczynkiem niepewności pomiarów jest niepewność wzorcowania (niepewność maksymalna) $\Delta_d x$.

Producenci przyrządów takich jak przymiar milimetrowy, suwmiarka na ogół nie określają ich dokładności. Powszechnie uważa się, że niesprecyzowana bliżej „dokładność” (niepewność wzorcowania $\Delta_d x$) jest równa wartości najmniejszej działki skali, zwanej *działką elementarną*. Jej wartość wynosi dla linijki 1mm, suwmiarki 0,05mm. Ocena ta może być skorygowana w górę lub w dół zgodnie z posiadaną wiedzą i doświadczeniem. Na przykład, jeżeli mierzymy linijką grubość blatu stołu i oceniamy „na oko” również dziesiąte części milimetra, to niepewność wzorcowania $\Delta_d x$ może zmniejszyć się do 0,2mm. Z drugiej strony, przy pomiarze rozmiarów pokoju taśmą mierniczą, niepewność wzorcowania należy przyjąć większą niż 1mm, choć skalę z podziałką milimetrową mamy na całej pięciometrowej taśmie.

Przyjmuje się, że wartość $\Delta_d x$ jest równa połowie szerokości rozkładu jednostajnego, a niepewność standardowa wynosi

$$u(x) = \frac{\Delta_d x}{\sqrt{3}} \quad (5.12)$$

Prawie wszystkie używane współcześnie przyrządy pomiarowe to albo proste przyrządy ze skalą analogową, albo też elektroniczne mierniki cyfrowe. Dla każdego z typów tych przyrządów określenie niepewności wzorcowania (niepewności maksymalnej) przebiega nieco inaczej.

5.6.2.2. Niepewność wzorcowania przyrządów analogowych

W przyrządzie analogowym jego „dokładność” precyzuje tzw. klasa przyrządu, która wyraża w procentach stosunek niepewności maksymalnej Δx do pełnego wychylenia miernika na danym zakresie pomiarowym. Jej sens jest taki, że wyniki prawidłowo wykonanych pomiarów nie różnią się od wartości rzeczywistej x_0 więcej niż $\pm \Delta x$. I tak by było, gdyby obserwator odczytywał absolutnie dokładnie położenie wskazówki na skali przyrządu. Odczyt dokonywany jest z pewną dokładnością (do działki skali, do $1/2$ działki skali, itd.), dlatego też niepewność wzorcowania (niepewność maksymalna) przyrządu analogowego jest sumą niepewności wynikającej z klasy i z odczytu, a niepewność standardową obliczamy ze wzoru

$$u(x) = \frac{[(klasa \times zakres / 100) + \Delta x_{\text{odczytu}}]}{\sqrt{3}} \quad (5.13)$$

5.6.2.3. Niepewność wzorcowania przyrządów cyfrowych

Inaczej odbywa się określanie niepewności wzorcowania (niepewności maksymalnej) dla przyrządów z cyfrowym wyświetlaniem wyników pomiarów. W tego typu przyrządach nie występuje niepewność związana z odczytem wielkości mierzonej. Zmianę wartości mierzonej odpowiadającą przeskokowi ostatniej cyfry nazwać można *działką elementarną* danego przyrządu. Ważne jest, by działki elementarnej nie utożsamiać z niepewnością pomiaru przyrządu z cyfrowym wyświetlaczem.

W celu określenia niepewności wzorcowania musimy zajrzeć do instrukcji przyrządu. Znajdziemy tam informację o wartości niepewności wzorcowania, najczęściej podaną jako kombinacja liniowa wartości mierzonej i zakresu:

$$\Delta_d x = C_1 \text{wartość mierzona} + C_2 \text{zakres pomiarowy.} \quad (5.14)$$

gdzie: C_1 - liczba przez, którą należy pomnożyć wartość ostatniej pozycji wyświetlacza,

C_2 - liczba procentowa określona przez producenta dla danego zakresu pomiarowego.

