

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

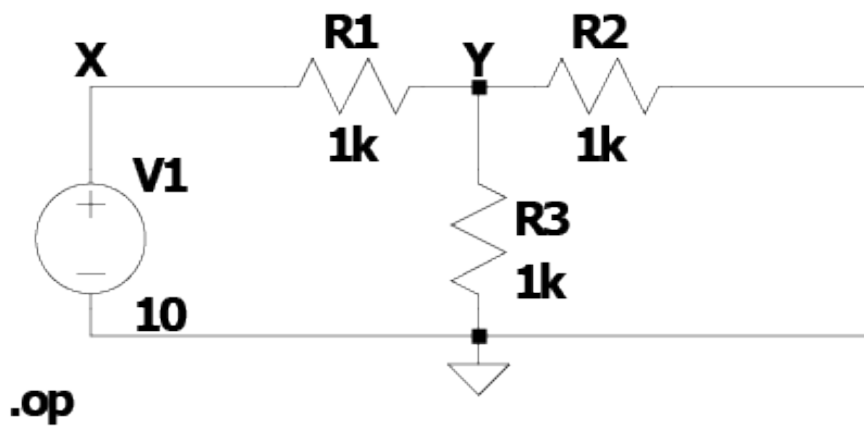
Ćwiczenie ma na celu ukazanie zastosowania symulacji układów elektronicznych w programie LTSpice, z naciskiem na analizę symulacji DC, parametryczną oraz czasową.

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:

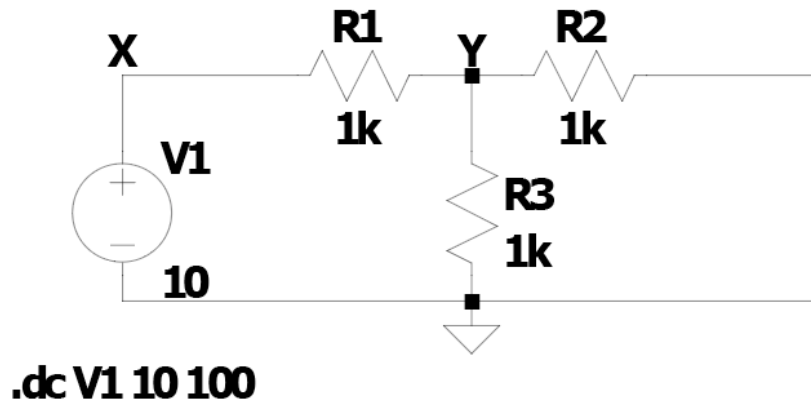
- Rezystancja zastępcza R_{zast} dla R_2 i R_3 wynosi 500Ω , obliczona z równania równoległego połączenia rezystorów: $R_{zast} = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} = 500\Omega$. To zmniejsza napięcie na R_2 i R_3 do 3.333 V , co jest efektem działania dzielnika napięcia między R_1 i R_{zast} .
- Prąd płynący 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.

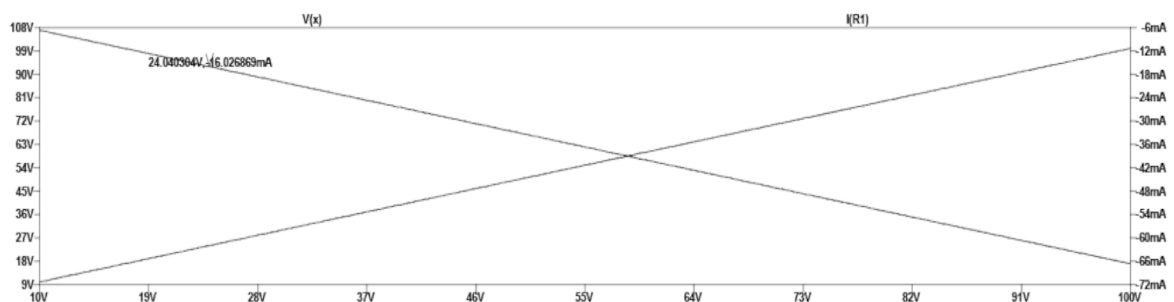


Schemat obwodu wykorzystany w symulacji DC Sweep.

