



AGH

Katedra Elektroniki

**Podstawy Elektroniki
dla TeleInformatyki**

**Wprowadzenie do programu
Multisim**

Ćwiczenie

1

2014 r.

1. Wstęp.

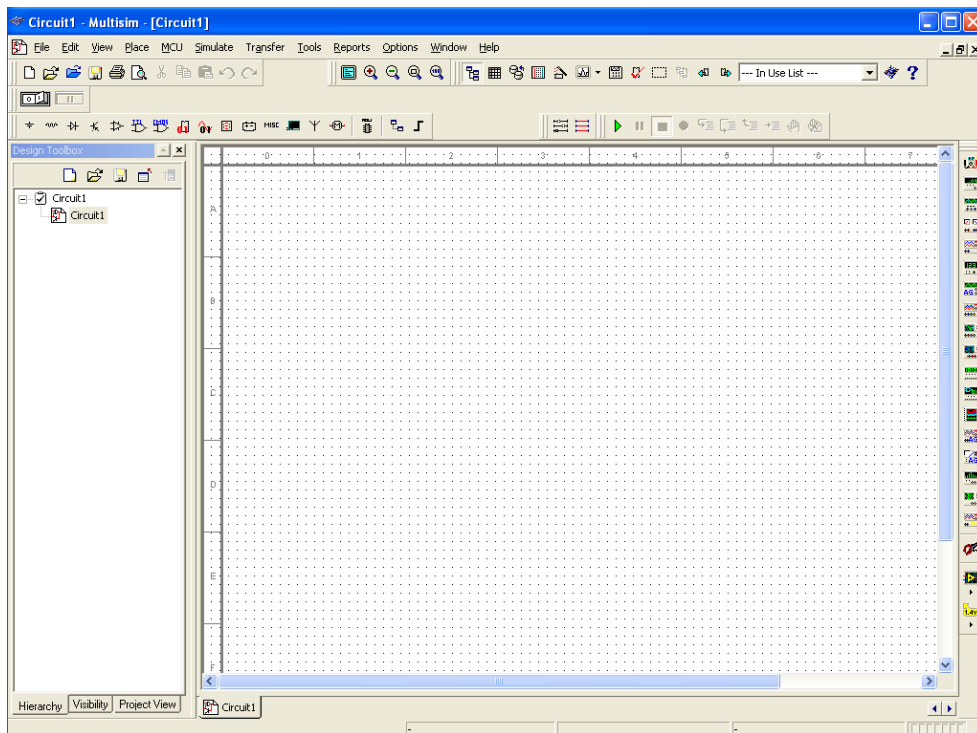
Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z programem MultiSim, który jest wirtualnym laboratorium elektronicznym wyposażonym w zestawy elementów elektronicznych oraz narzędzi do symulacji i pomiarów układów elektronicznych zbudowanych z tych elementów.

2. Konspekt

Zapoznanie się z programem MultiSim nastąpi na przykładzie symulacji prostych obwodów elektrycznych. Obowiązuje znajomość następujących zagadnień: Prawo Ohma. Prawa Kirchhoffa. Szeregowa 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*.

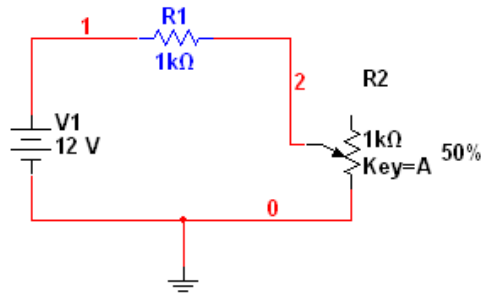
W tym trybie program umożliwia przeprowadzenie analizy stałoprądowej DC przebiegu (*DC Operating Point*), analizy przebiegu w funkcji czasu (*Transient Analysis*) oraz analizy częstotliwościowej (*AC Analysis*).

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

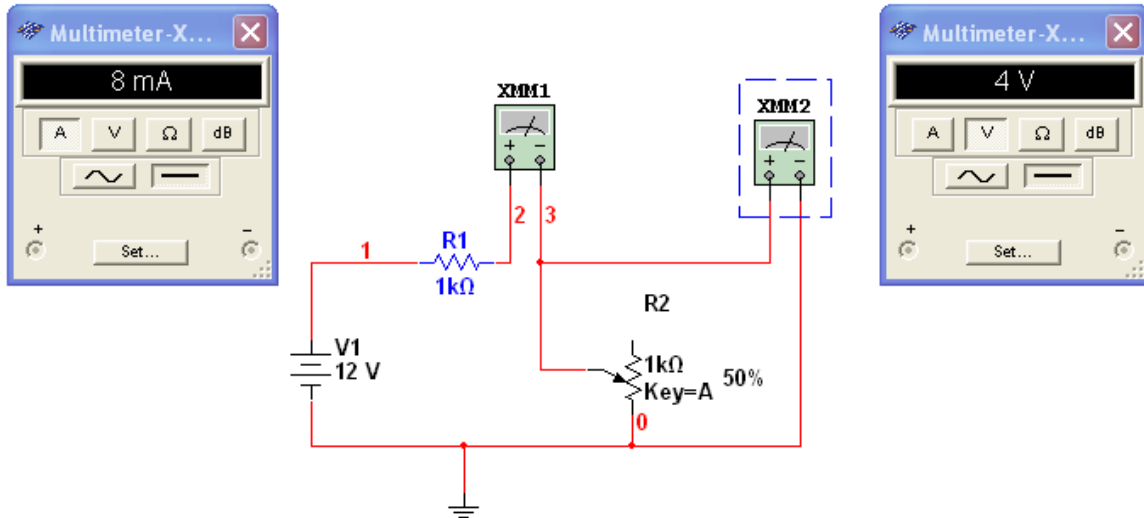
4.1. Sprawdzenie działania prawa Ohma i praw Kirchhoffa na przykładzie obwodów rezystancyjnych

