

Podstawy Elektroniki

Ćwiczenia komputerowe

Wprowadzenie do symulacji z pakietem Multisim

Autor: Dariusz Tefelski



Fundusze Europejskie
dla Rozwoju Społecznego



Rzeczpospolita
Polska

Dofinansowane przez
Unię Europejską



Politechnika Warszawska



Spis treści

1	Cel ćwiczenia	1
2	Wprowadzenie	1
2.1	Obsługa symboli	1
2.1.1	Standardy reprezentacji graficznej elementów	1
2.1.2	Wstawianie elementów	2
2.1.3	Łączenie elementów	4
2.2	Przyrządy wirtualne	4
3	Symulacje	4
3.1	Symulacja działania układu w dziedzinie częstotliwości	5
3.2	Symulacja działania układu w dziedzinie czasu	7





1 Cel ćwiczenia

Celem niniejszego ćwiczenia jest zapoznanie z podstawami metodami symulacji obwodów elektrycznych z wykorzystaniem pakietu Multisim firmy National Instruments.

2 Wprowadzenie

Multisim to zaawansowane środowisko do projektowania i symulacji obwodów elektronicznych, opracowane przez firmę National Instruments (NI). Posiada następujące cechy:

- Wirtualne przyrządy pomiarowe: Multisim oferuje oscyloskopy, multimetry, generatory sygnałowe, które wyglądają jak ich fizyczne odpowiedniki.
- Intuicyjny graficzny interfejs: Projektowanie odbywa się metodą: przyciągnij i upuść
- Obszerna baza elementów: Zawiera duży zbiór gotowych modeli elementów takich jak rezystory, kondensatory, tranzystory, układy scalone itd. z aktualnymi parametrami producentów.
- Integracja z NI ELVIS i LabVIEW: Pozwala na łatwe przejście od symulacji do fizycznego prototypowania na platformach edukacyjnych NI.

W porównaniu z innymi symulatorami typu SPICE, wyróżnia się:

- Wizualizację "na żywo": W przeciwieństwie do tradycyjnych symulatorów (jak LTspice czy PSpice), gdzie często najpierw konfiguruje się analizę, a potem ogląda wykresy, Multisim pozwala na interaktywną zmianę parametrów w trakcie trwania symulacji i natychmiastową obserwację efektów na wirtualnych przyrządach.
- Skupienie na edukacji: Multisim jest uznawany za najbardziej przyjazny użytkownikowi symulator, idealny do nauki elektroniki.
- Spójny ekosystem: Oferuje bezproblemowy eksport do oprogramowania Ultiboard, co pozwala na szybkie przejście od schematu do projektu płytki drukowanej (PCB) w ramach jednego pakietu narzędzi.

2.1 Obsługa symboli

2.1.1 Standardy reprezentacji graficznej elementów

Na schematach obwodów elektrycznych stosuje się przeważnie standardy Europejski (IEC-60617) albo Amerykański (ANSI Y-32.2). Różnice w symbolach elementów przedstawia Rys.1. Ponieważ Multisim pochodzi z USA, domyślnie symbole są w standardzie ANSI, ale można to zmienić w menu → Options → Global Options → Components → Symbol Standard. Można korzystać z dowolnego zestawu sym-



