



**AGH**

**Katedra Elektroniki**

**Podstawy Elektroniki  
dla Informatyki**

**Wprowadzenie do programu  
Multisim**

**Ćwiczenie**

**1**

2014 r.



## 1. Wstęp.

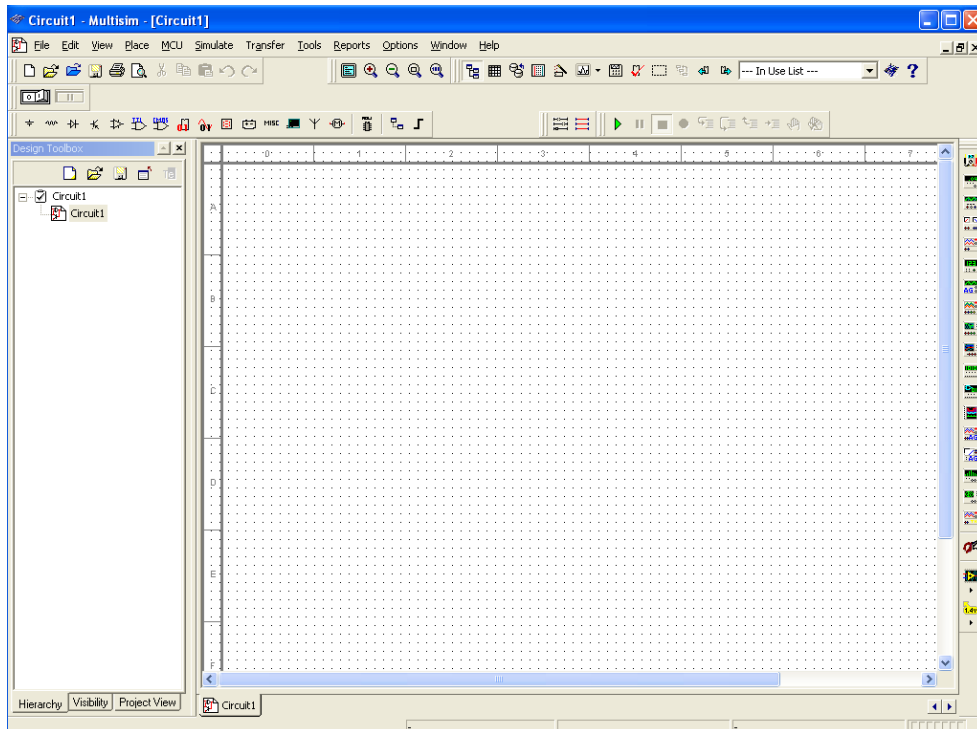
Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z programem MultiSim, który jest wirtualnym laboratorium elektronicznym wyposażonym w zestawy elementów elektronicznych oraz narzędzi do symulacji i pomiarów układów elektronicznych zbudowanych z tych elementów.

## 2. Konspekt

Zapoznanie się z programem MultiSim nastąpi na przykładzie symulacji prostych obwodów elektrycznych. Obowiązuje znajomość następujących zagadnień: Prawo Ohma. Prawa Kirchhoffa. Szeregową rezystancja zastępcza. Równoległa rezystancja zastępcza. Szeregowy i równoległy układ RC. Szeregowy i równoległy układ RL. Moc rozpraszana w odbiorniku dla prądu stałego i prądu zmiennego.

## 3. Wprowadzenie do programu MultiSim

Rys. 1 przedstawia pole pracy programu MultiSim.



Rys. 1. Pole pracy programu MultiSim

Nad polem pracy po lewej stronie widoczny jest pasek elementów dostępnych w programie MultiSim. Elementy pogrupowane są w kategorie: źródła, elementy podstawowe, diody, tranzystory, układy analogowe, układy cyfrowe TTL, układy cyfrowe CMOS, wskaźniki, elementy elektromechaniczne i in. W kategoriach tych występują dwa rodzaje elementów: wirtualne i rzeczywiste. Wartości elementów wirtualnych można zmieniać z poziomu klawiatury komputera, wartości elementów rzeczywistych są niezmiennie.

Po lewej stronie pola pracy, w pionie widoczny jest pasek przyrządów dostępnych w programie MultiSim. Program udostępnia m.in. multimetr, generator funkcyjny, oscyloskop, charakterograf (ploter Bodego), watomierz, miernik zniekształceń i in.

Element z paska elementów przeciąga się na pulpit za pomocą myszki. Łączenie elementów przewodami odbywa się za pomocą myszki poprzez wskazanie odpowiednich końcówek elementów, które chcemy połączyć.

Po zmontowaniu układu i dołączeniu przyrządów pomiarowych układ uruchamia się za pomocą przełącznika klawiszowego 0/1, umiejscowionego nad paskiem elementów. Działanie układu można obserwować za pomocą przyrządów pomiarowych (np. oscyloskop, multimetr) albo przy pomocy narzędzi czysto symulacyjnych dostępnych z zakładki *Simulate-Analyses*.

W tym trybie program umożliwia przeprowadzenie analizy stałoprądowej DC przebiegu (*DC Operating Point*), analizy przebiegu w funkcji czasu (*Transient Analysis*) oraz analizy częstotliwościowej (*AC Analysis*).

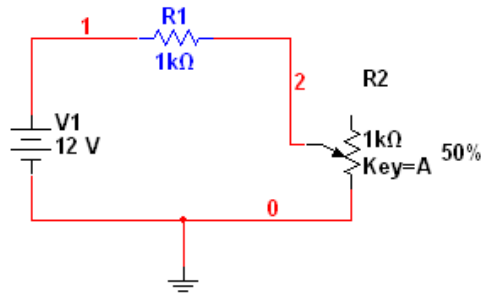
W zakładce *Tools - Show Breadboards* program przedstawia wirtualną tablicę montażową, na której można połączyć elementy w obrazie 3D i dokonać pomiarów parametrów układu.

## **4. Przykłady zastosowania programu MultiSim do symulacji prostych obwodów elektrycznych**

### **4.1. Sprawdzenie działania prawa Ohma i praw Kirchhoffa na przykładzie obwodów rezystancyjnych**

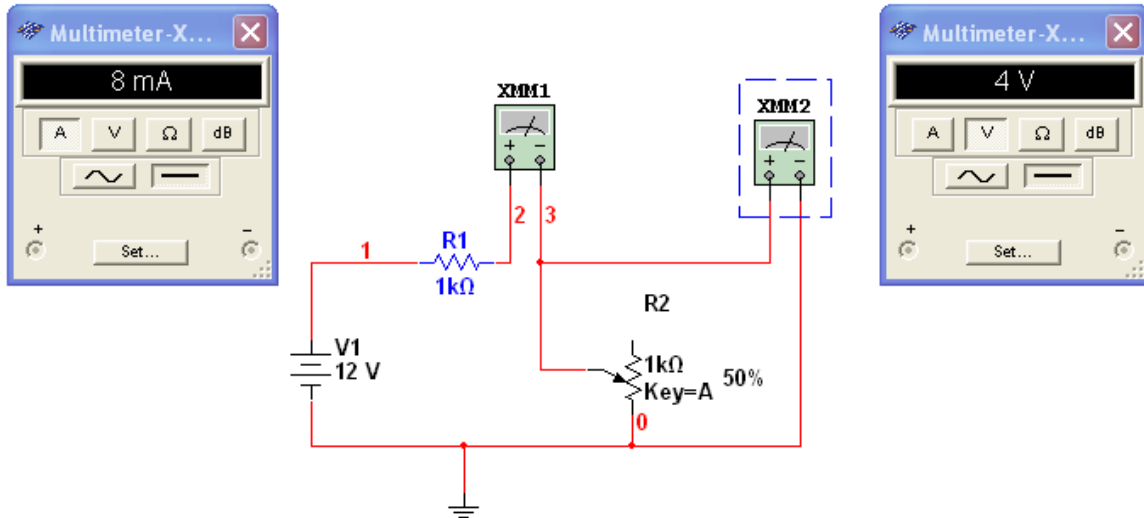
Na pulpicie programu zbuduj układ przedstawiony na rys. 2 i składający się ze źródła napięcia stałego  $V_1$ , rezystora  $R_1$  oraz potencjometru  $R_2$ . Na potencjometrze  $R_2$  ustaw zadaną przez prowadzącego wartość rezystancji  $R_2$ .





