

Rozdział 1

Podstawowa aparatura pomiarowa i stanowisko pomiarowe

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z podstawowymi elementami stanowiska pomiarowego, takimi jak źródła zasilania, źródła sygnałów pomiarowych i wybrane przyrządy pomiarowe.

1.1 Podstawy teoretyczne

1.1.1 Sposoby połączeń w stanowisku pomiarowym

Rodzaje kabli, masa i przewód „gorący”

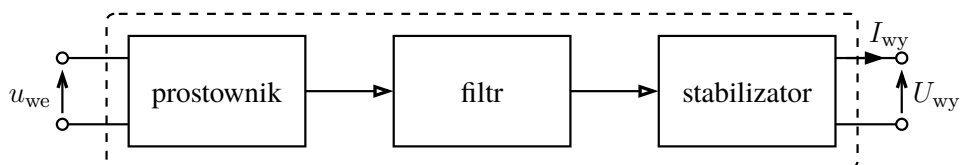
- Połączenia przy prądach stałych i sygnałach zmiennych o małej częstotliwości ($f < 10 \text{ kHz}$) wykonujemy pojedynczymi przewodami (bez ekranowania) zakończonymi wtykami bananowymi. Niektóre wtyki bananowe można rozgałęziać, wtykając jedno w drugie (por. rys. [W.1](#)).
- Połączenia przy sygnałach zmiennych o średniej i dużej częstotliwości ($f > 10 \text{ kHz}$) wykonujemy przewodami koncentrycznymi — ekranowanymi kablami zakończonymi złączami BNC. Istotne jest w tym przypadku rozróżnienie przewodu „gorącego” (wewnętrzny przewód kabla koncentrycznego) i „zimnego” przewodu masy, pełniącego funkcję ekranu (zewnętrzny opłot przewodu gorącego). Wtyk BNC, po jego nałożeniu na gniazdo, należy obrócić „w prawo” o 90° aż do lekkiego „zaskoku”.
- Przewód gorący nie może być dołączony do zacisku masy. Jest to szczególnie ważne w przypadku stosowania przejściówek BNC-bananki. Ten ważny temat został opisany dokładniej w p. [W.6](#). Rozpoznawanie przewodu „gorącego” można przeprowadzić wykorzystując omomierz lub piszczący tester połączeń. Można także wykorzystać do tego celu oscyloskop, do którego wejścia dołączamy badany kabel. Jeśli dotkniemy palcem przewodu „zimnego”, to na oscyloskopie nie zauważymy żadnego sygnału. Jeśli natomiast dotkniemy przewodu „gorącego”, to na oscyloskopie pojawią się dość silne zakłócenia o częstotliwości sieci energetycznej 50 Hz, indukowane w naszym ciele pracującym jako antena odbiorcza.

1.1.2 Zasilacz stabilizowany

1.1.2.1 Zasada działania

Zadaniem zasilacza stabilizowanego jest dostarczenie stałej w czasie wartości napięcia lub prądu. Zasilacze mogą dostarczać tylko jedną, określoną wartość stabilizowaną lub też mogą umożliwić jej regulację zgodnie z potrzebami użytkownika. Rozbudowane wersje zasilaczy mogą mieć w jednej obudowie kilka sekcji regulowanych stabilizatorów.

Ze względu na zakres zastosowań najczęściej używane są zasilacze napięć stabilizowanych. Zasilacze nieregulowanych napięć stałych wykonywane są z reguły na określone wartości (np. 3, 5, 9, 12 czy 15 V) i są stosowane przeważnie do zasilania pomocniczych przyrządów lub układów pomiarowych nie wymagających regulacji napięcia zasilającego. Zasilacze regulowane stosowane są wszędzie tam, gdzie konieczne są: dostarczenie kilku kolejnych wartości napięcia lub jego płynna regulacja (np. do pomiaru charakterystyki prądowo-napięciowej).



Rys. 1.1: Schemat blokowy zasilacza stabilizowanego

Na rys. 1.1 przedstawiono schemat blokowy typowego zasilacza stabilizowanego pobierającego energię z sieci prądu zmiennego. Wejściowe napięcie zmienne u_{we} jest, za pomocą prostownika, przekształcane na napięcie stałe U_{wy} o określonej polaryzacji. Kolejny element — filtr — wygładza wyprostowane napięcie i zmniejsza jego tętnienia. Stabilizator zapewnia uzyskanie odpowiedniego napięcia wyjściowego oraz małego oporu wyjściowego zasilacza. Dzięki temu małemu oporowi wyjściowemu i stałej wartości napięcia, w zakresie normalnej pracy zasilacz taki można w pierwszym przybliżeniu traktować jak idealne źródło napięciowe.

1.1.2.2 Podstawowe parametry

Zakres regulacji napięcia wyjściowego określa zakres możliwych do uzyskania napięć wyjściowych, w którym obowiązują podane przez producenta parametry, np. stabilność, opór wyjściowy itp.

Maksymalny prąd wyjściowy jest to maksymalny prąd, jaki można pobierać z wyjścia zasilacza, nie powodujący jego uszkodzenia. Z reguły zasilacze mają wewnętrzny układ zabezpieczający przed poborem nadmiernego prądu, a często można dodatkowo także regulować wartość prądu, przy którym zadziała układ ograniczający.

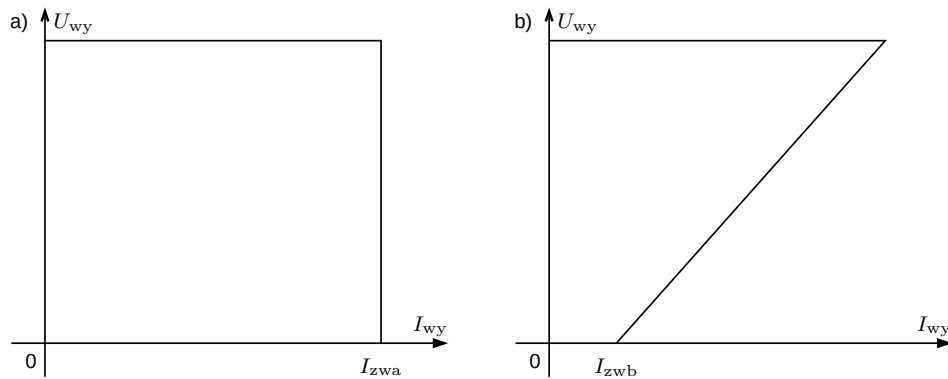
Opór wyjściowy dla prądu stałego definiowany jest jako stosunek zmian napięcia wyjściowego do odpowiadającej mu zmiany prądu wyjściowego. Opór ten określa się dla danego napięcia wyjściowego jako:

$$R_{wy} = - \frac{\Delta U_{wy}}{\Delta I_{wy}}.$$

1.1.2.3 Zabezpieczenie wyjścia przed skutkami zbyt dużego poboru prądu przez obciążenie

W celu ochrony układów wewnętrznych zasilacza przed skutkami niewłaściwego obciążenia jego wyjścia (np. zwarcie), stosuje się różnego rodzaju układy zabezpieczające. Jako stan zwarcia rozumiemy będziemy zbyt duży pobór prądu, który może powstać przy zmniejszeniu oporu odbiornika (czyli przy wzroście przewodności obciążenia).

Działanie układów zabezpieczających polega, w sytuacji awaryjnej, na ograniczeniu do bezpiecznej wartości mocy wydzielanej w układzie stabilizatora. Najczęściej spotykane metody polegają albo na ograniczaniu, albo na zmniejszaniu prądu wyjściowego — patrz rys. 1.2.



Rys. 1.2: Charakterystyki napięciowo-prądowe układów zabezpieczających: a) dla układu ograniczającego prąd wyjściowy, b) dla układu zmniejszającego prąd wyjściowy (charakterystyka „z kolanem”, czyli typu *foldback*)

Obie te metody mają swoje wady i zalety, istotne w określonych zastosowaniach. Pierwsza z metod (stabilizacja prądu wyjściowego) pozwala konstruować zasilacze z regulacją prądu maksymalnego, co umożliwia pośrednio ochronę układu zasilanego z takiego zasilacza. Zasilacz tego typu, pracujący w warunkach ograniczania prądu wyjściowego, można w przybliżeniu traktować jako idealne źródło prądowe. Druga metoda (zmniejszania prądu po przekroczeniu jego wartości maksymalnej) stosowana jest z reguły w zasilaczach napięć nieregulowanych oraz w zasilaczach dużej mocy, w których istotne jest dobre zabezpieczenie przed przekroczeniem maksymalnej dopuszczalnej mocy wydzielanej wewnątrz zasilacza.

Ułatwienie: Zasilacz badany w ćwiczeniu ze stabilizowanym napięciem i ograniczeniem prądowym może być traktowany jako idealne źródło napięciowe (opór wewnętrzny zasilacza jest prawie zerowy) w trybie stabilizacji napięcia. W przypadku, gdy wartość prądu „chciałaby” być wyższa niż ustawione ograniczenie prądowe, zasilacz przejdzie w tryb stabilizacji prądowej i zacznie zachowywać się tak jak idealne źródło prądowe (o nieskończonym oporze wewnętrznym).

1.1.2.4 Zasilacz wykorzystywany w ćwiczeniu

W Laboratorium Podstaw Pomiarów jest wykorzystywany zasilacz stabilizowany programowo E3646A firmy Keysight Technologies. Płyta czołowa zasilacza została przedstawiona na rys. 1.3.



Rys. 1.3: Widok płyty czołowej zasilacza E3646A

Jest to zasilacz dwukanałowy umożliwiający uzyskanie na każdym z wyjść (wybór przez naciśnięcie przycisków 1 i 2) napięć w zakresie $0 \dots 8 \text{ V}$ (przycisk *Low*) lub w zakresie $0 \dots 20 \text{ V}$ (przycisk *High*). Napięcie można zaprogramować z rozdzielczością 5 mV , a prąd z rozdzielczością 1 mA . Urządzenie umożliwia ustawienie maksymalnych wartości napięcia i prądu (przycisk *Display Limit*), które nie będą mogły być przekroczone — po osiągnięciu ustawionej wartości maksymalnego prądu zasilacz przechodzi w tryb pracy źródła prądowego (wyświetla się symbol *CC* — ang. *control current*, w miejsce napisu *CV* — ang. *control voltage*). Zasilacz posiada też możliwość ustawienia wartości alarmowego napięcia maksymalnego (przycisk *Over Voltage*) — po osiągnięciu tego napięcia zasilacz praktycznie się wyłącza i napięcie na jego wyjściu spada do wartości poniżej 1 V . Przydatną funkcję realizuje przycisk *Output On/Off*, który umożliwia odłączenie zacisków wyjściowych od zasilacza. Pozwala to na bezpieczne łączenie układu pomiarowego nawet w sytuacji, gdy zasilacz jest włączony do sieci.

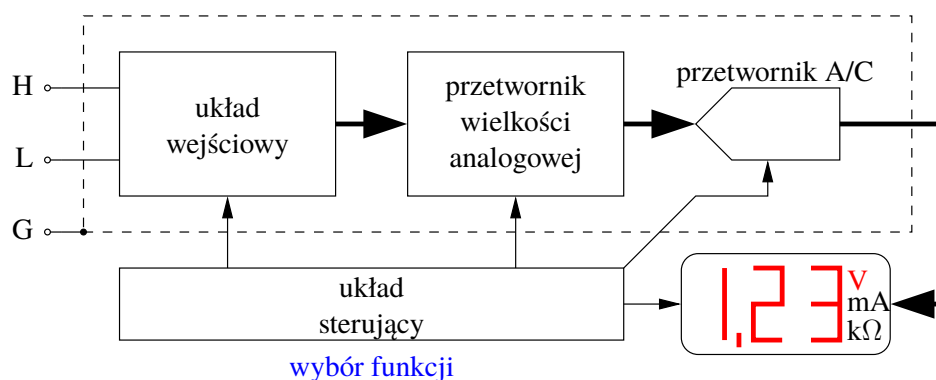
Uwaga: w momencie włączenia zasilacz zaciski na obu wyjściach są odłączone. W celu uzyskania na wyjściach ustawionych wartości napięć należy skorzystać z przycisku *Output On/Off*.

1.1.3 Multimetr cyfrowy

1.1.3.1 Zasada działania

Multimetr cyfrowy jest uniwersalnym przyrządem przeznaczonym do pomiaru podstawowych wielkości elektrycznych, takich jak prąd, napięcie, opór. Wynik pomiaru przedstawiany jest

w postaci określonej liczby cyfr dziesiętnych na wyświetlaczu przyrządu. Takie rozwiązanie w połączeniu z elektronicznymi układami toru pomiarowego powoduje, że multimetr cyfrowy jest prostym, łatwym w obsłudze i dokładnym przyrządem, niezbędnym w każdym laboratorium pomiarowym.



Rys. 1.4: Schemat blokowy multimetru cyfrowego

Idea pracy multimetru cyfrowego polega na zamianie analogowej wielkości mierzonej na inną, łatwiejszą do dalszej analizy (najczęściej jest to napięcie), następnie na przekształceniu tej wielkości na postać cyfrową kodowaną binarnie i na końcu — prezentacji wyniku w postaci ciągu liczb. Uproszczony schemat blokowy takiego przyrządu podano na rys. 1.4.

Zadaniem układu wejściowego multimetru jest wybór wielkości mierzonej (prąd, napięcie itd.), zapewnienie określonego oporu wejściowego przyrządu i dopasowanie poziomu sygnału mierzonego do dalszego przetwarzania. Przetwornik wielkości analogowej przetwarza wartość wielkości wejściowej na proporcjonalną do niej wartość napięcia, a przy pomiarze wielkości zmiennych (prądu lub napięcia) wykonuje również operację prostowania (przekształcania przebiegu zmiennego na stały).

Kolejny element — przetwornik analogowo-cyfrowy A/C — zamienia wartość swojego napięcia wejściowego na odpowiadającą jej wartość cyfrową. Wartość ta, po uwzględnieniu ustawionych przez użytkownika parametrów układu wejściowego (wielkość mierzona i zakres pomiarowy), jest wyświetlana w cyfrowym polu odczytowym. Wskaźnik cyfrowy pokazuje jednocześnie inne informacje o pomiarze, takie jak symbol lub jednostkę wielkości mierzonej, rodzaj mierzonego sygnału (AC — prąd lub napięcie zmienne, DC — prąd lub napięcie stałe) czy też polaryzację sygnału (+ lub -) przy pomiarach stałoprądowych. Układ sterujący zarządza pracą całego przyrządu, zapewniając odpowiednie współdziałanie wszystkich bloków i określony stopień automatyzacji.

