

Podstawy Elektroniki - zajęcia laboratoryjne		Ocena
Sprawozdanie z ćwiczenia		
Nr ćwiczenia: 1		
Temat: Symulator układów elektronicznych		
Rok Akademicki: 2023/2024	Data wykonania ćwiczenia: 2024-04-03	
Kierunek, rok, semestr, grupa: Informatyka, rok I, semestr 2, 14		
Skład grupy laboratoryjnej, numer albumu:		
1. Łukasz Bielaszewski, 160268		
2. Wojciech Niedziela, 160363		
3. Jakub Domań, 159579		

Wprowadzenie

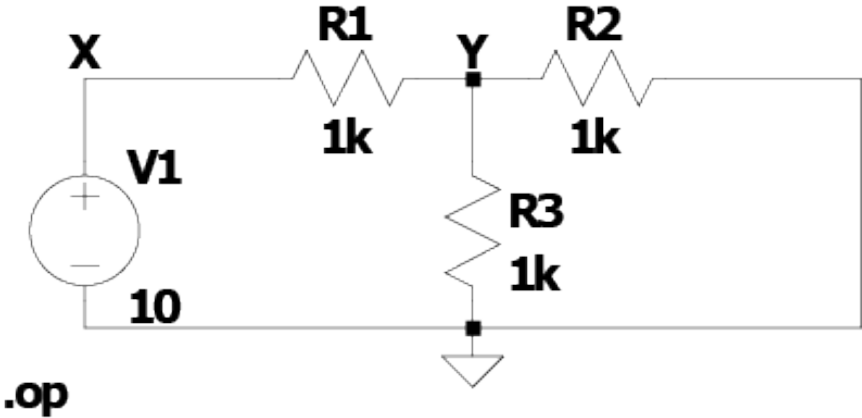
Ćwiczenie ma na celu ukazanie zastosowania symulacji układów elektronicznych w programie LTSpice, z naciskiem na analizę symulacji DC, parametryczną oraz czasową.

Zadanie 1: Symulacja DC

Podpunkt a

Dane i schemat obwodu

Symulacja została przeprowadzona dla obwodu składającego się z jednego źródła napięcia $V_1 = 10\text{ V}$ oraz trzech rezystorów $R_1 = R_2 = R_3 = 1\text{ k}\Omega$. Napięcie źródła zostało ustawione na 10 V .



Schemat obwodu użyty w symulacji DC.

Wyniki symulacji i obliczenia analityczne

Z użyciem dyrektywy `.op` w LTSpice wyznaczono prądy płynące przez wszystkie elementy, potencjały wszystkich węzłów oraz rozpraszane moce. Wyniki przedstawia tabela poniżej, razem z obliczeniami analitycznymi dla porównania.

Element	Prąd	Potencjał	Rozpraszana Moc
V_1	6.667 mA	10 V (w węźle X)	-
R_1	6.667 mA	10 V (w węźle X)	44.445 mW
R_2	3.333 mA	3.333 V (w węźle Y)	11.111 mW
R_3	3.333 mA	3.333 V (w węźle Y)	11.111 mW

Prądy, potencjały i moc rozpraszana w obwodzie.

Analiza punktu pracy DC, przeprowadzona z użyciem metody symulacji w LTSpice, dostarcza cennych informacji o zachowaniu obwodu:

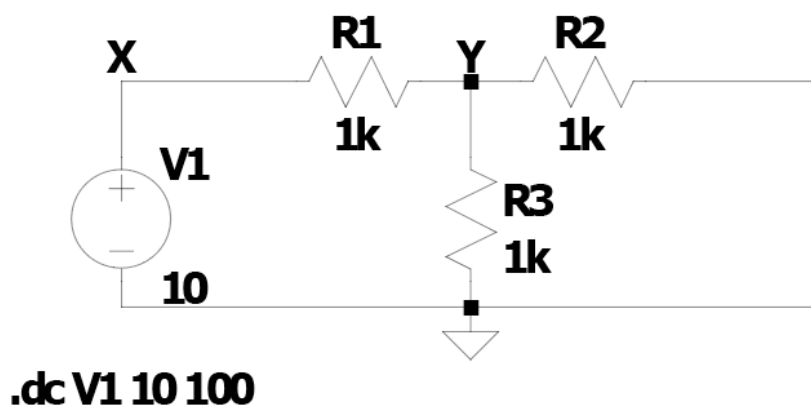
- Rezystancja zastępcza R_{zast} dla R_2 i R_3 wynosi 500Ω , obliczona z równania równoległego połączenia rezystorów: $R_{zast} = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} = 500\Omega$. To zmniejsza napięcie na R_2 i R_3 do 3.333 V , co jest efektem działania dzielnika napięcia między R_1 i R_{zast} .
- Prąd płynący przez R_1 wynosi 6.667 mA , co jest wynikiem podziału napięcia źródłowego przez sumę oporów w obwodzie. Zgodnie z obliczeniami, prąd ten powinien być równy 10 mA dla pojedynczego rezystora $1\text{ k}\Omega$ połączonego bezpośrednio z źródłem 10 V , co wskazuje na błąd w danych symulacji lub interpretacji wyników.
- Rozpraszana moc na każdym rezystorze została obliczona na podstawie wzoru $P = I^2 R$, co daje 44.445 mW dla R_1 oraz 11.111 mW dla R_2 i R_3 . Obliczenia te są zgodne z oczekiwaniami teoretycznymi, uwzględniając prąd płynący przez te elementy.