Fundusze Europejskie
dla Rozwoju Społecznego



Rzeczpospolita
Polska

Dofinansowane przez
Unię Europejską



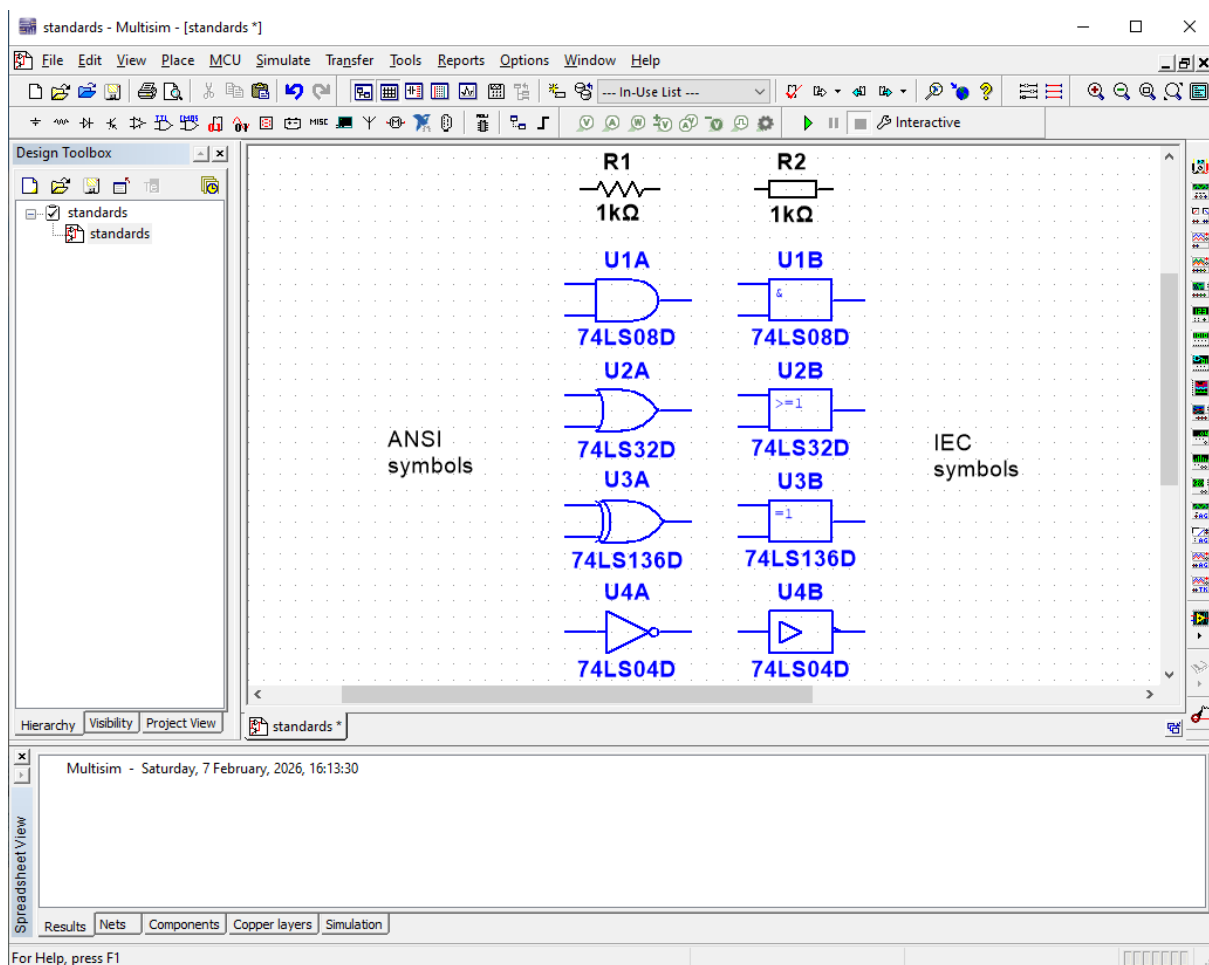
Politechnika Warszawska

Plac Politechniki 1
00-661 Warszawa

www.pw.edu.pl



boli, jednakże proszę o nie mieszanie np. w jednym dokumencie różnych standardów.



Rysunek 1: Różne standardy symboli

2.1.2 Wstawianie elementów

Warto wiedzieć



Elementy można dodać na kilka sposobów:

- wybierając z paska menu górnego → Place → Component
- korzystając ze skrótu klawiszowego **Ctrl + w**
- Wybierając ikonkę z paska skrótów odpowiadającej właściwej grupie elementów

Okienko wyboru elementów Rys.2 zawiera pola do hierarchicznego wyboru elementów. Na najwyższym poziomie jest **Database** i przeważnie dostępną bazą jest tylko „Master Database” i nie ma potrzeby jej zmiany. Następnie mamy: **Group**, gdzie najbardziej potrzebne elementy będą w grupach „Sources” oraz „Basic”. Kolejny poziom po wybraniu grupy to **Family**. Przykładowo, aby wybrać opornik, należy wybrać grupę **Group**: „Ba-



