

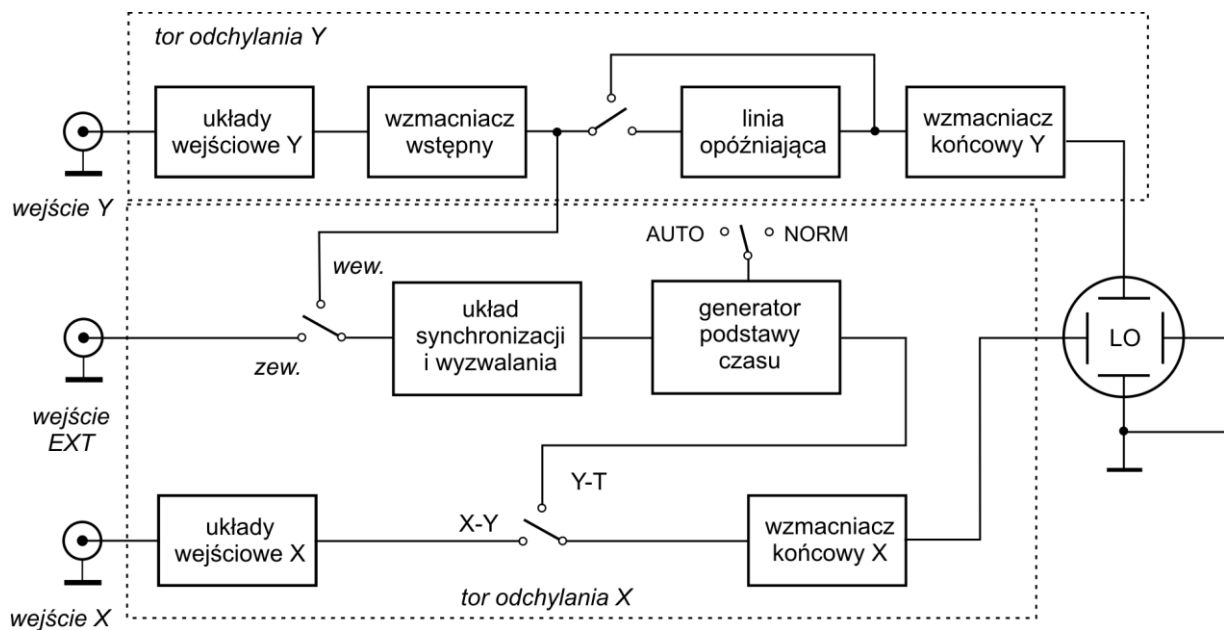
Ćwiczenie 2

Oscyloskopy analogowe

2.1. Wstęp

Oscyloskopy elektroniczne, zarówno analogowe jak i cyfrowe, są urządzeniami pomiarowymi służącymi do wizualnej obserwacji a także pomiarów parametrów przebiegów czasowych sygnałów oraz ich wzajemnych zależności. Należą one do najbardziej uniwersalnych przyrządów pomiarowych i znajdują zastosowanie niemal w każdej dziedzinie techniki. Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z zasadami eksploatacji oscyloskopów analogowych, ich funkcjonalnością oraz podstawami parametrami a także sposobami wykonywania pomiarów parametrów czasowych i amplitudowych obserwowanych sygnałów.

2.2. Budowa i zasada działania oscyloskopów analogowych

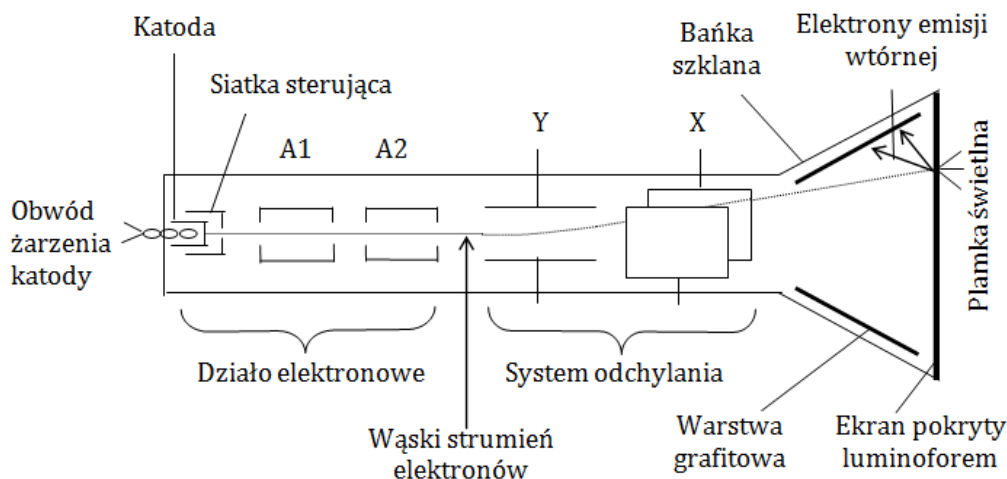


Rys. 2.1. Schemat funkcjonalny jednokanałowego oscyloskopu analogowego (ze względu na czytelność rysunku na schemacie połączenia bloków wykonano jedнопrzewodowo a sterowanie płytek odchyłających lampy oscyloskopowej (LO) przedstawiono jako niesymetryczne)

Uproszczony schemat funkcjonalny oscyloskopu analogowego został zamieszczony na rysunku 2.1. Podstawowym elementem przyrządu jest lampka oscyloskopowa, rolą której jest bezpośrednia wizualizacja sygnałów w płaszczyźnie XY na ekranie oscyloskopu. Za kształt powstałego obrazu, czyli oscylogramu, odpowiedzialne są sygnały sterujące w osi Y oraz osi X płaszczyzny zobrazowania, doprowadzone do lampki oscyloskopowej. Przygotowanie sygnałów sterujących realizowane jest odpowiednio w torze odchyłania pionowego Y oraz torze odchyłania poziomego X.

2.2.1. Lampa oscyloskopowa

Budowa lampy oscyloskopowej przedstawiona jest na rysunku 2.2. Składa się ona z trzech zasadniczych części: wyrzutni elektronów, zwanej również działem elektronowym, układu odchylającego oraz ekranu pokrytego luminoforem. Obudowa lampy oscyloskopowej wykonana jest ze szkła lub ceramiki, a wewnątrz niej panuje próżnia.



Rys. 2.2. Budowa lampy oscyloskopowej (oznaczenia: A1, A2 – anody; X, Y – płytki odchylające strumień elektronów odpowiednio w poziomie i pionie)

Zadaniem działu elektronowego jest emisja skupionej wiązki elektronów o regulowanej intensywności. Elektrony emitowane przez elektrodę nazywaną katodą są formowane w ciekłą wiązkę i przyspieszane w polu elektrycznym wytwarzanym przez elektrody dodatnie - anody A1 i A2. Uformowany strumień elektronów przechodzi następnie przez system odchylania wiązki, w którym poruszające się elektrony mogą być odchylane od swojego pierwotnego toru w pionie (oś Y) oraz w poziomie (oś X). Odpowiednio uformowany, przyspieszony i odchylony strumień elektronów pada na ekran pokryty luminoforem, na którym powstaje obraz nazywany oscylogramem. W miejscu uderzenia wiązki elektronów powstaje na ekranie oscyloskopu plamka świetlna, która widoczna jest tylko przez pewien czas, nazywany *czasem poświaty*, charakterystyczny dla danego luminoforu. Pozycja na ekranie, w której widoczna jest plamka świetlna zależy od napięć przyłożonych do układów (płytek) odchylania pionowego oraz poziomego. Przy napięciach równych zeru na płytkach X i Y wiązka elektronów emitowana przez dział pozostaje nieodchylona i plamka widoczna jest po środku ekranu. Zmieniając napięcie na płytkach powodujemy zmianę pozycji plamki. W dowolnej chwili czasu plamka znajduje się w jednym miejscu wyznaczonym przez napięcia płytek X i Y. Szybkie zmiany położenia plamki, poświata luminoforu oraz bezwładność wzroku powodują, że ruch plamki widoczny jest w postaci świetlnego śladu.

Katoda lampy oscyloskopowej żarzona jest najczęściej pośrednio poprzez spiralę grzejną do temperatury ok. 800°C. Rozgrzana warstwa tlenków metali, którymi pokryta jest katoda jest źródłem emisji elektronów. Siatka sterująca, zwana cylindrem Wehnelta, która znajduje się zaraz za katodą, umożliwia zmianę intensywności świecenia plamki na ekranie oscyloskopu. Siatka ta posiada potencjał ujemny względem katody. Zmiana jego wartości powoduje zmianę liczby przedostających się przez siatkę sterującą elektronów. Im mniejsza liczba elektronów padających na ekran, tym mniejsza intensywność świecenia plamki. Elektrony, które przedostają się przez cylinder Wehnelta są przyciągane i przyspieszane przez anodę A1, mającą potencjał dodatni względem katody. Elektroda ta jest również odpowiedzialna za główne skupianie wiązki elektronów, poprzez odpowiednio ukształtowane pole elektryczne. Zmiana potencjału anody A1 powoduje zmianę skupienia wiązki i umożliwia regulację ostrości oscylogramu. Wspomaga ją anoda A2 o wyższym potencjale niż A1, której podstawowym zadaniem jest końcowe przyspieszenie wiązki elektronów. Do zespołu anod doprowadzone jest wysokie napięcie stałe, rzędu kilku kilowoltów. Luminofor pokrywający wewnętrzną powierzchnię ekranu to siarczki lub tlenki metali z dodatkiem aktywatorów – substancji zwiększających zdolności *elektroluminescencji*, czyli świecenia pod wpływem bombardowania elektronów o dużej energii kinetycznej. Energia kinetyczna elektronów zamieniana jest na energię potrzebną do rozświetlenia luminoforu oraz do wybicia elektronów emisji wtórnej, które są przechwytywane przez warstwę grafitową. Jest ona połączona z anodą, dzięki czemu zamykany jest obwód elektryczny elektronów emitowanych przez katodę.

Poruszające się elektrony mogą być odchylane od swojego pierwotnego toru lotu w polu magnetycznym lub elektrycznym. W przypadku odchylania magnetycznego, na zewnątrz lampy w pobliżu ostatniej anody umieszcza się dwie pary cewek, w których prąd sterujący wytwarza pole magnetyczne prostopadłe do osi podłużnej lampy. W przypadku odchylania elektrycznego, wewnątrz lampy umieszcza się dwie pary płytek, w których napięcie sterujące wytwarza pole elektryczne prostopadłe do osi podłużnej lampy, tak jak przedstawiono na rysunku 2.2. Ze względu na mniejszy pobór mocy oraz możliwość pracy przy wyższych częstotliwościach sygnału obecnie stosuje się najczęściej odchylanie elektryczne.

Podstawowym parametrem lampy oscyloskopowej jest jej czułość S_U , która definiowana jest jako stosunek odchylenia h plamki na ekranie, wyrażonego w jednostkach długości, do napięcia U doprowadzonego do płytek odchylających:

$$S_U = \frac{h}{U} \quad (2.1)$$

Czułość lampy oscyloskopowej wyraża wartość odchylenia plamki na ekranie na jednostkę napięcia zasilającego płytki odchylające. Wartość tego parametru zależy od konstrukcji lampy. Czułość wykorzystywanych lamp jest względnie mała (wynosi od 0,5 mm/V do 8 mm/V). Dlatego w celu

umożliwienia użytkownikowi obserwacji sygnałów o małych wartościach amplitud, konieczne jest zastosowanie wzmacniaczy.