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

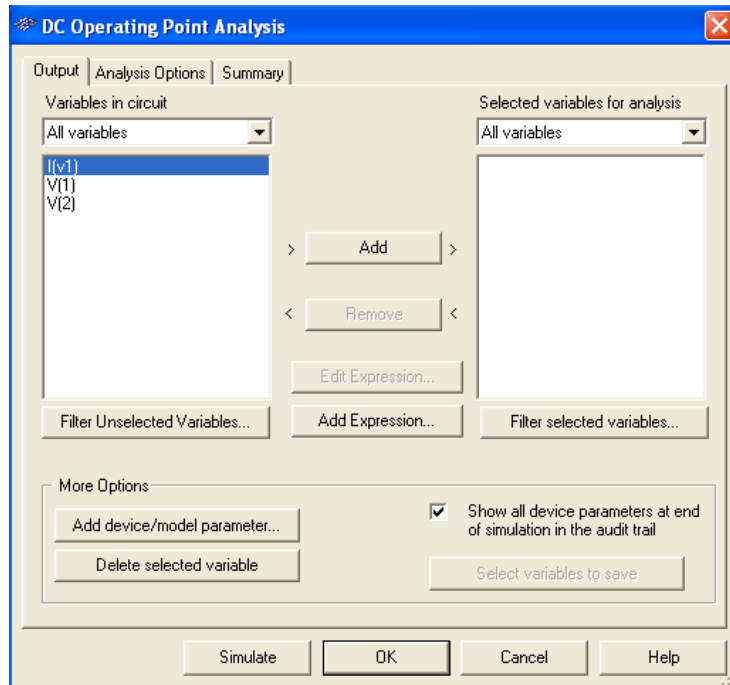
Dołącz multymetry umożliwiające pomiar prądu I w obwodzie oraz pomiar spadku napięcia U_2 na potencjometrze R_2 . Sprawdź w tym układzie działanie prawa Ohma i napięciowego prawa Kirchhoffa.



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 multymetrów.

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

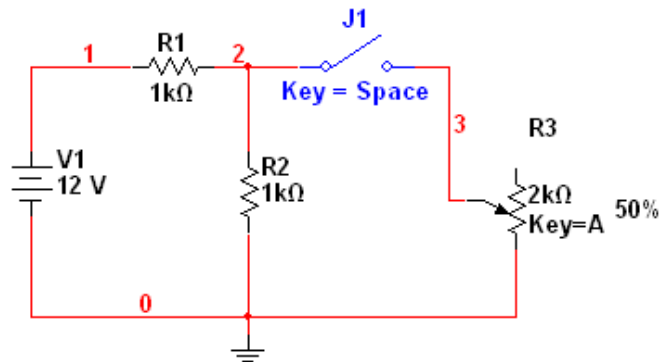
Wynik analizy stałoprądowej przedstawia rys. 5. Wartość prądu wypływającego ze źródła jest ujemna z tego powodu, że program przyjmuje za dodatni prąd wpływający do dodatniego bieguna źródła, podczas gdy w rzeczywistości prąd płynie w kierunku przeciwnym.

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

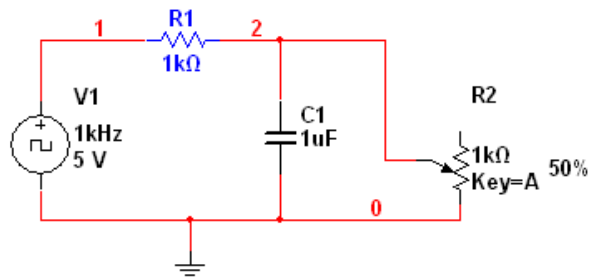
Element	Obliczenia		Multimetry		Analiza DC	
	Napięcie V[V]	Prąd I[A]	Napięcie V[V]	Prąd I[A]	Napięcie V[V]	Prąd I[A]
V1						
R1						
R2						
R3						

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 .

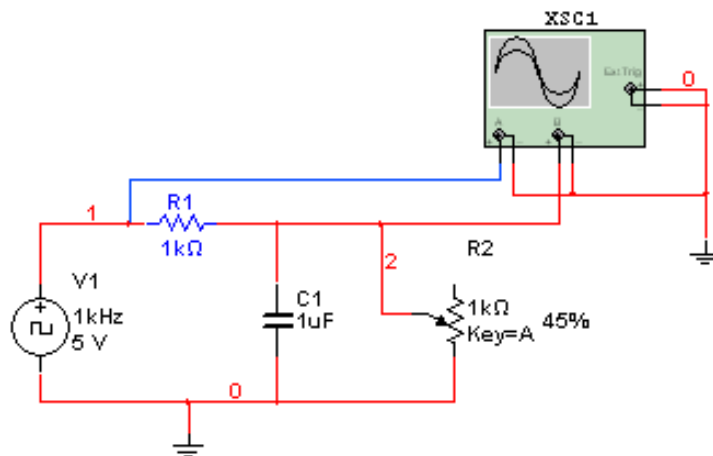
Źródło napięcia prostokątnego znajdź w katalogu: *Sources – Signal Voltage Sources – Clock Voltage*. Po umieszczeniu źródła na pulpicie, podwójne kliknięcie na symbolu źródła wywołuje tabelę, w której możesz ustawić amplitudę i częstotliwość sygnału przez niego wytwarzanego.

Kondensator znajdź w katalogu *Basic – Capacitors*.