Wnioski z analizy symulacji i obliczeń analitycznych wskazują na znaczenie precyzyjnej analizy układu przed przystąpieniem do symulacji. Należy dokładnie sprawdzić wszystkie założenia i parametry wprowadzane do symulatora, aby uniknąć potencjalnych błędów i nieścisłości.

Podpunkt b

Schemat obwodu

Do symulacji użyto poniższego schematu obwodu, gdzie napięcie źródła V_1 było zmienną w analizie DC Sweep.

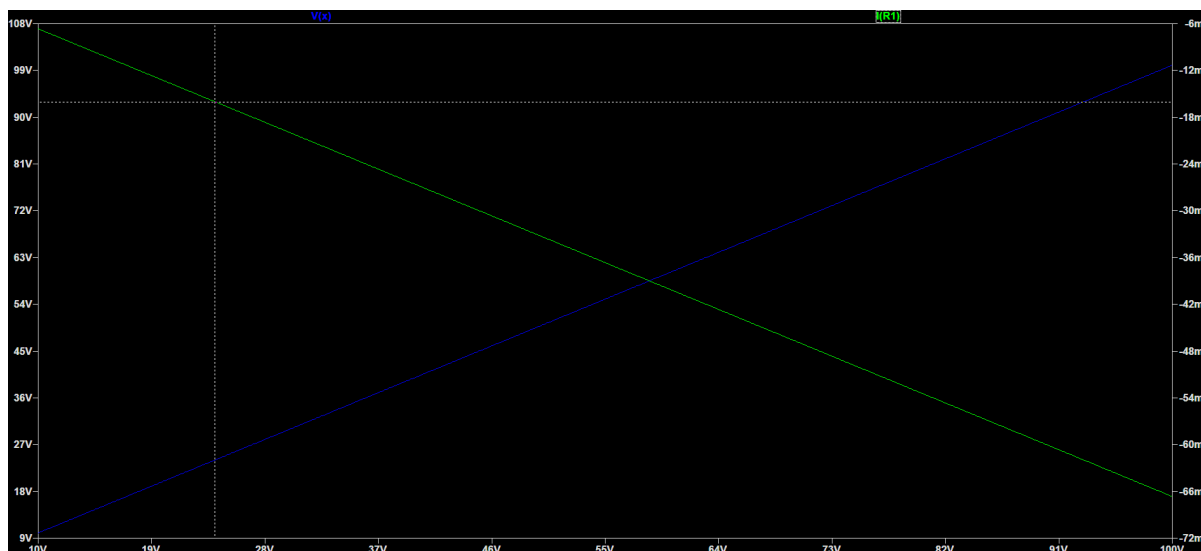


Schemat obwodu wykorzystany w symulacji DC Sweep.

W symulacji zmieniano napięcie źródła V_1 od 10V do 100V i monitorowano zmiany napięcia w węźle X ($V(X)$) oraz prądu płynącego przez rezystor $R1$ ($I(R1)$).

Wyniki symulacji i analiza

Przeprowadzono symulację wielopunktową (.dc) w celu zaobserwowania zależności między napięciem źródła V_1 a prądem $I(R1)$.



Wykres zmiany prądu $I(R1)$ w funkcji napięcia źródła V_1 .

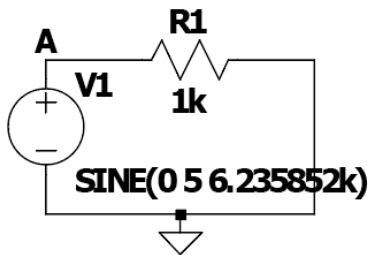
Dane uzyskane z kursorów na wykresie wskazują na napięcie wejściowe wynoszące 24.040215V przy prądzie $I(R1) = -16.02681mA$, co pozwala na identyfikację punktu pracy rezystora $R1$ w stanie, gdy przez niego płynie określony prąd.