Płytki odchylające sterowane są sygnałami napięciowymi symetrycznymi względem masy przyrządu. Do płytek odchylania pionowego doprowadzany jest zewnętrzny sygnał badany podawany na tor (kanał) Y oscyloskopu. Tak więc, sygnał badany steruje pionowym ruchem plamki świetlnej na ekranie oscyloskopu. Natomiast do płytek odchylania poziomego doprowadzony jest sygnał zależny od wybranego trybu zobrazowania oscyloskopu.

2.2.2. Tor odchylania Y

Rolą toru odchylania pionowego jest wypracowanie odpowiedniego sygnału sterującego dla płytek odchylania Y z sygnału badanego podłączonego do wejścia Y oscyloskopu. Tor Y zapewnia:

- regulację wzmocnienia napięciowego w szerokim zakresie – regulowany skokowo i płynnie współczynnik napięcia D_Y ,

- stabilną impedancję wejściową,
- ograniczenie pasma sygnału,
- regulowany przesuw sygnału w pionie,
- możliwość inwersji sygnału w kanale,
- wybór sprzężenia wejścia.

Na wejściu toru znajduje się przełącznik sprzężenia kanału (ang. *coupling*) z sygnałem wejściowym, dzięki czemu użytkownik ma do wyboru następujące możliwości:

- sprzężenie stałoprądowe (DC) nazywane również bezpośrednim (sygnał bezpośrednio podany na wejście kanału) – niezbędne do obserwacji sygnałów, w przypadku, gdy zawarta w nich składowa stała ma istotne znaczenie,

- sprzężenie zmiennoprądowe (AC) – umożliwia wyeliminowanie z sygnału składowej stałej poprzez szeregowo dołączenie kondensatora na wejściu kanału,

- brak sprzężenia (GND) – odłączenie źródła sygnału od układów wejściowych i zwarcie wejścia kanału do masy, użyteczne w przypadku potrzeby zlokalizowania poziomu odniesienia, np. przy pomiarach składowej stałej sygnału.

Za przełącznikiem sprzężenia znajduje się dzielnik sygnału i wzmacniacz wstępny, które zapewniają określoną impedancję wejściową oscyloskopu oraz wymagane wzmocnienie sygnałów niskonapięciowych lub tłumienie sygnałów wysokonapięciowych dla uzyskania określonego wychylenia plamki w osi Y. Linia opóźniająca zapewnia czasowe opóźnienie sygnału w torze Y - znaczenie tego faktu w procesie powstawania oscylogramu opisano w pkt. 1.2. Wzmacniacz końcowy Y o stałym wzmocnieniu zapewnia uzyskanie wymaganych symetrycznych napięć sterujących na płytkach odchylania Y.

2.2.3. Tor odchyłania X

Rolą toru odchyłania poziomego X jest wypracowanie odpowiedniego sygnału sterującego dla płytek odchyłania X na podstawie wybranego trybu zobrazowania, trybu pracy generatora podstawy czasu oraz źródła wyzwalania. Tor odchyłania X zapewnia:

- wybór trybu zobrazowania oscyloskopu Y-T lub X-Y,
- wybór trybu pracy generatora podstawy czasu,
- regulację częstotliwości generatora podstawy czasu w szerokim zakresie – regulowany skokowo i płynnie współczynnik czasu D_T ,
- wybór źródła wyzwalania oscyloskopu,
- regulowany przesuw sygnału w poziomie,
- regulowany czas podtrzymania oczekiwania na wyzwolenie.

W zależności od trybu zobrazowania do płytek odchyłania poziomego doprowadzony jest:

- sygnał zewnętrzny z wejścia X oscyloskopu poprzez układy wejściowe pełniące podobną rolę jak w torze Y. Jest to tryb zobrazowania X-Y, w którym na ekranie oscyloskopu powstają tzw. *figury Lissajous*. Za pomocą figur Lissajous można ocenić stosunek częstotliwości sygnałów doprowadzonych do obu wejść oraz różnice faz i zniekształcenia sygnału.

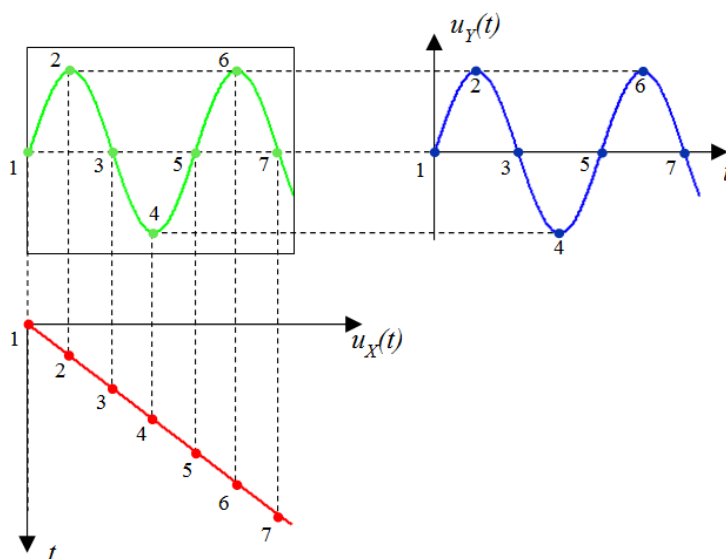
- sygnał wewnętrzny z generatora podstawy czasu o regulowanej częstotliwości. Jest to zobrazowanie Y-T, w którym na ekranie obserwujemy przebiegi czasowe sygnałów.

Za sterowanie procesem wyzwalania generatora podstawy czasu i synchronizację oscylogramów odpowiedzialny jest układ synchronizacji i wyzwalania, który może wykorzystywać wewnętrzne źródła sygnału wyzwalania (np. sygnał z kanału Y) lub sygnał zewnętrzny podany na dodatkowe wejście wyzwalania oscyloskopu. Wzmacniacz końcowy X o stałym wzmocnieniu zapewnia uzyskanie wymaganych symetrycznych napięć sterujących na płytkach odchyłania X.

2.2.4. Zobrazowanie w trybie Y-T

Praca oscyloskopu w trybie Y-T umożliwia obserwację przebiegów czasowych sygnałów doprowadzanych do kanału Y. W tym trybie zobrazowania wewnętrzny generator steruje poziomym ruchem plamki świetlnej, a oś pozioma na ekranie oscyloskopu reprezentuje czas. W związku z tym, do płytek odchyłania poziomego doprowadzany jest sygnał liniowo narastającego napięcia. Taki kształt sygnału sterującego płytkami X powoduje, że plamka przemieszcza się od lewej do prawej strony ekranu z jednakową szybkością, czyli odchylenie plamki w poziomie jest wprost proporcjonalne do czasu. Szybkość plamki zależy od szybkości narastania sygnału podstawy czasu. Im szybciej narasta wartość napięcia sterującego, tym szybszy jest ruch plamki na ekranie. Praca oscyloskopu w trybie Y-T nazywana jest również pracą z rozciąganiem wewnętrznym (sygnał podawany na płytki X jest generowany przez wewnętrzny generator podstawy czasu) lub pracą z

rozciąganiem liniowym (od kształtu sygnału sterującego odchyleniem plamki w poziomie). Proces tworzenia oscylogramu przy pracy z rozciąganiem liniowym przedstawiony został na rysunku 2.3.

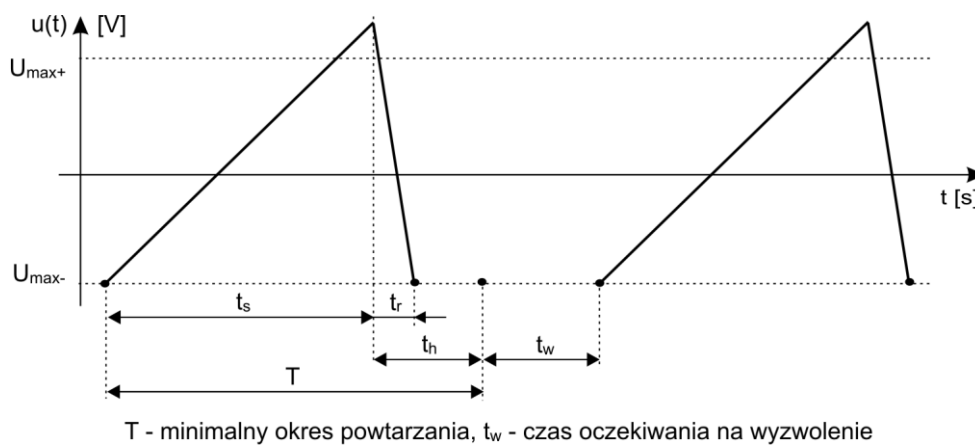


Rys. 2.3. Proces powstawania oscylogramu na ekranie oscyloskopu po doprowadzeniu do płytek Y sygnału sinusoidalnego a do płytek X sygnału liniowo narastającego

Obraz na ekranie oscyloskopu jest kreślony w trakcie narastania sygnału podstawy czasu, kiedy plamka przemieszcza się z lewej do prawej strony ekranu. Powstały oscylogram będzie widoczny tylko przez pewien czas, zależny od czasu poświaty luminoforu. Aby móc utrzymać trwały obraz obserwowanego przebiegu konieczne jest odświeżanie oscylogramu, które wymaga generacji kolejnych sygnałów podstawy czasu przez wewnętrzny generator.

Sygnał z generatora podstawy czasu jest przebiegiem okresowym, w którym czas narastania napięcia, *czas roboczy*, *czas przemiatania* t_s (ang. *sweep time*), zależy bezpośrednio od wartości tzw. *współczynnika czasu* D_T , ustawianego przez użytkownika za pomocą pokrętła na płycie czołowej oscyloskopu. Po osiągnięciu wartości maksymalnej sygnał z generatora podstawy czasu maleje do wartości początkowej. Strumień elektronów wraca do położenia po lewej stronie ekranu. W tym czasie, zwanym *czasem powrotu* t_r (ang. *return time*), plamka (wiązka elektronów) zostaje wygaszona, co zapobiega tworzeniu śladu powrotu plamki na ekranie. Kolejne wyzwolenie generatora podstawy czasu zazwyczaj nie może nastąpić natychmiast po czasie powrotu, co jest związane z występowaniem w jego obwodzie stanów nieustalonych. Czas potrzebny na ich zakończenie i osiągnięcie gotowości generatora do generacji kolejnych sygnałów nazywany jest *czasem martwym*. Niekiedy użytkownik ma możliwość płynnej regulacji czasu martwego występującego po powrocie plamki, w którym generator podstawy czasu nie reaguje na impulsy wyzwalań. Ten regulowany okres oczekiwania to tak zwany *czas podtrzymania* t_h (ang. *holdoff time*). Po tym czasie następuje, w zależności od sposobu wyzwalań generatora podstawy czasu, albo generacja kolejnego impulsu, albo czas oczekiwania generatora na pojawienie się impulsu

wyzwalającego. Okres powtarzania generowanego przebiegu zależy nie tylko od wybranego współczynnika czasu, ale również wybranego trybu wyzwalania generatora. Przebieg napięcia z generatora podstawy czasu przedstawia rysunek 2.4.