Uzyskaną w ten sposób niepewność maksymalną zamieniamy na niepewność standardową przez użycie wzoru:

$$u(x) = \frac{\Delta_d x}{\sqrt{3}} \quad (5.15)$$

Pojęcie niepewności rozszerzonej (oznaczanej U) ma znaczenie praktyczne - oznacza ono przedział $\pm U$ wokół wartości poprawnej x_0 w którym wynik pomiaru znajdzie się z prawdopodobieństwem bliskim jedności.

W mowie potocznej często pomija się określenie „rozszerzona”, należy jednak pamiętać że podawana tak niepewność obecnie jest rozumiana jako „niepewność rozszerzona pomiaru”. Niepewność rozszerzoną określa się mnożąc niepewność standardową $u(x)$ przez współczynnik rozszerzenia k , np. dla wartości średniej :

$$U(x) = k \cdot u(x) \quad (5.16)$$

Jeśli o rozkładzie wyników pomiarów wiadomo, że jest normalny, a niepewność standardowa jest dobrym przybliżeniem odchylenia standardowego (np. w metodzie typu A wyznaczono ją na podstawie serii co najmniej 15 pomiarów), to stosuje się najczęściej następujące współczynniki rozszerzenia, w zależności od wymaganego poziomu ufności:

$k=2$, co zapewnia poziom ufności 0,95;

$k=3$, co zapewnia poziom ufności powyżej 0,997.

Szczególne znaczenie ma współczynnik rozszerzenia równy 3, bowiem skojarzony z nim wysoki poziom ufności oznacza praktycznie, że cały rozkład wyników pomiarów jest objęty przedziałem $\pm 3 u(x)$ (patrz rys. 5.7).

ZAŁĄCZNIKI

Z 1. Symbole bezpieczeństwa



Na przyrządzie lub w instrukcji obsługi mogą pojawić się symbole: OSTRZEŻENIE! (lub UWAGA)

oznakowanie takie wskazuje miejsce zawierające niezbędne zalecenia dotyczące obsługi, warunków pracy przyrządu, których przestrzeganie chroni użytkownika przed porażeniem prądem elektrycznym lub zalecenia dotyczące obsługi i warunków pracy, których nieprzestrzeganie grozi uszkodzeniem przyrządu i/lub badanego urządzenia.

Znaczenie symboli na przyrządach lub w instrukcji obsługi

 UWAGA WYSOKIE NAPIĘCIE	 UWAGA! Stosować się do postanowień instrukcji obsługi	 Zacisk przewodu ochronnego	 Zacisk chassis	 Zacisk uziemienia
	Przestrzegać postanowień instrukcji obsługi!			
	Bateria			
	Przyrząd w podwójnej izolacji			

Z 2. Jednostki w układzie SI


Jednostki podstawowe używane w układzie SI

Wielkość	Nazwa	Symbol
Długość	metr	m
Masa	kilogram	kg
Czas	sekunda	s
Natężenie prądu elektrycznego	amper	A
Temperatura termodynamiczna	kelwin	K
Ilość materii	mol	mol
Światłość	kandela	cd

Jednostki uzupełniające używane w układzie SI

Kąt płaski	radian	rad
Kąt bryłowy	steradian	sr

Z 3. Wykaz używanych skrótów i symboli

Symbol	Nazwa, znaczenie
\bar{x}	wartość średnia
%	sygnalizuje tolerancję w procentach
$\varphi(x)$	rozkład Gaussa
Δdx	niepewność wzorcowania
▶)))	przycisk wyboru testu diod lub ciągłości
◀	test ciągłości
	sygnalizacja „bipera” oraz dla trybu tolerancji
1k/120Hz	przełącznik wyboru częstotliwości pomiarowej
2 WIRES	pomiar dwoma przewodami
2W/4W	przełącznik wyboru ilości zacisków do pomiaru
4 WIRES	pomiar czterema przewodami
A	gniazdo pomiarowe prądowe multimetru
A H	wskaźnik funkcji AUTO HOLD
AC	wskaźnik prądu i napięcia zmiennego
AC	napięcie zmienne
AC/DC	przycisk zmiany rodzaju prądu: stały/zmienny
AC+DC	rodzaj napięcia; złożone
AC+DC	napięcie złożone: stałe + zmienne
ADD	wciśnięcie uruchamia odchylenie sumą sygnałów A i B
AH	tryb zamrażania automatycznie odczytu
AM	modulacja amplitudy
AMP	pokrętko nastawiania amplitud
AMPLITUDE	przyciski włączenia tłumików sygnału wyjściowego
AMPLITUDE	regulacja amplitudy
ATTEN	tłumik wejściowy
ATTEN	tłumik sygnału przychodzącego
ATTENUATOR	włączniki tłumików napięcia wejściowego
AUTO	sygnalizacja włączonego automatycznego pomiaru
AUTO	automatyczny dobór zakresu
AUTO RANGE	przycisk ręcznej zmiany zakresu