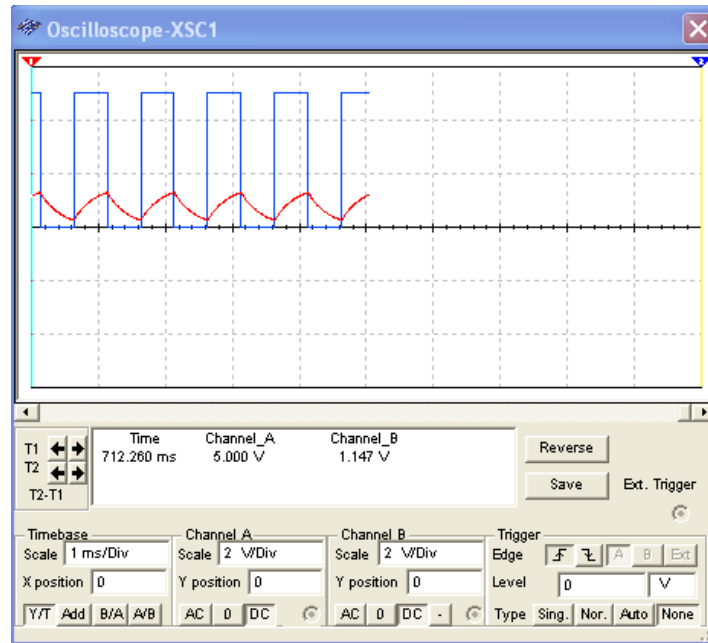
Rys. 7. Układ RC

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.



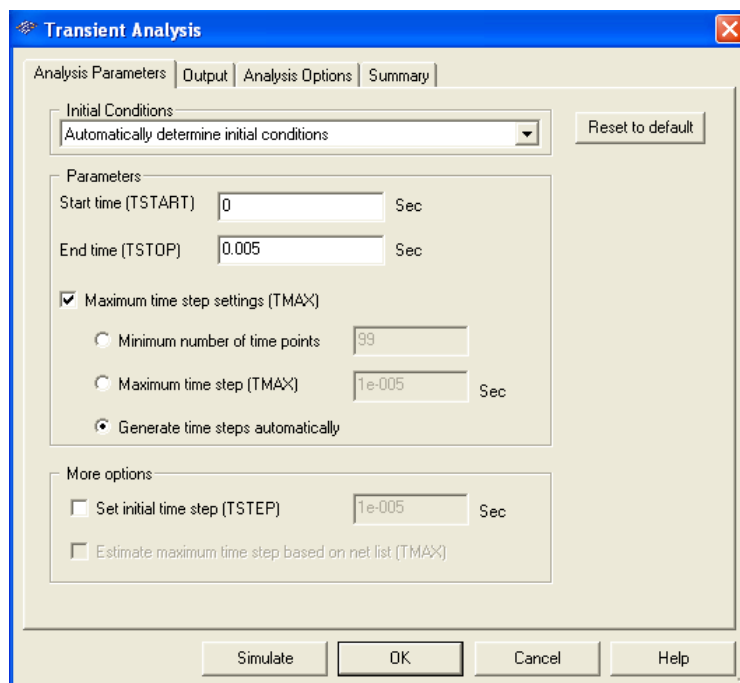
Rys. 8. Układ RC z oscyloskopem

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.



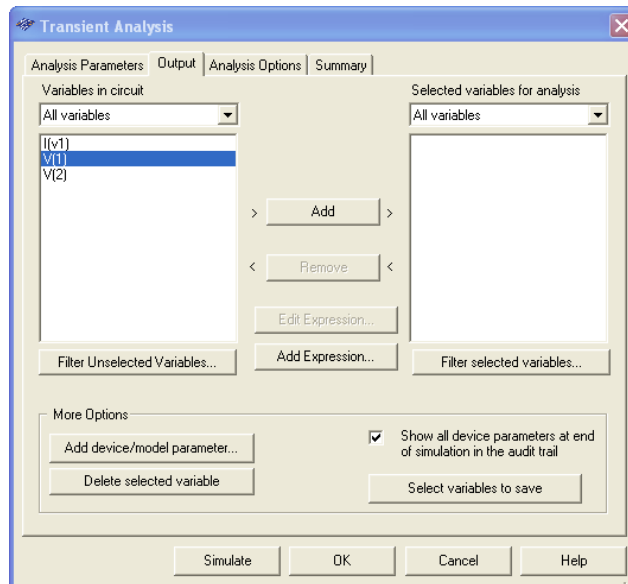
Rys. 9. Przebieg na oscyloskopie dla układu RC.

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.

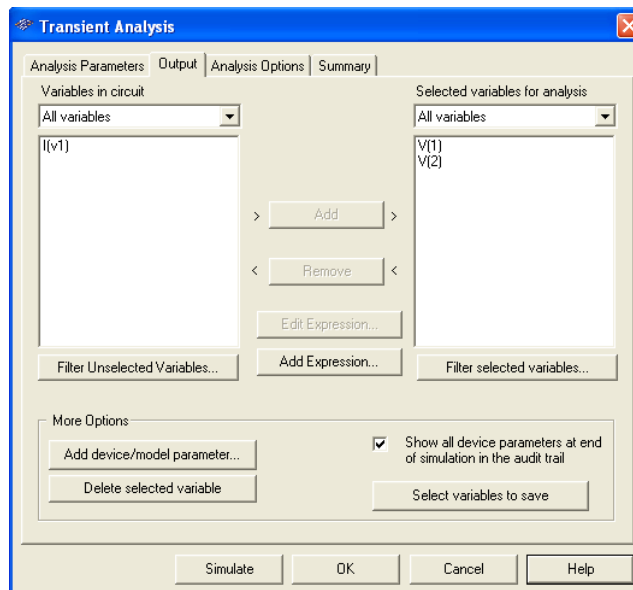


Rys. 10a. Tabela ustawiająca parametry analizy Transient (czas startu i czas zakończenia obserwacji).

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**.