Rys. 2.4. Przebieg napięcia z generatora podstawy czasu

Wiemy już, jak powstaje cyklicznie odświeżany oscylogram, który jest zobrazowaniem fragmentu obserwowanego sygnału w czasie. Wyobraźmy sobie, że obserwowany sygnał ma charakter przebiegu zmiennego w czasie, w którym nie ma żadnej powtarzalności – okresowości. Kolejne cykle zobrazowania, tworzące widoczny na ekranie oscylogram, będą przedstawiały inne, nie powtarzające się fragmenty sygnału, niezależnie od ich umiejscowienia w czasie. Uzyskany oscylogram będzie więc niestabilny. Podobnie będzie w przypadku jednostkowych sygnałów impulsowych, niezależnie od czasu ich trwania. Nawet, jeśli w przypadku sygnałów o krótkim czasie trwania powstanie oscylogram całego sygnału, to będzie on widoczny tylko przez czas poświaty luminoforu. Oscyloskop nie pozwala nam na obserwację tego typu sygnałów. W niektórych oscyloskopach analogowych specjalnych występuje dodatkowa pamięć przebiegu, która umożliwia rejestrację sygnału badanego i jego cykliczne odświeżanie na ekranie.

Oscyloskopy analogowe przeznaczone są ze swej natury do obserwacji sygnałów mających powtarzalny cykl zmienności, w tym szczególnej ich klasy - sygnałów okresowych, czyli, np. sygnałów sinusoidalnie zmiennych. W przypadku obserwacji sygnałów powtarzalnych warunkiem otrzymania stabilnego oscylogramu jest nakładanie na siebie kolejnych, zgodnych w fazie, fragmentów przebiegu. Zatem, momenty kolejnych wyzwoleń generatora podstawy czasu decydują o stabilności oscylogramu. Chcąc uzyskać stabilny oscylogram musimy zapewnić, aby sygnał generatora podstawy czasu synchronizowany był względem sygnału badanego tak, aby rysowanie oscylogramu przez plamkę świetlną zaczynało się w tych samych punktach okresu sygnału badanego. Jest to zadaniem układu synchronizacji i wyzwalania generatora podstawy czasu.

2.2.5. Wyzwalanie i synchronizacja generatora podstawy czasu

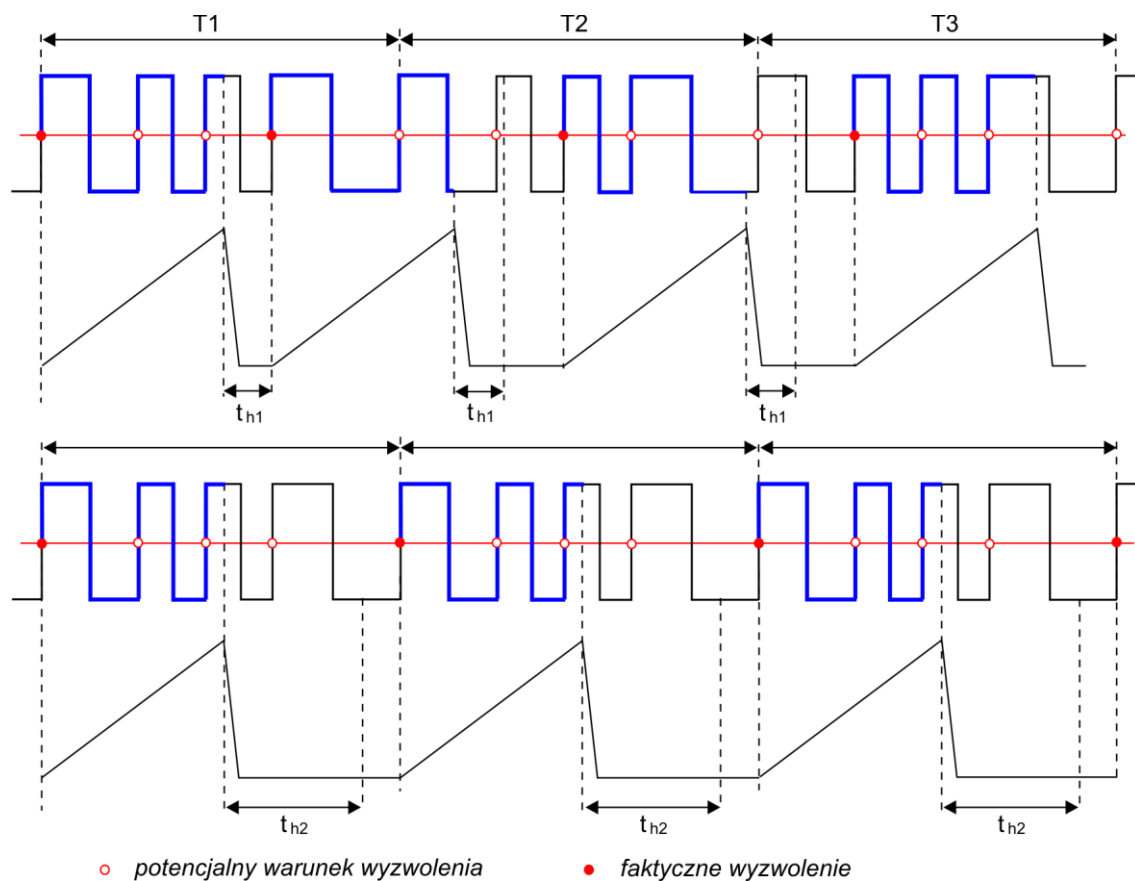
W oscyloskopach analogowych podstawowymi trybami pracy (wyzwalania) generatora podstawy czasu (ang. *trigger mode*) jest praca normalna (*NORM*) oraz automatyczna (*AUTO*).

Praca normalna

W pierwszym przypadku, wyzwalanej podstawy czasu, generator podstawy czasu pracuje jako monostabilny i uruchamiany jest wyłącznie impulsami wyzwalającymi pochodzącymi z układu synchronizacji i wyzwalania. Impulsy wytwarzane są w chwili, kiedy sygnał pochodzący z wybranego przez użytkownika źródła osiąga zadane warunki wyzwalania. Wówczas generowany jest pojedynczy impuls podstawy czasu, a po jego zakończeniu generator czeka na kolejny impuls wyzwalania (podstawa czasu nie jest generowana do momentu pojawienia się kolejnego impulsu wyzwalającego). Jeśli w trakcie pojedynczego impulsu podstawy czasu pojawiają się kolejne impulsy wyzwalania są one ignorowane do chwili zakończenia pełnego cyklu generacji podstawy czasu. W trybie tym przy braku impulsów wyzwalających na ekranie oscyloskopu nie powstaje żaden oscylogram. Plamka świetlna pozostaje w gotowości po lewej stronie ekranu.

Jednocześnie w trybie tym nie ma wymagań dotyczących okresowości sygnału badanego, który może być nieokresowy. Jeśli badane zjawisko powtarza się w nieregularnych odstępach czasu, to i tak pozwoli to na uzyskanie stabilnego oscylogramu (pod warunkiem, że czas poświaty ekranu jest wystarczający dla obserwacji nieregularnie powstających oscylogramów). W tym miejscu warto opisać znaczenie regulacji czasu podtrzymania *holdoff*. Zmiana czasu podtrzymania bywa bardzo pomocna w uzyskaniu stabilnego oscylogramu sygnałów okresowych o złożonych przebiegach (rys. 2.5).

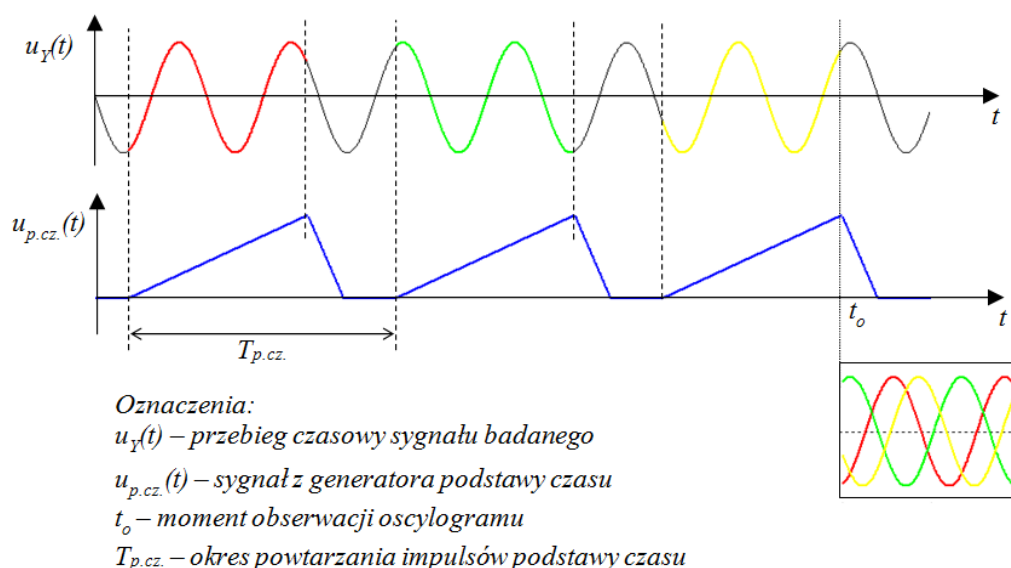
Na rysunku 2.5 zaznaczone są wszystkie punkty przebiegu, w których spełniony jest warunek wyzwalania, kiedy narastające zbocze sygnału osiąga zadany poziom wyzwalania. Spośród wygenerowanych impulsów wyzwalania pomijane są te, które występują w trakcie czasu narastania oraz czasu podtrzymania t_h cyklu generatora podstawy czasu. Na górnym rysunku, faktyczne chwile wyzwolenia występują w różnych miejscach okresu przebiegu badanego, co powoduje, że w kolejnych cyklach zobrazowania kreślone są różne fragmenty przebiegu i uzyskany oscylogram jest niestabilny. Na dolnym rysunku, przy wydłużonym czasie podtrzymania wyzwalanie następuje w tych samych miejscach okresu sygnału badanego, dzięki czemu kreślone są zawsze te same fragmenty przebiegu.