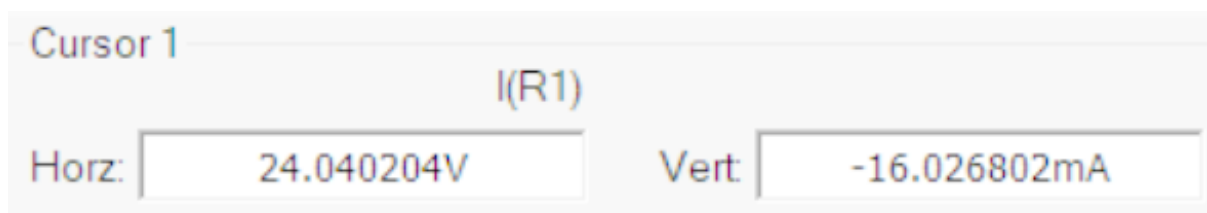
W symulacji zmieniano napięcie źródła V_1 od 10V do 100V i monitorowano zmiany napięcia w węźle X ($V(X)$) oraz prądu płynącego przez rezystor R_1 ($I(R1)$).

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 symulacji.

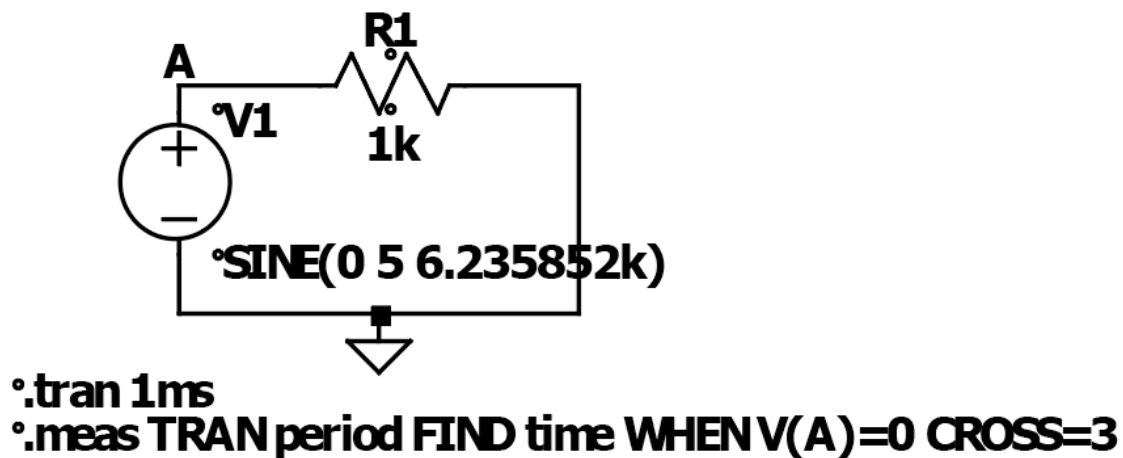
Dane uzyskane z kursorów na wykresie wskazują na napięcie wejściowe wynoszące $24.040204V$ przy prądzie $I(R1) = 16.026802mA$, co pozwala na identyfikację punktu pracy rezystora $R1$ w stanie, gdy przez niego płynie określony prąd.

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.



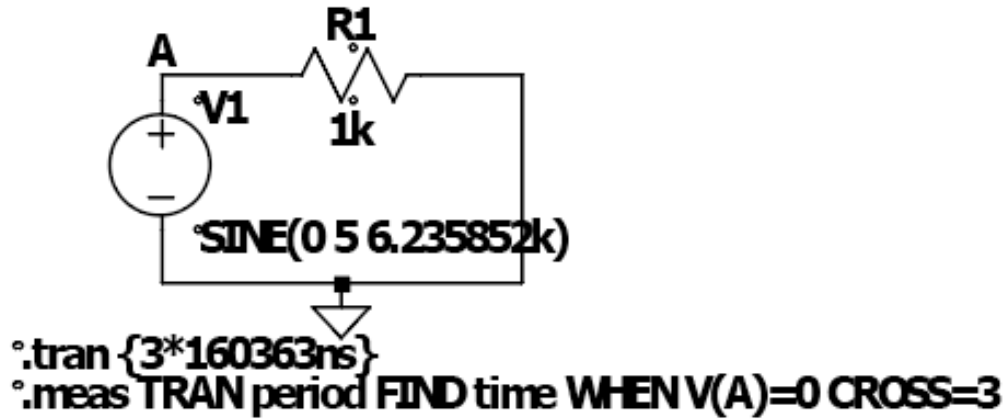
Schemat obwodu jednooczkowego z źródłem napięcia sinusoidalnego i rezystorem $R1$.