AVC	sygnalizacja wartości średniej
B	susceptancja
BAR	przycisk do przełączania między rodzajami linijki analogowej
CAL	przycisk CAL – kalibracja przed pomiarem
CAL REL	przełącznik względnego pomiaru lub kalibracja
CAP	wskaźnik pomiaru pojemności
CENTER FREQ	przycisk ustawienia środka przemiatania w częstotliwości
CH A	wyzwalanie sygnałem kanału A
CH B	wyzwalanie sygnałem kanału B
CHA 20MHz	gniazdo wejściowe kanału A
CHAN	przełącznik wyboru kanału (A lub B)
CHAN	wybór kanałów
CHB 2,7GHz	gniazdo wejściowe kanału B
CMP	wskaźnik funkcji dyskryminatora poziomu sygnału Comparison.
COM	gniazdo wspólne multimetru
CONTRAST	przycisk optymalizacji kontrastu zobrazowania
COUNTER	wejsie częstotściomierza
COURENT	potencjometr regulacji ograniczania prądu wyjściowego
Cp	pojemność w równoległym układzie zastępczym
Cs	pojemność w szeregowym układzie zastępczym
D	sygnalizuje pomiar stratności
D	stratność (tangens kąta strat)
D H	wskaźnik funkcji DATA
D/Q/?/ESR	przycisk wyboru funkcji pomiarowej
Data Hold	zatrzymaj dane
DB	decybel (względem 1V)
dBm	decybel (względem 1mV na 600Ω)
DC	napięcie stałe
DC/AC	przycisk wyboru rodzaju napięcia (stałe/zmienne)
DCA	pomiar prądu stałego

DCA/ACA	przycisk wyboru rodzaju prądu
DCR	rezystancja (pomiar prądem stałym)
DCV	pomiar napięcia stałego
DCV/ACV	przycisk wyboru rodzaju napięcia
DDS	synchroniczna fazowo, cyfrowa synteza częstotliwości
DESTRKTIION	przełącznik zakresów pomiarowych i kalibracji
DIGIT	przycisk przełączania rozdzielczości odczytu cyfrowego
DISPLAY	przełącznik trybu pracy wyświetlacza miernik/generator
DOWN	przycisk wyboru niższego zakresu
DOWN	przycisk zmiany w dół
DUAL	wciśnięcie przycisków A i B
ESR	równoważna rezystancja szeregową
EXT	impulsy wyzwajające z przebiegu zewnętrznego
FC/FG	przełącznik częstościomierz/generator
FM	modulacja częstotliwości
FOCUS/TR	przycisk regulacji skupieniem śladu na ekranie
FREQ	pokrętko ze skalą do dokładnej regulacji częstotliwości
FREQ	wskaźnik pomiaru częstotliwości
FREQUENCY RANGE	przełącznik pomiarowych zakresów częstotliwości
FREQUENCY	przełączniki zakresów częstotliwości
FUNC	przycisk funkcyjny
FUNCTION	przycisk funkcyjny
FUSE	bezpiecznik – sygnalizacja uszkodzenia bezpiecznika w mierniku
FUSED	bezpiecznik topikowy
G	konduktancja
Gate	przełącznik czasu bramkowania
GATE	ustawienie czasu bramki
GCV	wyjście sygnału proporcjonalnie do zmian częstotliwości
GND	zacisk uziemiający (masa urządzenia)
<i>h</i>	współczynnik zniekształceń nieliniowych