Rys.2. Obwód rezystancyjny 1

Dołącz multimetry umożliwiające pomiar prądu  $I$  w obwodzie oraz pomiar spadku napięcia  $U_2$  na potencjometrze  $R_2$ . Sprawdź w tym układzie działanie prawa Ohma i napięciowego prawa Kirchhoffa.

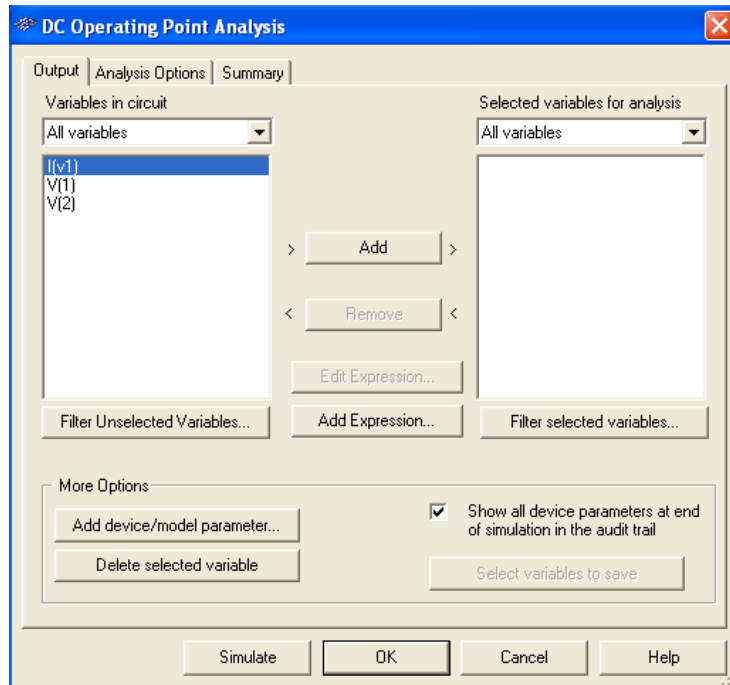


Rys. 3. Obwód rezystancyjny 1 z multimetrami do pomiaru prądu i napięcia

Zastosuj analizę stałoprądową *Simulate – Analysis – DC Operating Point* do wyznaczenia prądu wypływającego ze źródła czyli prądu  $I(v1)$ , oraz napięcia  $V(1)$  oraz  $V(2)$  odpowiednio przed i po rezystorze  $R_1$ . Porównaj z wynikami uzyskanymi za pomocą multimetrów.

Po wywołaniu analizy stałoprądowej DC pojawia się na pulpicie tabela (rys. 4), w której za pomocą przycisku **Add** należy wybrać parametry obwodu do analizy i uruchomić symulację przyciskiem **Simulate**.





Rys. 4. Analiza stałoprądowa DC – wybór parametrów do analizy

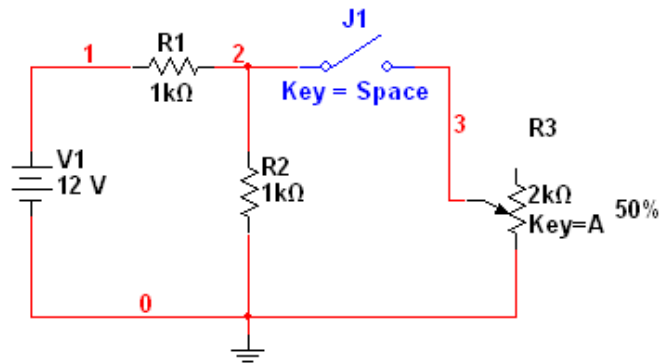
Wynik analizy stałoprądowej przedstawia rys. 5. Wartość prądu wypływającego ze źródła jest ujemna z tego powodu, że program przyjmuje za dodatni prąd wpływający do dodatniego bieguna źródła, podczas gdy w rzeczywistości prąd płynie w kierunku przeciwnym.

DC Operating Point		
1	V(2)	4.000
2	V(1)	12.000
3	I(v1)	-8.000 m

Rys. 5. Wynik analizy stałoprądowej DC

W polu pracy programu zbuduj układ przedstawiony na rys. 6. Na potencjometrze  $R_3$  ustaw zadaną przez prowadzącego wartość rezystancji  $R_3$  np.  $R_3 = 1000 \Omega$ . Wyznacz wartości prądów

w gałęziach i napięcia na elementach  $R_1$  i  $R_2$  przy rozwartym i zwartym wyłączniku  $R_3$ . Wykonaj obliczenia rachunkowe, a następnie sprawdź je przy pomocy multimetrów i analizy DC.



Rys. 6. Układ rezystancyjny do samodzielnej analizy.

Wyniki zanotuj w tabeli 1:

Tabela 1. Analiza DC dla układu z rys. 6

Element	Obliczenia		Multimetry		Analiza DC	
	Napięcie V[V]	Prąd I[A]	Napięcie V[V]	Prąd I[A]	Napięcie V[V]	Prąd I[A]
V1						
R1						
R2						
R3						

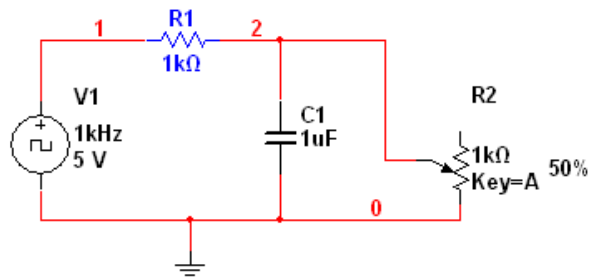
## 4.2. Analiza w dziedzinie czasu obwodów RC

Na pulpicie programu zbuduj układ przedstawiony na rys. 7 i składający się ze źródła sygnału prostokątnego  $V_1$ , rezystora  $R_1$ , kondensatora  $C_1$  oraz potencjometru  $R_2$ . Na potencjometrze  $R_2$  ustaw zadaną przez prowadzącego wartość rezystancji  $R_2$ .

Źródło napięcia prostokątnego znajdź w katalogu: *Sources – Signal Voltage Sources – Clock Voltage*. Po umieszczeniu źródła na pulpicie, podwójne kliknięcie na symbolu źródła wywołuje tabelę, w której możesz ustawić amplitudę i częstotliwość sygnału przez niego wytwarzanego.