Fundusze Europejskie
dla Rozwoju Społecznego



Rzeczpospolita
Polska

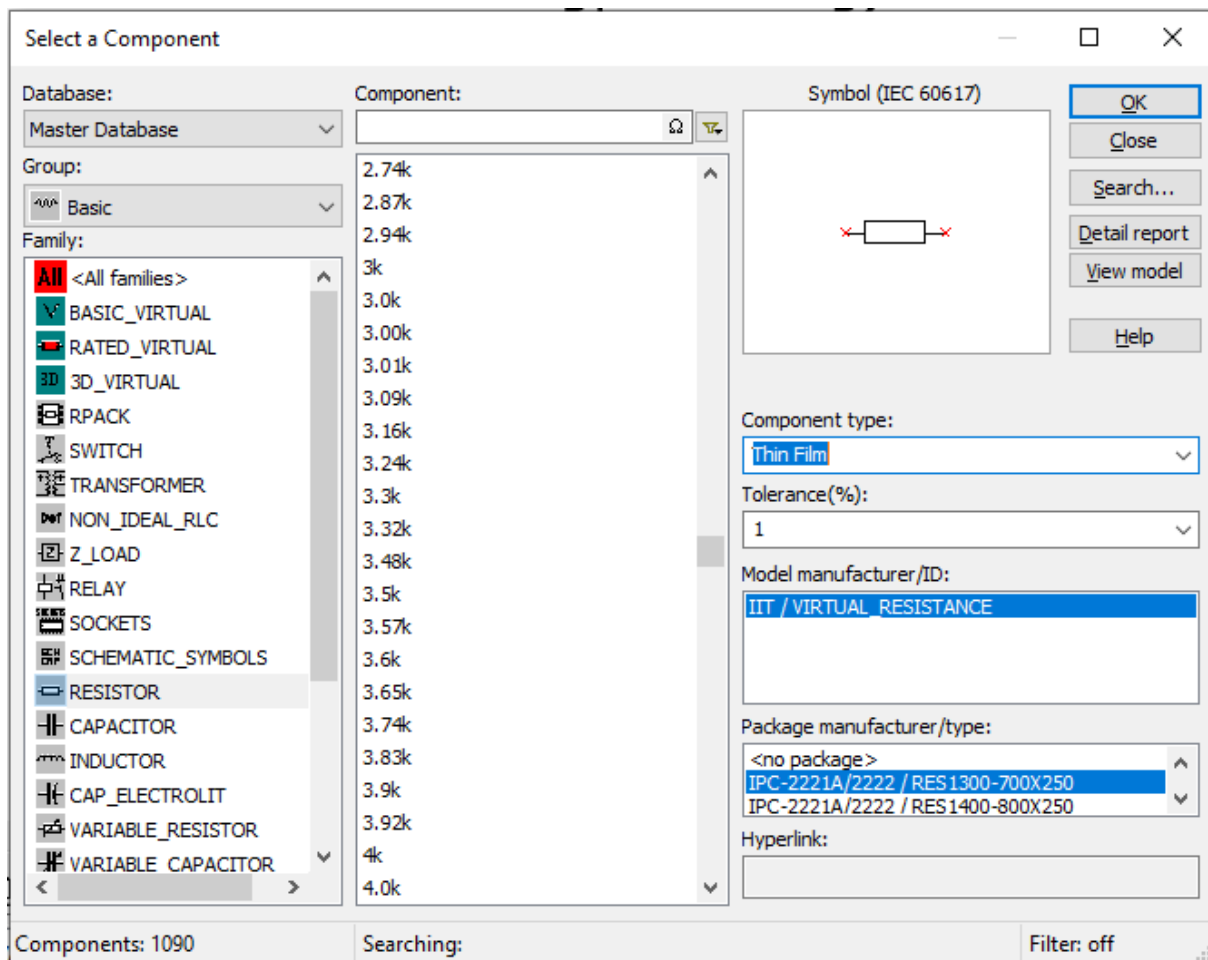
Dofinansowane przez
Unię Europejską



Politechnika Warszawska

Plac Politechniki 1
00-661 Warszawa

www.pw.edu.pl



Rysunek 2: Okienko wyboru elementów

sic”, a w polu rodzina **Family** wybrać „Resistor”, dalej w polu **Component** można podać potrzebną rezystancję, ewentualnie wybrać z listy poniżej gotowe wartości z szeregu.