HCUR	gniazdo pomiarowe prądowe
HD	wskaźnik zatrzymania odczytu (hold)
HF REJ	sprzężenie przez filtr dolnoprzepustowy
hFE	wskaźnik pomiaru wzmocnienia tranzystorów
HIGH	wysoki
HOLD	wskaźnik trybu
Hold	przycisk zamrażania wskazania wyświetlacza
HOLD	zatrzymanie określonej wartości częstotliwości
H _{POT}	gniazdo pomiarowe napięciowe
IGH PASS	przycisk włączenia filtr górnoprzepustowego 1kHz
INPUT	wejściowe gniazdo
INPUT 50Ω	gniazdo wejściowe sygnału R _w =50Ω
INT	sygnał wyzwalający sumy przebiegów wejściowych obu kanałów
INTENSITY	przycisk regulacji intensywności świecenia obrazu CRT
kHz	kiloherc
L	symbol indukcyjności
L C R	wyświetlacz rodzaju mierzonej wielkości
L/C/R	przełącznik wyboru rodzaju badanego elementu
L/C/Z/DCR	przycisk funkcji pomiarowej
LCD	wskaźnik – wyświetlacz
L _{CUR}	gniazdo pomiarowe prądowe
LEVEL	pokrętko płynnej regulacji napięcia wejściowego
LIGHT	przycisk do włączenia i wyłączenia oświetlenia wskaźnika
LINE	impulsy synchronizujące z sieci
LO HI	poziomy odniesienia
LOG	wskaźnik testu stanów logicznych
LOW	niski
L _p	indukcyjność w równoległym układzie zastępczym
LPF A	przycisk włączający filtr dolnoprzepustowy w kanale A
L _{POT}	gniazdo pomiarowe napięciowe
L _s	indukcyjność w szeregowym układzie zastępczym

LV Ω	niskonapięciowy pomiar rezystancji
L Ω	pomiar rezystancji
m	współczynnik modulacji
mA	miliamper
MAIN	wyście sygnału podstawowego generatora
Main Function	główne przyciski funkcyjne
MARKER	przycisk ustawienia poziomu odniesienia
MASTER	zasilacz nadrzędny
MAX	sygnalizacja wartości największej
MAX MIN	pamięć wartości minimalnej i maksymalnej
MAX/MIN/AVG	przycisk wyboru wartości z pamięci
mem	pamięć odczytów
MEM	wskaźnik pamięci
mF	milifarad
MIN	sygnalizacja wartości najmniejszej
MOD	wyście wewnętrznego sygnału modulującego
MOD/TRIGGER	weście zewnętrznego sygnału modulacji AM i FM
Modulation	przyciski funkcji modulacji i przemiatania częstotliwości
M Ω	megaom
nF	nanofarad
OFFSET	okrętko nastawiania składowej stałej
OL	wskaźnik przepełnienia
ON/OFF	włącznik zasilania
OUTPUT	gniazdo wyjścia generatora
OUTPUT 50 Ω	gniazdo wyjściowe sygnału $R_w=50\Omega$
Peak Hold	wyświetlenie i zamrożenie wartości aktualnie maksymalnej
PERI	długość wyświetlanego cyklu
pF	pikofarad
PH	tryb pomiaru wartości szczytowej
PHONE	głośność słuchawki
PHONE	3.5 mm gniazdo dla słuchawek
PM	modulacja fazy