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.

Do analizy symulacji czasowej zastosowano polecenia `.tran 1ms` do ustawienia czasu symulacji oraz `.meas TRAN period FIND time WHEN V(A)=0 CROSS=3` do zmierzenia okresu przebiegu sinusoidalnego na rezystorze $R1$ przy trzecim przecięciu napięcia przez zero.

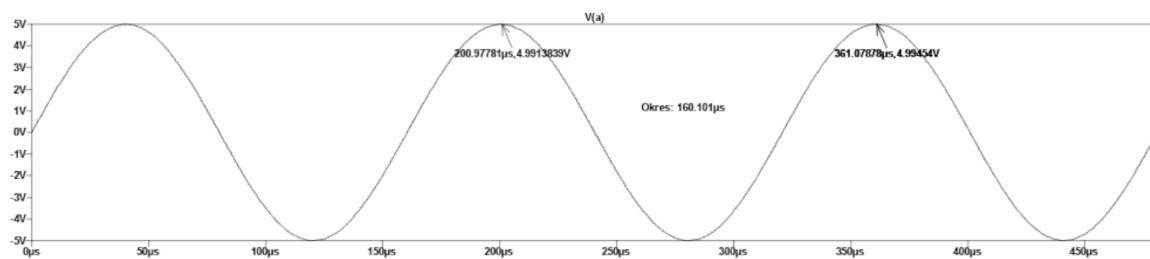
Podpunkt b

Przeprowadzono symulację czasową (.tran), obserwując napięcie w punkcie A na przestrzeni trzech okresów sygnału. Wykorzystując narzędzie kursorów, zmierzono okres sygnału, który wyniósł '160.730 μ s'.



Schemat obwodu użyty w symulacji.

Poniższy wykres przedstawia przebieg napięcia w punkcie A. Wykorzystanie kursorów umożliwia dokładny pomiar charakterystyk sygnału.



Przebieg napięcia w punkcie A.

Cursor 1	
V(a)	
Horz: 200.97781µs	Vert: 4.9913839V
Cursor 2	
V(a)	
Horz: 361.07878µs	Vert: 4.99454V
Diff (Cursor2 - Cursor1)	
Horz: 160.10097µs	Vert: 3.1560667mV
Freq: 6.2460584KHz	Slope: 19.713

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: time=0.000160363 at 0.000160363

Total elapsed time: 0.096 seconds.