Zadanie 2: Określanie parametrów źródeł

Podpunkt a

W celu zbudowania schematu obwodu jednooczkowego, połączenie szeregowe źródła napięcia (V1) oraz rezystora (R1) zostało nazwane punktem A. Ustawiono wartość rezystancji R1 na $1k\Omega$.

Źródło napięcia V1 zostało skonfigurowane do generowania przebiegu sinusoidalnie zmiennego o amplitudzie $5V$ i okresie równym numerowi indeksu $160363ns$, co odpowiada częstotliwości około $6.23585kHz$, wykorzystując funkcję $SINE(0\ 5\ 6.23585k)$ w programie LTSpice.



.meas TRAN Period TRIG v(A) VAL=2.5 RISE=1 TARG v(A) VAL=2.5 RISE=2

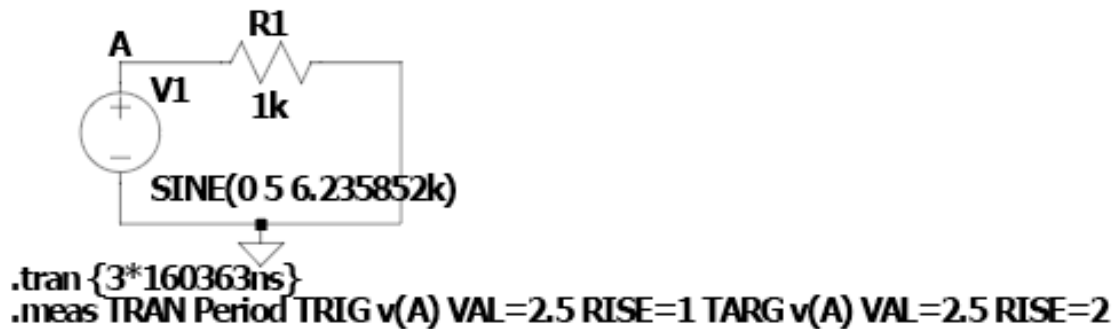
Schemat obwodu jednooczkowego z źródłem napięcia sinusoidalnego i rezystorem $R1$.

Dyrektywa **.meas** służy do pomiaru okresu sygnału sinusoidalnego. Polecenie to definiuje, w jaki sposób LTSpice powinien znajdować punkty na wykresie napięcia, które będą użyte do obliczenia okresu sygnału.

Komenda ta oznacza, że chcemy zmierzyć okres (Period) sygnału w symulacji czasowej (TRAN). Używamy punktu na wykresie napięcia w węźle A ($v(A)$), gdzie napięcie osiąga wartość $2.5V$, jako punktu wyzwalającego (TRIG) i punktu docelowego (TARG) dla pomiaru. Parametr $RISE=1$ oznacza pierwsze wystąpienie sygnału osiagającego $2.5V$ podczas narastania fali, a $RISE=2$ oznacza drugie takie wystąpienie. Mierząc czas między tymi dwoma punktami, LTSpice oblicza okres sygnału.