POWER	wyłącznik zasilania sieciowego
POWER	włącznik zasilania
POWER	włącznik baterii zasilającej multimetr
POWER	główny wyłącznik sieciowy
PROBE POWER	gniazdo zasilania sondy pomiarowej
Q	sygnalizuje pomiar dobroci
Q	dobroć w obwodzie elektrycznym
Q/D	pomiar dobroci/pomiar stratności.
R	symbol rezystancji
R H	wskaźnik funkcji ręcznego ustawiania zakresu (Range Hold)
RANGE	przycisk włączenia ręcznego doboru zakresu pomiarowego
RANGE	(zasięg) - przycisk włączenia ręcznego doboru zakresu
RANGE HOLD	przycisk doboru zakresu
RBW	szerokość pasma rozdzielczości
RBW	przełącznik rozdzielczości
RCL	wskaźnik odczytu pamięci
RECALL	odwołanie
REF	tryb pomiarów względnych
REF	Reference (odniesienie) - tryb pomiarów
REF LEVEL	Reference level
REL	sygnalizuje pomiar względny
REL	wskaźnik funkcji pomiarów względnych (Relative)
RELATIVE	przycisk wyboru napięcia testowego
REMOTE	przycisk obsługi zdalnej
RESET	przycisk zerowania
RESET	zerowanie
RMS	pomiar wartości skutecznej
RS232	transmisja danych przez interfejs szeregowy
SER/PRL	pomiar szeregowym lub równoległym w schemacie zastępczym
SET/RESET	przycisk ustawianie/kasowanie
SETUP	ustawianie

SLAVE	zasilacz podrzędny
SPAN	przyciski zmiany rozpiętości zobrazowania
STEP	przycisk sterujący startem generowanego sygnału
SWEEP RATE	pokrętko regulacji charakterystyki przemiatania
SWEEP RATE	regulacja szybkości przemiatania
SWEEP WIDTH	regulacja szerokości przemiatania
SYM	pokrętko nastawiania symetrii
SYNC	wyjście sygnału synchronicznego z sygnałem podstawowym
System	przyciski systemowe
TEMP	wskaźnik pomiaru temperatury
TESTSIGNAL	przycisk włączenia sygnału testowego
TOL	do sortowania podzespołów
TOL	przycisk wyboru tolerancji
TOL	wskaźnik włączenia tolerancji.
TOL	tryb tolerancji
TOT	licznik impulsów
TRIG OUTPUT	gniazdo wyjściowe sygnału do synchronizacji
True RMS	detekcja i odczyt rzeczywistej wartości skutecznej
TTL	wyjście sygnałów o poziomach TTL
TTL	gniazdo wyjściowe sygnału do synchronizacji
TUNING	pokrętko dostosowania włączonych czynności regulacyjnych
TV	wewnętrzny kompletny sygnał TV
$u(x)$	niepewność standardowa
U_{fn}	wartość skuteczna napięcia składowej harmoniczej
U_m	amplituda napięcia przemiennego
U_{pp}	napięcie międzyszczytowe
Unit keys	przyciski jednostek
UP	przycisk wyboru wyższego zakresu pomiarowego
V	wolt
V/Ω	wejście pomiarowe napięcia (plusowe) lub rezystancji
V/Ω	wejście pomiarowe napięcia i pomiaru rezystancji
VBW	włącznik filtra wideo ograniczający zakłócenia

VCF	napięcie sygnału sterowania częstotliwością wyjściową
VCF IN	gniazdo wejścia sterującego generatorem VCF
VOLTAGE	potencjometr regulacji napięcia wyjściowego
VOLTAGE	pokrętko ustawienia poziomu napięcia
V_{pp}	napięcie międzyszczytowe
$w(x)$	niepewność względna
X	reaktancja
x_0	wartość rzeczywista
x_i	wartość zmierzona
Y	admitancja
Z	impedancja (pomiar prądem przemiennym)
Z	impedancja
ZOOM	rozciąg linijki analogowej
ZOOM	powiększenie - rozciąg linijki
Θ	kąt fazowy
Δx	niepewność graniczna (maksymalna)
Ω	Om
Ω	rezystancja obciążenia