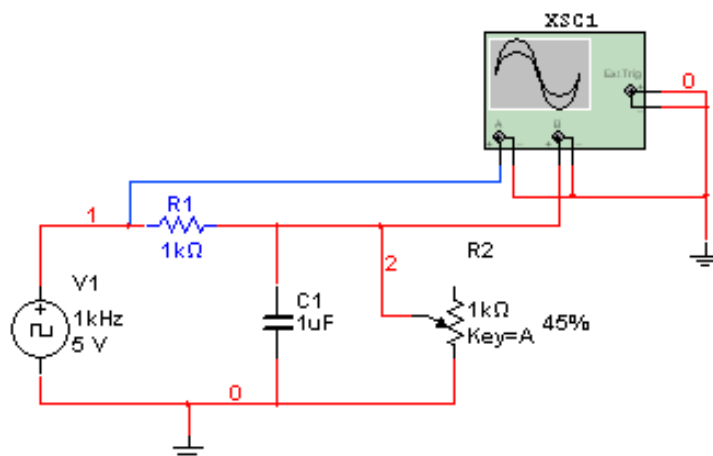
Kondensator znajdź w katalogu *Basic – Capacitors*.





Rys. 7. Układ RC

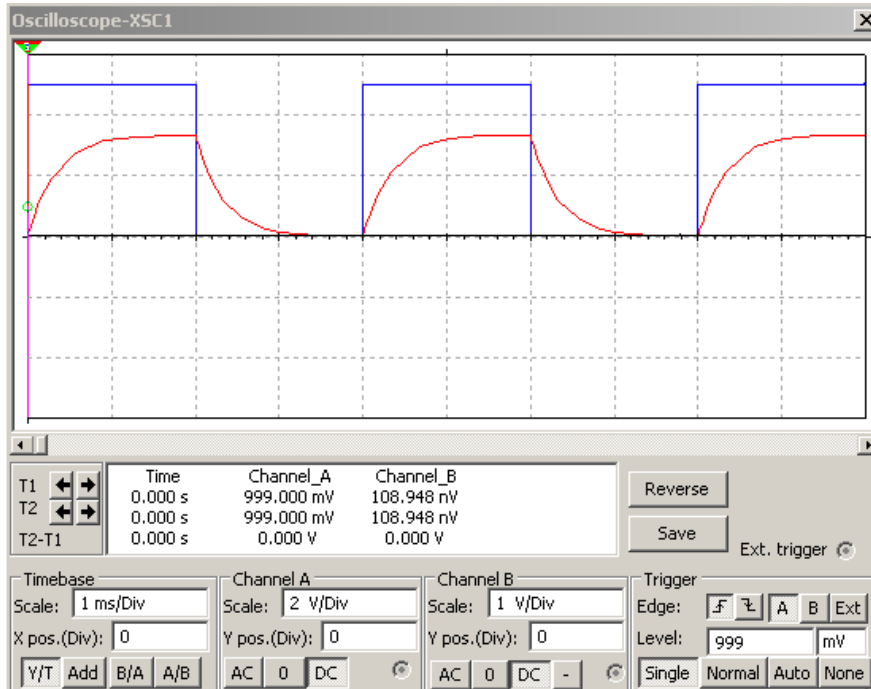
Dołącz oscyloskop tak (rys. 8), aby możliwa była na jego ekranie równoczesna obserwacja sygnału ze źródła i przebiegu zmian napięcia na kondensatorze. Rozróżnij kolory przewodów doprowadzających sygnał na wejścia oscyloskopu (kliknięcie na przewodzie prawym przyciskiem myszy i wybranie opcji *Segment Colour* otwiera paletę kolorów przewodów łączących). Dzięki temu uzyskasz na ekranie oscyloskopu przebiegi kreślone różnymi kolorami dla kanału A i B.



Rys. 8. Układ RC z oscyloskopem

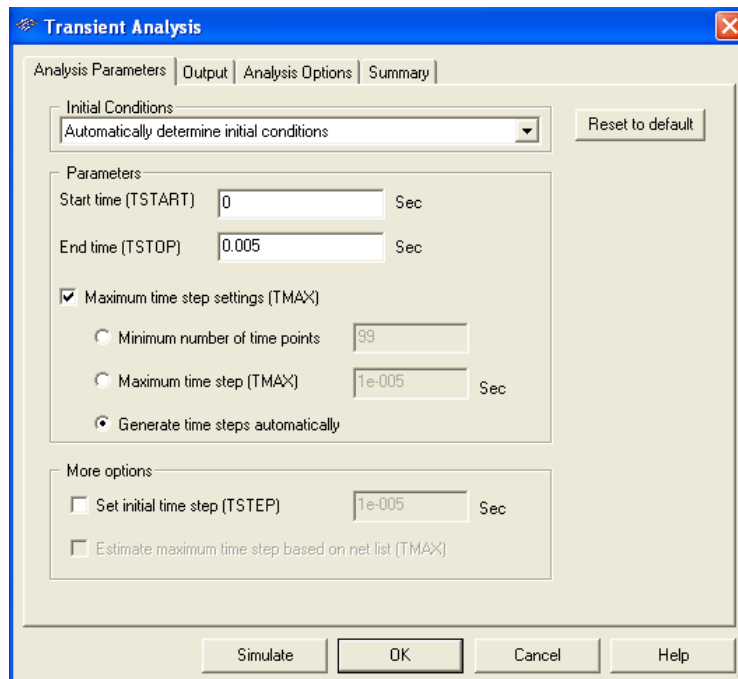
Oscyloskop w programie MultiSim (rys. 9) jest standardowym dwukanałowym oscyloskopem analogowym z pewnymi funkcjami oscyloskopu cyfrowego. W oscyloskopie tym funkcjonują dwa kursory, za pomocą których można odczytać na polu poniżej ekranu oscyloskopu: czas, wartość chwilową napięcia w kanale A, wartość chwilową napięcia w kanale B, oraz różnicę napięć wskazywanych przez kursory. Oscyloskopu używać będziemy tylko dla pogładowej obserwacji przebiegów czasowych, ponieważ Multisim dysponuje lepszym narzędziem do tego celu. Jest to Analiza Transient.





Rys. 9. Przebieg na oscyloskopie dla układu RC.

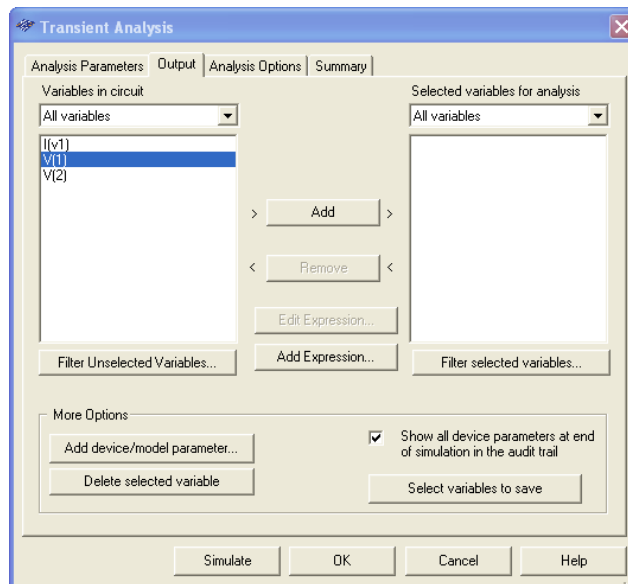
Analizę Transient uruchamia się z zakładki *Simulate – Analysis – Transient Analysis*. Na ekranie pojawia się tabela (rys. 10a, 10b, 10c), w której ustawia się parametry obserwacji przebiegu czasowego.