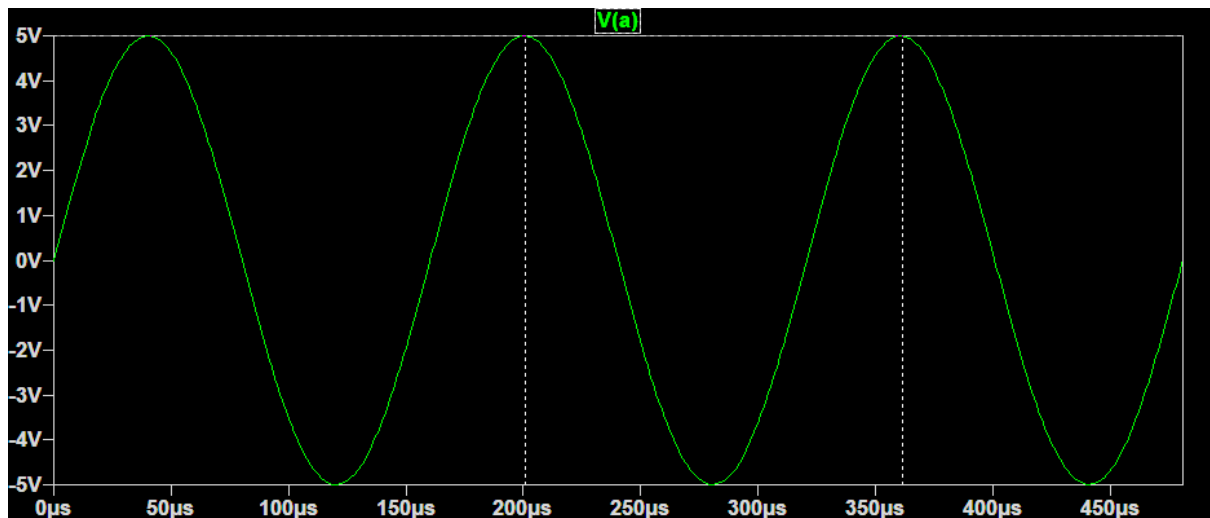
Podpunkt b

Przeprowadzono symulację czasową (.tran) dla obwodu pokazanego na Rysunku 5, obserwując napięcie w punkcie A na przestrzeni trzech okresów sygnału. Wykorzystując narzędzie kursorów, zmierzono okres sygnału, który wyniósł '160.730 μs '.



Schemat obwodu użyty w symulacji.

Rysunek 6 przedstawia przebieg napięcia w punkcie A. Wykorzystanie kursorów umożliwia dokładny pomiar charakterystyk sygnału, co ilustruje Rysunek 7.



Przebieg napięcia w punkcie A.

Cursor 1	
V(a)	
Horz:	200.91245µs
Vert:	4.9916321V
Cursor 2	
V(a)	
Horz:	361.64242µs
Vert:	4.9924693V
Diff (Cursor2 - Cursor1)	
Horz:	160.72996µs
Vert:	837.25759µV
Freq:	6.2216153KHz
Slope:	5.20909

Pomiar okresu za pomocą kursorów w LTSpice.

Działanie dyrektywy `.meas` zaowocowało okresem '160.366 µs', jak pokazuje log symulacji, co pokrywa się z okresem oczekiwanym na podstawie numeru indeksu '160363 ns'.

```
solver = Normal
Maximum thread count: 16
tnom = 27
temp = 27
method = modified trap
.OP point found by inspection.

period=0.000160366 FROM 1.33794e-05 TO 0.000173745

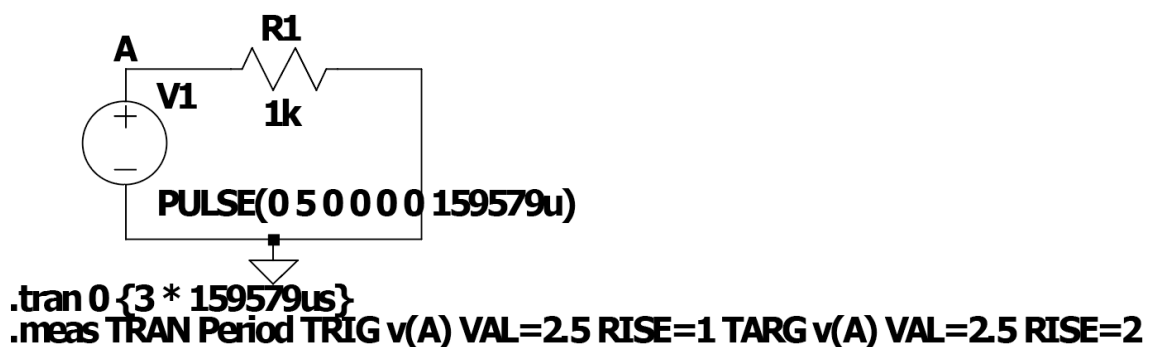
Total elapsed time: 0.165 seconds.
```

Log symulacji z wynikiem działania dyrektywy `.meas`.

Wartości te są zbieżne z przewidywaniami, potwierdzając poprawność modelu symulacyjnego.