Z 4. Mnożniki, oznaczenia, symbole

Mnożnik	Nazwa	Symbol
$1\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000 = 10^{18}$	exa	E
$1\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000 = 10^{15}$	peta	P
$1\ 000\ 000\ 000\ 000 = 10^{12}$	tera	T
$1\ 000\ 000\ 000 = 10^9$	giga	G
$1\ 000\ 000 = 10^6$	mega	M
$1\ 000 = 10^3$	kilo	k
$100 = 10^2$	<i>hekto</i>	h
$10 = 10^1$	<i>deka</i>	da
$1 = 10^0$	-	-
$0,1 = 10^{-1}$	<i>decy</i>	d
$0,01 = 10^{-2}$	<i>centy</i>	c
$0,001 = 10^{-3}$	mili	m
$0,000\ 001 = 10^{-6}$	mikro	μ
$0,000\ 000\ 001 = 10^{-9}$	nano	n
$0,000\ 000\ 000\ 001 = 10^{-12}$	piko	p
$0,000\ 000\ 000\ 000\ 001 = 10^{-15}$	femto	f
$0,000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 001 = 10^{-18}$	atto	a

Z 5. Stałe fizyczne

Nazwa stałej	Symbol	Wartość
czwarta prędkość kosmiczna	V_{IV}	130 km·s ⁻¹
druga prędkość kosmiczna	V_{II}	11,19 km·s ⁻¹
energia spoczynkowa elektronu	$m_e \cdot c^2$	0,511 MeV
energia spoczynkowa neutronu	$m_n \cdot c^2$	939,550 MeV
energia spoczynkowa protonu	$m_p \cdot c^2$	938,256 MeV
impedancja właściwa próżni	$Z_0 = \mu_0 c$	376,730 313 461 Ω
ładunek elementarny elektronu	e	1,602 176 462(63)·10 ⁻¹⁹ C
masa spoczynkowa elektronu	m_e	9,109 381 88(72)·10 ⁻³¹ kg
masa spoczynkowa neutronu	m_n	1,674 927 16(13)·10 ⁻²⁷ kg
masa spoczynkowa protonu	m_p	1,672 621 58(13)·10 ⁻²⁷ kg
pierwsza prędkość kosmiczna	V_I	7,91 km·s ⁻¹
prędkość dźwięku w powietrzu	V_d	331 m·s ⁻¹ (z definicji)
prędkość światła w próżni	c	299 792 458 m·s ⁻¹ (z definicji)
przenikalność magnetyczna próżni	μ_0	4 π 10 ⁻⁷ H/m=12,5 10 ⁻⁷ VsA ² m ⁻²
przyśpieszenie ziemskie	g^n	9,806 65 m·s ⁻²
stała Avogadra	N_A	6,022 141 99(47)·10 ²³ mol ⁻¹
stała Boltzmanna	k	1,380 650 3(24)·10 ⁻²³ J·K ⁻¹
stała Faradaya	F	9,648 534 15(39)·10 ⁴ C·mol ⁻¹
stała gazowa (na 1 mol)	R	8,314 472(15) J·K ⁻¹ ·mol ⁻¹
stała grawitacji	G	6,672 59(85)·10 ⁻¹¹ m ³ kg ⁻¹ ·s ⁻²
stała Plancka	h	6,626 068 76(52)·10 ⁻³⁴ J·s
stała Stefana-Boltzmanna	σ^*	5,670 400(40)·10 ⁻⁸ W·m ⁻² ·K ⁻⁴
trzecia prędkość kosmiczna	V_{III}	16,7 km·s ⁻¹
zero stopni Celsjusza	0°C	273,15 K (z definicji)
zero bezwzględne	0 K	- 273,15°C (z definicji)