Blok o nazwie „wybór funkcji” pełni rolę pośrednika między użytkownikiem a układem sterującym. Jest to na ogół np. zespół przełączników lub przycisków.

Źródło sygnału mierzonego jest dołączane do zacisków pomiarowych H i L. Przy pomiarze np. napięcia stałego wynik ze znakiem + oznacza, że potencjał punktu H jest wyższy od potencjału punktu L. Fizycznie zacisk L powinien być łączony do tzw. masy układu pomiarowego, do której są łączone zaciski masy lub metalowe obudowy innych przyrządów.

Multimetry mogą mieć również tzw. ekran ochronny (ang. *guard*), który chroni (ekranuje) część analogową przyrządu przed wpływem zakłóceń zewnętrznych. Zacisk tego ekranu (G) jest wyprowadzony na zewnątrz i w czasie normalnej pracy przyrządu powinien być połączony

zworą z zaciskiem L. Pozostawienie tego zacisku nigdzie nie dołączonego może doprowadzić do uszkodzenia przyrządu.

1.1.3.2 Podstawowe parametry multimetru cyfrowego

Rodzaj mierzonych wielkości — jest to zbiór wielkości, które można mierzyć za pomocą danego multimetru (np. prąd, napięcie i opór).

Parametry wejściowe określają istotne dla pomiaru danej wielkości parametry wejścia pomiarowego. Dla napięcia i prądu istotną wartością jest opór wejściowy występujący między zaciskami H i L. W multimetrze cyfrowym, dzięki zastosowaniu układów elektronicznych, zapewnione jest uzyskanie dużego oporu wejściowego ($> 1 \text{ M}\Omega$) dla pomiarów napięcia i małego oporu wejściowego dla pomiaru prądu. W przypadku pomiarów zmiennoprądowych, oprócz oporu wejściowego, podawana jest również wartość pojemności wejściowej (miernik widziały z zacisków wejściowych przedstawia sobą dwójnik w postaci równoległego połączenia elementów RC).

Liczba cyfr wyniku pomiaru informuje o dokładności odczytu wyniku pomiaru, a pośrednio również o dokładności przyrządu. Stosowane często żargonowe określenie „ileś i pół cyfry” oznacza, że na najstarszej cyfrze przyrząd wyświetla tylko 0 lub 1 — największe wskazanie przyrządu mającego „trzy i pół cyfry” wynosi 1999. Rzadziej spotyka się przyrządy, które na najstarszej cyfrze wyświetlają cyfry z zakresu 0–4 — największe wskazanie takiego przyrządu mającego „trzy i pół cyfry” wynosi 4999. Ścisłej mówiąc, w pierwszym przypadku omawiany przyrząd ma w rzeczywistości ok. $3\frac{1}{3}$ cyfry (ponieważ $\log_{10} 2000 \approx 3,3$), a w drugim przypadku — ok. $3\frac{2}{3}$ cyfry (ponieważ $\log_{10} 5000 \approx 3,7$).

Zakres mierzonych wielkości określa przedział wartości wielkości możliwych do zmierzenia danym przyrządem przy zachowaniu pozostałych parametrów (dokładność, opór wejściowy, rozdzielczość itp.). Z reguły multimetr ma kilka podzakresów pomiarowych, a parametry wejściowe i dokładność mogą być określane osobno dla każdego z nich.

Zdolność rozdzielcza zdefiniowana jest dla każdego podzakresu jako najmniejsza różnica wartości wielkości mierzonej, wywołująca rozróżnialną zmianę wskazań przyrządu. W przypadku przyrządu cyfrowego ta rozróżnialna zmiana wynosi ± 1 wartości ostatniej (najmłodszej) cyfry.

Dokładność pomiaru określona jest przez niepewność pomiaru danym przyrządem. W przypadku przyrządu cyfrowego niepewność graniczna pomiaru jest sumą składnika $\delta_{cz}|x|$, zależnego od modułu wartości mierzonej x , zwanego niepewnością czułości oraz składnika stałego $\delta_0 x_{zakr}$, związanego z zakresem pomiarowym x_{zakr} , zwanego niepewnością zera (ten ostatni składnik podaje się w instrukcjach obsługi najczęściej w postaci *plus n cyfr*, co oznacza, że $\delta_0 x_{zakr}$ jest równe n jednostkom odpowiadającym najmłodszej cyfrze wyświetlacza na ustalonym zakresie pomiarowym):

$$\Delta(x) = \delta_{cz} \cdot |x| + \delta_0 \cdot x_{zakr}.$$

W przypadku przyrządu analogowego niepewność graniczną pomiaru określa się na podstawie klasy kl przyrządu i wynosi ona:

$$\Delta(x) = kl \cdot x_{zakr}.$$

Ze wzorów tych będziemy korzystali dopiero na drugim laboratorium.

Zakres temperatury pracy określa zakres temperatury, w jakim przyrząd może pracować z gwarancją zachowania podstawowych parametrów. Zmiana temperatury w tym zakresie może jednak powodować dodatkową niepewność pomiaru.

1.1.3.3 Błąd metody pobrania

Błąd metody pobrania jest błędem wynikającym z faktu dołączenia przyrządu o skończonym oporze wewnętrznym pomiędzy jakieś dwa węzły obwodu mierzonego, albo z faktu włączenia przyrządu o niezerowym oporze wewnętrznym w szereg z jakąś gałęzią obwodu. Dołączenie przyrządu pomiarowego powoduje zakłócenie rozpręgu prądów i zmianę napięć, jakie panowały w układzie przed dołączeniem tego przyrządu. Z natury pomiaru wynika bowiem, że przyrząd pomiarowy musi pobrać z układu pewną ilość energii, wynikającą ze skończonej wartości jego oporu wewnętrznego. Gdyby pomiar odbywał się bez poboru energii (bezpładowo), to nie istniałaby przyczyna powstania takiego zakłócenia. Błąd metody pobrania może być skorygowany przez poprawkę.

1.1.3.4 Multimetr przenośny (ręczny) wykorzystywany w ćwiczeniu

W Laboratorium Podstaw Pomiarów jest wykorzystywany multimetr ręczny U1252B. Jego płyta czołowa została przedstawiona na rys. 1.5.

W multimetrze ręcznym należy zwrócić uwagę na sposób jego dołączenia do obwodu pomiarowego. Multimetr posiada 4 odpowiednio oznaczone gniazda. Dołączamy się do obwodu w ten sposób, że zawsze wykorzystujemy gniazdo COM (ang. *common* — wspólny), a drugi przewód dołączamy do jednego z pozostałych 3 gniazd — w zależności od wielkości fizycznej, jaką chcemy zmierzyć. Jeśli mierzymy napięcie (stałe lub zmienne), opór, pojemność, częstotliwość, czy temperaturę (z wykorzystaniem odpowiedniej sondy), to korzystamy z gniazda po prawej stronie (oznaczonego odpowiednimi symbolami). W przypadku pomiaru prądu w zakresie mikro- i miliamperów wykorzystujemy gniazdo znajdujące się obok gniazda COM po jego lewej stronie. Do pomiaru dużych prądów (do 10 A wykorzystuje się gniazdo znajdujące się skrajnie po lewej stronie (oznaczone A)).

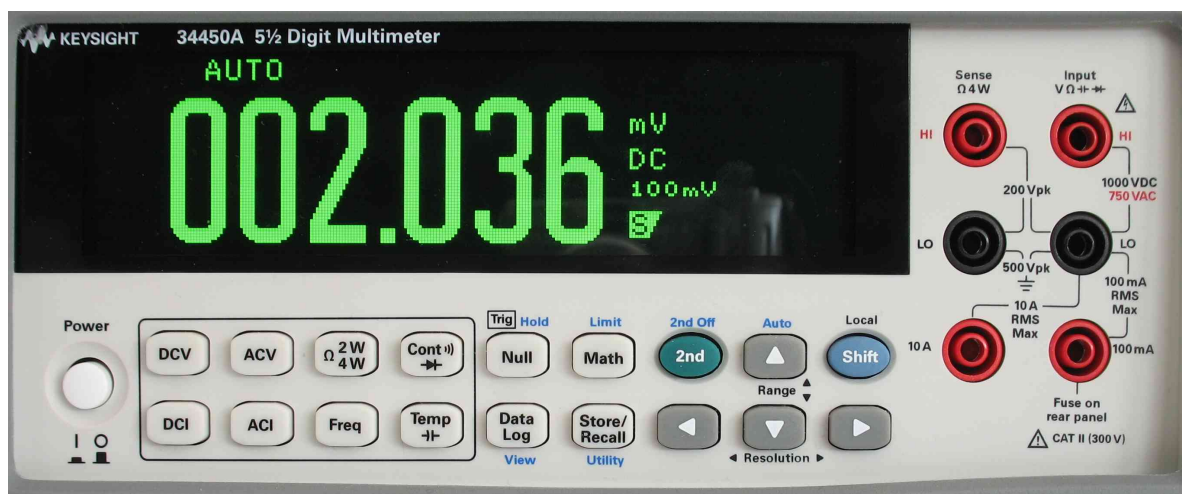
Wybór funkcji odbywa się za pomocą pokrętła w centralnej części przyrządu oraz przycisków znajdujących się pod wyświetlaczem. Pozycje pokrętła wyboru funkcji oznaczone są w większości powszechnie stosowanymi symbolami jednostek (np. V oznacza pomiar napięcia, mA — pomiar prądu itp.). Symbol — — oznacza napięcia i prądy stałe, a symbol — — — — — napięcia i prądy zmienne. Przyrząd posiada szereg różnych dodatkowych funkcji, które nie będą tu omawiane.

1.1.3.5 Multimetr stacjonarny (laboratoryjny) wykorzystywany w ćwiczeniu

W Laboratorium Podstaw Pomiarów jest wykorzystywany multimetr laboratoryjny 34450A firmy Keysight Technologies. Płyta czołowa tego multimetru została pokazana na rys. 1.6.



Rys. 1.5: Widok płyty czołowej multimetru ręcznego U1252B



Rys. 1.6: Widok płyty czołowej multimetru laboratoryjnego

Multimetr 34450A służy do pomiaru 11 różnych wielkości elektrycznych, m.in.: napięcia stałego i zmiennego, prądu stałego i zmiennego, oporu, pojemności itd. Lista mierzonych wielkości jest podobna jak w przypadku multimetru ręcznego U1252B, przy czym multimetr 34450A jako urządzenie stacjonarne charakteryzuje się znacząco lepszą dokładnością pomiaru.

Warto zapamiętać skróty DC (ang. *direct current*) oznaczający obwód prądu stałego, w którym wszystkie napięcia i prądy są stałe), a także AC (ang. *alternating current*), dotyczący

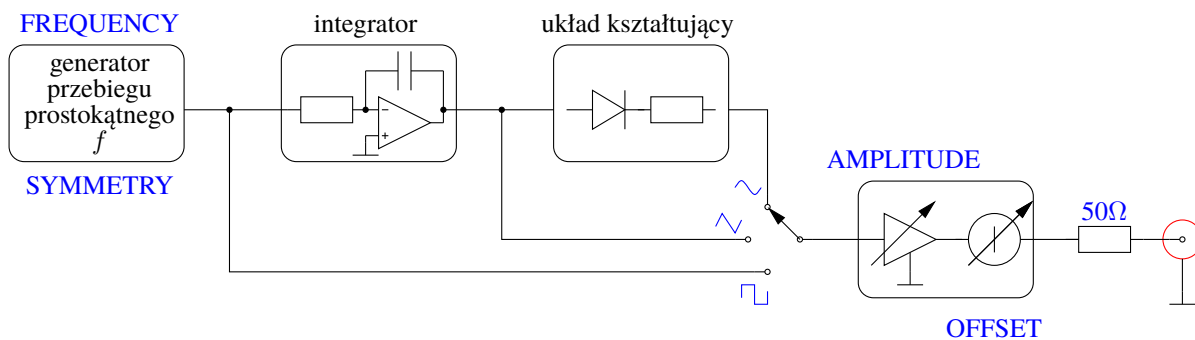
obwodów prądu zmiennego. Występujące na przyciskach symbole należy odczytywać w następujący sposób:

- DCV napięcie stałe
- ACV napięcie zmienne
- DCI prąd stały
- ACI prąd zmienny

Omówienia wymaga 6 zacisków wejściowych multimetru. Oprócz czterech omówionych przy okazji multimetru U1242B, występują jeszcze dwa dodatkowe przeznaczone do wykorzystania przy pomiarze oporu w specjalnym układzie 4-przewodowym, stosowanym przy dokładniejszych pomiarach.

1.1.4 Generator funkcyjny

Generator funkcyjny jest źródłem napięć zmiennych w postaci fali sinusoidalnej, prostokątnej lub trójkątnej o regulowanych w szerokim zakresie: częstotliwości oraz amplitudzie sygnału wyjściowego. Schemat blokowy klasycznego generatora przedstawiono na rys. 1.7.



Rys. 1.7: Schemat blokowy klasycznego generatora funkcji

Pierwotnym źródłem sygnału w analogowym generatorze funkcyjnym jest układ generatora przebiegu prostokątnego (np. zbudowany w oparciu o tzw. przerzutnik Schmitta). Wytworza on przebieg prostokątny o określonej częstotliwości f i znormalizowanej amplitudzie oraz o regulowanym współczynniku wypełnienia. W celu uzyskania przebiegu trójkątnego poddaje się przebieg prostokątny procesowi całkowania w układzie integratora. Przebieg sinusoidalny jest otrzymywany następnie przez aproksymację odcinkowo-liniową z przebiegu trójkątnego w układzie kształtującym sinusoidę (zbudowanym najczęściej z diod, oporników i źródeł napięcia). Ukształtowany przebieg, w zależności od wyboru użytkownika, jest podawany na układ wyjściowy. Jego zadaniem jest umożliwienie regulacji amplitudy i składowej stałej (ang. *offset*) przebiegu wyjściowego, oraz zapewnienie odpowiedniej mocy i oporu wyjściowego generatora.