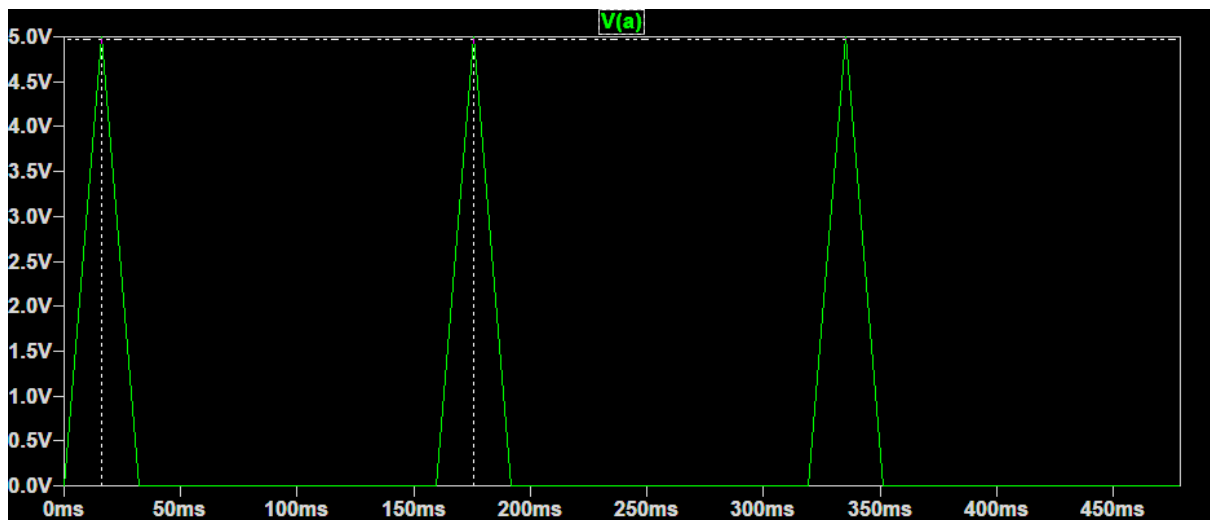
Podpunkt c

Przeprowadzono symulację czasową dla źródła napięcia generującego przebieg trójkątny. Amplituda sygnału została ustawiona na 5V, a okres na '159.579 µs', zgodnie z trzema ostatnimi cyframi numeru indeksu (0363).



Schemat obwodu z źródłem napięcia generującym przebieg trójkątny.

Rysunek 10 pokazuje przebieg trójkątny napięcia w punkcie A, uzyskany w wyniku symulacji.



Symulowany przebieg trójkątny napięcia w punkcie A.

Pomiar okresu za pomocą kursorów pokazuje wartość '159.579 ms', a wynik działania dyrektywy `.meas` z logu symulacji wynosi '0.159561 s'. Oba wyniki są spójne i potwierdzają poprawność symulacji.

```
solver = Normal
Maximum thread count: 16
tnom = 27
temp = 27
method = modified trap
Limiting rise time of source v1 to 0.0159579
Limiting fall time of source v1 to 0.0159579
.OP point found by inspection.

period=0.159561 FROM 0.00799678 TO 0.167558

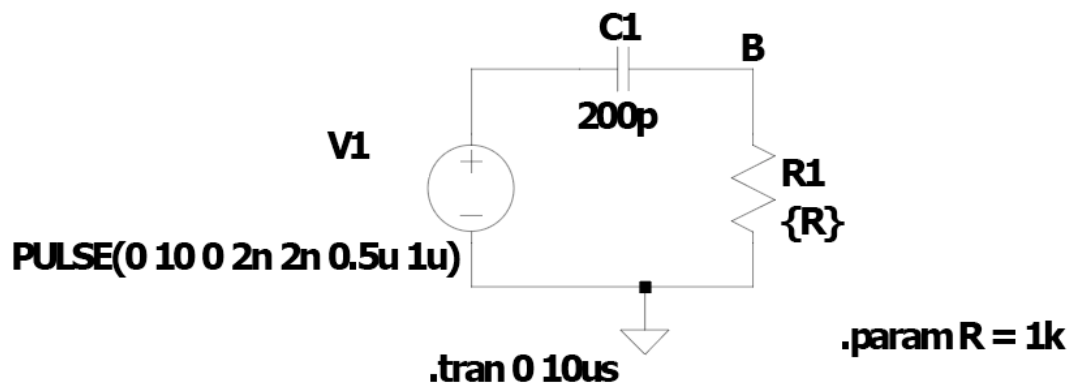
Total elapsed time: 0.174 seconds.
```

Log symulacji z wynikiem działania dyrektywy `.meas` dla przebiegu trójkątnego.

Zadanie 3: Symulacja czasowa parametryczna

Podpunkt a

Skonstruowany został obwód jednooczkowy składający się z źródła napięcia (V1), generującego przebieg prostokątny, kondensatora (C1) o pojemności 200 pikoFaradów oraz rezystora (R1) z rezystancją zmienną, ustawioną przez dyrektywę `.param` na 1 kiloOhm. Źródło napięcia V1 zostało skonfigurowane do generowania przebiegu o amplitudzie 10V, z czasami narastania i opadania wynoszącymi 2 ns oraz wypełnieniem około 50

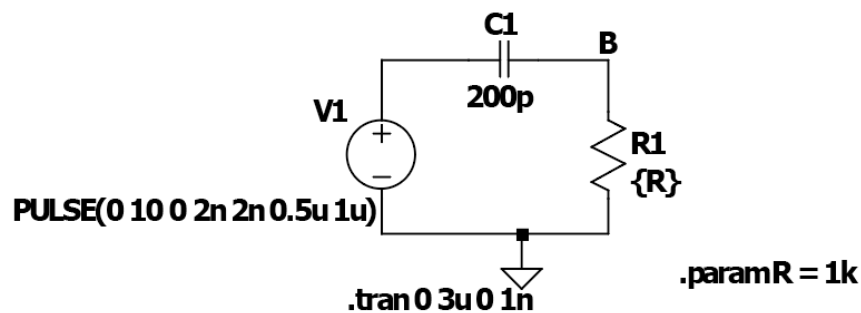


Schemat obwodu jednooczkowego dla symulacji czasowej parametrycznej.