Warto wiedzieć



Elementy można obracać klawiszami: **Ctrl+R**, **Ctrl+Shift+R**

Elementy można odbijać w poziomie i pionie klawiszami: **Alt+X**, **Alt+Y**

Elementy można kopiować **Ctrl+C** i wklejać **Ctrl+V**

Można także korzystać z poleceń menu podręcznego po kliknięciu prawym klawiszem myszy na elemencie.

Jednym z najważniejszych symboli jest symbol masy (umowne 0 V), bez którego nie ruszy symulacja. Ważne jest zatem, aby zawsze umieścić go na schemacie. Można znaleźć go w grupie **Group**: „Sources”, w rodzinie **Family**: „Power Sources”, pod nazwą **GROUND** - w liście **Component**.



Fundusze Europejskie
dla Rozwoju Społecznego



Rzeczpospolita
Polska

Dofinansowane przez
Unię Europejską



Politechnika Warszawska

Plac Politechniki 1
00-661 Warszawa

www.pw.edu.pl



2.1.3 Łączenie elementów

Połączenia można wykonać klikając na końcówce elementu i kończąc albo na innej końcówce, albo na istniejącym połączeniu. Jest to zazwyczaj wystarczające dla przygotowania kompletnego obwodu. Ewentualnie można skorzystać z narzędzi dostępnych w menu **Place**.

2.2 Przyrządy wirtualne

Multisim pozwala na realizację symulacji w stylu znanym z innych programów typu Spice, ale przede wszystkim domyślnie pozwala na symulacje interaktywne. Aby zbadać układ pomiarowy potrzebujemy zdefiniować jego pobudzenie - podłączyć układ wymuszający jakiś sygnał na wejściu (np. generator sygnałowy) oraz zbadać wyjście - podłączyć przyrządy takie jak np. oscyloskop (do pomiarów w dziedzinie czasu) albo analizator Bodego (do pomiarów w dziedzinie częstotliwości). Jeśli w układzie są elementy aktywne potrzebne będzie także podłączenie zasilania - poprzez np. zasilacz laboratoryjny.

Warto wiedzieć

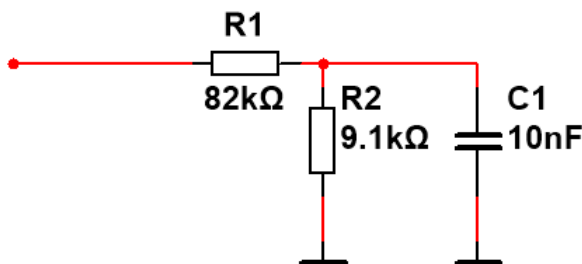


Przyrządy, które obsługuje się na ekranie komputera, a które nie mają fizycznego panelu sterowania, albo są czysto software'owym wytworem nazywamy przyrządami wirtualnymi.

Przyrządy wirtualne do symulacji możemy znaleźć albo na belce po prawej stronie (tylko ikony), albo w menu **Simulation** → **Instruments**.

3 Symulacje

Zbadajmy czwórnik z rys.3. Potrzebujemy następujące elementy:



Rysunek 3: Badany czwórnik

1. Rezystor R1 82 kΩ
2. Rezystor R2 9,1 kΩ
3. Kondensator C1 10 nF

Połączmy układ badanego czwornika, pamiętając o umieszczeniu symbolu masy.



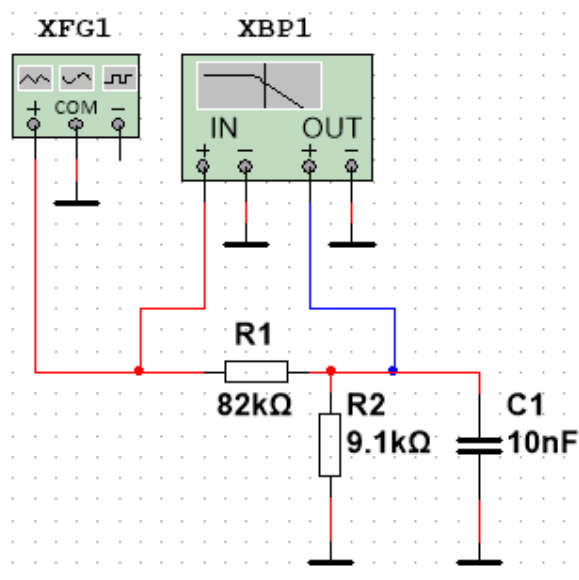


3.1 Symulacja działania układu w dziedzinie częstotliwości

Do badanego czwórnika z 3 podłączmy przyrządy wirtualne.