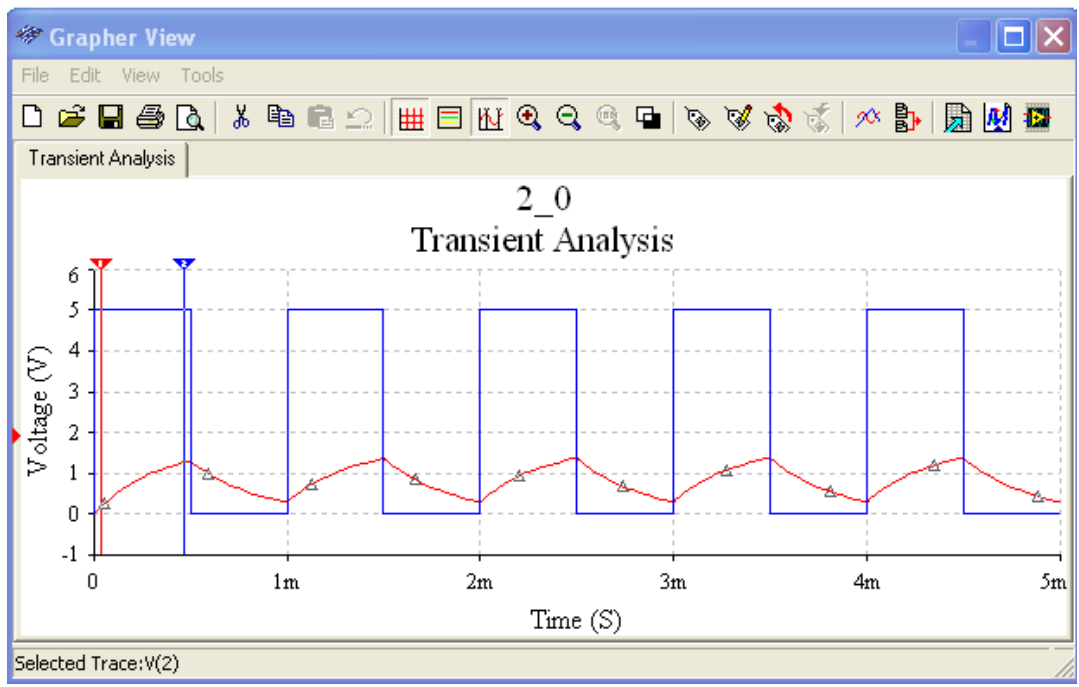


Rys. 10b. Tabela ustawiająca parametry analizy Transient (*Output – wybór przebiegów czasowych $V(1)$ i $V(2)$ za pomocą przycisku Add*)



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 R₂. Wyniki zanotuj w tabeli 2.

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

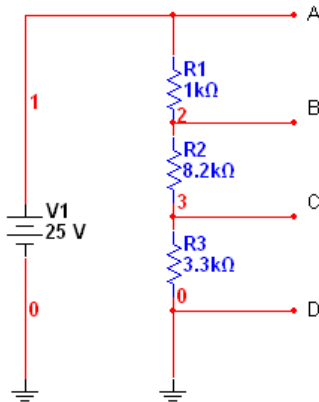
Stala czasowa τ	dla R ₂ =	dla R ₂ =
Ładowanie kondensatora C		
Rozładowanie kondensatora C		

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 zmierz za pomocą multimetru napięcie między 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	A-B	A-C	B-C	B-D	C-D
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 wyjściu układu gdy:

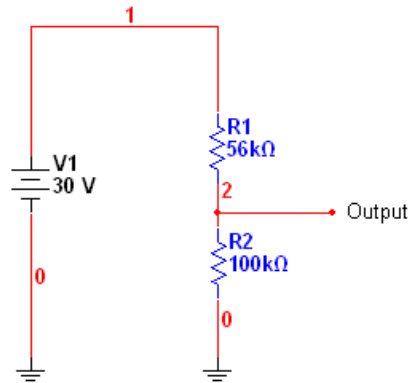
- a) układ jest nieobciążony
 b) do wyjścia układu dołączony jest rezystor $R_L=10\text{ k}\Omega$.

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

Wyniki zanotuj w tabeli 4.

Tabela 4. 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. 13. Układ dzielnika napięciowego

4.3.3. 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.

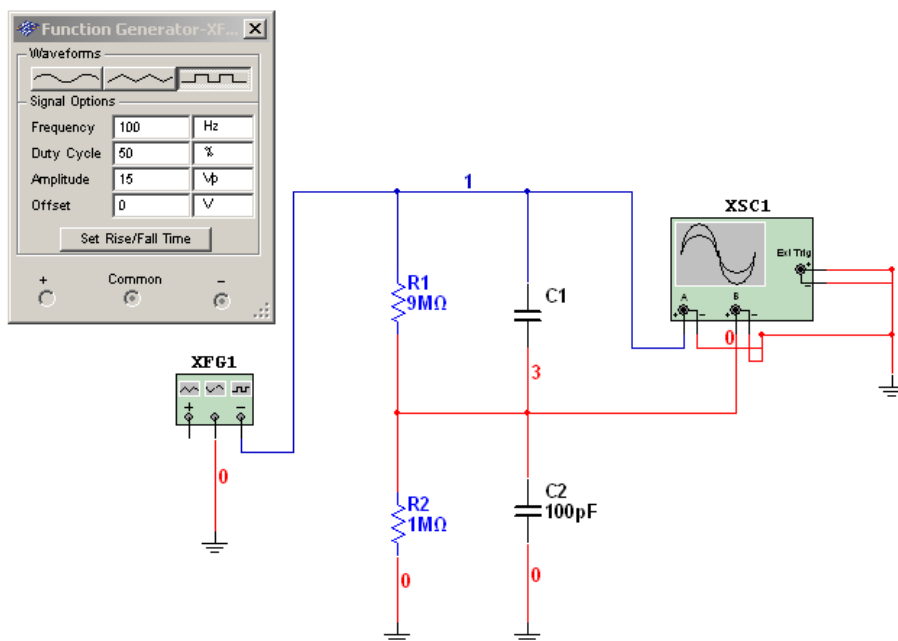
Poprzez obserwację pomniejszonego, lecz niezniekształconego prostokątnego sygnału na wyjściu dzielnika możliwa jest weryfikacja dzielnika. Alternatywnie, sprawdzenie dzielnika jest możliwe poprzez sprawdzenie charakterystyki dzielnika w funkcji częstotliwości.