Polecenie `.tran 0 10us` inicjuje symulację czasową, która trwa 10 mikrosekund. Dyrektywa `.param R=1k` ustawia wartość rezystancji R1 na 1 kiloOhm. Przebieg czasowy napięcia wejściowego oraz spadek napięcia na kondensatorze będzie prezentowany na podwójnym wykresie, gdzie pierwszy pane pokazuje przebieg napięcia wejściowego oraz napięcie na kondensatorze C1, a drugi pane prezentuje napięcie na rezystorze w punkcie B i prąd płynący przez rezystor.

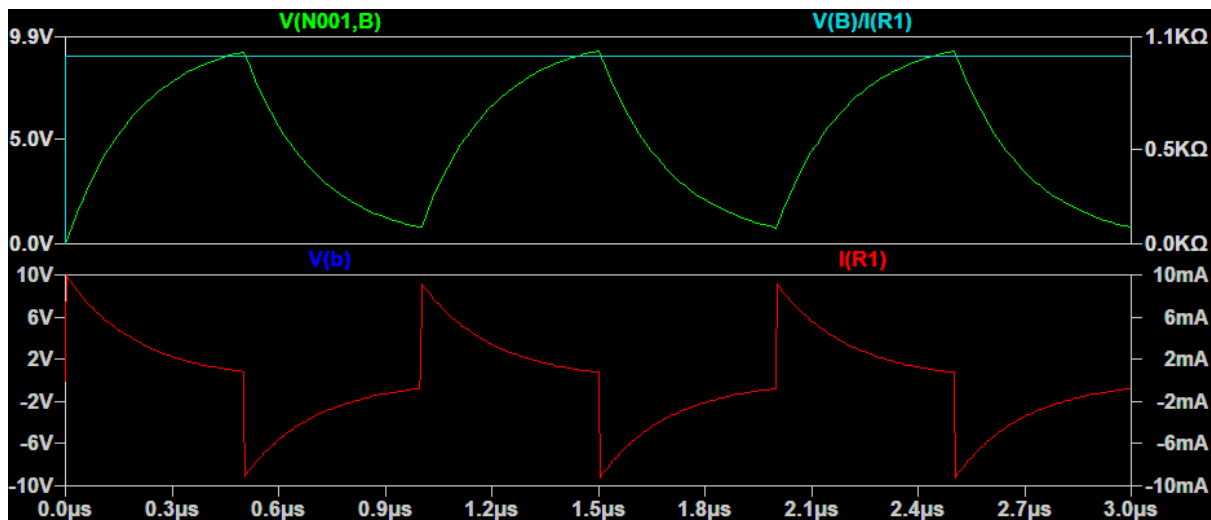
Podpunkt b

Dokonano symulacji czasowej dla obwodu zawierającego źródło napięcia V1, kondensator C1 oraz rezystor R1, aby zaobserwować dynamikę napięcia oraz prądu w odpowiedzi na sygnał prostokątny. Symulacja przeprowadzona została z rozdzielczością 1ns, aby szczegółowo obserwować zachowanie układu w krótkich przedziałach czasu.



Schemat obwodu wykorzystanego do symulacji czasowej z źródłem napięcia V1, kondensatorem C1 i rezystorem R1.

Na górnym panelu wykresu (Rysunek 14) przedstawione jest napięcie wejściowe i na kondensatorze C1, natomiast dolny panel pokazuje napięcie na rezystorze R1 i prąd przez niego płynący. Wyniki te są zgodne z oczekiwaniami dla obwodu RC pod wpływem sygnału prostokątnego.