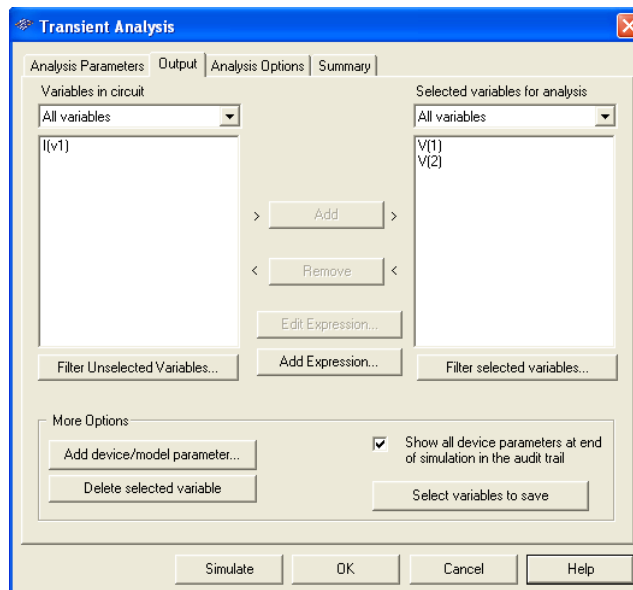


Rys. 10a. Tabela ustawiająca parametry analizy Transient (czas startu i czas zakończenia obserwacji).

Najpierw ustawia się czas startu i zakończenia obserwacji przebiegów, a w następnym kroku w zakładce Output ustala się przedmiot obserwacji – w naszym wypadku przebieg napięcia generowanego przez źródło sygnału V(1) oraz przebieg napięcia na kondensatorze C – V(2). Na koniec naciskamy przycisk **Simulate**.

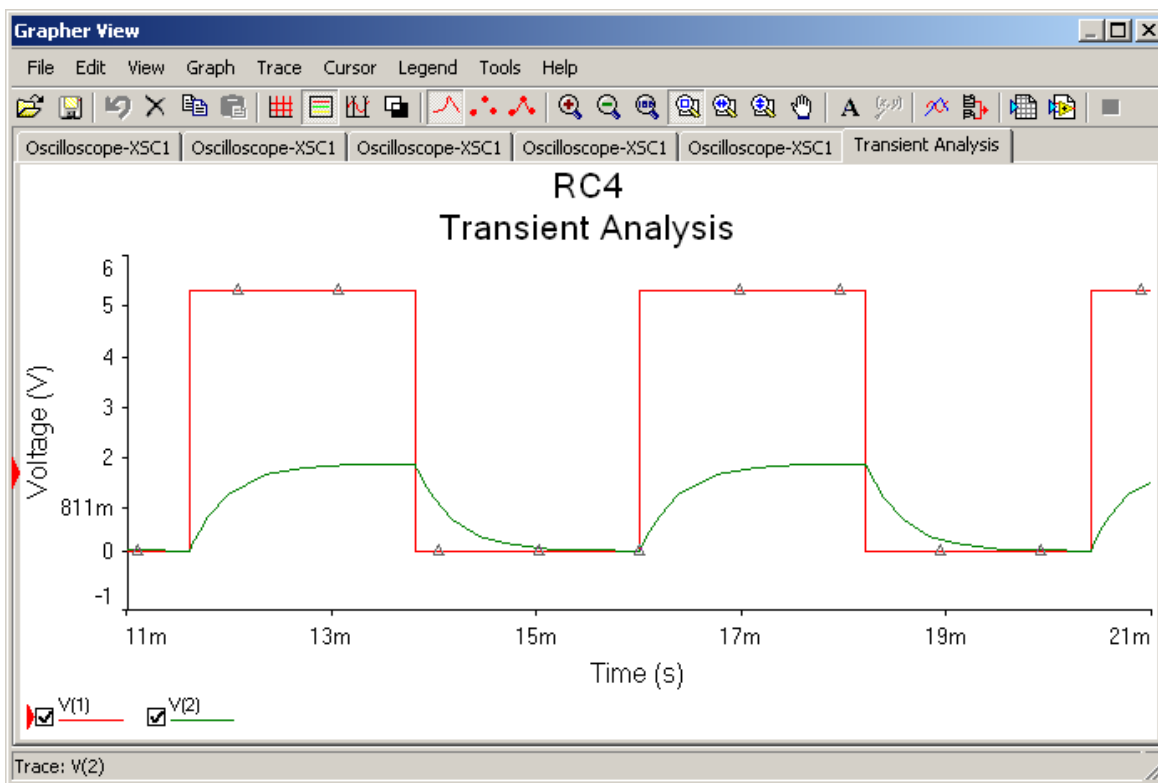


Rys. 10b. Tabela ustawiająca parametry analizy Transient (*Output* – wybór przebiegów czasowych V(1) i V(2) za pomocą przycisku Add)



Rys. 10c. Tabela ustawiająca parametry analizy Transient – zostały wybrane przebiegi czasowe V(1) oraz V(2).

Rys. 11 przedstawia wykresy przebiegów czasowych V(1) i V(2) uzyskanych dzięki Analizie Transient. Kursory pionowe, które można przemieszczać wzdłuż wykresów umożliwiają odczyt wartości liczbowych czasu i napięcia.



Rys.11. Przebiegi czasowe: V(1) - sygnał prostokątny ze źródła, V(2) – przebieg napięcia na kondensatorze C.

Korzystając z Analizy Transient wyznacz dla układu z rys. 7 stałe czasowe ładowania i rozładowania kondensatora C dla dwóch różnych ustawień potencjometru  $R_2$ . Wyniki zanotuj w tabeli 2.

Tabela 2. Wyznaczanie stałej czasowej ładowania i rozładowania kondensatora C z rys. 7.

Stała czasowa $\tau$	dla $R_2 = \dots\dots\dots$	dla $R_2 = \dots\dots\dots$
Ładowanie kondensatora C		
Rozładowanie kondensatora C		

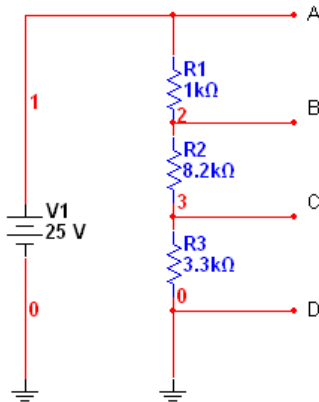


### 4.3. Dzielnik napięciowy

4.3.1. W polu pracy programu MultiSim narysuj dzielnik napięciowy przedstawiony na rys. 12, składający się ze źródła napięcia stałego i trzech połączonych szeregowo rezystorów o zadanych wartościach. Wylicz, a następnie sprawdź za pomocą multimetru napięcie pomiędzy punktami:

- a) **A-B**      b) **A-C**      c) **B-C**      d) **B-D**      e) **C-D**

a następnie uzupełnij tabelę 3.