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 pF i nie większa niż 20 pF (rys.14). Na wejście dzielnika wprowadź sygnał prostokątny o częstotliwości 100 Hz , amplitudzie większej od 10 V i współczynniku wypełnienia 50% .

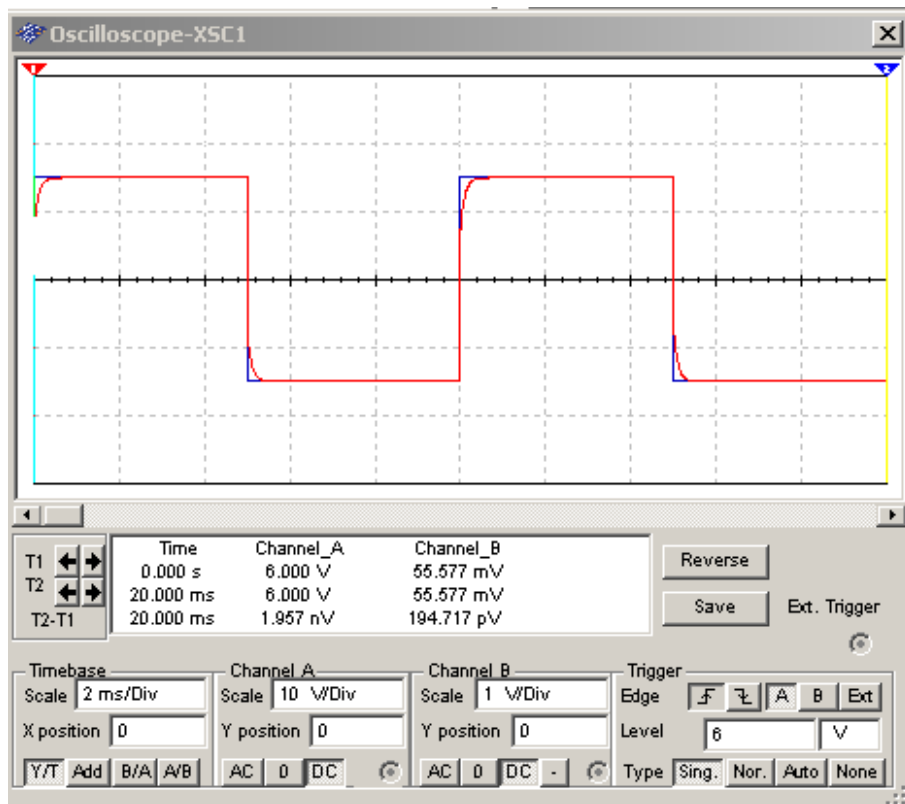
Przy założeniu, że wartość pojemności $C_2=100\text{pF}$:

(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 przedstawia przykładowe przebiegi na wejściu i wyjściu dzielnika napięciowego, który jest nie w pełni skompensowany. Dzielnik jest w pełni skompensowany gdy oba przebiegi idealnie pokrywają się.



Rys.14. Układ dzielnika napięciowego dla przebiegów zmiennych



Rys.15. Przebiegi na wyjściu dzielnika napięciowego dla przebiegów zmiennych (przebieg jest celowo nie w pełni skompensowany).

Tabela 5. Dobór optymalnej wartości pojemności C_1 dla pomiarowego dzielnika napięciowego z rys. 14

Wartość pojemności C_2 [pF]	C_1 [pF] obliczone	C_1 [pF] ustalone eksperymentalnie
$C_2=100\text{pF}$		

4.4. Analiza w dziedzinie czasu obwodów LR.

W polu pracy programu MultiSim zbuduj układ przedstawiony na rys. 16. Kliknij podwójnie na ikonie oscyloskopu i po otwarciu okna oscyloskopu ustaw następujące parametry: podstawa czasu (Timebase) 10ms/div, Kanał A – 500 mV/div, wejście DC, Wyzwalanie (Trigger) – kanał A, single, poziom wyzwalania 10 mV. Włącz układ przełącznikiem klawiszowym, a następnie

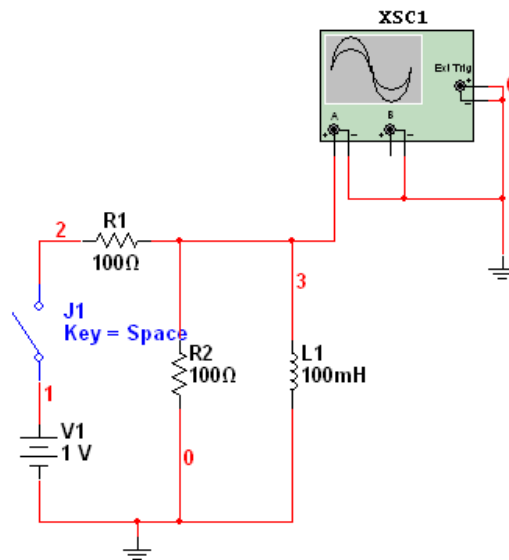
zamknij myszką przełącznik J1, otwórz go i zamknij ponownie. Na ekranie oscyloskopu możesz zaobserwować przebiegi napięć w węzle 3 układu (rys. 17).