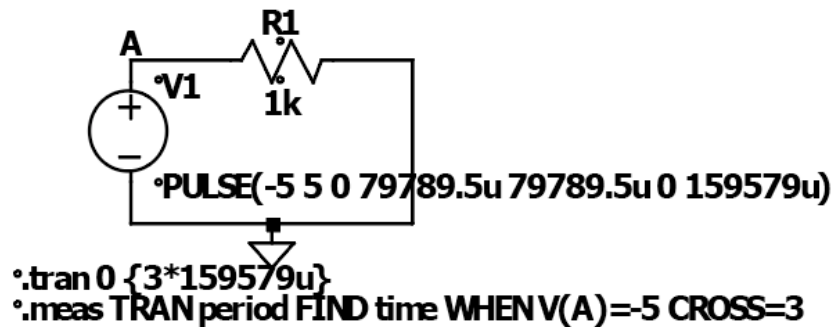
```

Log symulacji z wynikiem działania dyrektywy `.meas`.

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

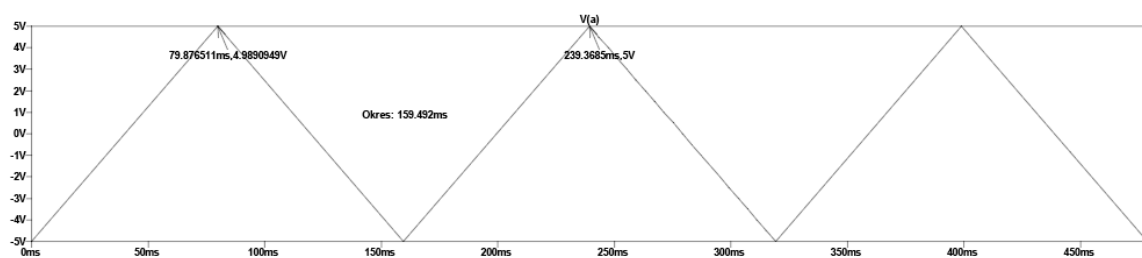
Podpunkt c

W ramach ćwiczenia przeprowadzono symulację czasową obwodu z źródłem napięcia V1, konfigurując je do generowania przebiegu trójkątnego. Parametry źródła zostały ustawione na amplitudę 5V, a okres na podstawie obliczeń wynosił $159.579\mu s$, co odpowiadało ustawieniu źródła w LTspice za pomocą funkcji PULSE.



Schemat obwodu wykorzystany w symulacji z źródłem napięcia V1 generującym przebieg trójkątny.

Symulacja została wykonana z czasem trwania równym trzykrotności okresu sygnału i wykorzystaniem polecenia .meas w celu wyznaczenia okresu przebiegu trójkątnego.



Przebieg trójkątny napięcia w punkcie A uzyskany w wyniku symulacji.

Pomiar okresu przeprowadzony za pomocą kursorów w LTspice pokazuje wartość $159.762ms$, co przy założeniu częstotliwości $6.2593106Hz$ jest wynikiem zgodnym z oczekiwaniami.

Cursor 1			
		V(a)	
Horz:	79.876511ms	Vert:	4.9890949V
Cursor 2			
		V(a)	
Horz:	239.3685ms	Vert:	5V
Diff (Cursor2 - Cursor1)			
Horz:	159.49199ms	Vert:	10.905125mV
Freq:	6.2699074Hz	Slope:	0.0683741

Pomiar okresu za pomocą kursorów w LTspice.

Log symulacji potwierdza obliczony okres na poziomie $0.159579s$, co jest zbliżne z wynikiem uzyskanym z kursorów.

```
solver = Normal
Maximum thread count: 16
tnom = 27
temp = 27
method = modified trap
Direct Newton iteration for .op point succeeded.