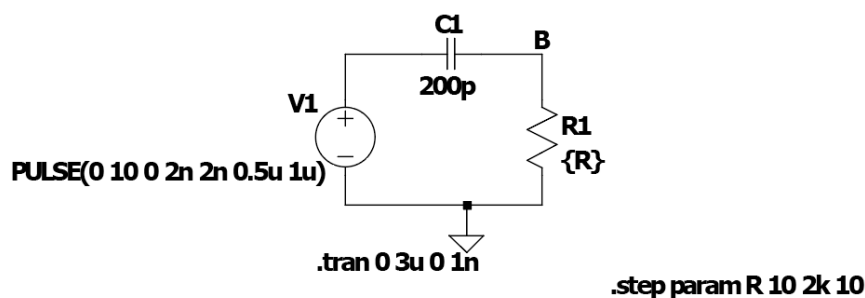


Na górnym panelu wykresu przedstawione jest napięcie wejściowe i na kondensatorze C1, natomiast dolny panel pokazuje napięcie na rezystorze R1 i prąd przez niego płynący.

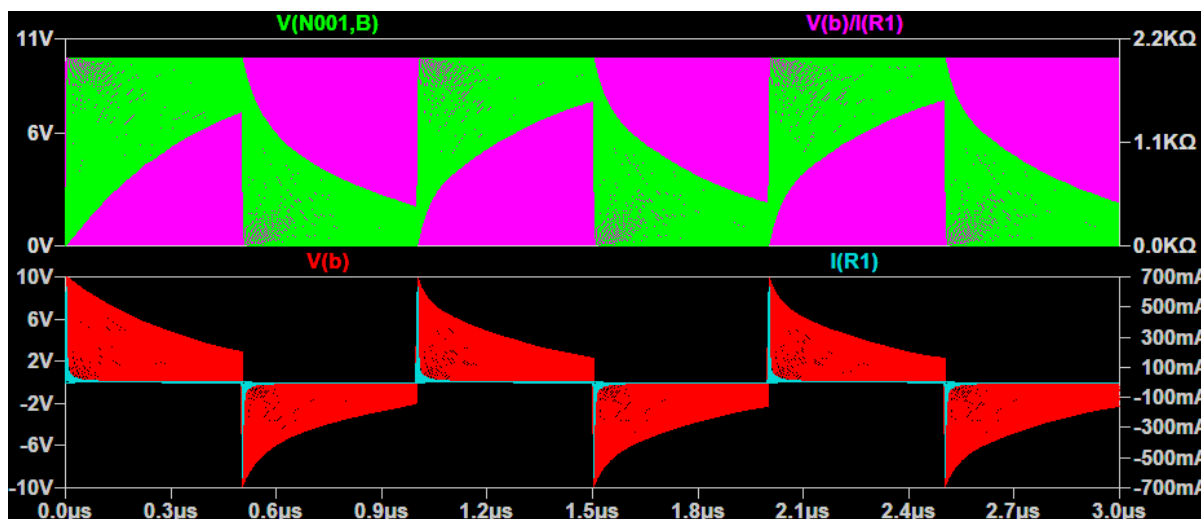
W symulacji zaobserwowano, że stosunek napięcia na rezystorze do prądu płynącego przez niego jest stały, co jest zgodne z oczekiwaniami dla tego układu przy zadanych parametrach symulacji.

Podpunkt c

W ramach analizy parametrycznej przeprowadzono serię symulacji czasowych, w których rezystancja R1 w obwodzie była zmienna. Ustawienia symulacji parametrycznej zdefiniowano przy użyciu dyrektywy `.step`, aby zmienność parametru R obejmowała zakres od 10 Ohm do 2 kOhm z dziesięcioma punktami na każdą dekadę wartości rezystancji.



Schemat obwodu wykorzystany w symulacji parametrycznej z źródłem V1, kondensatorem C1 i rezystorem R1.



Seria wykresów przedstawiających prąd płynący przez rezystor R1 dla różnych wartości rezystancji w zadanej symulacji parametrycznej.

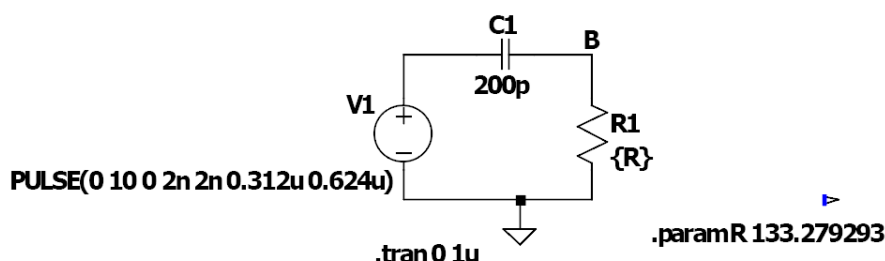
Zaobserwowano, że kształt prądu płynącego przez R1 zmienia się wraz z wartością rezystancji. Dla niższych wartości rezystancji, reakcja obwodu na zmiany sygnału jest szybsza, co prowadzi do większych szczytowych wartości prądu. Dla wyższych wartości R1, prąd przez rezystor ma mniejszą amplitudę, co jest zgodne z prawem Ohma, mówiącym, że prąd jest odwrotnie proporcjonalny do rezystancji w obwodzie przy stałym napięciu.