Rys. 12. Układ dzielnika napięciowego

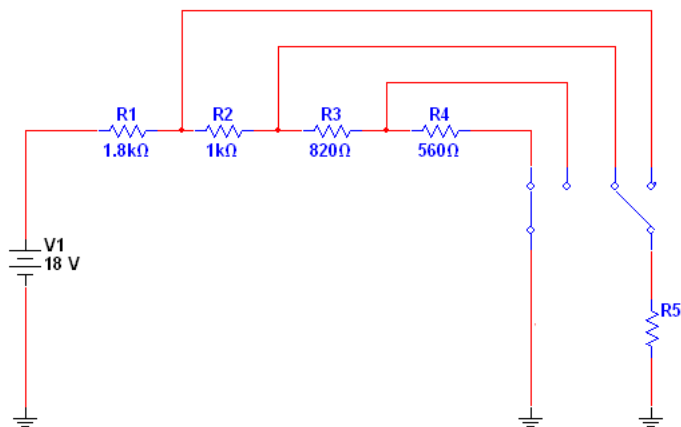
Tabela 3. Rozkład napięć w dzielniku napięciowym z rys. 12.

U[V] między zaciskami	<b>A-B</b>	<b>A-C</b>	<b>B-C</b>	<b>B-D</b>	<b>C-D</b>
obliczone					
zmierzone					

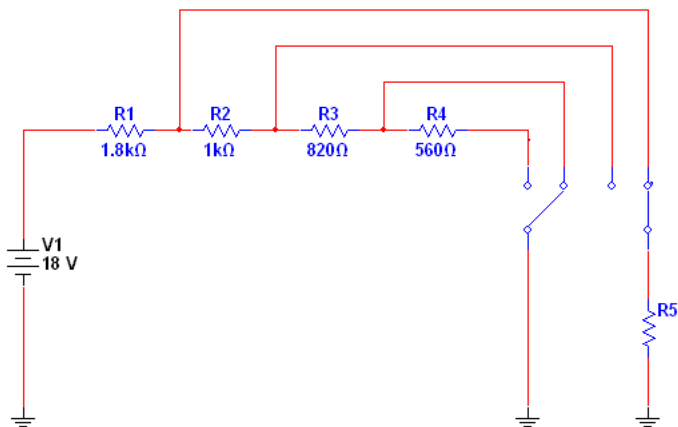
4.3.2. W polu pracy programu MultiSim narysuj układ dzielnika napięciowego przedstawiony na rys. 13. Oblicz i zmierz za pomocą multimetru napięcie na rezystorze  $R_5$  oraz prąd płynący przez rezystor  $R_5$  dla dwóch położenia przełączników **A** (rys. 13a) i **B** (rys. 13b). Wyniki zanotuj w tabeli 4.

Tabela 4. Napięcie na rezystorze  $R_5$  oraz prąd płynący przez rezystor  $R_5$  dla dwóch położenia przełączników **A** i **B** z rys. 13

Położenie przełączników	<b><math>U_{R5}</math> obliczone</b>	<b><math>U_{R5}</math> zmierzone</b>	<b><math>I_{R5}</math> obliczone</b>	<b><math>I_{R5}</math> zmierzone</b>
<b>A</b> (rys. 13a)				
<b>B</b> (rys. 13b)				



a) położenie **A** przełączników



b) położenie **B** przełączników

Rys. 13. Układy dzielnika napięciowego

**4.3.3.** W polu pracy programu MultiSim narysuj układ dzielnika napięciowego przedstawiony na rys. 14. Oblicz i zmierz za pomocą multimetru napięcie na wyjściu układu gdy:

- a) układ jest nieobciążony
- b) do wyjścia układu dołączony jest rezystor  $R_L=10\text{ k}\Omega$ .

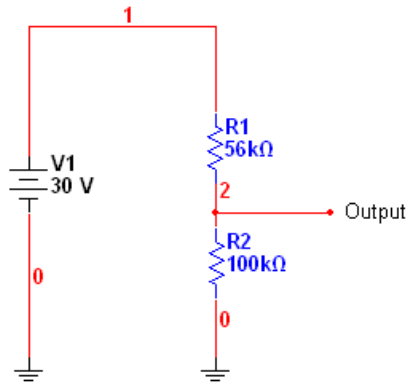
Dodatkowo oblicz i zmierz za pomocą multimetru prąd płynący przez rezystor  $R_L$ .

Wyniki zanotuj w tabeli 5.



Tabela 5. Napięcie na wyjściu nieobciążonym oraz na wyjściu z rezystorem  $R_L$  dla dzielnika napięciowego z rys. 14

Wyjście dzielnika	$U_{out}$ obliczone	$U_{out}$ zmierzone	$I_{RL}$ obliczone	$I_{RL}$ zmierzone
nieobciążone				
z $R_L=10k\Omega$ na wyjściu				



Rys. 14. Układ dzielnika napięciowego

#### 4.3.4. Dzielnik napięcia dla pomiaru sygnałów zmiennych.

Pomiarowy dzielnik napięcia umożliwia rozszerzenie zakresów mierników napięcia, takich jak woltomierz napięcia stałego. Cechą charakterystyczną tych dzielników jest określona wartość rezystancji wejściowej oraz określony współczynnik podziału napięcia (np. 1:10; 1:100, 1:1000).

Typowy dzielnik napięcia stałego zawiera dwa rezystory stałe  $R_1$  i  $R_2$ , których wartości rezystancji są dobrane stosownie do wymaganego współczynnika podziału. Przykładowo przy założeniu, że wartość rezystancji wejściowej dołączonego woltomierza jest nieskończenie wielka, dla współczynnika podziału 1:10 i rezystancji wejściowej  $=10M\Omega$ , wartości rezystancji  $R_1$  i  $R_2$  wyniosą odpowiednio: 9  $M\Omega$  i 1  $M\Omega$ . W innym przypadku wartość rezystancji rezystora  $R_2$  musi być tak dobrana, aby wypadkowa rezystancja wejściowa woltomierza z dołączonym równolegle rezystorem  $R_2$  wynosiła 1  $M\Omega$ .

Przy analizie sygnałów zmiennych, zwłaszcza różnej częstotliwości, rezystywny dzielnik napięcia nie pracuje poprawnie. W celu utrzymania ustalonego współczynnika podziału napięcia dla różnych częstotliwości konieczne jest zastosowanie dodatkowych pojemnościowych elementów kompensujących  $C_1$  i  $C_2$  dołączonych równolegle do rezystorów  $R_1$  i  $R_2$ .



Jeżeli spełniony zostanie warunek, że  $R_1 \cdot C_1 = R_2 \cdot C_2$  to wówczas dzielnik napięcia utrzyma ustalony współczynnik podziału dla różnych częstotliwości.