1.1.4.1 Parametry generatora

Rodzaj generowanego sygnału określa możliwe do uzyskania kształty generowanych sygnałów. Podstawowe wersje generatorów dostarczają przebiegów: prostokątnego, trójkątnego oraz sinusoidalnego.

Zakres częstotliwości sygnału określa zakres możliwych do uzyskania częstotliwości sygnału wyjściowego, przy którym gwarantowane są inne parametry generatora. Podawane są z reguły wartości na poszczególnych podzakresach. Typowy zakres dla generatorów funkcyjnych wynosi od 1 Hz do ok. 1 MHz.

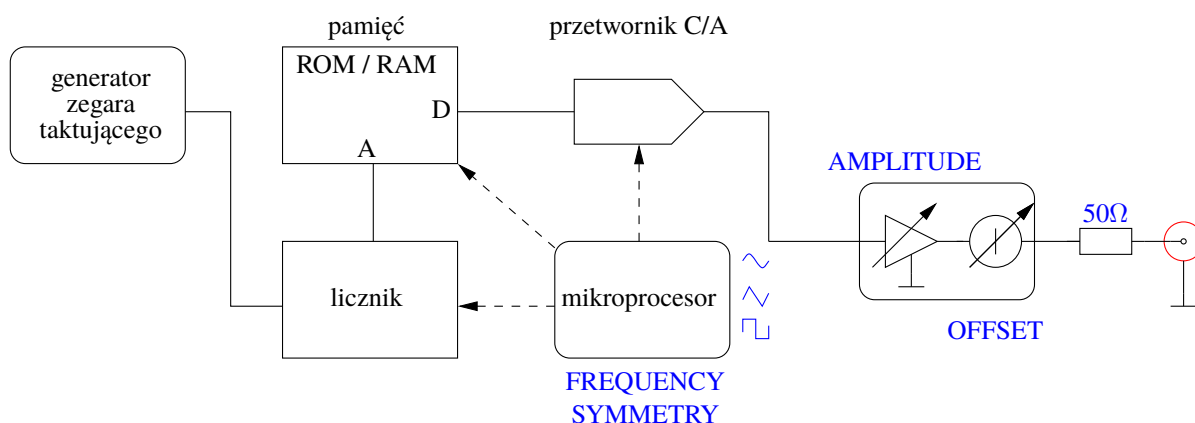
Zakres regulacji napięcia wyjściowego jest to zakres możliwych do uzyskania amplitud sygnału oraz poziomu składowej stałej. Parametr ten podawany jest zawsze przy określonym obciążeniu wyjścia generatora (np. 50 Ω), lub dla wyjścia rozwartego.

Opór wyjściowy jest to opór, jaki przedstawia sobą obwód wyjściowy generatora (w przybliżeniu w całym zakresie częstotliwości i amplitud sygnału). Typowa wartość wynosi 50 Ω , ale występują również wartości 75, 150, 300 i 600 Ω .

Stabilność częstotliwości jest to procentowa zmiana częstotliwości sygnału w określonym czasie. Zwykle określa się stabilność krótkoterminową (w okresie 5...20 min) i długoterminową (w okresie 2...24 h).

Parametry generowanych sygnałów określają szczegółowo charakterystyczne parametry poszczególnych sygnałów, np. współczynnik zawartości harmonicznych dla sygnału sinusoidalnego (będący miarą jego odkształcenia od „matematycznej” sinusoidy), czy czas narastania i opadania zboczy dla sygnału prostokątnego.

Wraz z rozwojem technologii oraz techniki komputerowej zmieniała się konstrukcja aparatury pomiarowej. Standardem światowym jest obecnie komputerowe sterowanie aparatury pomiarowej oraz, wszędzie gdzie to jest możliwe, zastępowanie konstrukcji klasycznej (analogowej) wersją cyfrową. Konstrukcja cyfrowa przyrządu pozwala osiągać lepsze parametry techniczne, większą niezawodność, umożliwia konstruowanie tzw. modułowych wersji przyrządów, a z racji swojego cyfrowego charakteru umożliwia łatwą współpracę z systemem komputerowym. Przykładem takiego rozwiązania może być cyfrowy generator funkcji lub dowolnych przebiegów. Schemat blokowy takiego generatora przedstawiony został na rys. 1.8.



Rys. 1.8: Schemat blokowy cyfrowego generatora funkcji

W generatorze tym źródłem sygnału jest pamięć (stała ROM lub zapisywalna RAM), w której przechowywane są kolejne, cyfrowe wartości amplitudy sygnału (próbki). Wartości

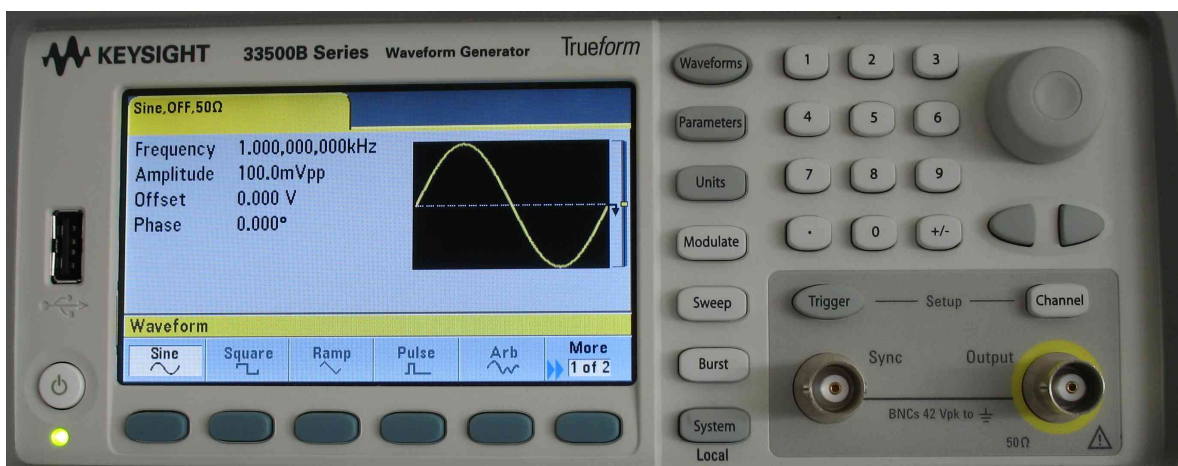
te mogą być, w przypadku pamięci zapisywalnej, dowolnie zmieniane za pomocą układu sterującego — daje to możliwość generacji dowolnego sygnału okresowego, zależnie od potrzeb użytkownika. Pamięć stała daje możliwość generacji również dowolnych sygnałów, ale tylko z określonego zestawu w niej zapisanego, bez możliwości ich modyfikacji przez użytkownika.

Wartości próbek sygnału są następnie przetwarzane na wartości analogowe w przetworniku cyfrowo-analogowym C/A i przesyłane do klasycznego układu wyjściowego. Regulacja częstotliwości generowanego sygnału odbywa się przez zmianę częstotliwości generatora taktującego. Jest to z reguły stabilizowany kwarcem generator z cyfrową regulacją częstotliwości wyjściowej, np. przez zmianę stopnia podziału częstotliwości podstawowej. Przebieg taktujący jest następnie podawany na licznik połączony z szyną adresową pamięci, którego zadaniem jest wybieranie kolejnych próbek sygnału z pamięci. Licznik liczy „na okrągło” (modulo liczba stanów) i stąd wynika możliwość generacji jedynie sygnałów okresowych. Liczba bitów licznika wyznacza nam liczbę możliwych stanów, a przez to maksymalną liczbę próbek, z których będzie się składał sygnał generowany. Częstotliwość sygnału na wyjściu generatora jest ilorazem częstotliwości generatora taktującego przez liczbę próbek.

Całość kontroli nad wszystkimi funkcjami pełni układ sterujący, którym może być mikroprocesor lub komputer. Wszelkie regulacje, nastawy i odczyt parametrów są wówczas dostępne przez ekran komputera. Jedynym fizycznym elementem na płycie czołowej takiego generatora jest tylko jego gniazdo wyjściowe.

1.1.4.2 Generator funkcyjny wykorzystywany w ćwiczeniu

W Laboratorium Podstaw Pomiarów jest wykorzystywany generator funkcyjny z serii 33500B firmy Keysight Technologies. Płyta czołowa tego generatora została pokazana na rys. 1.9. Umożliwia on generowanie między innymi sygnałów sinusoidalnych, prostokątnych, trójkątnych, impulsowych oraz arbitralnych, czyli sygnałów o dowolnym kształcie wgranych do pamięci przyrządu.



Rys. 1.9: Widok płyty czołowej generatora funkcyjnego

W celu wybrania jednego z podstawowych kształtów sygnału należy nacisnąć klawisz *Waveform*, a następnie za pomocą klawiszy funkcyjnych (obsługujących menu kontekstowe u dołu ekranu) wybrać wymagany sygnał. Każdy sygnał w zależności od kształtu jest sch-

rakteryzowany przez szereg parametrów takich jak: częstotliwość, amplituda, składowa stała, przesunięcie fazowe, symetria oraz czasy narastania i opadania. Wartości tych parametrów można ustawić po naciśnięciu klawisza `Parameters`. Klawiszami funkcyjnymi dokonuje się wyboru odpowiedniego parametru, natomiast zmian wartości dokonujemy za pomocą klawiatury numerycznej, albo pokręteł z wykorzystaniem klawiszy kursorów do zmiany ustawianej pokręteł cyfry.

Generator wspomaga użytkownika przy ustawianiu parametrów napięciowych sygnałów (np. wartości międzyszczytowej napięcia oznaczanej jako V_{pp}) uwzględniając obciążenie wyjścia generatora. Standardowo generator wyświetla ustawiane wartości napięć takie, jakie występowałyby po obciążeniu generatora oporem $50\ \Omega$. Takie obciążenie wraz z oporem wewnętrznym generatora (wynoszącym także $50\ \Omega$) tworzy dzielnik napięciowy o współczynniku podziału $\frac{1}{2}$. Jednak zarówno oscyloskop, jak i moduły pomiarowe, mają opór znacznie większy (co najmniej $1\ M\Omega$). W związku z tym rzeczywiste wartości napięć będą około dwa razy większe niż wyświetlane na domyślnie skonfigurowanym wyświetlaczu generatora. W celu korekcy tych wartości można przełączyć wartość uwzględnianego przez przyrząd oporu obciążenia na dużą (nieskończoną) wartość, oznaczoną jako `High Z`¹. W tym celu należy nacisnąć przycisk `Channel`, następnie przycisk funkcyjny `Output Load` i wybrać wartość `Set To High Z`.

Uwaga — standardowo wyjście generatora jest nieaktywne mimo wyboru wymaganego sygnału i ustawienia jego parametrów. Aby włączyć wyjście generatora należy nacisnąć klawisz `Channel` i w menu kontekstowym wybrać odpowiedni stan wyjścia generatora klawiszem funkcyjnym `Output On/Off`.

1.1.5 Pomiar czasu i częstotliwości

Częstotliwość sygnału jest jedną z najczęściej mierzonych wielkości elektrycznych i jest nierozłącznie związana z pojęciem czasu i okresowości zjawisk. W uproszczeniu okresowość przebiegu dowolnej wielkości oznacza występowanie takich samych wartości tej wielkości w jednakowych odstępach czasu. A teraz ścisła definicja. Niech przebieg jakiejś wielkości, np. napięcia u , będzie opisany funkcją $u(t)$ określoną dla wszystkich wartości czasu t . Przebieg jest okresowy, jeśli istnieje taka liczba $T > 0$ (nazywana okresem funkcji $u(t)$), która dodana do argumentu tej funkcji nie powoduje zmiany jej wartości, tzn. że dla wszystkich t zachodzi $u(t + T) = u(t)$.

Odwrotność okresu T jest częstotliwością f przebiegu:

$$f = \frac{1}{T} \quad (1.1)$$

Jednostką częstotliwości jest Hz, a jednostką okresu (czasu) jest s. W technice pomiarowej stosuje się często jednostki wielokrotne częstotliwości (np. kHz, MHz, GHz) i odpowiednie jednostki podwielokrotne czasu (np.: ms, μ s, ns).

Częstotliwość i okres sygnału są wielkościami, których wartość może być zmierzona z bardzo dużą dokładnością za pomocą częstotliciemierzy cyfrowych. Jest to możliwe dzięki istnieniu doskonałych wzorców. Współcześnie stosowanymi wzorcami częstotliwości są wzorce kwarcowe i molekularne.

¹Symbol Z oznacza nie opór, tylko tzw. impedancję. Pojęcie impedancji zostanie wyjaśnione w toku dalszej nauki. Dla potrzeb niniejszego ćwiczenia można impedancję utożsamiać z oporem

Należy jednak zdawać sobie sprawę, że częstotliwość dowolnych sygnałów rzeczywistych podlega ciągłym zmianom losowym. Do oceny niestałości częstotliwości źródeł sygnału, zwłaszcza wzorców częstotliwości, wykorzystuje się względne średniokwadratowe odchylenie częstotliwości w określonym przedziale czasu. Rozróżnia się niestałość *krótkookresową* (w odniesieniu do czasów uśredniania poniżej 1 s) i niestałość *długookresową* (w odniesieniu do czasów uśredniania powyżej 1 s — np.: 1 godzina, 1 doba, 1 miesiąc, 1 rok). Niestaość krótkookresowa charakteryzuje chwilowe zmiany częstotliwości wywołane czynnikami losowymi, zaś niestałość długookresowa jest związana z systematyczną zmianą częstotliwości źródła, wywołaną np. starzeniem się elementów. Niestaość częstotliwości w najlepszych wzorcach kwarcowych nie przekracza $10^{-8} \dots 10^{-9}$ na miesiąc i $10^{-10} \dots 10^{-11}$ na godzinę, zaś we wzorcach molekularnych — $3 \cdot 10^{-14}$ na godzinę. Niestaość krótkookresowa wzorców częstotliwości najczęściej spotykanych częstościomierzy cyfrowych wynosi przykładowo $2 \cdot 10^{-8}$ dla temperatury ok. 25 °C, a dla zmian temperatury w przedziale 5...40 °C niepewność określenia częstotliwości wynosi $2,5 \cdot 10^{-6}$.