Rys. 2.5. Ilustracja roli regulacji czasu podtrzymania *holdoff*

Praca automatyczna

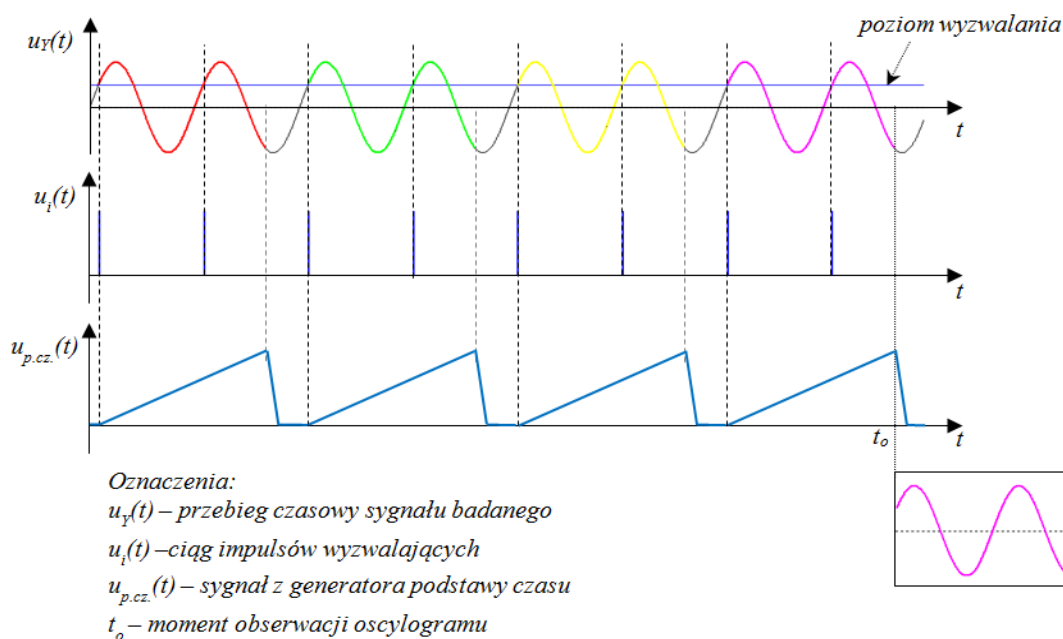
W drugim przypadku, automatycznej (automatycznie wyzwalanej) podstawy czasu, generator podstawy czasu pracuje jako astabilny, samowzbudnie. Sygnał podstawy czasu jest generowany zawsze, nawet przy braku impulsów wyzwalających z układu synchronizacji i wyzwalania. W takim przypadku generator podstawy czasu generuje impulsy sterujące płytkami odchyłania z częstotliwością własną zależną bezpośrednio od parametrów podstawy czasu ustawionych przez użytkownika (czas przemiatania *Sweep*, czas podtrzymania *Holdoff*). W momencie pojawienia się impulsów wyzwalających generator podstawy czasu przechodzi w tryb wyzwalania, charakterystyczny dla wyzwalanej podstawy czasu. Przy braku impulsów wyzwalających i braku sygnału badanego na ekranie oscyloskopu jest widoczna pozioma linia czasu. Przy braku impulsów wyzwalających i obecności sygnału uzyskanie stabilnego oscylogramu jest możliwe tylko wtedy, gdy obserwowany sygnał jest okresowy i jego częstotliwość jest całkowitą wielokrotnością lub podwielokrotnością częstotliwości własnej generatora podstawy czasu. Zatem, w trybie tym na ekranie oscyloskopu jest kreślony obraz nawet przy braku impulsów wyzwalających, jednak wtedy jest on zazwyczaj niestabilny. Proces powstawania niestabilnego oscylogramu został zilustrowany na rysunku 2.6.



Rys. 2.6. Proces powstawania niestabilnego oscylogramu na ekranie oscyloskopu w trybie pracy automatycznej oscyloskopu przy braku impulsów wyzwalających (generator podstawy czasu pracuje z częstotliwością własną)

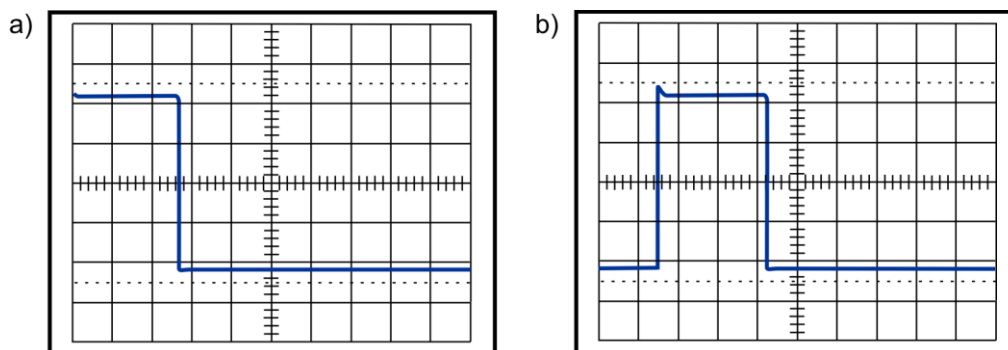
Jak wspomniano, generacja impulsu wyzwalającego przez układ synchronizacji i wyzwalania następuje w momencie spełnienia zadanego warunku przez sygnał wyzwalający pochodzący z wybranego przez użytkownika źródła wyzwalania (ang. *trigger source*). Najczęściej sygnałem wyzwalającym jest sygnał obserwowany, podłączony do jednego z kanałów Y oscyloskopu (CH1, CH2), ale są też inne możliwości. Źródłem wyzwalania może być również linia zasilająca (AC *LINE*), kiedy badany sygnał jest skorelowany z częstotliwością sieci, oraz zewnętrzne wejście wyzwalające oscyloskopu (*EXT*), do którego użytkownik może podłączyć dowolny sygnał.

Warunkiem generacji impulsu wyzwalającego jest osiągnięcie przez sygnał wyzwalający zadanej wartości, nazywanej poziomem wyzwalania (ang. *trigger level*). Zły dobór poziomu wyzwalania (zbyt niski lub zbyt wysoki) może spowodować, że impulsy wyzwalające nie będą generowane. W związku z tym należy pamiętać, że poziom wyzwalania powinien znajdować się w granicach zmienności wartości chwilowych sygnału wyzwalającego. Ma to szczególne znaczenie w trybie pracy wyzwalanej generatora podstawy czasu. Dodatkowo użytkownik może wybrać rodzaj zbocza sygnału, przy którym generowany jest impuls wyzwalający (ang. *trigger slope*). Impuls może być generowany, gdy wartość tego sygnału przekroczy poziom wyzwalania na zboczu narastającym (ang. *rising edge*) lub opadającym (ang. *falling edge*). Na rysunku 2.7 przedstawiono proces powstawania stabilnego oscylogramu po wyborze przez użytkownika odpowiedniego warunku wyzwalania.



Rys. 2.7. Proces tworzenia stabilnego oscylogramu (tryb AUTO lub NORM) przy wyborze kanału Y jako źródła sygnału wyzwalającego oraz zadaniu odpowiedniej wartości poziomu wyzwalania (wyzwalanie zboczem narastającym)

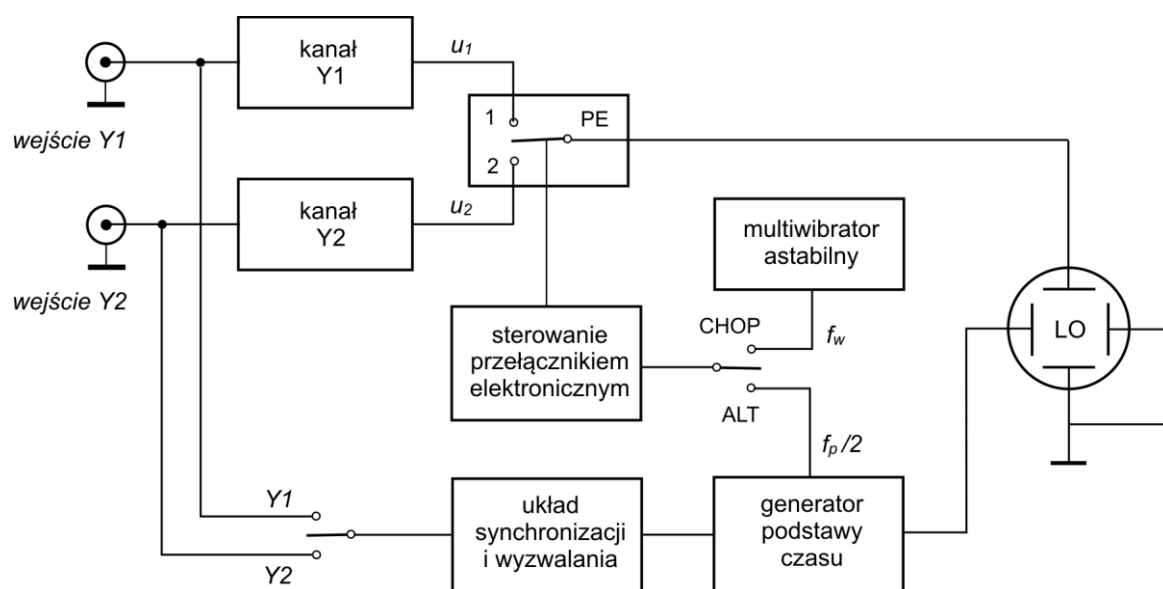
Niestety od chwili spełnienia zadanego warunku przez sygnał wyzwalający do momentu pojawienia się sygnału podstawy czasu na płytkach odchyłania w poziomie upłyne pewien czas. Zatem fragment przebiegu nie zostanie wykreślony na ekranie oscyloskopu. W niektórych przypadkach, np. podczas obserwacji krótkich impulsów o stromych zboczach, może to spowodować utratę istotnej części przebiegu. Aby tego uniknąć przed doprowadzeniem badanego sygnału do płytek odchyłających w pionie należy go opóźnić o pewien czas potrzebny na wygenerowanie impulsu wyzwalającego przez obwód wyzwalania oraz uruchomienie generatora podstawy czasu. Właśnie w tym celu w kanale Y stosuje się linie opóźniające. Obrazy oscylogramów uzyskanych przy wyłączonej i włączonej linii opóźniającej zostały zamieszczone na rysunku 2.8.



Rys. 2.8. Wpływ linii opóźniającej na uzyskany oscylogram przebiegu:
a) bez linii opóźniającej, b) z linią opóźniającą

2.3. Praca wielokanałowa oscyloskopu analogowego

Oscyloskopy analogowe wielokanałowe umożliwiają jednoczesną obserwację sygnałów podanych na wszystkie dostępne kanały Y (większość oscyloskopów analogowych posiada dwa kanały, ale są również oscyloskopy czterokanałowe). Jest to możliwe dzięki zastosowaniu przełącznika elektronicznego, który naprzemiennie podaje na płytki odchyłania pionowego sygnały z kolejnych kanałów Y oscyloskopu. Przełącznik ten może pracować w trybie pracy przemiennej (ang. *alternating*) lub siekanej (ang. *chopped*). Uproszczony schemat oscyloskopu dwukanałowego przedstawiono na rysunku 2.9.



Rys. 2.9. Uproszczony schemat blokowy oscyloskopu dwukanałowego z przełącznikiem elektronicznym kanałów (PE)

W trybie pracy przemiennej (ALT) w każdym cyklu podstawy czasu rysowany jest tylko jeden przebieg. W jednym cyklu podstawy czasu kreślony jest oscylogram przebiegu z jednego kanału (np. CH1), w następnym cyklu oscylogram przebiegu z kolejnego kanału (np. CH2). W wyniku poświaty luminoforu oraz bezwładności oka ludzkiego widoczne są jednocześnie przebiegi ze wszystkich dostępnych kanałów. W trybie tym przełącznik elektroniczny sterowany jest z generatora podstawy czasu, przy czym sygnał sterujący ma n (liczba obserwowanych kanałów) razy mniejszą częstotliwość niż sygnał generatora.

Drugi tryb pracy elektronicznego przełącznika kanałów (CHOP) polega na jego przełączaniu z częstotliwością własną. W trybie tym przełącznik elektroniczny sterowany jest z dodatkowego generatora sterującego o częstotliwości stałej, niezależnej od podstawy czasu. Oscylogramy przebiegów podłączonych do kanałów Y rysowane są odcinkami w trakcie trwania pojedynczej podstawy czasu. Dzięki temu, że sygnał przełączający nie jest zsynchronizowany z sygnałem wyzwalającym w kolejnych cyklach podstawy czasu rysowane są inne fragmenty obserwowanych przebiegów. W rezultacie widoczne są ciągłe przebiegi sygnałów na ekranie oscyloskopu.

Pracę przemienną stosuje się dla szybkich podstaw czasu, przy obserwacji sygnałów o dużych częstotliwościach, natomiast dla wolnych podstaw czasu, przy obserwacji sygnałów o małych częstotliwościach, bardziej wskazana jest praca siekana. W trybie pracy przemiennnej przy długich podstawach czasu widoczne jest migotanie obrazu. Natomiast podczas pracy siekanej przy krótkich podstawach czasu może się zdarzyć, że widoczne będą tylko fragmenty sygnałów (poprzerywane przebiegi).