1. Generator sygnałowy (generator funkcyjny) XFG1 **Function Generator**
2. Analizator Bodego XBP1 **Bode Plotter**

Układ powinien wyglądać jak na rys.4.



Rysunek 4: Czwórnik do badań w dziedzinie częstotliwości

Warto wiedzieć



Panel sterowania przyrządu wirtualnego otwiera się dwukrotnie klikając na symbolu przyrządu, albo poprzez menu podręczne, uruchomione prawym klawiszem myszy na elemencie → ostatnia opcja **Properties**, albo jeśli symbol przyrządu jest zaznaczony lewym klawiszem myszy, skrót klawiszowy **Ctrl + M**.

1. Do zacisku **COM** generatora dołączyć masę **GROUND**, zaś zacisk „+” połączyć przewodem z opornikiem R1.
2. Otworzyć panel sterowania generatora funkcyjnego XFG1 i skonfigurować:
 - Waveforms → fala sinusoidalna
 - Frequency → 1 Hz
 - Amplitude 10 Vp
 - Offset 0 V
3. Do obu zacisków „-” analizatora Bodego dołączyć masę **GROUND**, zacisk „+ IN” podłączyć przewodem z opornikiem R1 i wyjściem generatora (powstanie węzeł -



Fundusze Europejskie
dla Rozwoju Społecznego



Rzeczpospolita
Polska

Dofinansowane przez
Unię Europejską



Politechnika Warszawska

Plac Politechniki 1
00-661 Warszawa

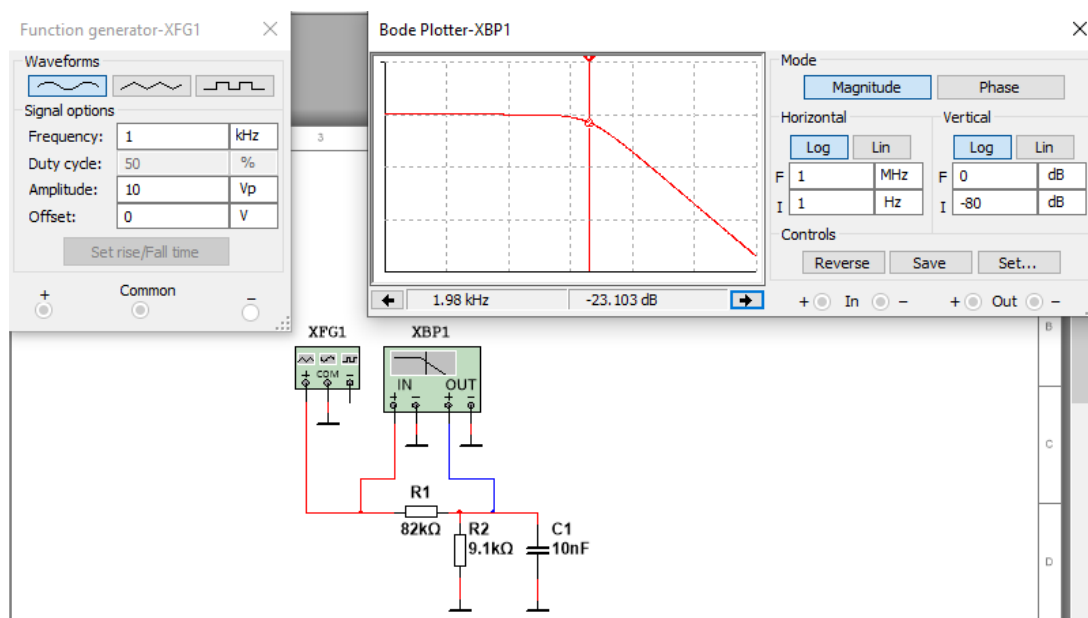
www.pw.edu.pl



„kropka”), zaś zacisk „+ OUT” połączyć przewodem z opornikiem R2 i kondensatorem C1 (powstanie kolejny węzeł).