W momencie załączenia klucza J1 wartość prądu płynącego przez cewkę wynosi 0 a napięcie w węzle 3 osiąga wartość $\frac{U_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$. W miarę upływu czasu prąd płynący przez cewkę narasta ze

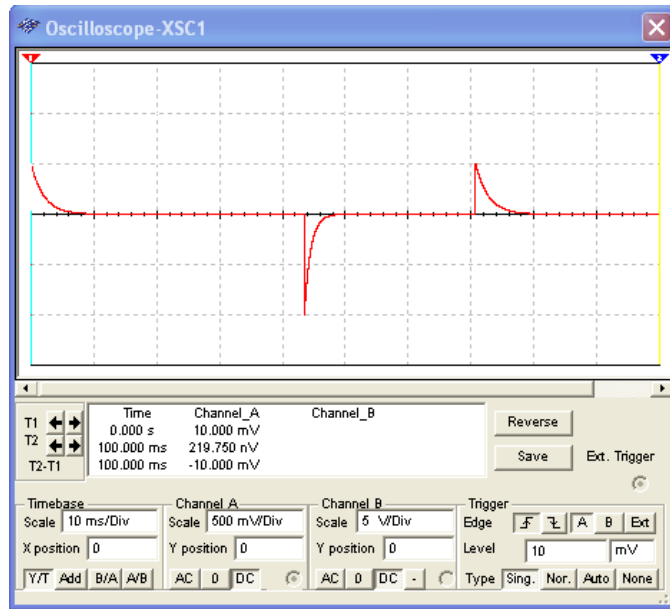
stałą czasową $\frac{L}{R_z}$ gdzie R_z jest rezystancją zastępczą dla równoległego połączenia R_1 i R_2 .

Jednocześnie maleje napięcie w węzle 3. Gdy napięcie w węzle 3 osiągnie wartość 0, to wartość prądu w cewce zbliży się do wartości maksymalnej $\frac{U_1}{R_1}$.

Rozłączenie klucza J1 powoduje, że prąd płynie tylko przez rezystor R2. Jego początkowa wartość wynosi $\frac{U_1}{R_1}$. Zanik prądu następuje teraz znacznie szybciej, bo ze stałą czasową $\frac{U_1}{R_{12}}$.



Rys. 16. Układ RL



Rys. 17. Przebieg napięcia w węzle 3 układu z rys. 16 po zamknięciu i otwarciu klucza J1.

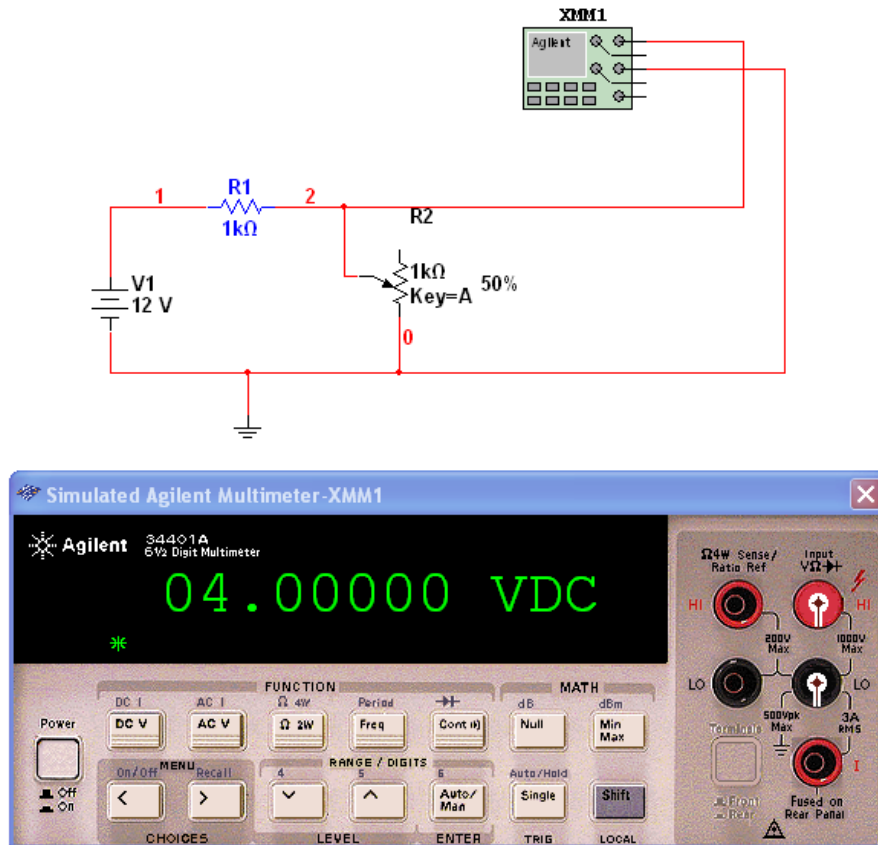
Zastosuj Analizę Transient i zmierz stałą czasową dla narastania prądu w cewce. Wyniki zanotuj w tabeli 6.

Tabela 6. Wyznaczanie stałej czasowej narastania i opadania prądu w cewce z rys. 16.