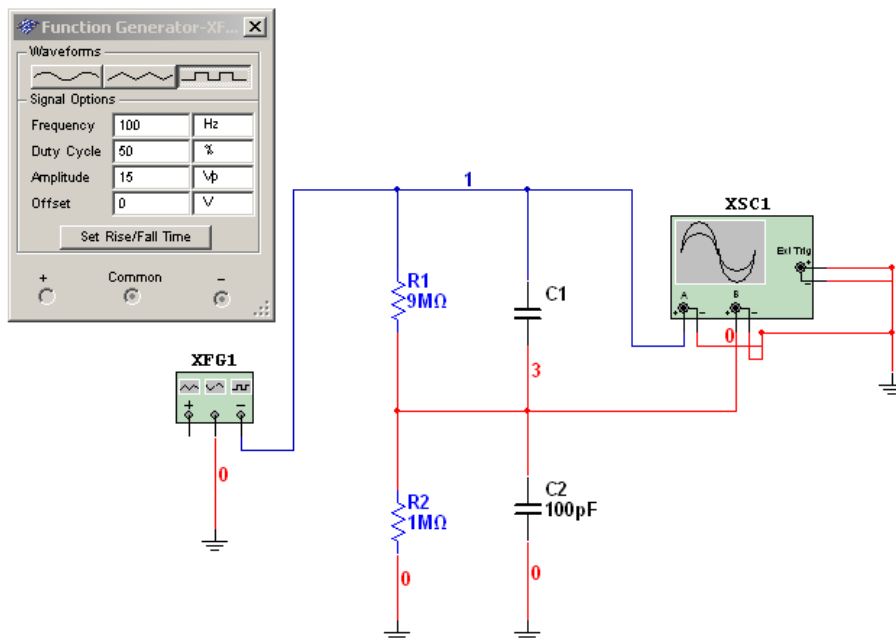
Poprzez obserwację pomniejszonego, lecz niezniekształconego prostokątnego sygnału na wyjściu dzielnika możliwa jest weryfikacja dzielnika. Alternatywnie, sprawdzenie dzielnika jest możliwe poprzez sprawdzenie charakterystyki dzielnika w funkcji częstotliwości.

Zbuduj skompensowany dzielnik napięcia o współczynniku podziału 1:10, którego wartość rezystancji wejściowej wynosi  $10\text{M}\Omega$ , a wartość pojemności wejściowej jest nie mniejsza niż  $10\text{ pF}$  i nie większa niż  $20\text{ pF}$  (rys.15). Na wejście dzielnika wprowadź sygnał prostokątny o częstotliwości  $100\text{ Hz}$ , amplitudzie większej od  $10\text{ V}$  i współczynniku wypełnienia  $50\%$ .

Przy założeniu, że wartość pojemności  $C_2=100\text{ pF}$

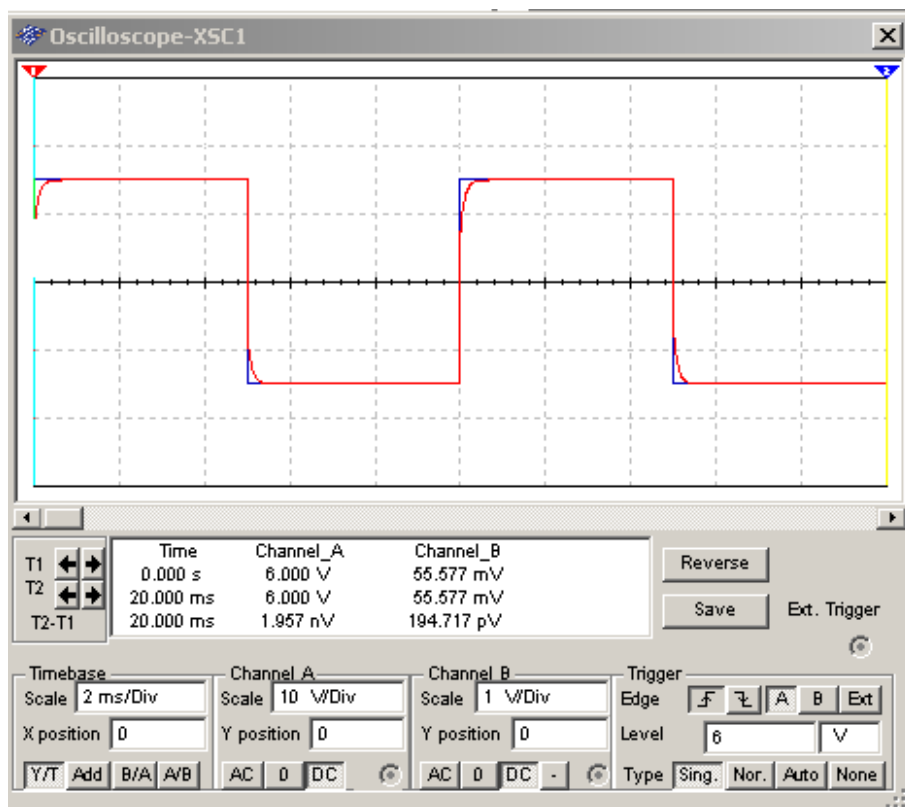
(a) Oblicz optymalną wartość pojemności  $C_1$ ,

(b) Dobierz eksperymentalnie optymalną wartość pojemności  $C_1$  dokonując obserwacji prostokątnego sygnału na wyjściu dzielnika. Powinien być ok. 10 razy mniejszy od sygnału wejściowego i idealnie prostokątny.



Rys.15. Układ dzielnika napięciowego dla przebiegów zmiennych





Rys.16. Przebiegi na wyjściu dzielnika napięciowego dla przebiegów zmiennych (przebieg jest celowo nie w pełni skompensowany).

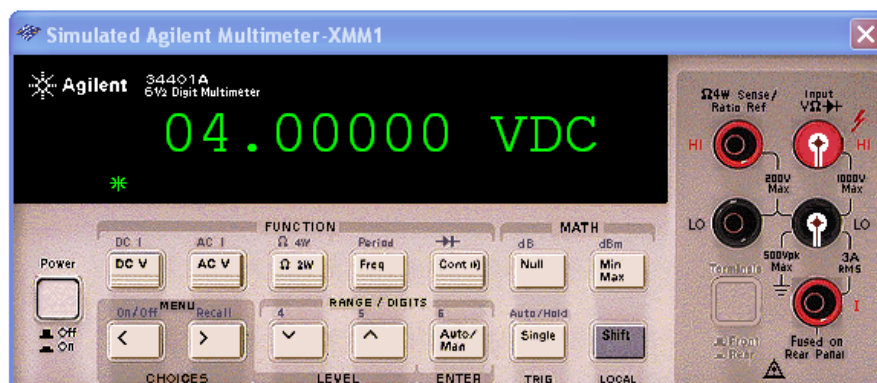
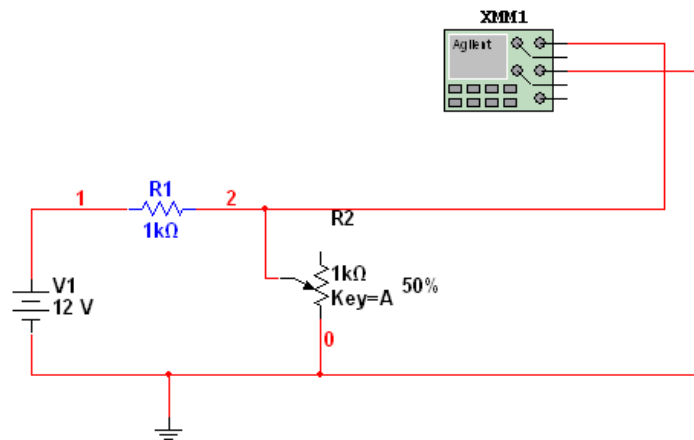
Tabela 6. Dobór optymalnej wartości pojemności  $C_1$  dla pomiarowego dzielnika napięciowego z rys. 15

Wartość pojemności	$C_1$ [pF] obliczone	$C_1$ [pF] ustalone przez dobór kondensatora

#### 4.4. Alternatywne metody przeprowadzania symulacji w programie MultiSim

Zbuduj układ przedstawiony na rys. 19. Do układu dołącz Agilent Multimeter z paska narzędzi po prawej stronie ekranu. Podłącz go przewodami tak, aby mierzył napięcie na rezystorze  $R_2$ . Podwójne kliknięcie na ikonie multimetru powoduje pojawienie się na pulpicie wiernej repliki płyty czołowej przyrządu. Naciśnij myszką klawisz Power a następnie klawisz DC V na płycie czołowej. Na wyświetlaczu przyrządu pojawi się wartość spadku napięcia na rezystorze  $R_2$ .