period: time=0.159579 at 0.159579

Total elapsed time: 0.103 seconds.
```

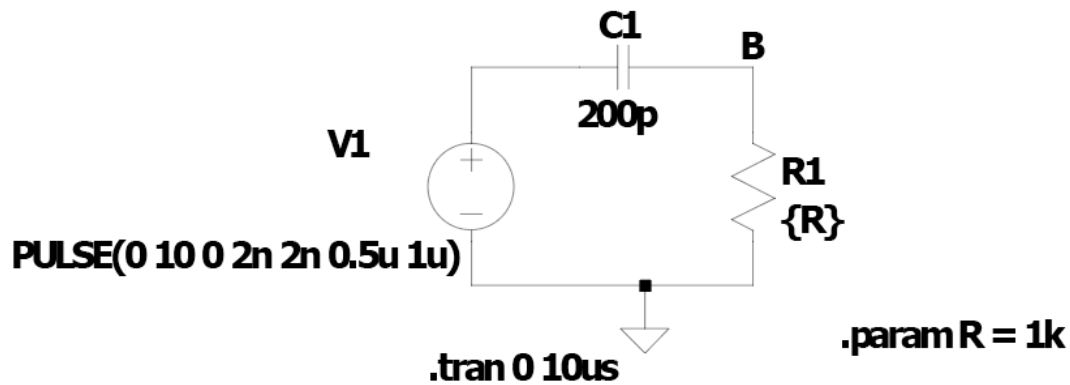
Log symulacji z wynikiem działania dyrektywy .meas dla przebiegu trójkątnego.

Rezultaty te potwierdzają, że symulacja została przeprowadzona poprawnie i wyniki są spójne z teoretycznymi przewidywaniami dotyczącymi zachowania układu.

Zadanie 3: Symulacja czasowa parametryczna

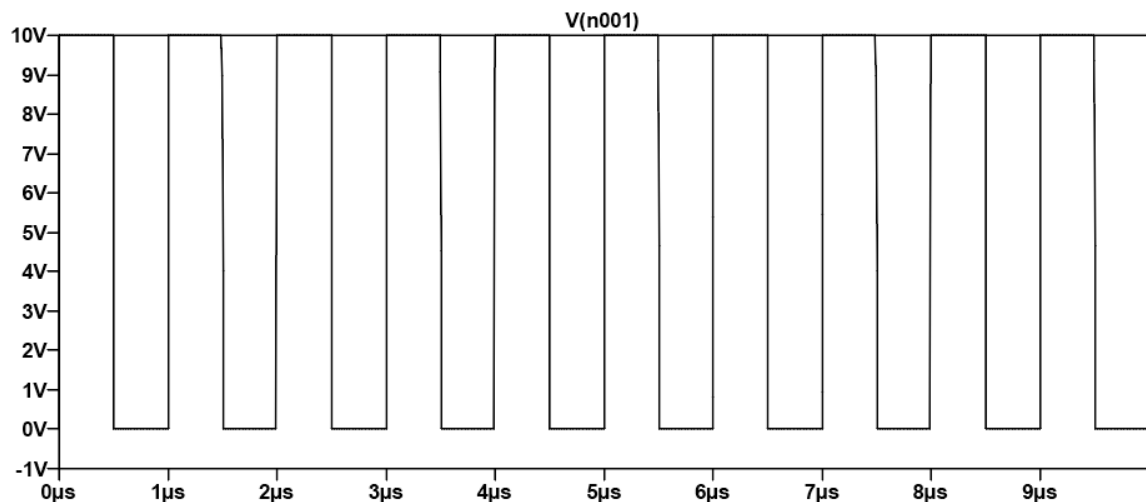
Podpunkt a

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 $1k\Omega$. Źródło napięcia V1 zostało skonfigurowane do generowania przebiegu o amplitudzie 10V, z czasami narastania i opadania wynoszącymi $2ns$ oraz wypełnieniem około 50%.



Schemat obwodu jednooczkowego dla symulacji czasowej parametrycznej.

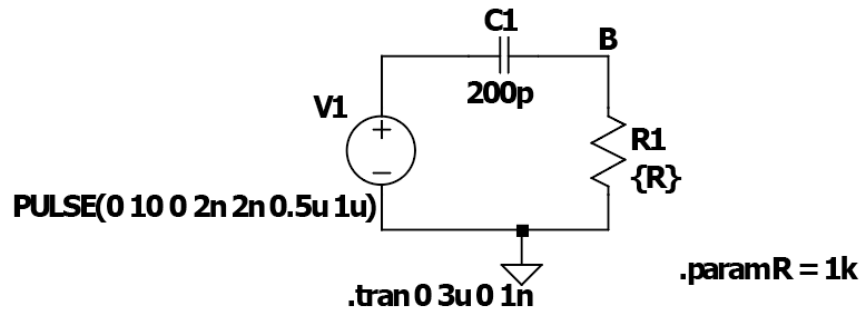
Polecenie `.tran 0 10us` inicjuje symulację czasową, która trwa $10\mu s$. Dyrektywa `.param R=1k` ustawa wartość rezystancji $R1$ na $1k\Omega$. Przebieg czasowy napięcia wejściowego oraz spadek napięcia na kondensatorze będzie prezentowany na wykresie.