Do ważniejszych metod pomiaru częstotliwości, stosowanych zwłaszcza w pomiarach o dużej dokładności, należą metody:

- 1 cyfrowa,
- 2 interferencyjna.

Częstotliwość sygnału może być mierzona także innymi metodami, np.:

- 3 rezonansową,
- 4 oscyloskopowymi.

Metoda cyfrowa polega na zliczaniu liczby n okresów przebiegu mieszczących się we wzorcowym przedziale czasu T_w i określeniu częstotliwości bezpośrednio według wzoru definicyjnego:

$$f = \frac{n}{T_w} \quad (1.2)$$

(por. rys. 1.10).

Odmianą tej metody jest pomiar okresu T przebiegu przez zliczanie liczby n wzorcowych przedziałów czasu T_w mieszczących się w okresie T (por. rys. 1.11). Okres wyznacza się ze wzoru:

$$T = nT_w \quad (1.3)$$

Można także wyznaczać okres średni, zliczając liczbę n wzorcowych przedziałów czasu T_w mieszczących się w K -tej wielokrotności okresu, czyli w czasie KT :

$$\bar{T} = \frac{1}{K} nT_w \quad (1.4)$$

Częstotliwość oblicza się pośrednio ze wzoru (1.1), jako odwrotność okresu.

Metoda cyfrowa pomiaru częstotliwości jest podstawą działania częstościomierzy cyfrowych. Jest stosowana bezpośrednio w zakresie od ułamków Hz do 1 GHz, a przy użyciu przetworników częstotliwości — do kilkudziesięciu GHz. Najmniejsza osiągnięta niedokładność pomiaru zależy od niedokładności zastosowanego wzorca częstotliwości.

Metoda cyfrowa daje się w dogodny sposób realizować w systemach pomiarowych wspomaganych komputerem, gdzie zliczane impulsy uzyskiwane są w wyniku próbkowania mierzonego sygnału, a wynik pomiaru — dzięki odpowiednim procedurom obliczeniowym.

Metody oscyloskopowe² pomiaru częstotliwości i czasu polegają głównie na pomiarze parametrów czasowych obserwowanego oscylogramu okresowego sygnału napięciowego. W zależności od sposobu odchyłania poziomego pomiary dokonywane są następująco:

1. Przy liniowej podstawie czasu okres T (lub jego wielokrotność KT) jest wyznaczany za pomocą pomiaru odległości d [div] między wybranymi wartościami chwilowymi napięcia o tym samym kierunku zmiany na osi czasu i na podstawie znajomości współczynnika skalowania generatora podstawy czasu C s/div lub C ms/div, zgodnie ze wzorem:

$$T = Cd$$

Ze względu na czytelność oscylogramu, liczba okresów badanego sygnału obserwowana na ekranie nie może być zbyt duża. Oznacza to, że wartość współczynnika C generatora podstawy czasu musi być tak dobrana, aby na ekranie było uwidocznionych co najwyżej kilka okresów badanego sygnału.

Podstawowymi źródłami niepewności pomiaru czasu (częstotliwości) są:

- niepewność odczytu długości odcinka d — przyjmuje się, że niepewność graniczna jest wtedy równa co najmniej 0,1 div (ok. 1 mm),
 - niepewność kalibracji generatora podstawy czasu $\Delta(C)$.
2. Przy sinusoidalnej podstawie czasu oscyloskop jest używany jako wskaźnik zrównania się ze sobą częstotliwości mierzonej f i częstotliwości wzorcowej f_w sygnałów doprowadzonych do kanałów odpowiednio X i Y oscyloskopu. Zrównanie się tych częstotliwości rozpoznajemy przez uzyskanie stabilnego oscylogramu w postaci elipsy. Źródłami niepewności pomiaru są zatem:
 - niepewność generatora wzorcowego,
 - niepewność zrównania częstotliwości.

Metoda ta jest stosowana w zakresie do kilkudziesięciu kHz.

Wymienione metody oscyloskopowe nie zapewniają dużej dokładności, tj. co najwyżej od kilku do kilkunastu %, niemniej są bardzo często używane (zwłaszcza przy liniowej podstawie czasu) z uwagi na prostotę pomiarów i częstą konieczność wykonania przybliżonych pomiarów, poprzedzających dokładniejsze pomiary z użyciem innych metod.

1.1.6 Częstościomierz cyfrowy

W niniejszym ćwiczeniu nie będziemy stosowali częstościomierza cyfrowego jako oddzielnego przyrządu. Będziemy jednak wykorzystywali możliwość pomiaru częstotliwości za pomocą

²Przed przeczytaniem dalszej części niniejszego punktu warto zapoznać się z zasadą działania oscyloskopu, opisaną w punktach 1.1.7.1 i 1.1.7.2.

oscylloskopu, która odbywa się na tej samej zasadzie. Ponadto w późniejszych ćwiczeniach będzie wykorzystywany częstotściomierz. Dlatego obecnie wyjaśnimy pokrótce zasadę działania tego przyrządu.

Spotykane najczęściej częstotściomierze cyfrowe są przyrządami uniwersalnymi. Do wielkości standardowych mierzonych tymi przyrządami zalicza się: częstotliwość i okres. Dodatkowo, częstotściomierze są często wyposażane w możliwość pomiaru stosunku dwóch częstotliwości i możliwość zliczania impulsów w wybranym czasie. Zasada pracy tych przyrządów jest podobna, a różnice obejmują przede wszystkim:

1. zestaw rodzajów mierzonych wielkości,
2. udoskonalenia metod pomiarowych, zapewniające poprawę dokładności pomiaru podstawowych wielkości, tj. przykładowo:
 - częstotliwości — dzięki automatycznej minimalizacji niepewności pomiaru wynikającej z dyskretyzacji,
 - okresu — dzięki automatycznemu pomiarowi okresu średniego,
3. zakres pomiaru,
4. sposób wyświetlania wyników pomiaru.

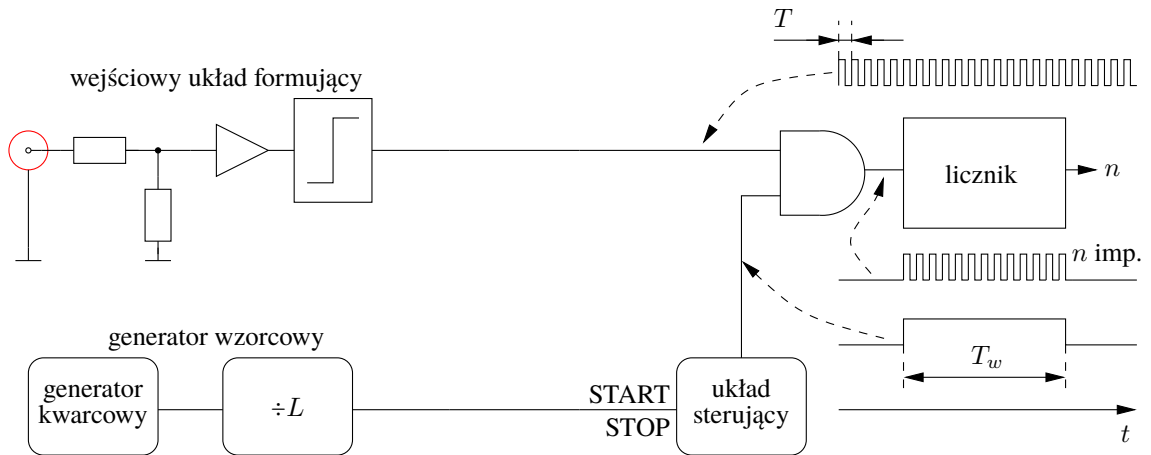
Pomiary poszczególnych wielkości dokonywane są z użyciem różnych układów pomiarowych, których uproszczone schematy blokowe przedstawiono na rysunkach rys. 1.10 i rys. 1.11. Blokami wspólnymi o podobnym przeznaczeniu w tych układach są:

- wejściowy układ formujący, złożony z wejściowego dzielnika napięcia, wzmacniacza sygnału i układu ogranicznika napięcia,
- generator wzorcowy, złożony z generatora kwarcowego i dzielnika częstotliwości,
- układ sterujący,
- bramka AND,
- licznik impulsów.

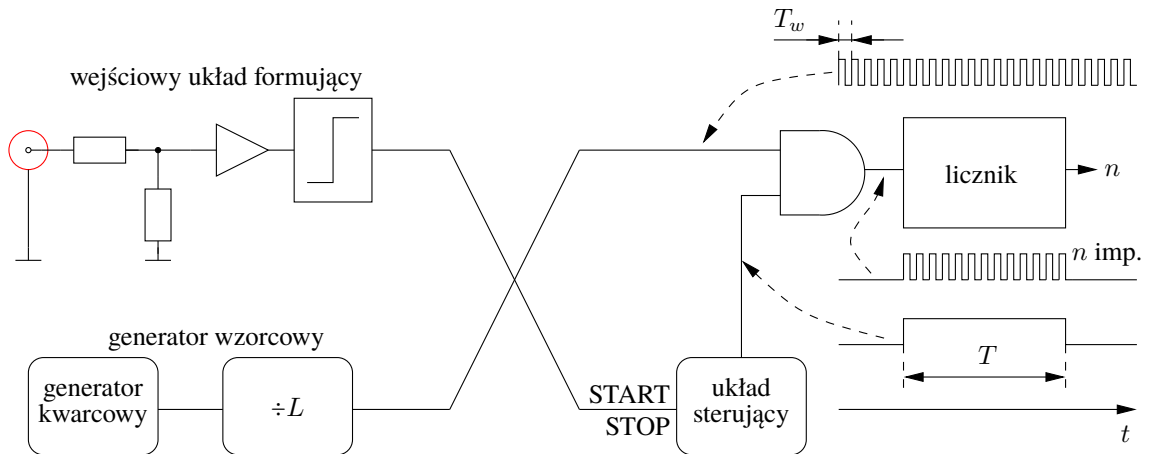
1.1.6.1 Pomiar częstotliwości metodą bezpośrednią

Przy bezpośrednim pomiarze częstotliwości podstawowe bloki częstotściomierza liczącego są połączone w sposób pokazany na rys. 1.10. Sygnał z generatora wzorcowego jest doprowadzany do wejścia START/STOP układu sterującego, który wytwarza impuls otwierający bramkę w ciągu wzorcowego odcinka czasu T_w . W tym czasie licznik zlicza impulsy o częstotliwości $f = 1/T$ sygnału mierzonego, doprowadzonego do wejścia. Znajomość liczby n zliczonych impulsów pozwala na wyznaczenie mierzonej częstotliwości zgodnie ze wzorem (1.2).

Przy ustalonej stabilności generatora kwarcowego, dokładność pomiaru częstotliwości maleje wraz ze zmniejszaniem się wartości mierzonej częstotliwości f i jest określona przez niepewność wynikającą z dyskretyzacji.



Rys. 1.10: Schemat blokowy częstotściomierza przy bezpośrednim pomiarze częstotliwości



Rys. 1.11: Schemat blokowy częstotściomierza przy pomiarze okresu

1.1.6.2 Pomiar okresu (lub okresu uśrednionego)

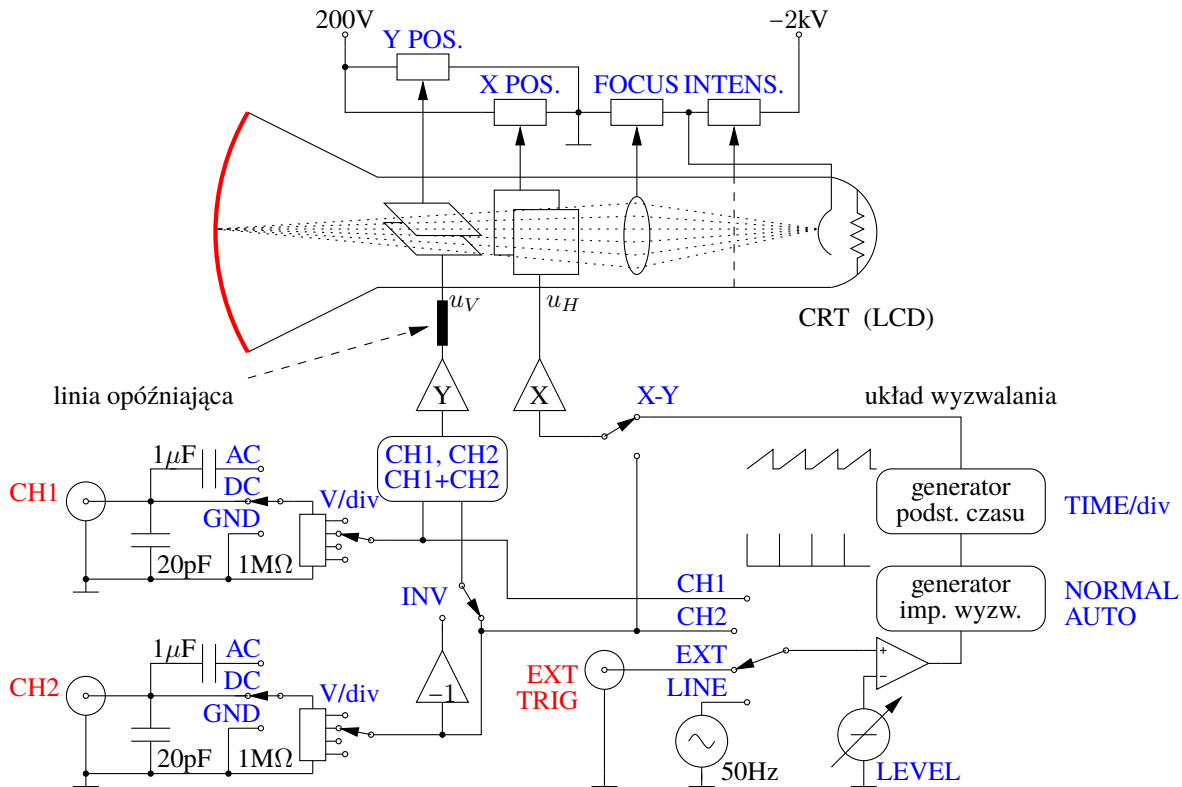
Bloki częstotściomierza są połączone tym razem w sposób pokazany na rys. 1.11. Sygnał z wejścia, o okresie mierzonym T , po uformowaniu w wejściowym układzie formującym (i ewentualnie po podzieleniu jego częstotliwości przez $K = 1, 10, 100, \dots$ — ten dzielnik nie został pokazany na rysunku, aby go zbyt nie komplikować, a za to podkreślić podobieństwo do rys. 1.11) jest doprowadzany wejścia START/STOP układu sterującego. Układ ten otwiera bramkę w ciągu odcinka czasu równego jednemu okresowi T (lub jego wielokrotności KT). W tym czasie licznik zlicza impulsy generatora wzorcowego o częstotliwości $f_w = 1/T_w$. Znamość liczby n zliczonych impulsów pozwala na określenie mierzonego okresu T zgodnie ze wzorem (1.3) (lub okresu uśrednionego $\bar{T}$ podczas trwania K okresów mierzonego sygnału zgodnie ze wzorem (1.4)).