W oscyloskopach wielokanałowych istnieje dodatkowa opcja wyboru źródła sygnału wyzwalania, która związana jest z trybem pracy przełącznika kanałów. Jest ona oznaczona jako *VERT*. Wybór tej opcji sprawia, że w przypadku pracy jednokanałowej źródłem sygnału wyzwalania jest aktywny kanał, czyli ten do którego podłączony jest obserwowany przebieg. W przypadku pracy np. dwukanałowej wyzwalanie przy wyborze opcji *VERT* zależy od wybranego trybu pracy przełącznika kanałów. W trybie pracy przemiennnej (*ALT*) sygnałem wyzwalającym jest sygnał aktualnie podawany na płytki odchyłania pionowego, czyli sygnał, którego przebieg jest aktualnie kreślony. Źródło wyzwalania zmienia się razem ze zmianą pozycji elektronicznego przełącznika kanałów. Natomiast w trybie pracy siekanej (*CHOP*) źródłem impulsów wyzwalających generator podstawy czasu może być sygnał z jednego z kanałów lub sygnał będący sumą obserwowanych przebiegów podłączonych do kanałów Y oscyloskopu.

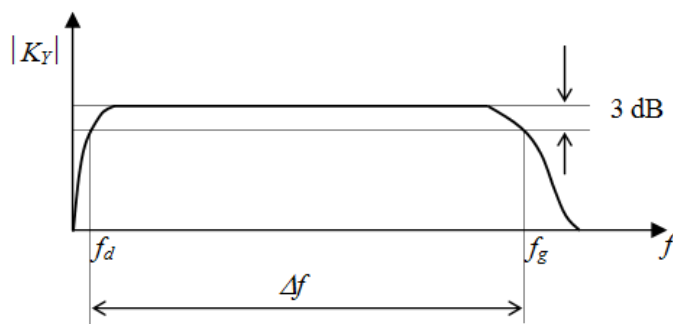
2.4. Podstawowe parametry oscyloskopów analogowych

Do podstawowych parametrów oscyloskopów analogowych należą:

1. Pasma przenoszenia (Δf)

Zakres częstotliwości, w którym tłumienie sygnału w kanale Y jest nie większe niż 3 dB. Wyznaczane jest na podstawie charakterystyki częstotliwościowej amplitudowej toru Y (rys. 2.10) jako różnica częstotliwości granicznej górnej (f_g) i częstotliwości granicznej dolnej (f_d):

$$\Delta f = f_g - f_d \quad (2.2)$$



Rys. 2.10. Wyznaczenie pasma przenoszenia oscyloskopu na podstawie charakterystyki częstotliwościowej amplitudowej toru Y

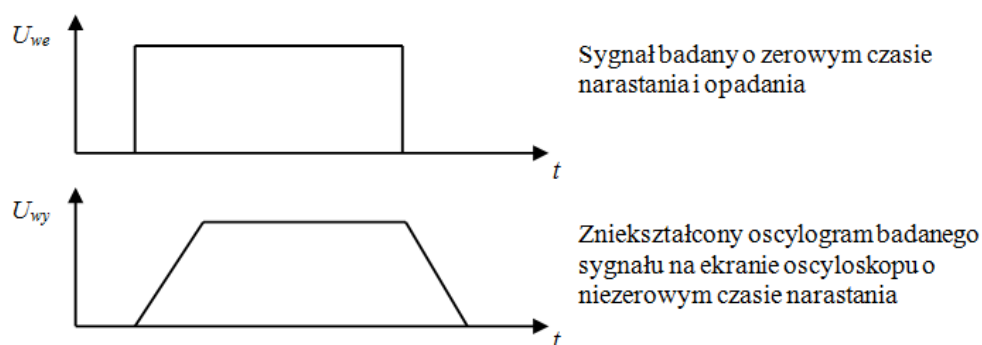
Należy zwrócić uwagę, że dolna granica pasma przenoszenia ulega zmianie w zależności od rodzaju sprzężenia AC/DC sygnału w torze Y, ze względu na szeregowe połączenie kondensatora na wejściu toru w przypadku sprzężenia AC.

1. Czas narastania (t_N)

Czas, w którym charakterystyka przejściowa oscyloskopu, czyli odpowiedź na wymuszenie w postaci skoku jednostkowego podane na wejście Y, narasta od 0.1 do 0.9 wartości ustalonej. Ponieważ tor odchylenia Y oscyloskopu ma charakter układu pasmowo-przepustowego lub dolnoprzepustowego, to istnieje bezpośrednia relacja pomiędzy czasem narastania a pasmem przenoszenia:

$$t_N = \frac{0,35 \div 0,45}{\Delta f} \quad (2.3)$$

Wartość współczynnika zależy od charakterystyki częstotliwościowej oscyloskopu. Parametr w postaci czasu narastania charakteryzuje zdolność oscyloskopu do przenoszenia sygnałów szybkochylnych, np. impulsów o stromych zboczach. Jeśli czas narastania (opadania) badanego impulsu będzie mniejszy niż czas narastania oscyloskopu to impuls zostanie zniekształcony poprzez zwiększenie czasu narastania (opadania) jego zbocza (rys. 2.11).



Rys. 2.11. Zniekształcenie oscylogramu sygnału badanego spowodowane niezerowym czasem narastania oscyloskopu

2. Zakres współczynnika czasu

Współczynnik czasu (D_t), nazywany również współczynnikiem podstawy czasu lub po prostu podstawą czasu, definiuje przedział czasu odpowiadający 1 poziomej działce na ekranie oscyloskopu (tryb Y-T). Jednostką współczynnika czasu jest sekunda (lub jej podwielokrotności) na działkę ([s/dz], [ms/dz], [μs/dz], [ns/dz]). Dostępny zakres współczynnika podstawy czasu związany jest z pasmem przenoszenia oscyloskopu. Im szersze pasmo tym większy zakres współczynnika czasu.

3. Zakres współczynnika napięcia

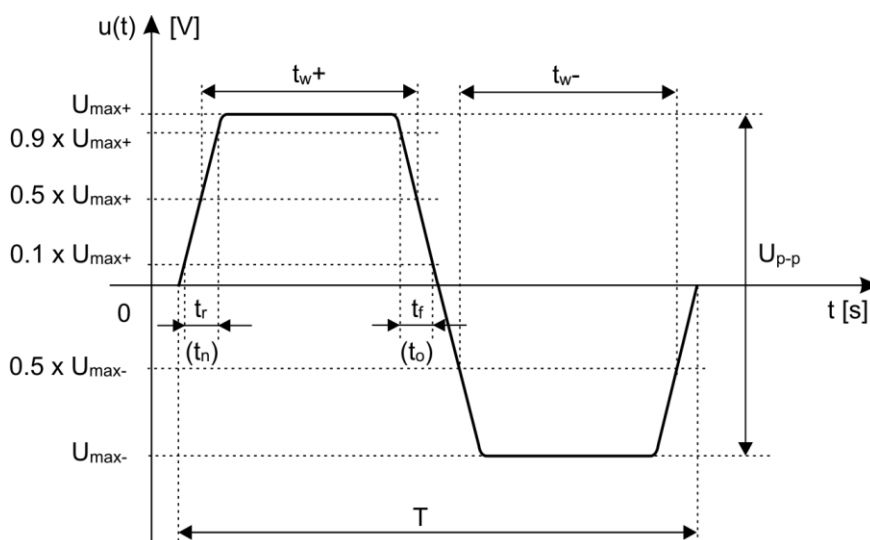
Współczynnik napięcia (D_Y), nazywany również współczynnikiem odchylenia, definiuje wartość napięcia odpowiadającą 1 pionowej działce na ekranie oscyloskopu. Jednostką współczynnika napięcia jest volt (lub jego podwielokrotność) na działkę [V/dz], [mV/dz]. Dostępny zakres współczynnika napięcia związany jest z czułością statyczną lampy oscyloskopowej oraz wzmocnieniem stosowanych w oscyloskopie wzmacniaczy.

4. Impedancja wejściowa

Impedancja widziana od strony wejścia oscyloskopu przez źródło sygnału. Jest istotna z punktu widzenia źródeł sygnałów badanych. Mała jej wartość może stanowić dla nich zbyt duże obciążenie. Impedancja powinna mieć stałą wartość w szerokim zakresie częstotliwości sygnałów – co jest trudne do osiągnięcia. Zastępcza impedancja wejściowa kanału Y oscyloskopu analogowego odpowiada najczęściej równoległemu połączeniu rezystancji $1\text{ M}\Omega$ oraz pojemności o wartości z zakresu $10\div 50\text{ pF}$. Jeżeli źródło sygnału badanego wymaga większej impedancji wejściowej kanału Y oscyloskopu, stosuje się specjalne sondy pomiarowe. Spotykane są również oscyloskopy z wejściami o impedancji $50\ \Omega$.

2.5. Parametry sygnałów

Oscyloskopy analogowe wykorzystywane są nie tylko do obserwacji przebiegów, ale również do pomiaru ich parametrów napięciowych i czasowych. Rysunek 2.12 przedstawia przebieg sygnału napięcia okresowego $u(t)$, na którym zaznaczono podstawowe parametry napięciowe i czasowe sygnału. Jest to przebieg bipolarny o charakterze zbliżonym do rzeczywistego sygnału fali prostokątnej.



Rys. 2.12. Przebieg napięcia okresowego

Do podstawowych parametrów napięciowych sygnału należą:

U_{max+} – amplituda dodatnia, maksymalna wartość dodatnia względem poziomu odniesienia,

U_{max-} – amplituda ujemna, maksymalna wartość ujemna względem poziomu odniesienia,

U_{p-p} – wartość międzyszczytowa (ang. *peak to peak*).

Interpretacja tych wielkości jest niezależna od kształtu przebiegu. Dla sygnałów okresowych zdefiniować możemy jeszcze dwie inne wielkości charakterystyczne: wartość skuteczną U_{rms} (ang. *root mean square*) oraz wartość średnią U_{avg} (ang. *average*). W obu przypadkach jednak ich interpretacja graficzna zależy od kształtu sygnału, który decyduje o relacji tych wartości względem wartości amplitudy sygnału. Utrudnia to pomiar tych wielkości na podstawie oscylogramu, gdyż wymaga znajomości współczynników pozwalających na przeliczenie proporcji pomiędzy amplitudą a wybraną wielkością. Przykładowo dla sygnału sinusoidalnego wartość skuteczna **jest równa** $\approx 0,707 U_{max}$, a wartość średnia $\approx 0,636 U_{max}$ (przy prostowaniu dwupołówkowym, dla sygnału bipolarnego wartość średnia jest równa 0). Bliższe informacje na temat tych parametrów znaleźć można np. w opisie pomiarów napięć.