4. Otworzyć panel sterowania analizatora Bodego
 - W trybie **Magnitude** - wykreślania charakterystyki amplitudowej badanego czwórnika $K_u = \frac{U_2}{U_1}$, wybrać skale: Horizontal: Log, Vertical: Log; Częstotliwość F (final) = 1 MHz, I (initial) = 1 Hz, charakterystyka amplitudowa (moduł amplitudy wyjściowej do wejściowej), F (final) = 0 dB, I (initial) = -80 dB.
 - W trybie **Phase** - wykreślania charakterystyki fazowej, wybrać skale: Horizontal: Log, Vertical: Lin; częstotliwość tak jak poprzednio, a fazę F (final) = 0 Deg, I (initial) = -90 Deg.
5. Uruchomić symulację - poprzez kliknięcie zielonego trójkąta „play” na pasku ikon pod menu górnym albo wybranie z menu **Simulate** → **Run**, albo wciskając klawisz **F5**. Następnie zakończyć symulację, klikając czerwony kwadrat „stop” na pasku ikon pod menu górnym albo wybierając z menu **Simulate** → **Stop**.
6. Można teraz przyciskiem **Reverse** w panelu kontrolnym analizatora Bodego zmienić tło z czarnego na białe.
7. Przyciskiem **Save** w panelu kontrolnym analizatora Bodego można zapisać wynik symulacji do pliku tekstowego (*.bod).
8. Wciskając przycisk **Phase** w panelu kontrolnym analizatora Bodego można zaobserwować charakterystykę fazową badanego czwórnika.

Wynik symulacji w analizatorze Bodego powinien wyglądać ja na rys. 5.



Rysunek 5: Wykonana analiza Bodego





Zadanie 1



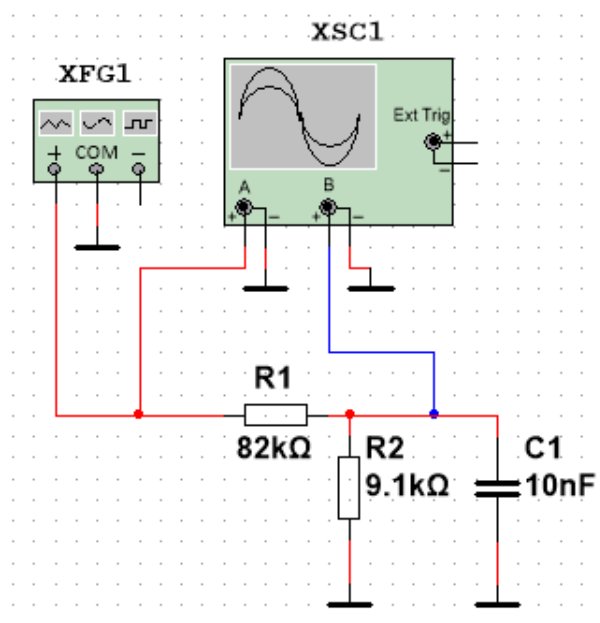
Wyznacz z otrzymanej charakterystyki amplitudowej częstotliwość graniczną dla spadku modułu transmitancji o 3 dB, posługując się kursorem w postaci pionowej kreski, początkowo położonej z lewej strony. Sprawdź jakie przesunięcie fazowe występuje dla tej częstotliwości na charakterystyce fazowej. Jak wygląda transmitancja - jako liczba zespolona (na płaszczyźnie liczb zespolonych w takim przypadku)?

3.2 Symulacja działania układu w dziedzinie czasu

Do badanego czwórnika z 3 podłączmy przyrządy wirtualne.

1. Generator sygnałowy (generator funkcyjny) XFG1 **Function Generator**
2. Oscyloskop dwukanałowy XSC1 **Oscilloscope**

Układ powinien wyglądać jak na rys.6.