Pomiar okresu jest wykorzystywany do wyznaczenia metodą pośrednią częstotliwości sygnału, zwłaszcza o małych częstotliwościach, gdyż umożliwia wówczas zwiększenie dokładności pomiaru w porównaniu z bezpośrednią metodą pomiaru częstotliwości. Bezpośredni sposób pomiaru częstotliwości jest natomiast korzystniejszy w przypadku wysokich częstotli-

wości.

1.1.7 Oscyloskop

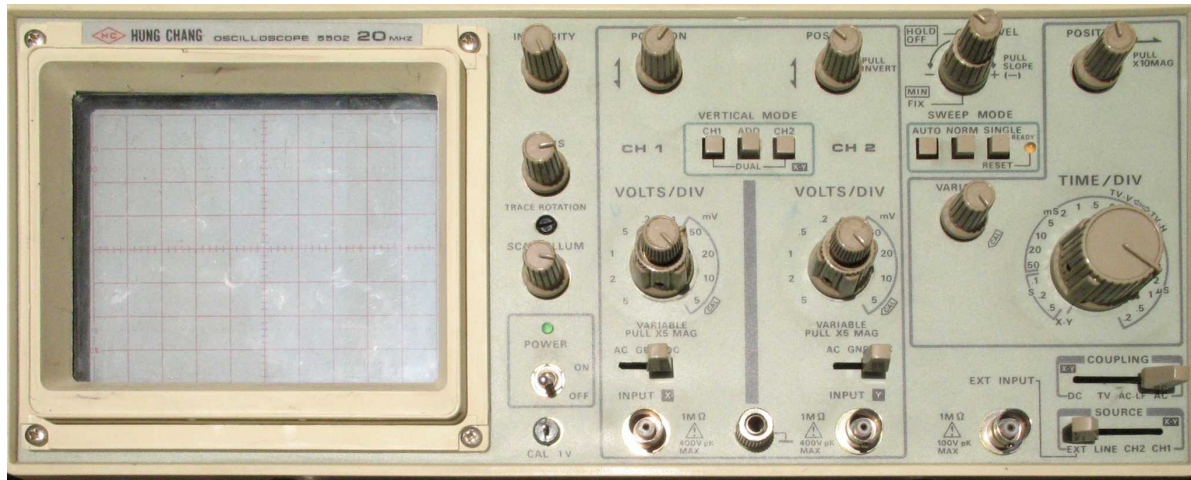
1.1.7.1 Zasada działania oscyloskopu analogowego



Rys. 1.12: Uproszczony schemat oscyloskopu analogowego

Podstawowym elementem oscyloskopu jest lampa oscyloskopowa (CRT, od ang. *Cathode Ray Tube*), której uproszczony schemat przedstawiono w górnej części rys. 1.12.

Zasada pracy lampy oscyloskopowej jest następująca: *wyrzutnia elektronów* emituje z katody *strumień elektronów*, który uderza w pokryty luminoforem *ekran* i w miejscu tego uderzenia powstaje widoczna z zewnątrz, świecąca plamka. Pozycję plamki na ekranie określają: napięcie u_V przyłożone do płytek (poziomych) odchylenia pionowego i napięcie u_H przyłożone do płytek (pionowych) odchylenia poziomego. Indeksy *H* i *V* pochodzą od angielskich słów: *Horizontal* — poziomy i *Vertical* — pionowy. Przesunięcie plamki w pionie (poziomie) jest *liniowo* zależne od zmiany napięcia u_V (u_H). Jeśli więc napięcie sterujące ruchem plamki w poziomie u_H będzie narastać liniowo, zaczynając od napięcia odpowiednio niskiego, a napięcie sterujące ruchem plamki w pionie u_V będzie stałe, to plamka wykona ruch: na ekranie zostanie narysowana linia pozioma. Narysowana jeden raz linia może nie zostać zauważona przez obserwatora. Jeśli jednak napięcie u_H jest sygnałem okresowym *piłokształtnym*, jak na wyjściu generatora podstawy czasu na rys. 1.12, to przy stałym napięciu u_V linia pozioma na ekranie będzie rysowana wielokrotnie w tym samym miejscu, dzięki czemu stanie się widoczna.



Rys. 1.13: Widok płyty czołowej oscyloskopu Hung Chang 5502

Źródłem napięcia piłokształtnego w oscyloskopie jest *generator podstawy czasu*. Pokrętko regulacji czasu narastania tego napięcia TIME/div znajduje się na płycie czołowej oscyloskopu (por. rys. 1.13).

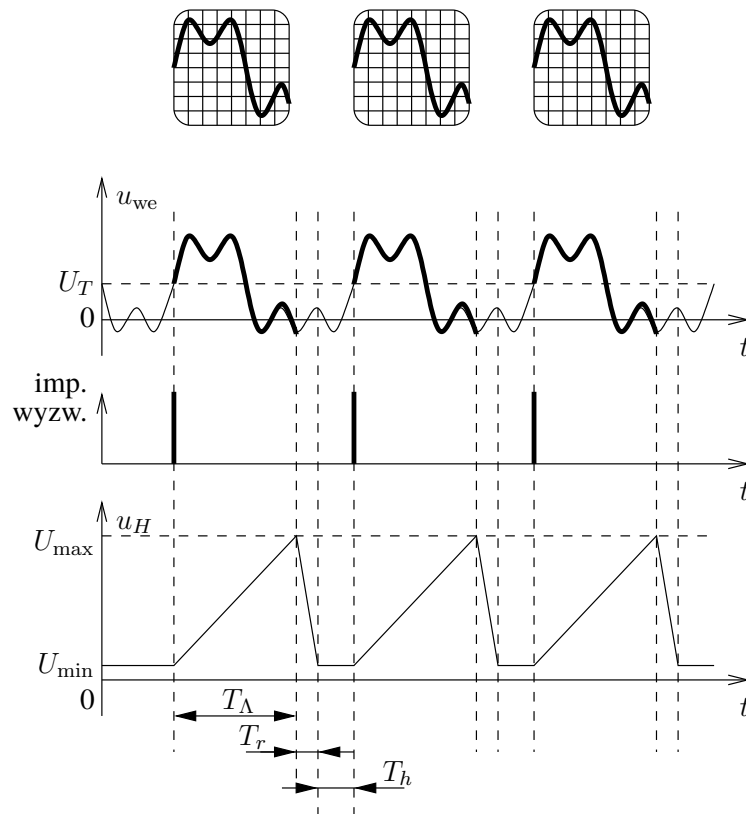
Napięcie u_V nie musi być oczywiście stałe. Zazwyczaj jest to napięcie zmienne w czasie, którego kształt jest przedmiotem obserwacji i pomiaru. Nie jest to jednak napięcie bezpośrednio doprowadzone do wejścia oscyloskopu. Napięcie wejściowe musi zostać odpowiednio wzmacnione lub słumione, do czego służą układy *toru odchyłania pionowego*, zwanego też *torem Y*. Pokrętko regulacji współczynnika odchyłania toru Y (V/div) znajduje się na płycie czołowej oscyloskopu.

Czułością przyrządu pomiarowego nazywamy pochodną wielkości wyjściowej względem wielkości wejściowej. Zwróćmy uwagę, że w przypadku oscyloskopu pokrętki regulacji współczynników odchyłania torów odchyłania pionowego i poziomego wyskalowane są w jednostkach odpowiadających odwrotności czułości: V/div lub TIME/div .

Stabilny i czytelny oscylogram można uzyskać wyłącznie wtedy, gdy plamka poruszając się po ekranie, za każdym przebiegiem rysuje ten sam kształt w tym samym miejscu. Oznacza to, że sygnał wejściowy musi być sygnałem okresowym. To, że oscylogram jest rysowany zawsze w tym samym miejscu na ekranie, jest możliwe dzięki *układowi wyzwalania* oscyloskopu, znajdującemu się w prawej dolnej części rys. 1.12.

Sygnał wyzwalający jest doprowadzony do wejścia komparatora (oznaczonego symbolem wzmacniacza operacyjnego) za pośrednictwem układu sprzęgającego. Rodzaj tego sprzężenia można ustawić za pomocą przełącznika znajdującego się na płycie czołowej oscyloskopu. Zmiana stanu na wyjściu komparatora następuje w momencie, gdy poziom napięcia sygnału wyzwalającego przekracza pewną wartość progową U_T zwaną *poziomem wyzwalania* i ustawianą przez użytkownika pokrętkiem LEVEL na płycie czołowej (por. rys. 1.14).

Zmiana stanu na wyjściu komparatora spowodowana przejściem sygnału wyzwalającego przez poziom wyzwalania w określonym kierunku (np. w górę) powoduje uruchomienie *generatora impulsów wyzwalających*. Impuls wyzwalający powoduje, że generator podstawy czasu generuje jeden impuls piłokształtny (jeden „ząb piły”). To, czy wyzwalanie następuje przy narastaniu, czy przy opadaniu sygnału wyzwalającego, można ustawić odpowiednim przełącznikiem SLOPE . Sygnałem wyzwalającym może być obserwowany sygnał z kanału CH1 lub CH2,



Rys. 1.14: Zasada działania układu wyzwalania; U_T — poziom wyzwalania. Dla $U_{\min}$ plamka znajduje się z lewej strony ekranu, a dla $U_{\max}$ — z prawej.

dotatkowy sygnał doprowadzony z zewnętrznego wejścia EXT lub sygnał z sieci zasilającej (LINE).

Działanie układu wyzwalania zilustrowano na rys. 1.14 dla przypadku, gdy sygnałem wyzwalającym jest sygnał obserwowany u_{we} . Ustawiając odpowiednio poziom wyzwalania U_T zapewnia się identyczne tory ruchu plamki po ekranie oscyloskopu dla każdego okresu sygnału mierzonego (ilustrują to ramki u góry rysunku). Piłokształtne napięcie u_H na wyjściu generatora podstawy czasu ma niezerowy czas opadania T_r . Nie powoduje on jednak powstania zakłócającego obrazu na ekranie, ponieważ przy ruchu powrotnym plamka jest wygaszana.

Warto zauważyć, że opisany system wyzwalania pozwala na obserwację nie tylko sygnałów okresowych, ale również impulsów o jednakowym kształcie, pojawiających się w nierównych odstępach czasu.

Omówione wyżej układy są podstawowymi blokami oscyloskopu, którego uproszczony schemat przedstawiono na rys. 1.12. Widoczna na nim *linia opóźniająca* powoduje, że generator podstawy czasu zostanie uruchomiony, zanim początkowy fragment sygnału obserwowanego „dotrze” do płytek odchylania pionowego.

Oscyloskop często jest wyposażony w dwa (lub więcej) tory odchylania pionowego (zwane też kanałami — CH1 i CH2), dzięki czemu możliwe jest obserwowanie dwóch (lub więcej) różnych sygnałów jednocześnie. Układ wyzwalania jest jeden, więc uzyskanie stabilnego obrazu dwóch sygnałów jednocześnie jest możliwe tylko wtedy, gdy pozostają one ze sobą w stałej zależności czasowej — są ze sobą zsynchronizowane.

Możliwe jest przełączenie oscyloskopu dwukanałowego w tzw. tryb pracy X-Y. Układ podstawy czasu jest wtedy odłączony. Sygnał dołączony do kanału X steruje ruchem plamki w poziomie, a sygnał dołączony do kanału Y — w pionie. Ten tryb pracy można np. wykorzystać do badania charakterystyk przejściowych układów. Do toru X dołącza się napięcie wejściowe u_{we} układu badanego, a do toru Y — jego napięcie wyjściowe u_{wy} . Jeśli napięcie wejściowe u_{we} jest okresowe, to na ekranie powstanie wykres funkcji $u_{wy} = f(u_{we})$, praktycznie niezależnie od kształtu napięcia wejściowego.

Warto zwrócić uwagę na przełącznik AC/DC/GND przy obu gniazdach wejściowych na rys. 1.12. W pozycji DC wejście jest połączone bezpośrednio (przewodem) z dzielnikiem napięciowym służącym do regulacji czułości. Jest to tzw. sprzężenie stałoprądowe, w którym oscyloskop pokazuje sygnał wejściowy. W pozycji AC włączany jest szeregowo duży kondensator. Jego pojemność (przykładowo 1 μF) została dobrana tak, że ładuje się on do napięcia równego składowej stałej (wartości średniej) sygnału wejściowego, ale na skutek dużej pojemności nie nadąża się ładować i rozładowywać w ślad za szybkimi zmianami wartości chwilowej sygnału. Napięcie na tym kondensatorze jest więc w przybliżeniu stałe (i równe składowej stałej sygnału), a więc zgodnie z zasadą kompensacji można go zastąpić idealnym źródłem napięciowym o SEM równej składowej stałej. SEM tego źródła *odejmuje się* więc od sygnału, a oscyloskop pokazuje przebieg sygnału *bez* składowej stałej. Jest to tzw. sprzężenie zmiennoprądowe wejścia oscyloskopu. Wreszcie w pozycji GND wejście jest odłączone, a oscyloskop pokazuje napięcie masy, czyli zero. Pozycja ta bywa używana do lokalizacji na ekranie położenia zera osi pionowej.

Oscyloskop charakteryzuje się stosunkowo dużym *oporem wejściowym* i małą *pojemnością wejściową*. Typowe wartości to $R = 1 \text{ M}\Omega$ i $C = 20 \dots 30 \text{ pF}$. Oznacza to, że wpływ oscyloskopu na źródło sygnału mierzonego jest na ogół niewielki.