Do podstawowych parametrów czasowych sygnału należą:

T – okres powtarzania przebiegu,

t_{w+} – czas trwania impulsu dodatniego, mierzony na połowie jego wysokości (ang. *width+*),

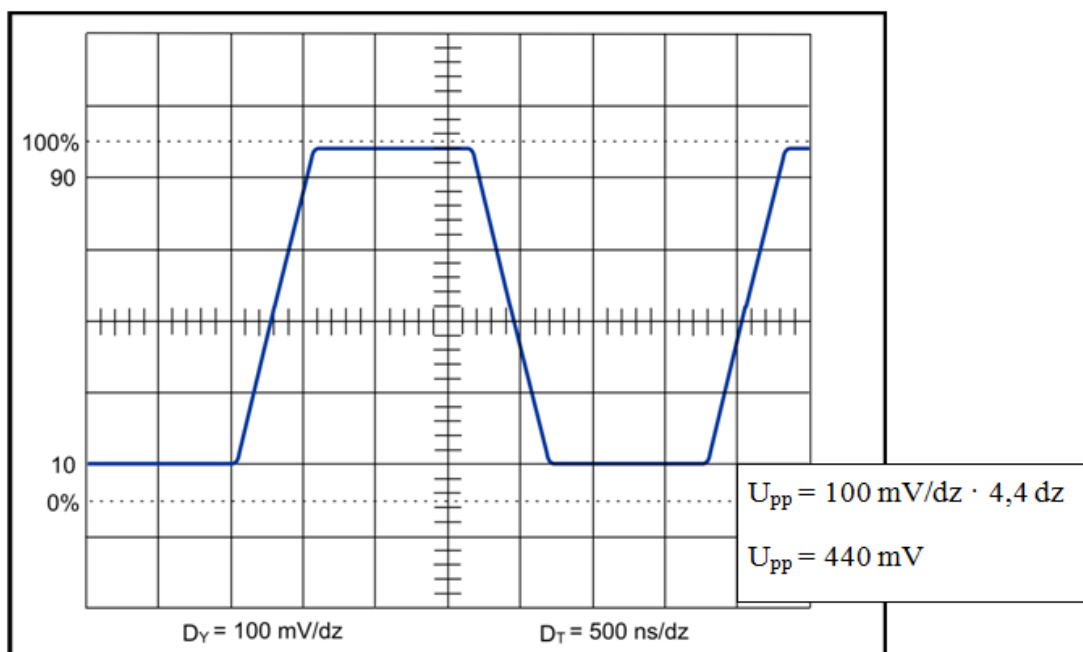
t_{w-} – czas trwania impulsu ujemnego, mierzony na połowie jego wysokości (ang. *width-*),

$t_r(t_n)$ – czas narastania, czas w którym sygnał zmienia się wartość w zakresie od 0,1 do 0,9 wartości maksymalnej (ang. *rising*),

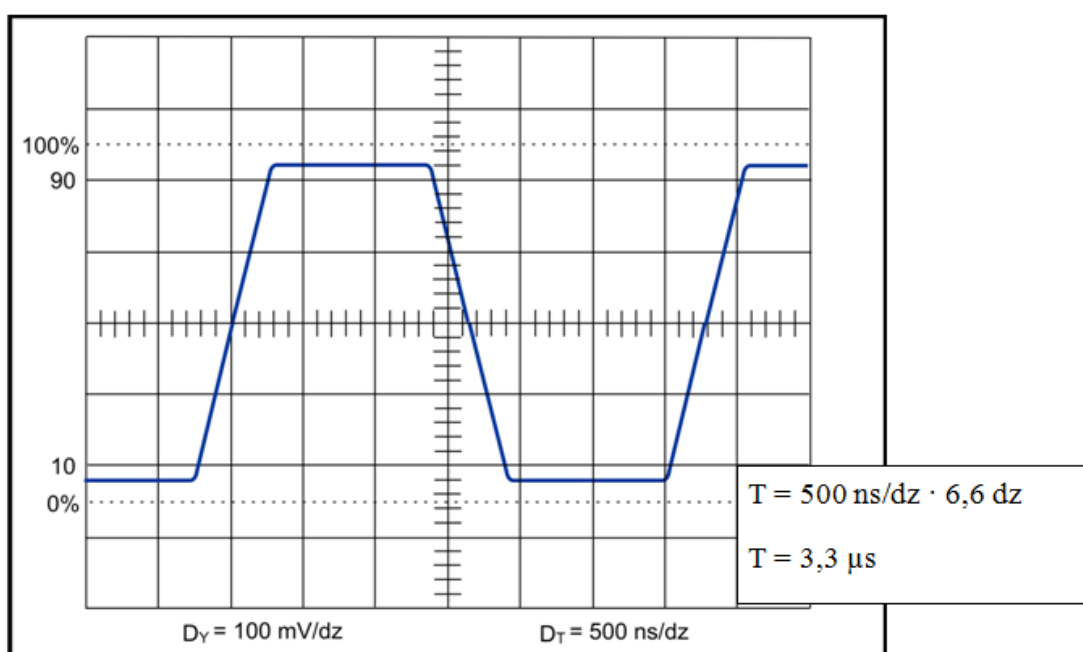
$t_f(t_o)$ – czas opadania, czas w którym sygnał zmienia się wartość w zakresie od 0,1 do 0,9 wartości maksymalnej (ang. *falling*).

2.6. Pomiary parametrów sygnałów

Wszystkie wymienione parametry możemy zmierzyć za pomocą oscyloskopu analogowego stosując metodę pomiaru z wykorzystaniem siatki współrzędnych. Pomiarów dokonuje się zliczając główne i pomocnicze działki siatki na ekranie oscyloskopu, a następnie mnożąc ich liczbę przez współczynnik skali. Na przykład, w przypadku pomiaru napięcia międzyszczytowego przebiegu zliczono 4,4 działek pionowych w osi Y pomiędzy minimalną i maksymalną wartością przebiegu, przy znanym współczynniku napięcia, dla którego dokonano obserwacji i pomiaru 100 mV/dz. Analogicznie postępuje się w pomiarach parametrów czasowych, odczytując liczbę działek na poziomej osi X, przy znanym współczynniku czasu. Przy pomiarze okresu sygnału zliczono liczbę 6,6 działek, dla współczynnika podstawy czasu 500 ns/dz. Sposób wyznaczenia parametrów sygnału w metodzie siatki ilustrują rysunki 2.13 i 2.14.



Rys. 2.13. Wyznaczanie parametrów amplitudowych przebiegu metodą siatki współrzędnych



Rys. 2.14. Wyznaczanie parametrów czasowych przebiegu metodą siatki współrzędnych

Podczas pomiarów metodą siatki należy pamiętać, że w obu torach Y oraz X występują pokrętła płynnie zmieniające współczynnik skali i przed przystąpieniem do pomiarów należy ustawić je w pozycji kalibracji, oznaczonej na płycie przyrządu. Tylko wówczas współczynniki skali wynikające z ustawienia skokowych przełączników wyboru wzmocnienia kanału oraz podstawy czasu odpowiadają opisom przy przełącznikach. Dla dokładnego odczytu pomocniczych działek siatki należy wykorzystać możliwość przesuwu przebiegu w osi Y oraz osi X. Pomiar parametrów czasu narastania i opadania sygnału ułatwiony jest poprzez zaznaczenie wartości 10% i 90% sygnału, przy odpowiednim jego pozycjonowaniu na ekranie oscyloskopu. Warto w tym

miejsu pamiętać, że regulacja współczynnika skali w osi Y nie wpływa na parametry czasowe i odwrotnie regulacja współczynnika skali w osi X nie wpływa na parametry napięciowe sygnału.

W ogólności dokładność pomiaru δ_p metodą siatki współrzędnych określona jest wyrażeniem:

$$\delta_p = \pm(\delta_o + \delta_{ws}) \quad (2.4)$$

gdzie: δ_p – dokładność (względny błąd) odczytu liczby działek z ekranu,

δ_{ws} – dokładność (względny błąd) współczynnika skali,

O ile dokładność odczytu liczby działek z ekranu nie zależy od oscyloskopu i jest łatwa do zdefiniowania, o tyle dokładność współczynnika skali jest zależna od typu oscyloskopu (analogowy, cyfrowy), rodzaju osi (pionowa, pozioma) a jej analityczna wartość jest trudna do wyznaczenia. W przypadku odczytu liczby działek możemy przyjąć, że rozdzielczość odczytu z ekranu wynosi $\frac{1}{4}$ podprzedziału w działce, co odpowiada odległości 0,5 mm. Ta wartość odniesiona do rozmiaru przebiegu odczytanego w *mm* określa dokładność odczytu. Dlatego podczas pomiarów metodą współczynnika skali ważne jest, aby „rozciągnąć” maksymalnie sygnał w osi napięcia i czasu minimalizując błąd wynikający z odczytu liczby działek.

W przypadku współczynników skali sytuacja jest dużo bardziej złożona. Na dokładność współczynników skali napięcia wpływa dokładność określenia wzmocnienia torów analogowych, stałość wzmocnienia w funkcji częstotliwości oraz w funkcji poziomu sygnału a także stabilność w czasie. W przypadku oscyloskopów cyfrowych należy dodatkowo uwzględnić dokładność przetwornika analogowo/cyfrowego oraz skalowania obrazu. Wszystko to powoduje, że w przypadku pomiaru napięcia praktycznie możemy liczyć na dokładność kilku procent. W przypadku współczynnika skali czasu, w oscyloskopie analogowym decyduje dokładność i stabilność generatora podstawy czasu oraz parametry wzmacniacza końcowego toru X. W oscyloskopie cyfrowym dokładność i stabilność generatora taktującego proces próbkowania, dokładność skalowania. W efekcie końcowym dokładność pomiarów parametrów czasowych jest wyższa niż napięciowych w obu typach oscyloskopów. Szczególnie w przypadku oscyloskopów cyfrowych możemy liczyć na dokładność poniżej jednego procenta.

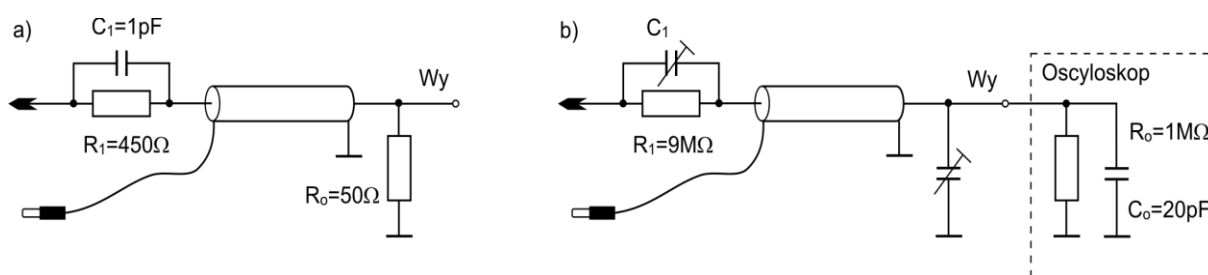
2.7. Sondy pomiarowe

Podłączenie wejścia oscyloskopu do źródła sygnału nie jest zagadnieniem trywialnym. Oscyloskop może służyć do obserwacji sygnałów z wyjść urządzeń, które zakończone są gniazdami BNC lub innymi o impedancji typowo 50 Ω . Wówczas do połączenia pomiędzy urządzeniem a oscyloskopem używa się przewodów koncentrycznych o impedancji 50 Ω zakończonych np. obustronnie wtykami BNC. Ale impedancja oscyloskopu z reguły ma charakter równoległego połączenia rezystancji 1 M Ω i pojemności 20 pF. Na końcu przewodu od strony oscyloskopu występuje niedopasowanie impedancyjne, które skutkuje ograniczeniem pasma i zniekształceniami

przebiegów w zakresie wysokich częstotliwości. Jeszcze trudniejsza jest sytuacja podczas wykorzystania oscyloskopu do obserwacji przebiegów elektrycznych w różnych punktach układu elektronicznego, zmontowanego na płycie drukowanej. Należy zapewnić dobry, wąsko wymiarowy styk, minimalny wpływ podłączenia oscyloskopu na pracę układu, czyli dużą impedancję widzianą od strony badanego układu, szerokie pasmo przenoszenia oraz dopasowanie od strony wejścia oscyloskopu. Do tego celu stosuje się sondy pomiarowe o różnych konstrukcjach. Sondy mogą być napięciowe lub prądowe. Spotyka się również specjalne rodzaje sond, np. detekcyjne. Najpowszechniej wykorzystywane są sondy napięciowe służące do obserwacji przebiegów napięć elektrycznych. Sondy wykonywane są jako bierne, składające się z elementów RLC i przewodów lub jako aktywne, zawierające elementy aktywne, np. tranzystory czy wzmacniacze operacyjne. Sondy pasywne wykorzystuje się w zakresie częstotliwości do kilkudziesięciu lub kilkuset megaherców. Dla wyższych częstotliwości stosuje się sondy aktywne.