Stala czasowa τ	
Dla narastania prądu w cewce	
Dla opadania prądu w cewce	

4.5. Alternatywne metody przeprowadzania symulacji w programie MultiSim

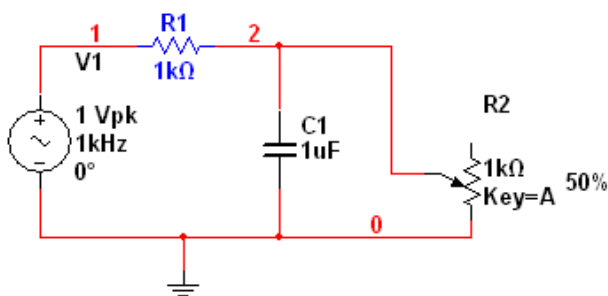
Zbuduj układ przedstawiony na rys.18. Do układu dołącz Agilent Multimeter z paska narzędzi po prawej stronie ekranu. Podłącz go przewodami tak, aby mierzył napięcie na rezystorze R_2 . Podwójne kliknięcie na ikonie multimetru powoduje pojawienie się na pulpicie wiernej repliki płyty czołowej przyrządu. Naciśnij myszką klawisz Power a następnie klawisz DC V na płycie czołowej. Na wyświetlaczu przyrządu pojawi się wartość spadku napięcia na rezystorze R_2 . Następnie zmierz za pomocą Agilent Multimeter prąd, który płynie przez rezystor R_2 .



Rys.18. Symulacje z zastosowaniem modeli rzeczywistych przyrządów

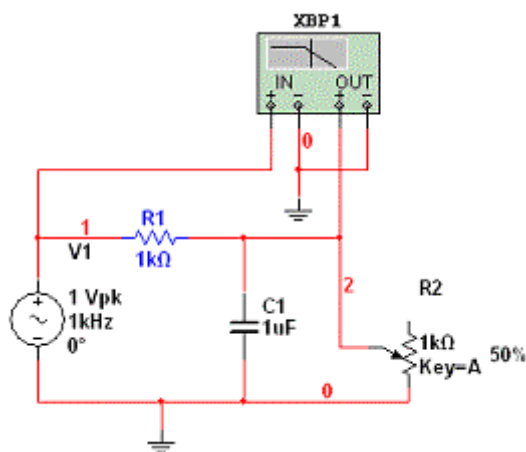
4.5. Analiza w dziedzinie częstotliwości obwodów RC (dla ohotników)

W polu pracy programu MultiSim zbuduj układ przedstawiony na rys.19. 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.



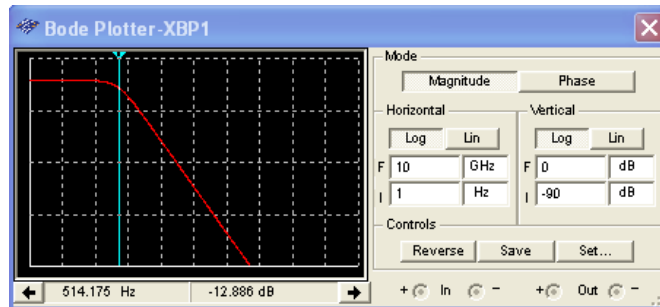
Rys. 19. Filtr RC

Do wyjścia układu dołącz ploter Bode'go (rys. 20), który jest wyspecjalizowanym przyrządem pomiarowym do obserwacji charakterystyk częstotliwościowych: amplitudowej i fazowej.

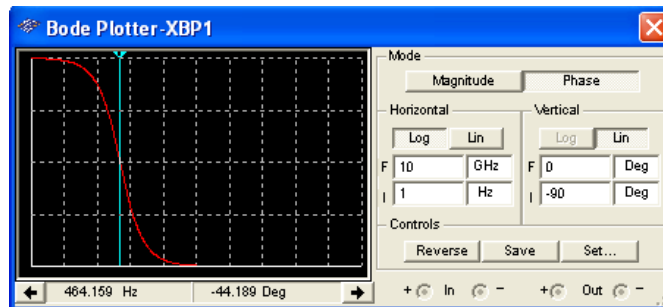


Rys. 20. Ploter Bodego w układzie RC

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. 21 i 22 przedstawiają wskazania plotera Bodego dla badanego układu.



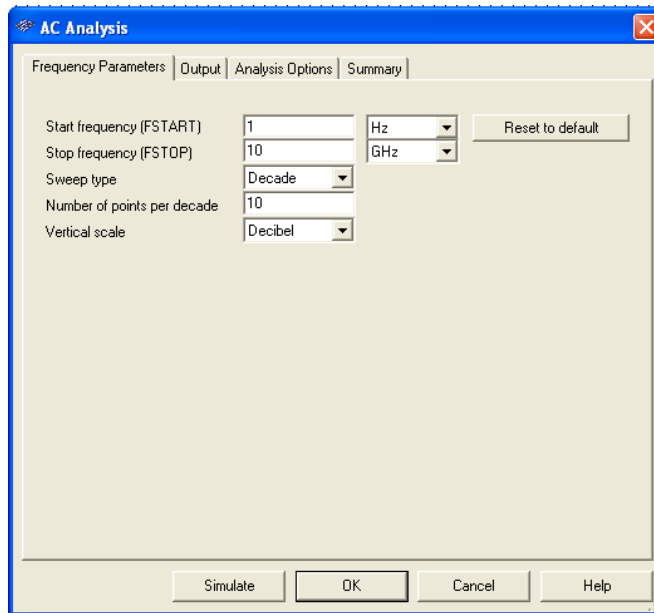
Rys. 21. Plotter Bodego – charakterystyka amplitudowa



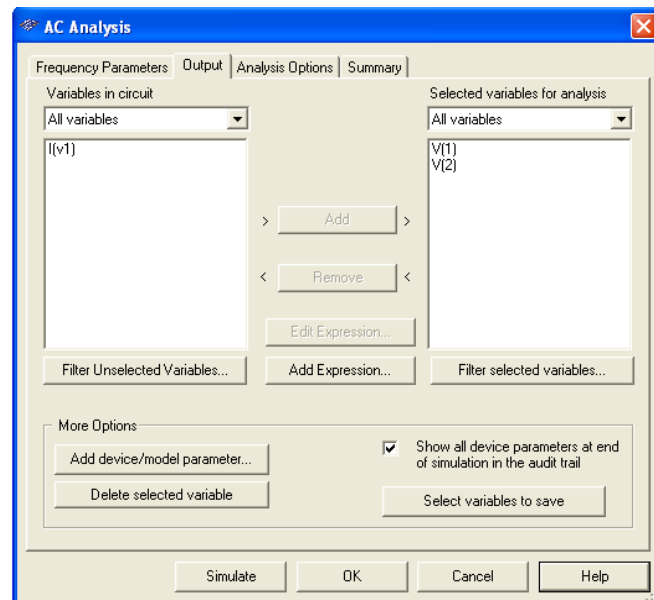
Rys. 22. Plotter Bodego – charakterystyka fazowa

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. 23) 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. 24).