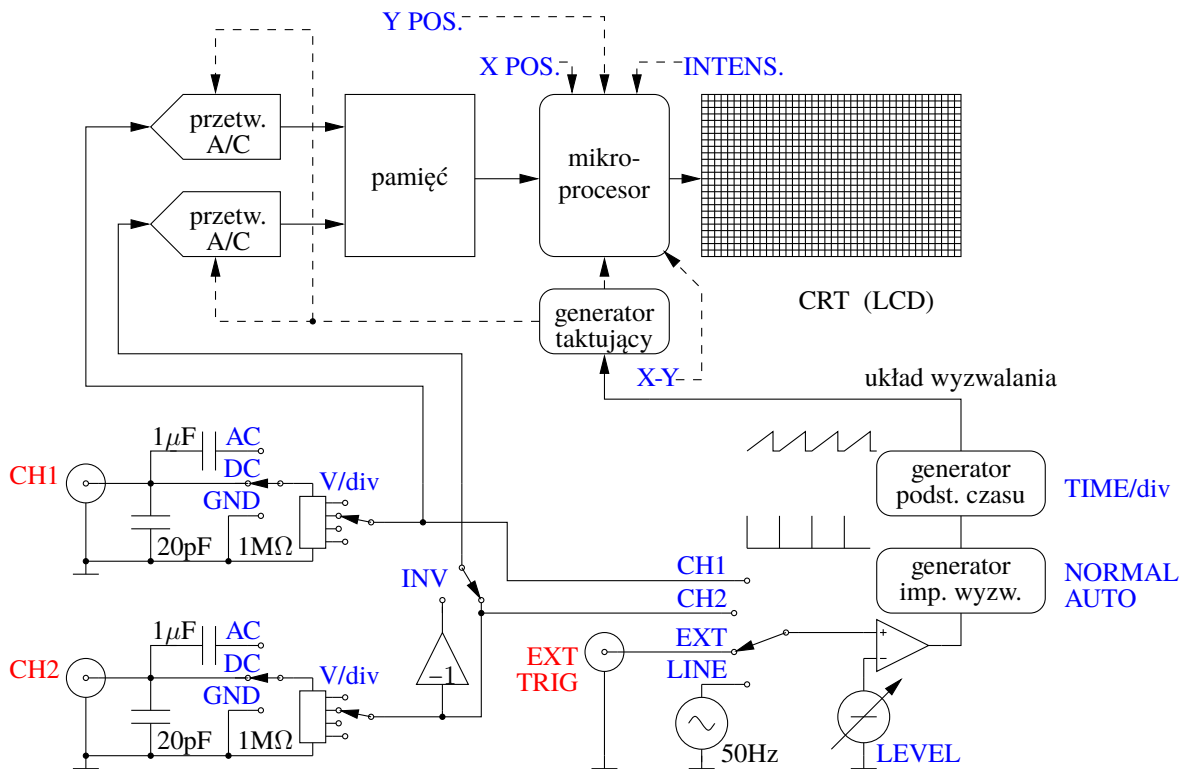
W wypadku dokonywania pomiarów sygnałów ze źródeł o oporze wyjściowym porównywalnym z oporem wejściowym oscyloskopu, błąd metody pobrania może być jednak znaczny. Zastosowanie odpowiedniej sondy pomiarowej (będącej w istocie po prostu dzielnikiem napięciowym) pozwala zwiększyć opór wejściowy np. 10, 100, a nawet 1000 razy, ale kosztem proporcjonalnego zmniejszenia napięcia podawanego na płytki odchyłania pionowego oscyloskopu.

1.1.7.2 Zasada działania oscyloskopu cyfrowego

Obecnie coraz częściej spotyka się nowoczesne oscyloskopy cyfrowe. Mają one wiele zalet, m.in.:

- są tańsze w produkcji od przyrządów analogowych (producenci bardzo lubią rzeczy tańsze w produkcji, a droższe w sprzedaży, bo nowocześniejsze),
- wyświetlają *zapamiętany* przebieg, więc są w stanie bez problemu pokazywać unikalne, jednorazowe przebiegi, a nie tylko sygnały okresowe (w przyrządach analogowych stosowano w tym celu specjalne bardzo drogie tzw. pamięciowe lampy oscyloskopowe),
- mają wbudowany procesor³, więc potrafią obliczyć i wyświetlić wiele różnych parametrów pokazywanego przebiegu, np. amplitudę napięcia, częstotliwość czy okres prze-

³W dostępnych w naszym laboratorium oscyloskopach RIGOL DS1052E jest to procesor sygnałowy (DSP — ang. *Digital Signal Processor*) Blackfin firmy Analog Devices



Rys. 1.15: Uproszczony schemat oscyloskopu cyfrowego

biegu — są więc w pełnym tego słowa znaczeniu przyrządami *pomiarowymi*, a nie tylko służącymi do obserwacji,

- pozwalają na automatyzację pomiarów (nastawy przyrządu mogą być zadawane z komputera, a wyniki zapisywane na dysku do dalszej analizy).

Trzeba jednak pamiętać, że jakość zobrazowania cyfrowego jest zauważalnie gorsza niż analogowego (w lampie oscyloskopowej dodatkową informację niesie jasność plamki i czas poświaty — efekty te trudno jest dobrze symulować cyfrowo, nawet w droższych przyrządach z programowo realizowanym tzw. „fosforem cyfrowym”).

Porównanie uproszczonego schematu blokowego typowego oscyloskopu cyfrowego, przedstawionego na rys. 1.15, ze schematem oscyloskopu analogowego (rys. 1.12) pokazuje, że układy wejściowe obu przyrządów i układ wyzwalania są zrealizowane niemal identycznie (choć istnieją też inne realizacje oscyloskopu cyfrowego, mające programowy układ wyzwalania). Sygnał z układów wejściowych zamiast na płytki odchyłania oscyloskopu podawany jest jednak na dwa (po jednym dla każdego kanału) przetworniki analogowo-cyfrowe. Przetworniki te dokonują dwóch operacji:

- próbkowania sygnału, czyli „zapamiętania” jego wartości w dyskretnych, równomiernie rozłożonych chwilach czasu — dostępny w laboratorium oscyloskop RIGOL DS1052E potrafi próbować z maksymalną szybkością 1 GSa/s, czyli 1 miliarda próbek (ang. *samples*) na sekundę, czyli co 1 ns),

- kwantyzacji sygnału, czyli konwersji każdej zapamiętanej próbki na umowną wartość całkowitoliczbową — dostępny w laboratorium oscyloskop RIGOL DS1052E ma przetworniki 8-bitowe, czyli na wyjściu podaje liczby całkowite z przedziału -128...127,

a więc odpowiednio dyskretyzacji w czasie i dyskretyzacji w amplitudzie. Cyfrowe próbki sygnału z obu kanałów są zapamiętywane w pamięci RAM urządzenia.

Procesem zbierania (akwizycji) danych przez przetworniki steruje układ wyzwalania za pośrednictwem generatora taktującego. Generator ten decyduje o momencie rozpoczęcia zbierania bloku próbek przez przetworniki (wyzwolenie), a także o czasie trwania zbieranego bloku próbek i o częstotliwości próbkowania. Częstotliwość próbkowania zależy od podstawy czasu — w pierwszym przybliżeniu: chcemy zebrać mniej więcej tyle próbek sygnału, ile mamy pikseli rozdzielczości ekranu w poziomie, w takim czasie, który jest iloczynem podstawy czasu wyrażonej w s/div przez liczbę działek (ang. *division*) w poziomie.

Zebrane w pamięci urządzenia bloki próbek z obu kanałów są następnie przez procesor oscyloskopu wyświetlane na ekranie LCD przyrządu. W trybie wyświetlania przebiegów czasowych (Y-T) *wartości* próbek decydują o numerze wiersza wyświetlacza, w którym dla danej próbki jest zapalany piksel, a *adresy* próbek — o numerze kolumny. W trybie charakterografu (X-Y) *wartości* próbek kanału Y decydują o numerze wiersza, a *wartości* próbek kanału X — o numerze kolumny. Aby zwiększyć czytelność wykresów, oscyloskopy cyfrowe potrafią programowo łączyć liniami ciągłymi punkty odpowiadające poszczególnym próbkom sygnału. Przesuwanie wykresów w kierunku pionowym i poziomym odbywa się programowo, przez zmniejszanie lub zwiększanie numeru wiersza lub kolumny „zapalanego” piksela. Potencjometri regulujące napięcia płytek odchylających w oscyloskopie analogowym są tu zatem zastąpione impulsatorami podłączonymi bezpośrednio do procesora.

Jak wynika z powyższego opisu, oscyloskop cyfrowy ma bardzo podobne regulacje jak oscyloskop analogowy. Rzeczywiście, płyta czołowa dostępnego w laboratorium oscyloskopu RIGOL DS1052E (por. rys. W.4) jest bardzo podobna do płyty czołowej typowego oscyloskopu analogowego (por. rys. 1.13). Jedyna istotna różnica (na korzyść przyrządu analogowego) jest taka, że w oscyloskopie RIGOL DS1052E jest tylko *jeden* zestaw regulacji układów wejściowych i układów odchylania pionowego, przełączany pomiędzy oboma kanałami wejściowymi — jest to rozwiązanie tańsze i dlatego powszechnie stosowane, ale dość niewygodne. Dokładniejszy opis sposobu obsługi takiego oscyloskopu został zamieszczony w p. W.5.1.

1.1.8 Wykonanie protokołu pomiarowego

W trakcie ćwiczenia wykonujemy na bieżąco protokół pomiarowy na podstawie wskazówek prowadzącego. Protokół oddajemy prowadzącemu do sprawdzenia pod koniec laboratorium. Poniżej przedstawimy kilka uwag dotyczących sporządzania protokołu pomiarowego.

Protokół powinien rozpoczynać się nagłówkiem, zawierającym m.in. tytuł ćwiczenia (eksperymentu) i nazwiska wykonawców. Przykładowy nagłówek zamieszczono w formacie umieszczonej na końcu niniejszego rozdziału.

Najistotniejsze jest, aby protokół zawierał *wszystkie* informacje niezbędne do powtórzenia eksperymentu (z identycznymi połączeniami przyrządów pomiarowych, w takich samych warunkach zewnętrznych i z wykorzystaniem dokładnie tej samej aparatury). Powtarzalność wyników doświadczeń jest fundamentem współczesnych nauk ścisłych! W opisie każdego doświadczenia należy zatem zamieścić wykaz *użytych w tym eksperymencie* przyrządów pomiarowych, a także ich typy i numery fabryczne lub inwentarzowe (podobnie jak opisując warunki

uwidaczniania się błędu w oprogramowaniu podajemy dokładne wersje systemu operacyjnego, kompilatora, wszystkich użytych bibliotek itp.). Wykaz ten powinien być umieszczony bezpośrednio po tytule danego punktu pomiarowego (nie wystarczy zamiast niego podanie numeru podrozdziału z niniejszego skryptu) i po pełnym schemacie układu pomiarowego. Ponadto dla każdego pomiaru trzeba podać jego warunki, np. nastawy przyrządów pomiarowych (zakres pomiarowy, tryb pracy AC/DC itd., itp.).

Trzeba też krótko opisać sposób pomiaru, np. czy jest to pomiar bezpośredni (opór opornika mierzymy omomierzem), czy pośredni (opór opornika obliczamy, dzieląc zmierzone na nim napięcie przez natężenie płynącego przez niego prądu). Dla pomiarów pośrednich trzeba również podać wzory na obliczane wartości i pamiętać, aby w tabeli pomiarowej umieszczać nie tylko obliczone wartości, ale konieczne także wszystkie wyniki pomiarów wielkości mierzonych bezpośrednio. Wszystkie wyniki pomiarów muszą mieć podane jednostki.

Wynik pomiaru *musi* zawierać oszacowanie niepewności tego pomiaru. Analiza niepewności pomiarów będzie przedmiotem następnego ćwiczenia — w tym ćwiczeniu jeszcze nie będziemy tego robić. Oprócz samego oszacowania niepewności, w protokole trzeba podać wzory, z jakich przy tym korzystaliśmy oraz wszelkie przyjęte założenia (np. powszechnie zakładany równomierny rozkład wyników pomiarów wewnątrz przedziału wynikającego z niepewności granicznej, pominięcie wpływu pewnych efektów ubocznych itp.).

Pamiętajmy, że wiele zależności jest znacznie czytelniejszych w postaci graficznej (wykresu) niż tabelarycznej i dlatego oprócz tabeli z wynikami pomiarów często warto zamieścić także odpowiedni wykres. Konieczne jest wówczas opisanie obu osi wartościami i jednostkami, a także zaznaczenie punktów pomiarowych wraz z obszarami niepewności wyników pomiarów (np. w formie odcinka (lub prostokąta), którego środkiem jest wynik pomiaru, a długość (lub długości boków) odpowiada niepewności tego wyniku. Nie należy łączyć punktów pomiarowych łamaną, tylko przeprowadzić możliwie blisko wszystkich punktów prostą lub gładką krzywą. Operację tę najłatwiej przeprowadzić na komputerze, wykorzystując programy typu MATLAB czy Octave do dopasowania krzywej zadanego typu (np. wielomianu) do punktów pomiarowych.

Po tabeli z wynikami pomiarów i ewentualnym wykresie powinny następować wnioski. Powinny one dotyczyć tego, co się rzeczywiście robiło. Nie należy komentować oczywistych faktów, np. komentarz *na wykresie wielkość y maleje* jest tak samo zbędny jak komentarz w kodzie języka C:

```
counter++; /* zwiększenie licznika */
```

bo widać to na pierwszy rzut oka. Trzeba raczej napisać, *dlaczego* tak się dzieje, że wielkość y maleje. Nie należy przy tym ukrywać własnych pomyłek. Jeśli teoria mówi nam, że wielkość y powinna rosnąć (a ona złośliwie maleje), to trzeba otwarcie napisać, że pomiary nam nie wyszły i trochę pospekulować o przyczynach poniesionej porażki. Z całą pewnością natomiast nie wolno naginać wyników pomiarów do teorii, żeby otrzymać ładniejszy wykres (może i będzie ładniejszy, ale nie będzie *prawdziwy*!).