Sondy pasywne wykonane z elementów RC mają najczęściej stopień podziału $\times 1$ lub $\times 10$. Sonda o stopniu podziału $\times 1$ składa się z grotu, przewodu koncentrycznego i obciążenia o impedancji równej impedancji przewodu, najczęściej $50\ \Omega$. Ponieważ tego typu sondy przeznaczone są do pracy z wejściem oscyloskopu o impedancji $50\ \Omega$, to często rolę obciążenia pełni wejście oscyloskopu. Taka sonda spisuje się dobrze w szerokim zakresie częstotliwości jednak jej wadą jest mała impedancja widziana od strony źródła sygnału. Przy podłączeniu do wejścia wysoko impedancyjnego taka sonda traci swoje właściwości szerokopasmowe i może pracować poprawnie w zakresie do kilku megaherców. Pewną poprawę dają sondy RC z podziałem $\times 10$. Sonda posiada rezystor szeregowy o wartości $450\ \Omega$ a jej rezystancja wejściowa od strony źródła wynosi $500\ \Omega$.

Ze względu na fakt, że oscyloskopy mają najczęściej wejścia o wysokiej impedancji najpowszechniej stosuje się sondy RC przeznaczone do pracy z takimi wejściami. Budowę obu typów sond ze stopniem podziału $1:10$ przedstawia rysunek 2.15.



Rys. 2.15. Budowa sondy pasywnej z podziałem $1:10$: a) sonda do pracy z wejściem $50\ \Omega$,
b) sonda do pracy z wejściem o wysokiej impedancji

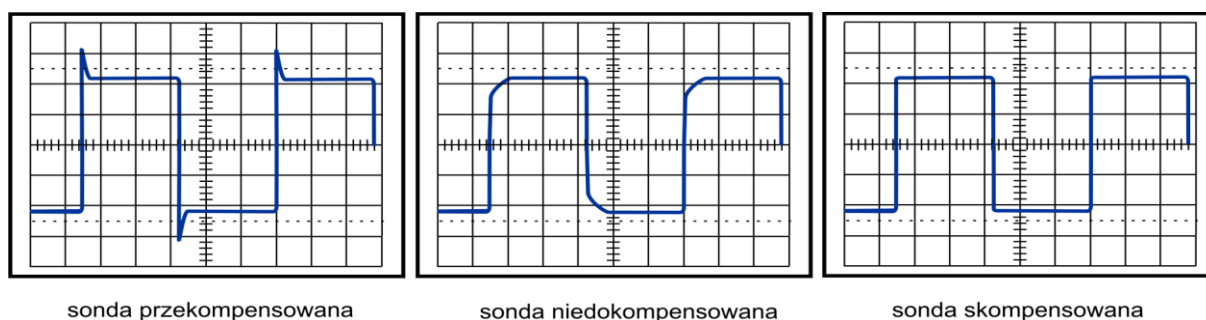
Najczęściej obciążeniem sondy pełniącym również rolę elementu dzielnika $1:10$ jest obwód wejściowy oscyloskopu. Szeregowo w obwodzie sondy włączony jest rezystor o typowej wartości

9 MΩ. Kompensację dzielnika w zakresie wyższych częstotliwości zapewniają kondensatory. Rezystancja i pojemność wejściowa sondy wynoszą odpowiednio:

$$R_{we} = R_1 + R_o \quad (2.5)$$

$$C_{we} = \frac{C_1 \cdot C_o}{C_1 + C_o} \quad (2.6)$$

Daje to efekt zwiększenia rezystancji wejściowej przy zmniejszeniu pojemności. Charakterystyka częstotliwościowa sondy i jej pasmo zależą od kompensacji. Po każdym dołączeniu sondy do konkretnego oscyloskopu, przed wykonywaniem pomiarów, należy przeprowadzić kompensację. Do tego potrzebne jest źródło sygnału fali prostokątnej np. o częstotliwości 1 kHz. Oscyloskopy często wyposażone są w wyjścia takich sygnałów. Regulując tryмеры lub trymer pojemnościowy w sondzie należy uzyskać przebieg prostokątny na ekranie oscyloskopu bez przerostów i zaokrągleń na zboczach. Skompensowana sonda pracuje poprawnie w zakresie do kilkudziesięciu MHz. Widok sygnałów podczas strojenia przedstawia rysunek 2.16.



Rys. 2.16. Kompensacja sondy pasywnej RC

2.8. Badania laboratoryjne

Cel ćwiczenia:

- poznanie parametrów i funkcji oscyloskopów analogowych,
- zapoznanie z podstawową obsługą oscyloskopów analogowych,
- nabywanie umiejętności poprawnej konfiguracji pracy oscyloskopu dla:
 - właściwej obserwacji oscylogramów różnych sygnałów,
 - właściwego pomiaru parametrów napięciowych i czasowych sygnałów.

Wykaz przyrządów na stanowisku pomiarowym

Lp.	Nazwa przyrządu
1	Oscyloskop analogowy
2	Generatory pomiarowe – źródła sygnałów
3	Częstościomierz cyfrowy

Przebieg ćwiczenia:

1. Zapoznanie się z panelem czołowym oscyloskopu

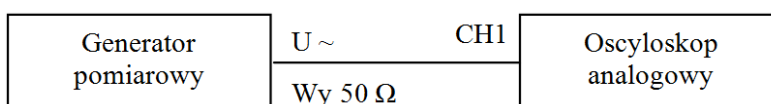
Zapoznać się z przełącznikami i pokrętkami dostępnymi na panelu czołowym oscyloskopu, określić ich funkcje. Uzupełnić tabelę z parametrami i właściwościami badanego przyrządu.

2. Przygotowanie oscyloskopu do pracy i sprawdzenie działania wybranych elementów regulacyjnych przyrządu

Włączyć badany oscyloskop. Ustawić tryb pracy automatycznej generatora podstawy czasu. Pokrętkami regulacji położenia obrazu ustawić oscylogram na środku ekranu. Sprawdzić działanie elementów regulacyjnych lampy oscyloskopowej. Z ich pomocą ustawić wyraźny oscylogram.

3. Wykrycie oraz stabilizacja oscylogramu sygnału doprowadzonego do oscyloskopu

Połączyć układ pomiarowy zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku 2.17.



Rys. 2.17. Schemat blokowy połączenia źródła sygnału z oscyloskopem

a) Praca automatyczna generatora podstawy czasu

Włączyć generator i ustawić sygnał o zadanych parametrach. Wybrać zobrazowanie sygnału z kanału 1, sprzężenie zmiennoprądowe. Ustawić kanał 1 jako źródło sygnału wyzwalania. Ustabilizować oscylogram za pomocą pokrętła regulacji poziomu wyzwalania. Dobrać odpowiednie wartości współczynnika czasu i napięcia (oscylogram powinien zajmować jak największą część pola pomiarowego i przedstawiać 2-3 okresy badanego sygnału). Zmienić źródło sygnału wyzwalania na kanał 2. Spróbować uzyskać stabilny oscylogram za pomocą pokrętła płynnej regulacji współczynnika czasu.

b) Praca normalna generatora podstawy czasu

Ustawić kanał 1 jako źródło sygnału wyzwalania. Wybrać tryb pracy normalnej generatora podstawy czasu. Poprzez regulację położenia obrazu ustawić oscylogram w poziomie od początku siatki współrzędnych, natomiast w pionie na środku ekranu. Sprawdzić wpływ regulacji poziomu wyzwalania oraz zmiany rodzaju zbocza wyzwalającego na oscylogram. Dla odpowiednich nastaw podanych w tabeli narysować oscylogramy.

c) Wpływ rodzaju sprzężenia kanału Y na oscylogram

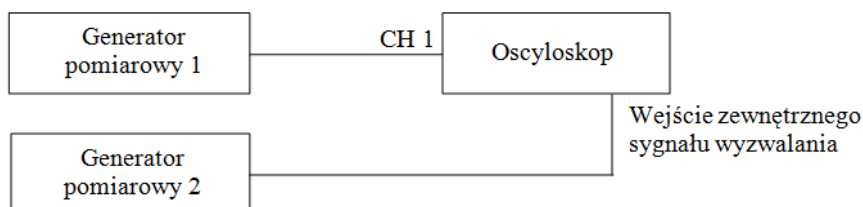
Wybrać tryb pracy automatycznej generatora podstawy czasu. Przy ustawionym sprzężeniu zmiennoprądowym (AC) kanału Y regulować kolejno wartości składowej zmiennej i składowej stałej sygnału z generatora i obserwować zmiany oscylogramu. Powyższe obserwacje powtórzyć

przy wyborze sprzężenia stałoprądowego (DC). Ustawić przełącznik rodzaju sprzężenia w pozycji GND (brak sprzężenia), zaobserwować brak sygnału z generatora w widocznym oscylogramie.

4. Praca oscyloskopu przy wyzwalaniu zewnętrznym

a) Wyzwalanie zewnętrzne sygnałem niesynchronizowanym z sygnałem badanym

Połączyć układ pomiarowy zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku 2.18.

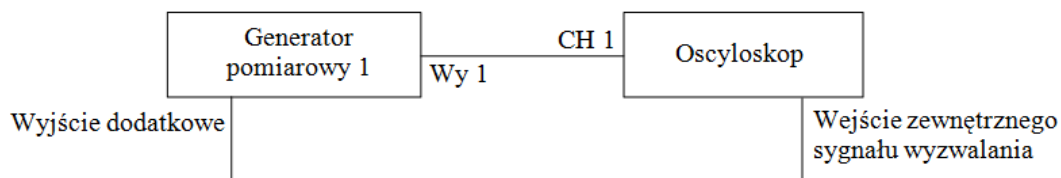


Rys. 2.18. Schemat układu pomiarowego do badania pracy oscyloskopu przy wyzwalaniu zewnętrznym sygnałem niesynchronizowanym z sygnałem badanym

Ustawić sygnały z generatorów o zadanych parametrach (bez składowej stałej). Uzyskać stabilny oscylogram sygnału z kanału 1 przy wyzwalaniu wewnętrznym (źródło sygnału wyzwalania - kanał 1, sprzężenie zmiennoprądowe). Zmienić źródło wyzwalania na wejście sygnału zewnętrznego. Obserwować otrzymany oscylogram. Regulując częstotliwość sygnału z generatora pomiarowego 2 spróbować ustabilizować oscylogram.

b) Wyzwalanie zewnętrzne sygnałem zsynchronizowanym z sygnałem badanym

Połączyć układ pomiarowy zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku 2.19.