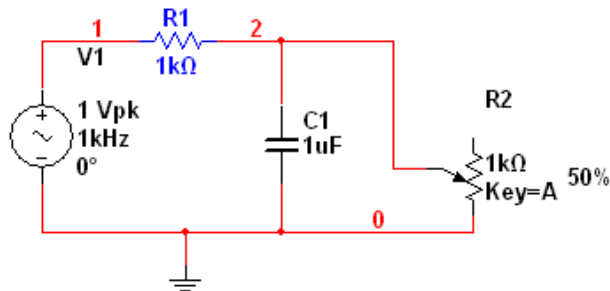


Rys.19. Symulacje z zastosowaniem modeli rzeczywistych przyrządów

#### 4.5. Analiza w dziedzinie częstotliwości obwodów RC (dla ohotników)

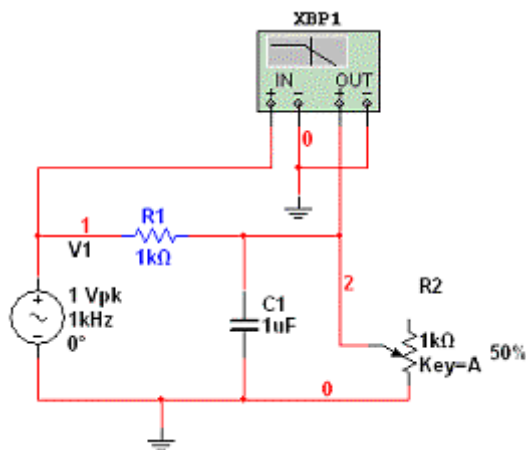
W polu pracy programu MultiSim zbuduj układ przedstawiony na rys.20. Jest to układ filtra dolnoprzepustowego składającego się z elementów R i C. Filtr ten posiada taką własność, że blokuje sygnał o częstotliwości mniejszej od tzw. górnej częstotliwości granicznej  $f_g$ , natomiast przepuszcza sygnały o częstotliwości większej od  $f_g$ . Na potencjometrze  $R_2$  ustaw zadaną przez prowadzącego wartość rezystancji  $R_2$ . Źródło napięcia sinusoidalnego znajdź w katalogu: *Sources – Power Sources – AC Power* i dostosuj źródło do wymogów ćwiczenia tak, aby amplituda sygnału wynosiła 1 Vpp (Volt peak-peak) a częstotliwość 1 kHz. Celem symulacji jest ustalenie górnej częstotliwości granicznej filtra  $f_g$  za pomocą charakterografu (plotera Bodego) i analizy AC programu MultiSim.





Rys. 20. Filtr RC

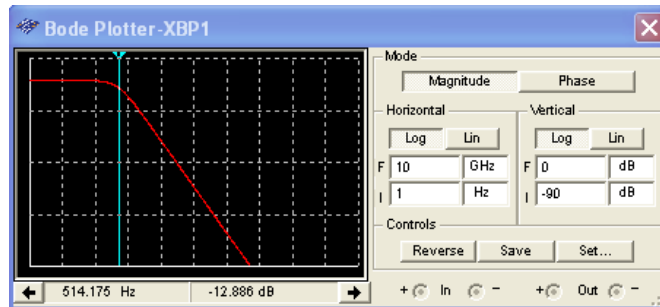
Do wyjścia układu dołącz ploter Bode'go (rys. 21), który jest wyspecjalizowanym przyrządem pomiarowym do obserwacji charakterystyk częstotliwościowych: amplitudowej i fazowej.



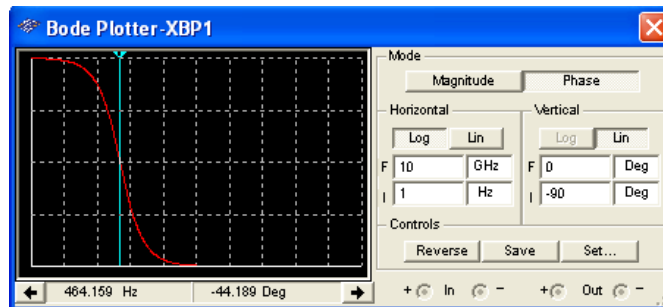
Rys. 21. Ploter Bodego w układzie RC

Ploter Bodego wyposażony jest w dwie pary zacisków: zaciski IN służą do podłączenia generowanych przez przyrząd sygnałów do wejścia obwodu, natomiast do zacisków OUT doprowadzane są sygnały z wyjścia obwodu. Ploter Bodego umożliwia ustawienie początkowej i końcowej częstotliwości próbkowania oraz zakresów rzędnej dla poszczególnych charakterystyk. Przycisk Set służy do wprowadzenia liczby punktów pomiarowych na dekadę częstotliwości. W oknie plotera widoczny jest kursor, za pomocą którego można odczytywać współrzędne punktów na charakterystyce ukazującej się na ekranie. Współrzędne pojawiają się na dolnym pasku przyrządu. Rys. 22 i 23 przedstawiają wskazania plotera Bodego dla badanego układu.





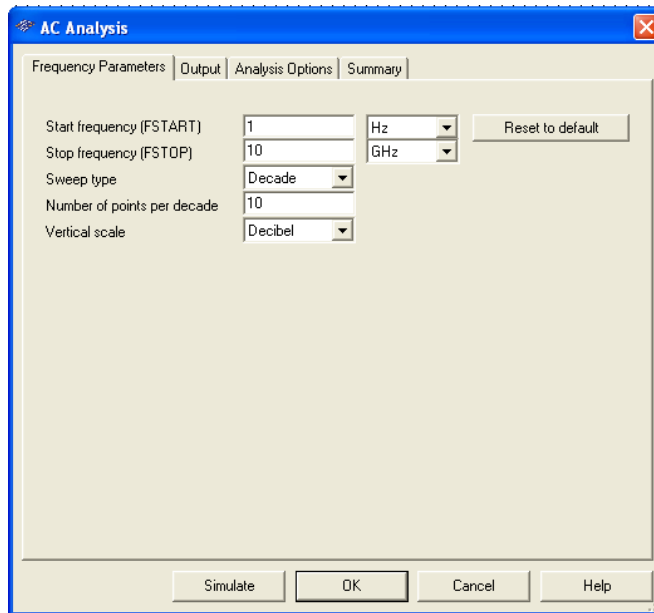
Rys. 22. Plotter Bodego – charakterystyka amplitudowa