Rysunek 6: Czwórnik do badań w dziedzinie czasu

Warto wiedzieć



Warto zmienić kolor przewodu prowadzący do drugiego kanału oscyloskopu, ponieważ na wykresie oscyloskopu przebieg będzie rysowany także tym kolorem, co pozwoli na łatwe rozróżnienie obu przebiegów. Aby zmienić kolor przewodu, należy kliknąć prawym przyciskiem myszy na wybrany odcinek przewodu i wybranie z menu podręcznego **Segment Color**. W okienku Colors wybieramy kolor i naciskamy przycisk OK.





1. Do zacisku **COM** generatora dołączyć masę **GROUND**, zaś zacisk „+” połączyć przewodem z opornikiem R1.
2. Otworzyć panel sterowania generatora funkcyjnego XFG1 i skonfigurować:
 - Waveforms → fala prostokątna
 - Frequency → najpierw 100 Hz, później 50 kHz
 - Amplitude 10 Vp
 - Offset 0 V
3. Do obu zacisków „-” oscyloskopu dołączyć masę **GROUND**, zacisk „+ **A**” podłączyć przewodem z opornikiem R1 i wyjściem generatora (powstanie węzeł - „kropka”), zaś zacisk „+ **B**” połączyć przewodem z opornikiem R2 i kondensatorem C1 (powstanie kolejny węzeł). Oscyloskop będzie rejestrował przebieg napięcia wejściowego na badany czwórnik w kanale A, zaś przebieg napięcia wyjściowego z badanego czwórnika w kanale B.
4. Otworzyć panel sterowania oscyloskopu i wprowadzić następujące nastawy w zależności od częstotliwości na generatorze:
 - Podstawa czasu **Timebase**, dla częstotliwości na generatorze 100 Hz: 2 ms oraz 50 μ s, zaś dla częstotliwości 50 kHz na generatorze, ustawić 5 μ s.
 - Kanał A, skala pionowa **Scale**: 10 V/div
 - Kanał B, Dla częstotliwości sygnału 100 Hz - skala pionowa **Scale**: 500 mV/div, Dla częstotliwości sygnału 50 kHz - skala pionowa **Scale**: 50 mV/div
5. Uruchomić symulację odpowiedzi czasowej na pobudzenie skokiem jednostkowym (a w praktyce sygnałem prostokątnym) dobierając odpowiednie nastawy oscyloskopu, w dwóch przypadkach:
 - sygnał prostokątny o częstotliwości 100 Hz,
 - sygnał prostokątny o częstotliwości 50 kHz

Uruchomienie symulacji następuje przez kliknięcie zielonego trójkąta „play” na pasku ikon pod menu górnym albo wybranie z menu **Simulate** → **Run**, albo wciskając klawisz **F5**. Następnie zakończyć symulację, klikając czerwony kwadrat „stop” na pasku ikon pod menu górnym albo wybierając z menu **Simulate** → **Stop**.
6. Można teraz przyciskiem **Reverse** w panelu kontrolnym analizatora Bodego zmienić tło z czarnego na białe.
7. Wyniki zapisywać przyciskiem „Save” w oknie „Oscilloscope XSC1 w plikach tekstowych (*.scp) podając w nazwie pliku częstotliwość pobudzenia dla rozróżnienia.



**Warto wiedzieć**

Ustawienie wyzwalania **Trigger** oscyloskopu na **None** powoduje zachowanie się oscyloskopu jak rejestrator przebiegów. Po uruchomieniu symulacji cały przebieg jest zapamiętywany i po zatrzymaniu symulacji możemy przewinąć cały przebieg suwakiem pod obrazem z oscyloskopu.