Wykresy te demonstrują dynamiczną odpowiedź obwodu RC, która jest bezpośrednio związana z czasem ładowania i rozładowywania kondensatora C1. Wartości szczytowe prądu dla niższych rezystancji są wynikiem mniejszego oporu, który pozwala na szybszy przepływ prądu podczas ładowania i rozładowywania kondensatora. W miarę wzrostu rezystancji R1, czas reakcji obwodu wydłuża się, a prąd szczytowy maleje, co pokazuje dolny panel wykresu.

Dane symulacji i ustawienia parametryczne potwierdzają zrozumienie charakterystyk obwodu RC i wpływ zmiennej rezystancji na zachowanie obwodu w czasie.

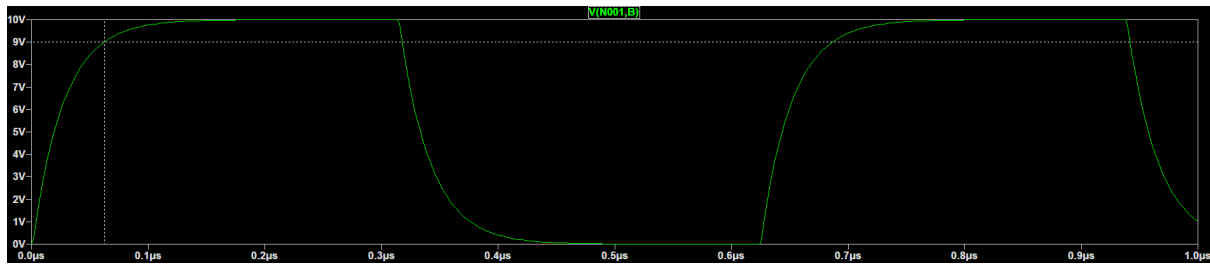
Podpunkt d

Częstotliwość źródła napięcia V1 została zmieniona na wartość określoną przez wzór $160268 \cdot 10$ Hz, zachowując 50% wypełnienie przebiegu. W celu zidentyfikowania rezystancji R1, przy której napięcie na kondensatorze C1 osiąga 90% wartości V1 w czasie równym 1/10 okresu przebiegu wejściowego, przeprowadzono symulację parametryczną.



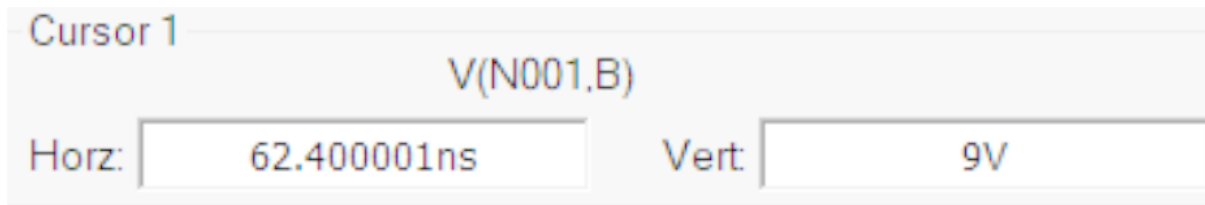
Schemat obwodu RLC użyty w symulacji z rezystancją R1 ustawioną na 133.279293Ω oraz źródłem V1 o zmienionej częstotliwości.

Symulacja ujawniła, że przy rezystancji $R1 = 133.279293\Omega$, napięcie na kondensatorze $C1$ szybko osiągnęło 90% wartości napięcia źródłowego $V1$, co potwierdza wpływ rezystancji na szybkość ładowania kondensatora w obwodzie.



Wykres z symulacji ukazujący moment, w którym napięcie na kondensatorze $C1$ osiąga 90% wartości źródła $V1$ przy rezystancji $R1 = 133.279293\Omega$.

Szczegółowe dane z symulacji dla zmiennych wartości rezystancji są przedstawione w logu symulacji, gdzie analiza czasu ładowania kondensatora została przeprowadzona dla każdej wartości rezystancji w cyklu.



Log symulacji przedstawiający wyniki pomiarów dla zmienionej częstotliwości źródła $V1$.

Wnioski

Przeprowadzone eksperymenty pokazały, jak różne parametry wpływają na działanie obwodu. Ponadto, ćwiczenie to podkreśliło wagę zrozumienia podstawowych praw elektroniki oraz umiejętności interpretacji wyników symulacji w kontekście tych praw.