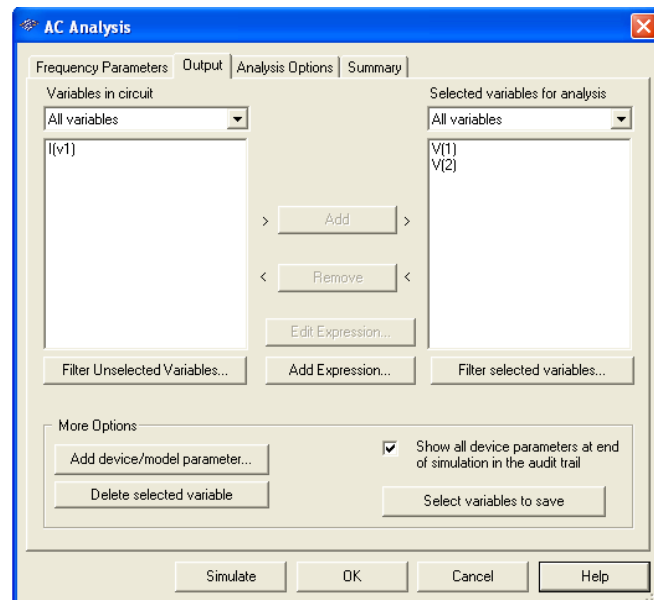
Rys. 23. Plotter Bodego – charakterystyka fazowa

Plotter Bodego, tak jak oscyloskop, jest przyrządem do pogładowej oceny parametrów obwodu elektrycznego. Dokładną analizę częstotliwościową obwodu można przeprowadzić w programie MultiSim za pomocą narzędzia symulacyjnego określanego jako *Analiza AC* wywoływanego poprzez: *Simulate – Analyses – AC Analysis*.

Na wstępie należy ustawić parametry symulacji AC (rys. 24) czyli zakres częstotliwości symulacji, sposób przemiatania pasma częstotliwości, liczbę punktów pomiarowych na dekadę częstotliwości, wybór skali osi pionowej charakterystyki (skala logarytmiczna, decybelowa itp.), a następnie wybrać miejsca w układzie (Outputs), w których chcemy dokonywać obserwacji (rys. 25).



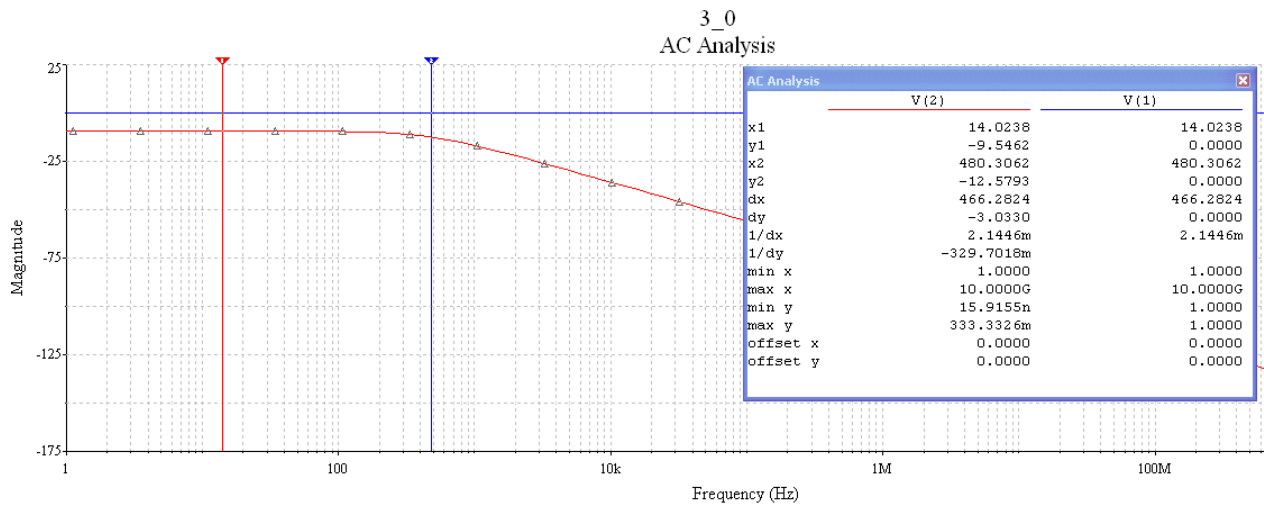
Rys.24. Symulacja AC – ustalenie parametrów symulacji



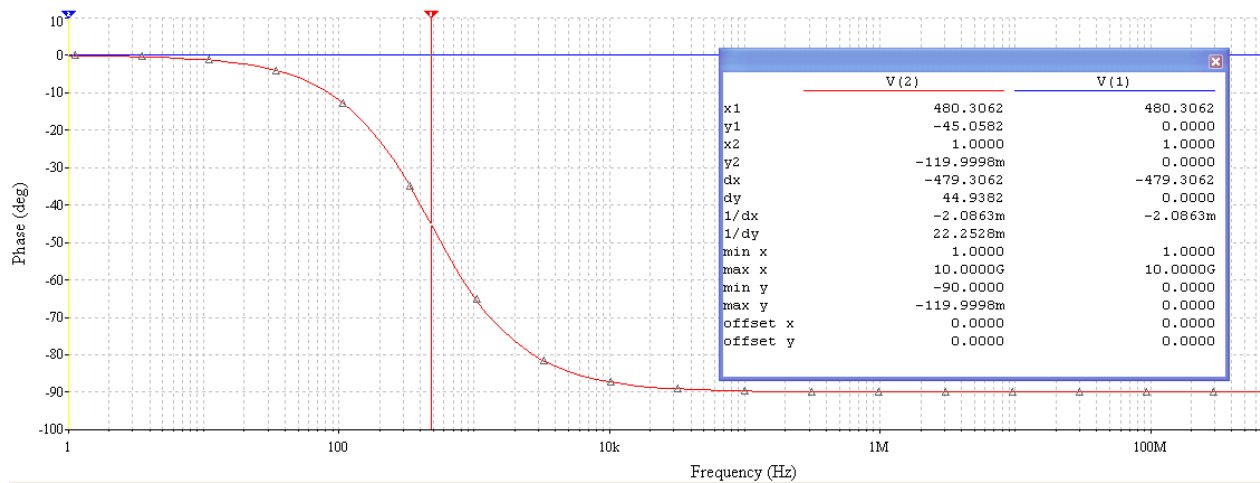
Rys. 25. Symulacja AC – wybór zmiennych wyjściowych (Outputs)

Rys. 26 przedstawia otrzymaną w wyniku analizy AC amplitudową charakterystykę częstotliwościową. Kursory poruszające się w polu wykresu umożliwiają określenie częstotliwości, dla której tłumienie obwodu maleje o 3dB w porównaniu do obszaru plateau czyli określenie górnej częstotliwości granicznej  $f_g$ . Rys. 27 przedstawia otrzymaną w wyniku analizy AC fazową charakterystykę częstotliwościową.





Rys. 26. Analiza AC – amplitudowa charakterystyka częstotliwościowa



Rys. 27. Analiza AC –fazowa charakterystyka częstotliwościowa

Korzystając ze wskazań plotera Bodego oraz Analizy AC wyznacz dla układu z rys. 20 górną częstotliwość graniczną filtra  $f_g$  dla dwóch różnych ustawień potencjometru  $R_2$ . Wyniki zanotuj w tabeli 8.

Tabela 8. Wyznaczanie górnej częstotliwości granicznej  $f_g$  filtra RC z rys.20.

częstotliwość $f_g$ [Hz]	$R_2 = \dots\dots\dots$	$R_2 = \dots\dots\dots$
ploter Bodego		
Analiza AC		

Opracowanie:  
B. Dziurdzia, Zb. Magoński, W. Maziarz  
15.04.2014  
Updated: .....