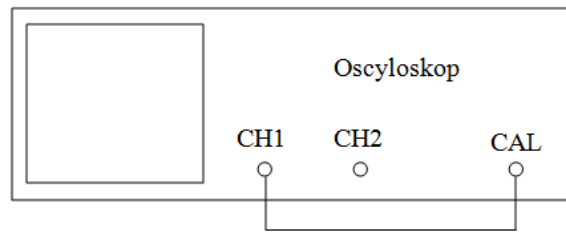
Rys. 2.19. Schemat układu pomiarowego do badania pracy oscyloskopu przy wyzwalaniu zewnętrznym sygnałem zsynchronizowanym z sygnałem badanym

Przy nastawach generatora takich jak poprzednio obserwować otrzymany oscylogram.

5. Przygotowanie oscyloskopu do pomiarów

a) Sprawdzenie poprawności skalowania współczynników napięcia

Połączyć wyjście sygnału wzorcowego oscyloskopu z kanałem 1 przyrządu według schematu przedstawionego na rysunku 2.20.



Rys. 2.20. Schemat ilustrujący sposób połączenia wyjścia sygnału wzorcowego z kanałem 1 oscyloskopu

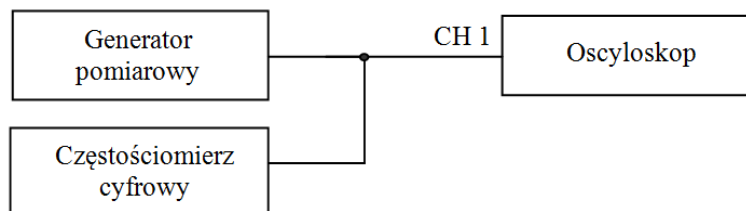
Pokrętkę płynnej regulacji współczynnika napięcia ustawić w prawe skrajne położenie (CAL). Dobrać wartość współczynnika czasu, aby uzyskać kilka okresów sygnału wzorcowego. Pokrętkę skokowej regulacji współczynnika napięcia D_Y ustawić taką wartość, aby oscylogram sygnału wzorcowego zajmował w pionie jak największą część pola pomiarowego. Odczytać w działkach wysokość oscylogramu sygnału wzorcowego H . Przyjmując wartość międzyszczytową sygnału wzorcowego podaną przez producenta oscyloskopu (opis na płycie czołowej przyrządu) obliczyć wartość współczynnika napięcia $D_{Y(obl.)}$ według wzoru:

$$D_{Y(obl)} = \frac{U_{pp}}{H} \quad (2.7)$$

Przeprowadzić powyższą procedurę dla kanału 2 badanego oscyloskopu. Wyniki pomiarów i obliczeń zamieścić w tabeli. Porównać obliczone i zadane wartości współczynnika napięcia.

b) Sprawdzenie poprawności skalowania współczynników czasu

Połączyć układ pomiarowy zgodnie ze schematem zamieszczonym na rysunku 2.21.



Rys. 2.21. Schemat układu pomiarowego do sprawdzenia poprawności skalowania współczynników czasu

Ustawić skokowo zadaną wartość współczynnika czasu D_T a pokrętkę płynnej regulacji ustawić w prawe skrajne położenie (CAL). Zmieniać częstotliwość generatora, aby otrzymany oscylogram jednego okresu sygnału zajmował pełne pole pomiarowe (n_{max} działek). Odczytać z częstościomierza cyfrowego częstotliwość sygnału generatora (f_{wz}). Wyznaczyć okres sygnału z generatora (T_{wz}) oraz obliczyć wartość współczynnika czasu $D_{t(obl)}$ ze wzoru:

$$D_{t(obl)} = \frac{T_{wz}}{n_{max}} \quad (2.8)$$

Powyższą procedurę powtórzyć dla kilku zadanych wartości współczynnika czasu. Wyniki pomiarów i obliczeń zamieścić w tabeli. Porównać obliczone i zadane wartości współczynnika czasu.

6. Pomiar wybranych parametrów sygnałów

Połączyć układ pomiarowy zgodnie ze schematem zamieszczonym na rysunku 2.17. Na generatorze ustawiać kolejno sygnały o podanych kształtach i parametrach. Zmierzyć zadane parametry czasowe i napięciowe poszczególnych sygnałów, takie jak wartość międzyszczytowa, okres, czas trwania impulsu, czas narastania zbocza. Przy pomiarze każdego parametru tak dobrać współczynnik czasu/napięcia, aby fragment oscylogramu odpowiadający mierzonemu parametrowi zajmował jak największą część pola pomiarowego. Korzystać z regulacji położenia oscylogramu w pionie i poziomie, poziomu wyzwalania oraz zbocza wyzwalającego, aby przeprowadzone pomiary były jak najdokładniejsze. Wyniki oraz szkice oscylogramów zamieścić w tabeli.

7. Praca dwukanałowa oscyloskopu

a) Praca przemienna przełącznika kanałów Y oscyloskopu

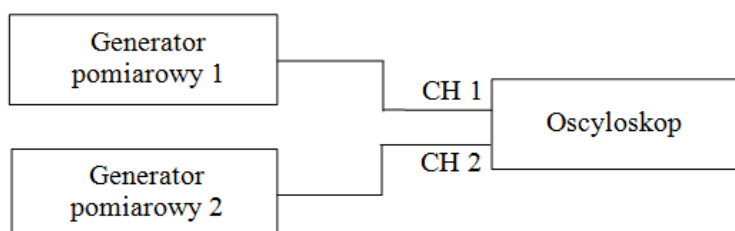
Odłączyć generator pomiarowy od oscyloskopu. Wybrać tryb pracy automatycznej generatora podstawy czasu. Ustawić kanał 1 jako źródło sygnału wyzwalania. Wybrać tryb pracy przemiennego przełącznika kanałów Y oscyloskopu. Regulacją położenia w pionie rozdzielić oscylogramy z obu kanałów na płaszczyźnie ekranu. Ustawić względnie dużą wartość współczynnika czasu (np. 0,2 s/dz). Obserwować obraz na ekranie oscyloskopu.

b) Praca siekana przełącznika kanałów Y oscyloskopu

Zmienić tryb pracy przełącznika kanałów oscyloskopu na pracę siekaną. Ustawić względnie małą wartość współczynnika czasu (np. 1 μ s/dz). Za pomocą pokrętła płynnej regulacji współczynnika czasu ustawić na ekranie „posiekane” oscylogramy linii podstawy czasu.

c) Jednoczesna obserwacja dwóch sygnałów niesynchronizowanych

Połączyć układ pomiarowy zgodnie ze schematem zamieszczonym na rysunku 2.22.



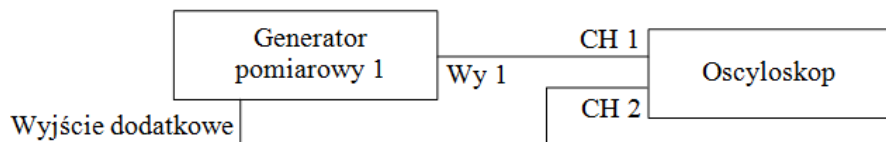
Rys. 2.22. Schemat układu pomiarowego do jednoczesnej obserwacji sygnałów niesynchronizowanych

Ustawić na generatorach zadane parametry sygnałów. W trybie pracy jednokanałowej znaleźć kolejno stabilne oscylogramy sygnałów podłączonych do kanałów 1 i 2, dobrać odpowiednie nastawy oscyloskopu w obu kanałach Y. Przełączyć oscyloskop na pracę dwukanałową w trybie siekanym. Obserwować otrzymany obraz przy zmianie źródła sygnału wyzwalania kolejno na kanał 1, kanał 2, kanał 1 i 2. Zmienić tryb pracy przełącznika kanałów Y oscyloskopu na pracę przemienną. Powtórzyć obserwacje dla trzech różnych ustawień źródła sygnału wyzwalania.

Zanotować w tabeli stabilność oscylogramów obu sygnałów dla poszczególnych ustawień oscyloskopu.

d) Jednoczesna obserwacja dwóch sygnałów zsynchronizowanych

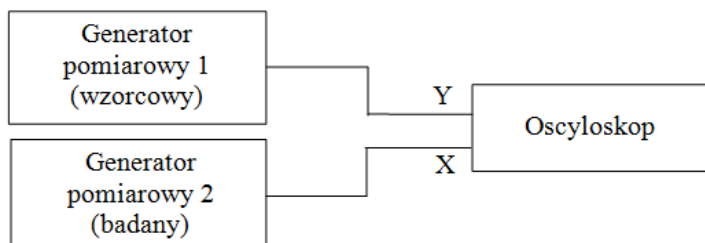
Połączyć układ pomiarowy zgodnie ze schematem zamieszczonym na rysunku. 2.23.



Rys. 2.22. Schemat układu pomiarowego do jednoczesnej obserwacji sygnałów zsynchronizowanych

Ustawić na generatorze zadane parametry sygnałów. Przeprowadzić badania analogicznie jak poprzednio, przy obserwacji sygnałów niesynchronizowanych.

8. Zastosowanie zobrazowania w trybie X-Y do pomiarów częstotliwości metodą porównawczą



Rys. 2.23. Schemat układu pomiarowego do pomiaru częstotliwości metodą porównawczą

Na generatorach ustawić sygnały o zadanych parametrach. Przełączyć oscyloskop w tryb zobrazowania X-Y. Dobrać odpowiednie współczynniki napięcia w kanałach X i Y tak, aby oscylogram mieścił się w polu pomiarowym i zajmował możliwie dużą jego część. Regulując częstotliwość generatora wzorcowego uzyskać na ekranie stabilny oscylogram w postaci odcinka linii prostej lub elipsy (koła). Odczytać wartość częstotliwości sygnału z generatora wzorcowego (f_w). Jest ona równa rzeczywistej wartości częstotliwości sygnału z generatora badanego przy zadanej nastawie f_x . Wyznaczyć bezwzględny (Δf) oraz względny (δ_f) błąd nastawy częstotliwości generatora badanego korzystając ze wzorów:

$$\Delta f = |f_x - f_w| \quad (2.9)$$

$$\delta_f = \frac{\Delta f}{f_x} \cdot 100\% \quad (2.10)$$

Powyższą procedurę powtórzyć dla kilku zadanych wartości nastawy częstotliwości generatora badanego. Wyniki pomiarów i obliczeń zamieścić w tabeli.

Opracowanie sprawozdania:

1. Wykonać odpowiednie obliczenia. Ich wyniki zamieścić w odpowiednich tabelach.
Przedstawić przykłady przeprowadzonych obliczeń.
2. Zamieścić wymagane szkice oscylogramów.
3. Sformułować wnioski oraz spostrzeżenia dotyczące wszystkich punktów pomiarowych.

Przykładowe zagadnienia kontrolne:

1. Budowa oscyloskopu analogowego.
2. Zadania poszczególnych elementów oscyloskopu.
3. Sposób powstawania oscylogramu.
4. Zobrazowanie w trybie Y-T.
5. Tryby pracy generatora podstawy czasu.
6. Praca wielokanałowa oscyloskopu analogowego.
7. Parametry oscyloskopów analogowych.
8. Parametry czasowe i napięciowe sygnałów.
9. Sposób pomiaru parametrów czasowych i napięciowych sygnałów.
10. Sondy pomiarowe.

2.9. Literatura

1. A. Chwaleba, M. Poniński, A. Siedlecki, *Metrologia elektryczna*, Wyd. 10, WNT, 2010.
2. A. Kamieniecki, *Współczesny oscyloskop. Budowa i pomiary*, BTC, 2009.
3. J. Rydzewski, *Pomiary oscyloskopowe*, WNT, 2007.