Zadania sprawdzające

Rozwiązania zadań znajdują się na str. 41.

1. Który parametr **nie** odnosi się do zasilacza stabilizowanego?

- A zakres regulacji napięcia wyjściowego
 - B zakres częstotliwości pracy
 - C maksymalny prąd wyjściowy
 - D opór wyjściowy
2. Który klawisz multimetru cyfrowego służy do włączenia pomiaru prądów zmiennych?
- A DCV
 - B DCI
 - C ACV
 - D ACI
3. Które gniazda multimetru ręcznego należy wykorzystać do pomiaru prądu o natężeniu ok. 100 mA?
- A A i mA
 - B A i COM
 - C A i V
 - D mA i COM
 - E mA i V
 - F COM i V
4. Do czego służy regulacja podstawy czasu w oscyloskopie analogowym?
- A do zmiany nachylenia i okresu powtarzania przebiegu piłokształtnego podawanego na płytce odchyłania poziomego strumienia elektronów
 - B do przesuwania w pionie przebiegu wyświetlanego na ekranie oscyloskopu
 - C do zmiany nachylenia i okresu powtarzania przebiegu piłokształtnego podawanego na płytce odchyłania pionowego strumienia elektronów
 - D do „rozciągania” (zmiany skali) w pionie przebiegu wyświetlanego na ekranie oscyloskopu
 - E do wypoziomowania przyrządu na stanowisku laboratoryjnym
 - F do „rozciągania” (zmiany skali) w poziomie przebiegu wyświetlanego na ekranie oscyloskopu
 - G do ustawienia poziomu wyzwalania oscyloskopu
 - H do przesuwania w poziomie przebiegu wyświetlanego na ekranie oscyloskopu
5. Elementem przyrządu do pomiaru czasu i częstotliwości jest generator wzorcowy przebiegu prostokątnego, który można nastawić albo na 10 Hz, albo na 10 MHz. Jaki parametr przebiegu okresowego o częstotliwości około 1 kHz możemy zmierzyć tym przyrządem dokładniej: okres, czy częstotliwość?
- A częstotliwość

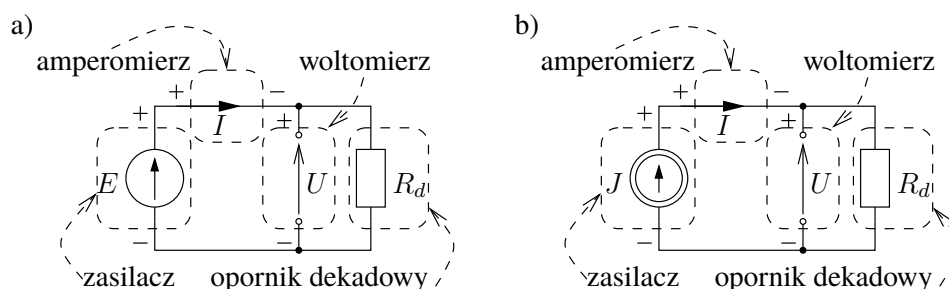
- B okres
 - C oba parametry można zmierzyć z tą samą dokładnością
 - D jest za mało danych, aby to jednoznacznie stwierdzić
6. Jak należy ustawiać pokrętkę regulacji poziomu wyzwiania oscyloskopu?
- A tak, aby poziom wyzwiania leżał poniżej minimalnej wartości przebiegu mierzonego
 - B tak, aby poziom wyzwiania leżał powyżej maksymalnej wartości przebiegu mierzonego
 - C tak, aby na ekranie zmieścić kilka okresów przebiegu mierzonego
 - D tak, aby poziom wyzwiania leżał pomiędzy minimalną i maksymalną wartością przebiegu mierzonego

1.2 Praca domowa

W ramach przygotowania do tego ćwiczenia nie wykonuje się pracy domowej.

1.3 Pomiar zakresu regulacji napięcia wyjściowego zasilacza stabilizowanego za pomocą multimetru cyfrowego

Celem tego punktu jest zapoznanie się z zasadami pracy zasilacza typu E3646A (por. rys. 1.16) i jego obsługą oraz przeprowadzenie pomiarów multimetrami cyfrowymi typu U1252B oraz 34450A. Dokonamy również pomiaru wybranych punktów charakterystyki napięciowo-prądowej zasilacza.



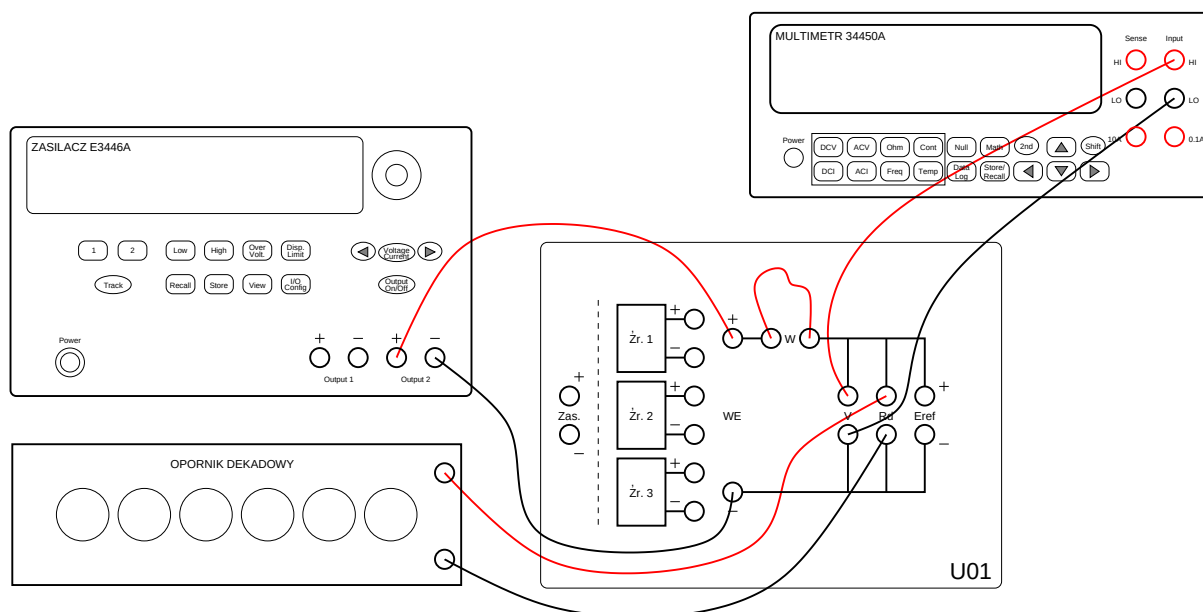
Rys. 1.16: Uproszczony schemat ideowy układu w sytuacji, gdy zasilacz pracuje jako źródło napięciowe (a) lub prądowe (b)

1. Włączamy zasilanie zasilacza typu E3646A. Nie dołączając żadnych elementów zewnętrznych do zasilacza ustawiamy na jego obu wyjściach (Output 1 i Output 2) zadane przez prowadzącego wartości napięcia wyjściowego oraz ograniczenia prądowego.

W tym celu po wybraniu numeru wyjścia (1 lub 2) wybieramy zakres Low dla napięć 0–8 V lub High dla napięć 8–20 V. Następnie po przyciśnięciu klawisza Display Limit i wybraniu funkcji pokrętła regulacji napięcia i prądu za pomocą przycisku Voltage/Current można tym pokrętłem ustawić żadaną wartość odpowiednio napięcia bądź prądu. Ustawianiu podlega migająca cyfra. W celu wyboru ustawianej cyfry można skorzystać ze strzałek kursora znajdujących się pod pokrętłem. Po zakończeniu ustawiania należy ponownie nacisnąć przycisk Display Limit.

Efekt powyższych czynności należy przedstawić prowadzącemu do sprawdzenia. Po zaakceptowaniu przez prowadzącego ustawień zasilacza, włączamy podawanie ustawionego napięcia na wyjście przyrządu za pomocą przycisku Output On/Off.

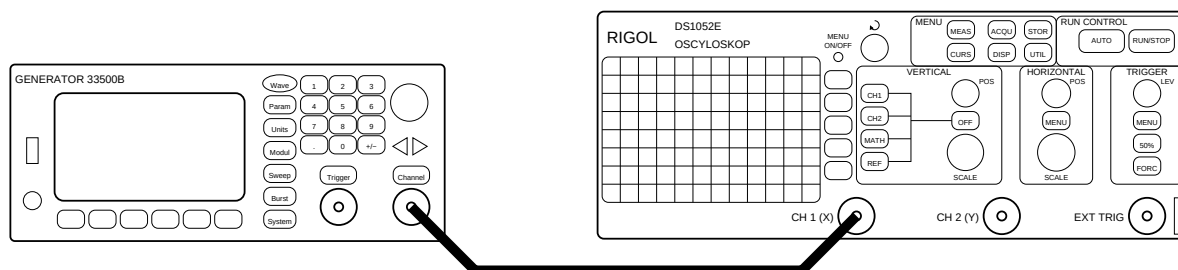
2. Nie zmieniając ustawień zasilacza z poprzedniego punktu łączymy układ pomiarowy zgodnie ze schematem pokazanym na rys. 1.17. Do pomiaru napięcia wykorzystujemy multimetr 34450A (zaciski V modułu), a do pomiaru prądu – multimetr ręczny U1252B (zaciski W modułu). Opornik dekadowy dołączamy do zacisków Rd modułu i ustawiamy na nim wartość oporu podaną przez prowadzącego. Wartość tę zapisujemy w protokole.



Rys. 1.18: Schemat połączeń do pomiaru charakterystyki zasilacza

1.4 Obserwacje przebiegu napięcia wyjściowego generatora funkcyjnego za pomocą oscyloskopu cyfrowego

W punkcie tym obejrzymy na oscyloskopie RIGOL DS1052E przebiegi napięcia wyjściowego generatora funkcyjnego dla różnych kształtów, wartości amplitud i częstotliwości oraz dla sygnałów ze składową stałą i bez niej.



Rys. 1.19: Układ do pomiaru parametrów sygnału za pomocą oscyloskopu

1. Na wstępie zapoznamy się z rozmieszczeniem i działaniem elementów regulacyjnych i gniazd na płycie czołowej oscyloskopu. W tym celu ponownie dokładnie czytamy p. W.5.1, ale tym razem na bieżąco porównując jego zapisy z faktycznym wyglądem i działaniem oscyloskopu RIGOL DS1052E.
2. Przy wyłączonym zasilaniu obu przyrządów pomiarowych łączymy układ pomiarowy według rys. 1.19, wykorzystując kabel BNC (i pamiętając o prawidłowym „zapięciu” wtyków BNC na gniazdach). Następnie włączamy zasilanie oscyloskopu i generatora funkcyjnego.

3. Na generatorze funkcyjnym Keysight serii 33500B ustawiamy przebieg sinusoidalny o częstotliwości 10 kHz i o amplitudzie 5 V, bez składowej stałej. W tym celu po włączeniu generatora najpierw naciskamy przycisk Waveforms i klawisz funkcyjny Sine (klawisze funkcyjne obsługują menu kontekstowe wyświetlane u dołu ekranu), aby wybrać rodzaj jako przebiegu sygnał sinusoidalnie zmienny. Z kolei naciskamy przycisk Parameters i klawisz funkcyjny Frequency, po czym z klawiatury numerycznej wpisujemy wartość 10 i kolejnym klawiszem funkcyjnym wybieramy jednostkę kHz. Można również, podobnie jak w zasilaczu, użyć pokrętła do zmiany poszczególnych cyfr ustawianej wartości oraz strzałek kursora do wyboru ustawianej cyfry.

Z amplitudą będzie trochę trudniej, ponieważ nasz przyrząd posługuje się wartością międzyszczytową V_{pp} (ang. *peak-to-peak*), równą **podwojonej** amplitudzie, a ponadto wymaga przestawienia jednego parametru, aby prawidłowo pokazywał wartość napięcia. Musimy zatem po naciśnięciu klawisza Channel przycisnąć klawisz funkcyjny Output Load i kolejnym klawiszem funkcyjnym wybrać opcję Set To High Z. W ten sposób pomijamy procedurę numerycznego przeliczania przez generator napięcia dla obciążenia o wyspecyfikowanej wartości oporu (uwzględniania dzielnika napięciowego składającego się z wynoszącego 50 Ω oporu wewnętrznego generatora oraz zakładanego domyślnie równego mu oporu obciążenia). Po wykonaniu tych czynności naciskamy klawisz funkcyjny Amplitude, po czym z klawiatury numerycznej wpisujemy wartość 10 i kolejnym klawiszem funkcyjnym wybieramy jednostkę Vpp.

Wreszcie upewniamy się na wyświetlaczu przyrządu, że składowa stała (ang. *offset*) jest zerowa, a w razie potrzeby zerujemy ją za pomocą klawisza funkcyjnego Offset. Aby podać wewnętrzny sygnał generatora na jego gniazdo wyjściowe, musimy dodatkowo po naciśnięciu klawisza Channel przycisnąć klawisz funkcyjny Output On/Off. Uaktywnienie wyjścia zostanie potwierdzone podświetleniem przycisku Channel.

4. W oscyloskopie włączamy tylko kanał CH1. Wstępnie ustawiamy jego czułość na 5 V/div za pomocą pokrętła SCALE sekcji VERTICAL. Z kolei sprowadzamy zero na środek wysokości ekranu przez krótkotrwałe przyciśnięcie pokrętła POSITION w tej sekcji. Ustawiamy sprzężenie stałoprądowe (DC) wybranego wejścia oscyloskopu (por. p. W.5.1.3).
5. Pokrętle SCALE sekcji HORIZONTAL wstępnie ustawiamy podstawę czasu na 50 $\mu\text{s}/\text{div}$. Z kolei sprowadzamy czasowy punkt odniesienia (umowne zero czasu) na środek szerokości ekranu przez krótkotrwałe przyciśnięcie pokrętła POSITION w tej sekcji.
6. Teraz nadszedł czas na ustawienie kluczowych parametrów sekcji wyzwalania (TRIGGER) oscyloskopu (por. p. W.5.1.7). Jako źródło wyzwalania ustawiamy kanał CH1. Wybieramy wyzwalanie dodatnim zboczem sygnału. Ustawiamy oscyloskop w tryb pracy automatycznej (Auto). Regulując poziom wyzwalania oscyloskopu za pomocą pokrętła LEVEL próbujemy uzyskać na ekranie stabilny obraz. Jeśli nam się to przez dłuższy czas nie uda, to w akcie desperacji możemy spróbować nacisnąć przycisk 50%.
7. Po uzyskaniu stabilnego obrazu pokrętkami SCALE obu sekcji: odchyłania pionowego i odchyłania poziomego, regulujemy obraz tak, aby widzieć na ekranie kilka (3–4) okresów obserwowanego przebiegu i aby zajmował on w pionie większą część ekranu. W protokole rysujemy otrzymany oscylogram, a pod rysunkiem zapisujemy najważniejsze ustawienia oscyloskopu, do każdego dodając jednozdaniowy opis, co ono oznacza.