Z 6. Znaki klasycznego alfabetu greckiego

Nazwa	Wymowa	Mała litera	Wielka litera	Encja HTML
Alfa	a	α	A	α Α
Beta	b	β	B	β Β
Gamma	g	γ	Γ	γ Γ
Delta	d	δ	Δ	δ Δ
Epsilon	e	ϵ	E	ε Ε
Dzeta	dz	ζ	Z	ζ Ζ
Eta	e	η	H	η Η
Theta	th	θ	Θ	θ Θ
Jota	i	ι	I	ι Ι
Kappa	k	κ	K	κ Κ
Lambda	l	λ	Λ	λ Λ
Mi	m	μ	M	μ Μ
Ni	n	ν	N	ν Ν
Ksi	ks	ξ	Ξ	ξ Ξ
Omikron	o	\omicron	O	ο Ο
Pi	p	π	Π	π Π
Ro	r	ρ	P	ρ Ρ
Sigma	s	σ	Σ	σ Σ
Tau	t	τ	T	τ Τ
Ypsilon	y	υ	Y	υ Υ
Fi	ph	ϕ	Φ	φ Φ
Chi	kh	χ	X	χ Χ
Psi	ps	ψ	Ψ	ψ Ψ
Omega	o	ω	Ω	ω Ω

Z 7. Zasoby internetowe użyte do opracowania

- [1] Achieving the best results with precision Digital Multimeter measurements, Fluke Precision Measurement Ltd., Roberts P., Precision in Practice, http://assets.fluke.com/appnotes/Calibration/Roberts_ncs102.pdf, 18-02-2008
- [2] Analiza niepewności pomiarowych w pigułce, Marta Zimnal-Starnawska, I Pracownia Fizyczna IF UJ, http://www.if.uj.edu.pl/pl/edukacja/pracownia_I/niepewnosci%20pomiarowe.pdf, 2-03-2008
- [3] Elektronika hobbysty, <http://www.elb.vectranet.pl/%7Ekrzysztof/index.html>, 20-01-2008
- [4] Generator impulsowy, http://www.ndn.com.pl/katalog/hameg/pdf/hameg_hm8035.pdf, 21-03-2008
- [5] Generatory funkcyjne, Archiwum ERES, http://www.eres.alpha.pl/elektronika/readarticle.php?Article_id=321, 2-03-2008
- [6] Instrukcja laboratoryjna. Pomiary w elektronice, Akademia ETI, http://www.eti.pg.gda.pl/dydaktyka/Akademia_ETI/pomiary/pomiary.pdf, 23-06-2008
- [7] Jak działa oscyloskop, <http://radio.elektroda.net/pdf/oscyloskop.pdf>, 21-03-2008
- [8] Kondensatory, Archiwum ERES, <http://www.eres.alpha.pl/index.php?text=24>, 6-05-2008
- [9] Multimetry cyfrowe i integracyjne przetworniki analogowo cyfrowe – Ćwiczenie nr 4, http://www.eti.pg.gda.pl/katedry/kose/dydaktyka/Podstawy_elektroniki_i_metrologii/Cw4_instrukcja_laboratoryjna_INF.pdf, 25-02-2008
- [10] Opracowanie danych pomiarowych, Andrzej Zięba, <http://www.ftj.agh.edu.pl/zdf/danepom.pdf>, 07-02-2009
- [11] Oscyloskop, Żółtowski B., [http://www.if.p.lodz.pl/bogdan.zoltowski/materialy/fdosw/teksty/wprow%20\(7\).pdf](http://www.if.p.lodz.pl/bogdan.zoltowski/materialy/fdosw/teksty/wprow%20(7).pdf), 25-02-2008
- [12] Pomiary bezpośrednie i pośrednie - Wykład o pomiarach, <http://www.ime.uz.zgora.pl/ssienkowski/apps/te/cw1.pdf>, 18-03-2009
- [13] Protokół ćw3 do metrologii, http://www.eti.pg.gda.pl/katedry/kose/dydaktyka/Metrologia/protokol_cw3.pdf, 2-03-2008
- [14] Wykorzystanie multimetrów cyfrowych do pomiaru składowych impedancji, Cichy A., http://www.imeia.elekt.polsl.pl/download/mkp/Wykorzystanie_multimetrow_do_pomiaru_Z.pdf, 23-03-2008
- [15] Wyrażanie niepewności pomiaru. Przewodnik. Wydawnictwo GUM 1999, www.par.pl/2006/files/78-06_artyku8p.pdf, 23-03-2008