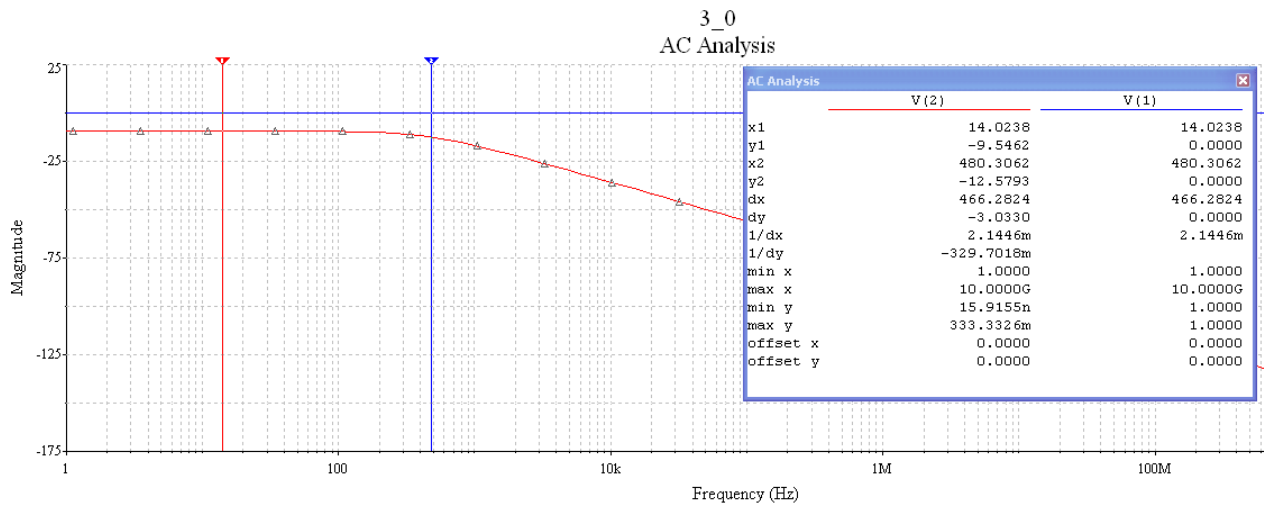


Rys.23. Symulacja AC – ustalenie parametrów symulacji

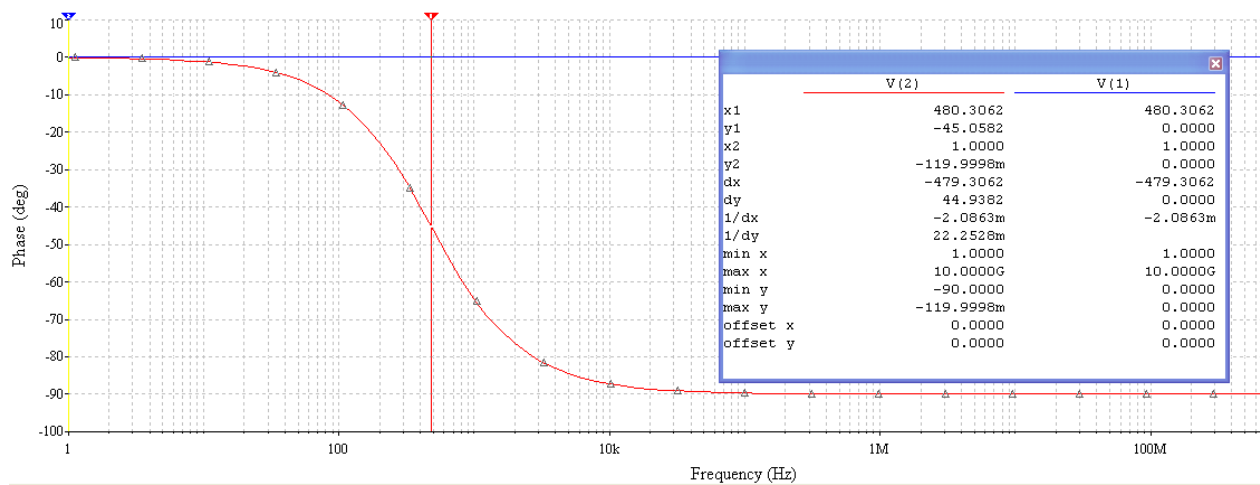


Rys. 24. Symulacja AC – wybór zmiennych wyjściowych (Outputs)

Rys. 25 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. 26 przedstawia otrzymaną w wyniku analizy AC fazową charakterystykę częstotliwościową.



Rys. 25. Analiza AC – amplitudowa charakterystyka częstotliwościowa



Rys. 26. Analiza AC –fazowa charakterystyka częstotliwościowa

Korzystając ze wskazań plotera Bodego oraz Analizy AC wyznacz dla układu z rys. 19 górną częstotliwość graniczną filtra f_g dla dwóch różnych ustawień potencjometru R_2 . Wyniki zanotuj w tabeli 7.

Tabela 7. Wyznaczanie górnej częstotliwości granicznej f_g filtra RC z rys.19.

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

Opracowanie:
B. Dziurdzia, M.Sapor, Zb. Magoński, 3.11.2012
Updated: 30.10.2014