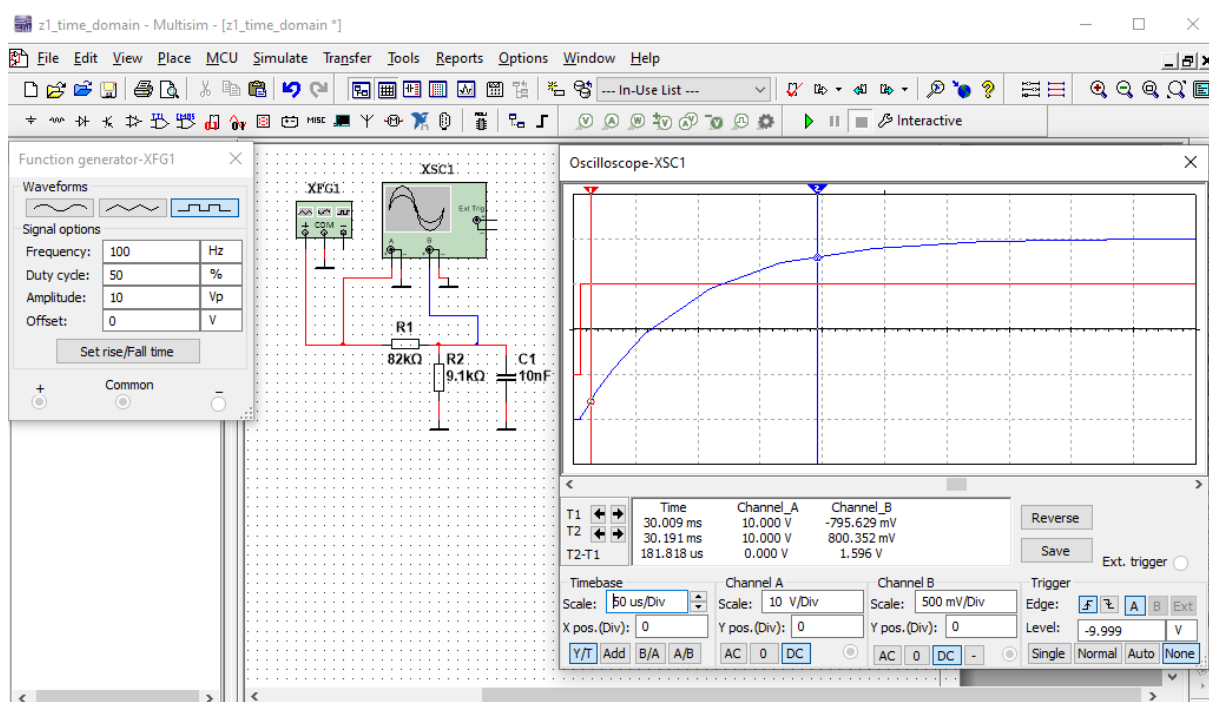
Definicja

Czas narastania t_r zdefiniowany jest jako czas pomiędzy osiągnięciem przez napięcie poziomów równych 0,1 i 0,9 wartości międzyszczytowej (w naszym przypadku równej 2 V). Czas narastania wyznacza się zatem od 10% do 90% wartości międzyszczytowej.

Zadanie 2

W przypadku pobudzenia sygnałem prostokątnym o częstotliwości 100 Hz, wykonać pomiar czasu narastania odpowiedzi w kanale B za pomocą dostępnych kursorów „1” i „2”. Należy przestawić kursory by poruszały się po przebiegu z kanału B (prawy klawisz myszy i z menu podręcznego **Select a trace**, a następnie wskazanie Trace: Channel B i wciśnięcie klawisza OK. Wskazania kursorów podane są pod ekranem oscyloskopu.

Pomiar czasu narastania przedstawiono na rys. 7.



Rysunek 7: Pomiar czasu narastania, dla pobudzenia sygnałem prostokątnym o częstotliwości 100 Hz.





Zadanie 3



Dla układów dolnoprzepustowych czas narastania odpowiedzi na skok jednostkowy jest związany z 3 dB graniczną częstotliwością pasma przenoszenia wyrażeniem: $t_r = \frac{0,35}{f_{gr}}$. Sprawdź, czy częstotliwość graniczna, wyznaczona w **Zadaniu 1** i czas narastania odpowiedzi, wyznaczone w **Zadaniu 2** spełniają powyższe wyrażenie.

Informacje dodatkowe



Więcej informacji o relacji między czasem narastania odpowiedzi na pobudzenie skokiem, a szerokością pasma przenoszenia dla układów dolnoprzepustowych na stronie: <https://www.thorlabs.com/relationship-between-rise-time-and-bandwidth-for-a-low-pass-system>



Fundusze Europejskie
dla Rozwoju Społecznego



Rzeczpospolita
Polska

Dofinansowane przez
Unię Europejską



Politechnika Warszawska

Plac Politechniki 1
00-661 Warszawa

www.pw.edu.pl