Z 8. Literatura użyta do opracowania

- [16] Baranowski J., Czajkowski G., *Układy elektroniczne, cz. II, Układy analogowe nieliniowe i impulsowe* WNT, Warszawa 1998
- [17] Białas S., *Metrologia techniczna z podstawami tolerowania wielkości geometrycznych dla mechaników*, Oficyna wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2006
- [18] Biegalski J., Kaczmarek L., Pietruszewski J., Zdanowski J., *Przyrządy półprzewodnikowe. Instrukcje laboratoryjne*, Wyd. KTN i KK, Jelenia Góra 2008
- [19] Borczyński J., Milczewski A., *Podzespoły elektroniczne. Elementy bierne*, WKŁ, Warszawa 1993
- [20] Czyżak G., *Stanowisko laboratoryjne do badania wpływu temperatury na wybrane układy elektroniczne*, Praca dyplomowa w KK, Jelenia Góra, 2002
- [21] Daniłuk Z., *Oscyloskop dwukanałowy 20 MHz model 3502C – instrukcja obsługi*, NDN, Warszawa 2009
- [22] Golde W., Śliwa L., *Wzmacniacze operacyjne i ich zastosowania, cz. , Podstawy teoretyczne*. WNT, Warszawa 1982
- [23] *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*, ISO, Switzerland 1995
- [24] Kett B., *Recent changes in d.v.m. technology*. New Electronics, 1980 No. 9 pp. 105-107
- [25] Kulka Z., Nadachowski M., *Wzmacniacze operacyjne i ich zastosowania, cz. 2, Realizacje praktyczne*, WNT, Warszawa 1982
- [26] Kuta S. (red.), *Elementy i układy elektroniczne, cz. I*, Wyd. AGH, Kraków 2000
- [27] Kuta S. (red.), *Elementy i układy elektroniczne, cz. II*, Wyd. AGH, Kraków 2000
- [28] Mazur G. A., *Digital Multimeter Principles*. Homewood, IL, ATP 2001
- [29] Olędzki J., *Multimetry - stan dzisiejszy i rozwój*. Sympozjum „Metrologia w systemach jakości”, V Sympozjum Klubu POLSKIE FORUM ISO 9000, Mikołajki 1997, Mater. Symp. t.2, str. III.E/29-38
- [30] Olędzki J., *Podstawowe ograniczenie skuteczności korekcji błędów przetwarzania analogowo-cyfrowego*. Sympozjum „Podstawowe Problemy Metrologii” Gliwice-Ustroń 1998, Prace Komisji Metrologii PAN, Ser. Konf. Nr 1, str. 349-354
- [31] Olędzki J., *Struktury multimetrów mikroprocesorowych - kierunki ewolucji*. Mater. III Kraj. Konf. Nauk.-Techn. "Zastosowanie mikroprocesorów w automatyce i pomiarach", str.107-114, SEP, Warszawa 1982
- [32] Pelc T., Borczyński J., *Odprowadzanie ciepła z przyrządów półprzewodnikowych*. WKiŁ, Warszawa 1986
- [33] Praca zbiorowa pod red. S. Stępniaaka. *Poradnik konstruktora sprzętu elektronicznego*, WKiŁ, Warszawa 1981
- [34] Prałat A.(red.): *Laboratorium układów elektronicznych, cz. 1* EL Ofic. Wyd. PWr, Wrocław 1998
- [35] Prałat A.(red.): *Laboratorium układów elektronicznych, cz. 2* EL Ofic. Wyd. PWr, Wrocław 2001
- [36] Stanlik J., *Elementy bierne i podzespoły elektroniczne*, Wyd. KTN i KK, Jelenia Góra 2005
- [37] Szydłowski H., *Niepewności w pomiarach. Międzynarodowe standardy w praktyce*, Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań 2001
- [38] Szydłowski H., *Postępy Fizyki*, 51 Z.2, 92 (2000)
- [39] *Wyrażanie niepewności pomiaru: Przewodnik*, Główny Urząd Miar, Warszawa 1999



KOLEGIUM KARKONOSKIE
w Jeleniej Górze
(Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa)
58-503 Jelenia Góra
ul. Lwówecka 18

ISBN 978-83-926801-7-8