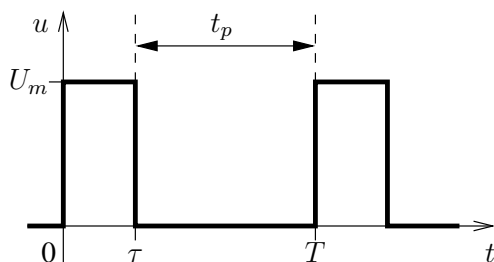
Najważniejsze ustawienia to te, które przyrząd wyświetla na marginesach swojego ekranu.

8. Obserwujemy i zapisujemy w protokole, co się dzieje przy zmianie ustawienia zgrubnej i precyzyjnej regulacji wzmocnienia odchyłania pionowego oraz przy zmianie położenia pokręteł przesuwania obrazu w pionie i poziomie (dwa pokręta POSITION).
9. Na chwilę zmieniamy tryb wyzwalania oscyloskopu na normalny (Normal). W protokole opisujemy działanie pokręta poziomu wyzwalania LEVEL i wyjaśniamy, dlaczego dla pewnych położenia tego pokręta obraz przestaje się odświeżać, a na górnym marginesie ekranu napis $T'D$ (ang. *triggered*) zmienia się na napis WAIT. Następnie powracamy do automatycznego trybu wyzwalania.
10. Na generatorze funkcyjnym ustawiamy przebieg sinusoidalny o częstotliwości wynoszącej nadal 10 kHz, ale tym razem o małej amplitudzie 50 mV i z dużą składową stałą równą 5 V. W tym celu naciskamy przycisk Parameters (w razie potrzeby — w typowej sytuacji menu kontekstowe będzie już odpowiednio ustawione i będzie zawierało m.in. pozycję Amplitude) i klawisz funkcyjny Amplitude, po czym z klawiatury numerycznej wpisujemy wartość 100 i kolejnym klawiszem funkcyjnym wybieramy jednostkę mVpp. Następnie naciskamy klawisz funkcyjny Offset, po czym z klawiatury numerycznej wpisujemy wartość 5 i kolejnym klawiszem funkcyjnym wybieramy jednostkę V.
11. Po przestawieniu sposobu sprzężenia wejścia CH1 oscyloskopu w tryb odcinania składowej stałej (AC) zwiększamy czułość tego kanału aż do wyraźnego zobaczenia sinusoidy, stanowiącej składową zmienną obserwowanego sygnału. W protokole notujemy uwagi dotyczące możliwych zastosowań zmiennoprądowego sprzężenia sygnału wejściowego. Powracamy do stałoprądowego sprzężenia wejścia CH1 oscyloskopu.
12. Opisane powyżej w niniejszym punkcie czynności powtarzamy po przestawieniu generatora funkcyjnego na generację sygnału trójkątnego (przycisk Waveforms i klawisze funkcyjne kolejno More oraz Triangle) o częstotliwości 1 kHz.

1.5 Pomiar wybranych parametrów sygnałów za pomocą oscyloskopu cyfrowego

Celem eksperymentu przeprowadzanego w tym punkcie jest wykorzystanie możliwości pomiarowych oscyloskopu cyfrowego do zgrubnego określenia parametrów czasowych sygnału prostokątnego.

1. Pozostajemy nadal przy układzie pomiarowym pokazanym na rys. 1.19.
2. Na generatorze funkcyjnym ustawiamy tym razem przebieg prostokątny o częstotliwości 5 kHz i o amplitudzie 5 V, bez składowej stałej. W tym celu najpierw naciskamy przycisk Waveforms i klawisz funkcyjny Square, aby wybrać rodzaj przebiegu jako prostokątny. Z kolei naciskamy klawisz funkcyjny Frequency, po czym z klawiatury



Rys. 1.20: Parametry czasowe sygnału prostokątnego

numerycznej wpisujemy wartość 5 i kolejnym klawiszem funkcyjnym wybieramy jednostkę kHz. Następnie naciskamy klawisz funkcyjny Amplitude, po czym z klawiatury numerycznej wpisujemy wartość 10 i kolejnym klawiszem funkcyjnym wybieramy jednostkę Vpp. Wreszcie za pomocą klawisza funkcyjnego Offset ustawiamy w analogiczny jak poprzednio sposób zerową składową stałą. Tym razem jednak włączymy desymetryzację przebiegu generatora. W tym celu naciskamy klawisz funkcyjny Duty cycle, z klawiatury numerycznej wpisujemy wartość 10 i kolejnym klawiszem funkcyjnym wybieramy jednostkę Percent.

3. W oscyloskopie nadal pozostawiamy włączony tylko kanał CH1. Wstępnie ustawiamy jego czułość na 5 V/div za pomocą pokrętła SCALE sekcji VERTICAL. Sprowadzamy zero na środek wysokości ekranu przez krótkotrwałe przyciśnięcie pokrętła POSITION w tej sekcji. Ustawiamy sprzężenie stałoprądowe (DC) wybranego wejścia oscyloskopu (por. p. W.5.1.3).
4. Pokrętką SCALE sekcji HORIZONTAL wstępnie ustawiamy podstawę czasu na 20 $\mu\text{s}/\text{div}$. Z kolei sprowadzamy czasowy punkt odniesienia (umowne zero czasu) na środek szerokości ekranu przez krótkotrwałe przyciśnięcie pokrętła POSITION w tej sekcji.
5. W sekcji wyzwalania (TRIGGER) oscyloskopu (por. p. W.5.1.7) jako źródło wyzwalania ustawiamy kanał CH1. Wybieramy wyzwalanie dodatnim zboczem sygnału. Ustawiamy oscyloskop w tryb pracy automatycznej i regulując poziom wyzwalania oscyloskopu pokrętką LEVEL próbujemy uzyskać na ekranie stabilny obraz.
6. Pokrętkami SCALE obu sekcji: odchyłania pionowego i odchyłania poziomego, regulujemy obraz tak, aby widzieć na ekranie jeden okres obserwowanego przebiegu i aby zajmował on w pionie większą część ekranu. W protokole rysujemy otrzymany oscylogram, a pod rysunkiem zapisujemy najważniejsze ustawienia oscyloskopu.
7. Za pomocą kursorów oscyloskopu (por. p. kursory) określamy zgrubnie okres i częstotliwość sygnału. Wyznaczamy parametry czasowe mierzonego sygnału zgodnie z rys. 1.20. W protokole podajemy również obliczoną wartość współczynnika wypełnienia (ang. *Duty cycle*) tego sygnału:

$$\varepsilon = \frac{\tau}{\tau + t_p} = \frac{\tau}{T}.$$

8. W celu pomiaru współczynnika wypełnienia można również przycisnąć przycisk Measure w sekcji MENU, a następnie przycisk funkcyjny Time, po czym za pomocą

pokrętła wielofunkcyjnego wybrać pozycję `+Duty` i zaakceptować wybór wciśnięciem tego pokrętła. Na ekranie pojawi się zmierzona wartość współczynnika ε . Gdy przepiszemy ją do protokołu pomiarowego, można usunąć ją z ekranu przyciskiem funkcyjnym `Clear`, znajdującym się w tym samym menu kontekstowym (`Measure`), co poprzednio. Podobnie można zmierzyć częstotliwość (`Freq`) i okres (`Period`) badanego sygnału. Wartości te także umieszczamy w protokole pomiarowym.

Stanowisko:	Imię i NAZWISKO	Kierunek studiów (I/AR)	Ocena
Ćwiczenie: POEL 1			
Temat: Podstawowa aparatura pomiarowa i stanowisko pomiarowe			Podpis prowadzącego (czytelny)
			Data (D.M.R) i godz. rozpoczęcia

Pomiar zakresu regulacji napięcia wyjściowego zasilacza stabilizowanego za pomocą multimetru cyfrowego

Zadane przez prowadzącego wartości napięcia wyjściowego oraz ograniczenia prądowego:

$$U_{wy} = \quad V$$

$$I_{max} = \quad mA$$

Wartość oporu opornika dekadowego zadana przez prowadzącego:

$$R_d = \quad \Omega$$

Zmierzone wartości napięcia i prądu:

$$U = \quad V$$

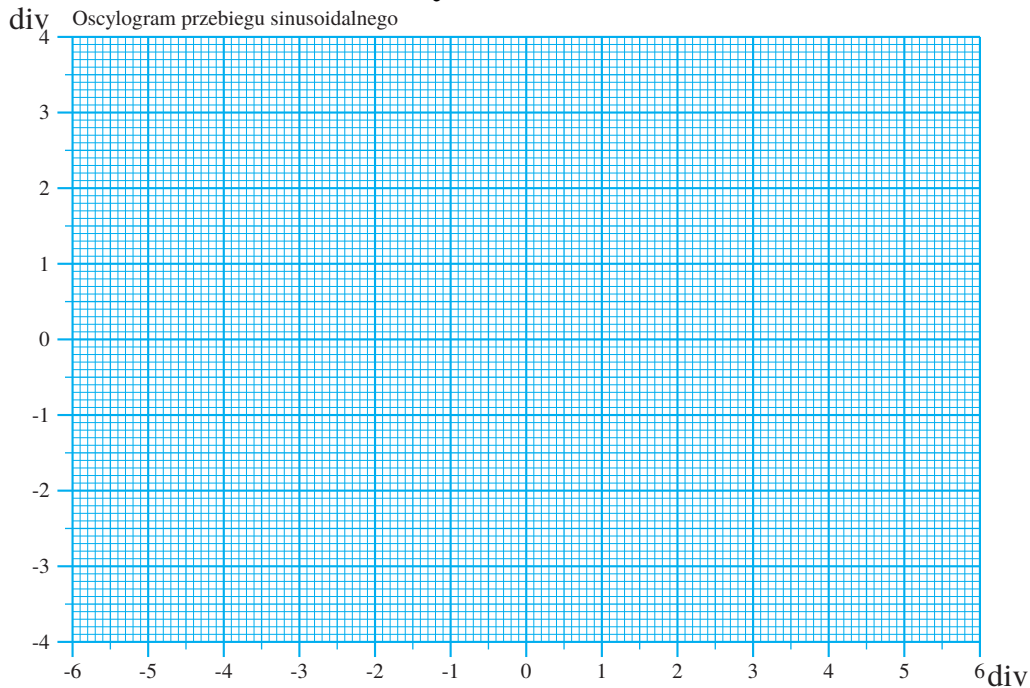
$$I = \quad mA$$

Pomiar charakterystyki napięciowo-prądowej zasilacza:

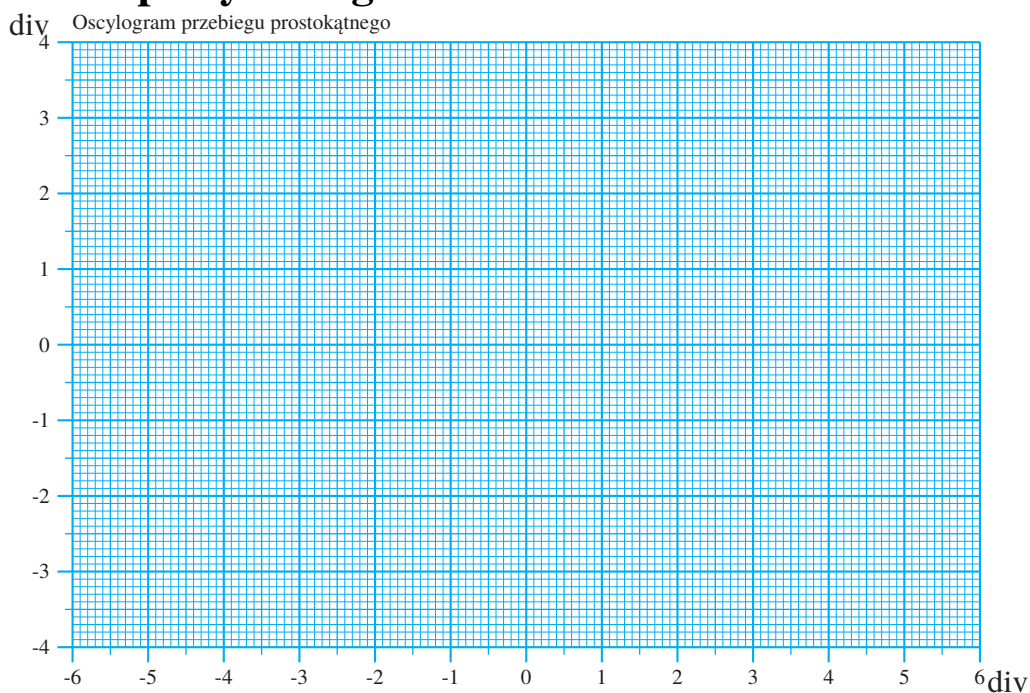
Tabela 1.1

Lp.	$R_d [\Omega]$	$U [V]$	$I [mA]$

Obserwacje przebiegu napięcia wyjściowego generatora funkcyjnego za pomocą oscyloskopu cyfrowego



Pomiar wybranych parametrów sygnałów za pomocą oscyloskopu cyfrowego



Bibliografia

Rozwiązania zadań sprawdzających

1. prawidłowa odpowiedź: B
2. prawidłowa odpowiedź: D
3. prawidłowa odpowiedź: D
4. prawidłowe odpowiedzi: A, F
5. prawidłowa odpowiedź: B
6. prawidłowa odpowiedź: D