Przebieg napięcia wejściowego oraz spadek napięcia na kondensatorze $C1$ i napięcie na rezystorze $R1$ w punkcie B.

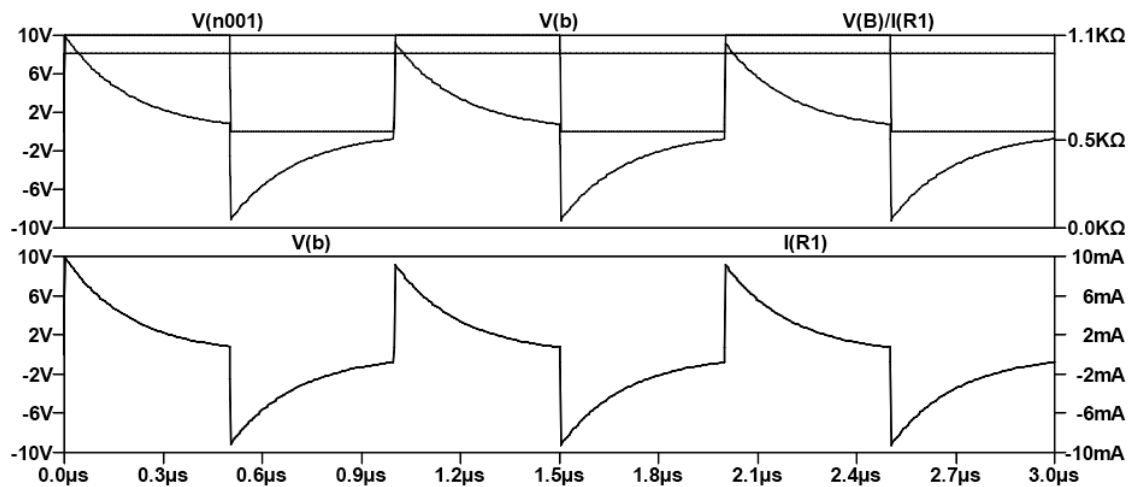
Podpunkt b

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 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.

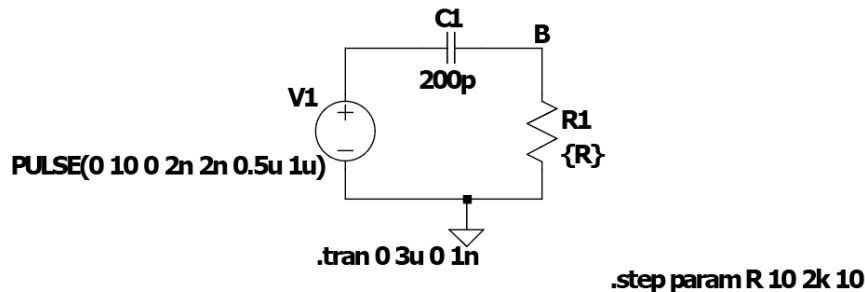


Na górnym panelu wykresu przedstawione jest napięcie wejściowe i na kondensatorze C1, natomiast dolny panel pokazuje napięcie na rezystorze R1 i prąd przez niego płynący.

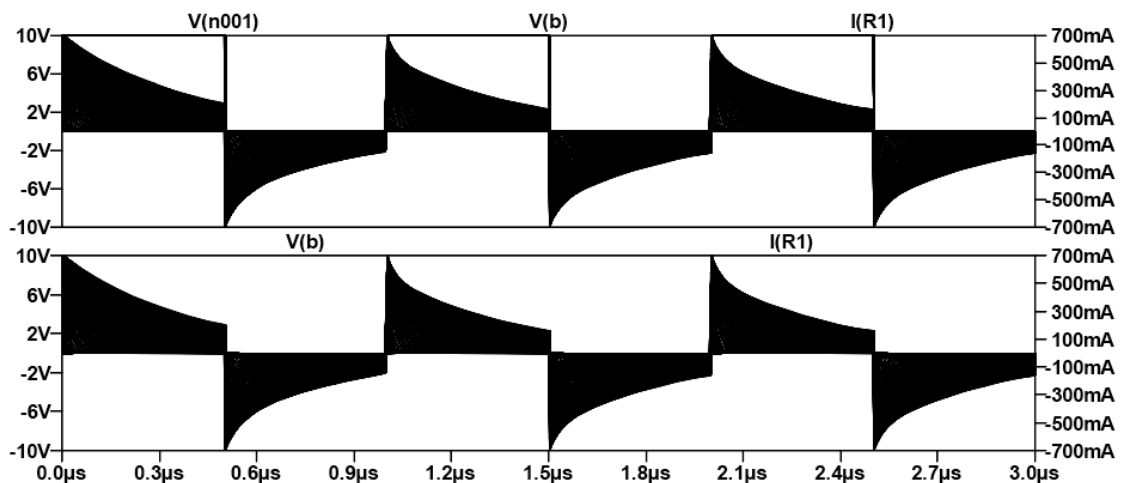
W symulacji zaobserwowano, że stosunek napięcia na rezystorze do prądu płynącego przez niego jest stały, co jest zgodne z oczekiwaniami dla tego układu przy zadanych parametrach symulacji.

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.

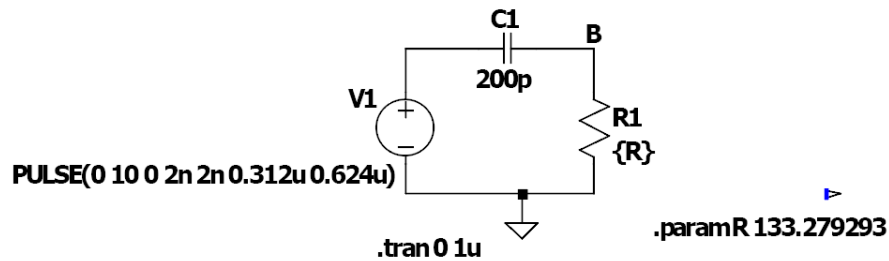
Zaobserwowano, że kształt prądu płynącego przez R1 zmienia się wraz z wartością rezystancji. Dla niższych wartości rezystancji, reakcja obwodu na zmiany sygnału jest szybsza, co prowadzi do większych szczytowych wartości prądu. Dla wyższych wartości $R1$, prąd przez rezystor ma mniejszą amplitudę, co 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.

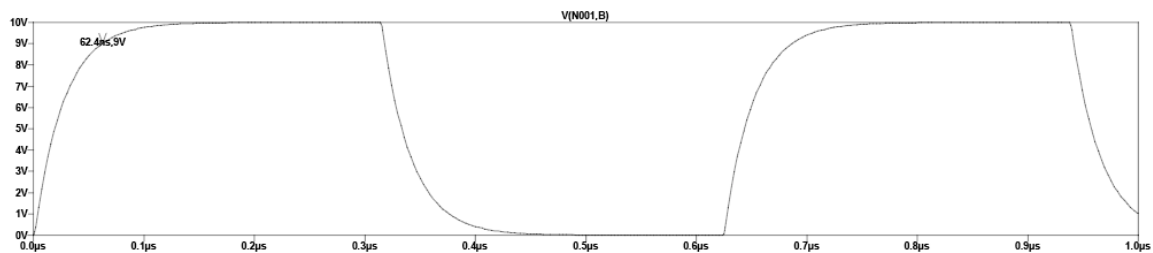
Podpunkt d

Częstotliwość źródła napięcia $V1$ została zmieniona na wartość określoną przez wzór $160268 * 10$ 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.



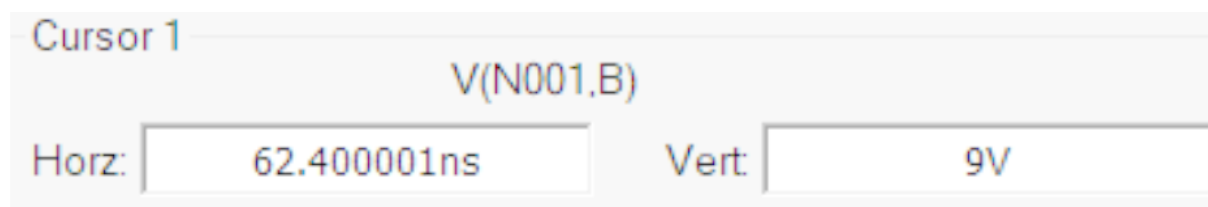
Schemat obwodu RLC użyty w symulacji z rezystancją $R1$ ustawioną na 133.279293Ω oraz źródłem $V1$ o zmiennej częstotliwości.

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 zmiennej częstotliwości źródła $V1$.

Wnioski

Przeprowadzone eksperymenty pokazały, jak różne parametry wpływają na działanie obwodu.