

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет України
«Київський Політехнічний Інститут імені Ігоря Сікорського»
Кафедра конструювання електронно-обчислювальної апаратури

Звіт
З виконання лабораторної роботи №2
з дисципліни “Схемотехніка аналогової радіоелектронної апаратури - 1 ”

Виконав:
студент групи ДК-62
Гордієнко Я.О..

Перевірив:
доц. Короткий Є В.

Київ – 2018

Дослідження однонапівперіодного випрямляча

1.1 Побудова однонапівперіодного випрямляча в LTSpice з характеристиками:

$f = 50$ Гц

Amplitude (v) = 4 В

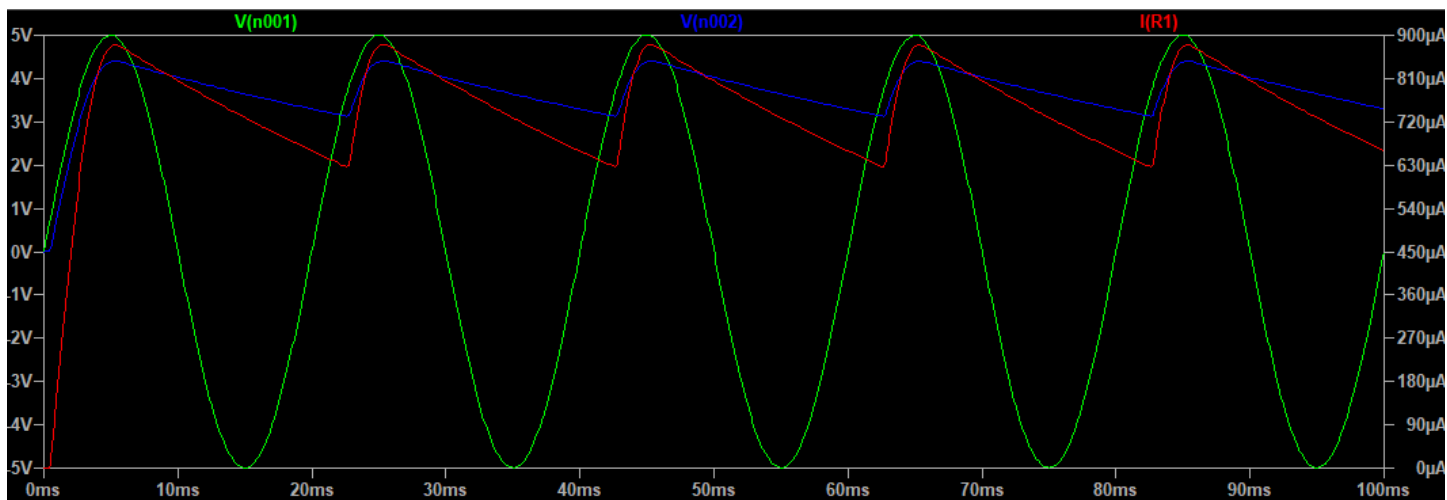
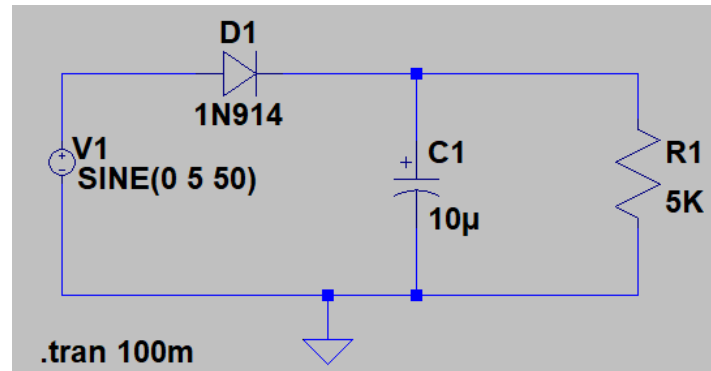
Форма — Синусоїдальна.

Кремнієвий діод

Конденсатор — 10 мкФ

Резистор навантаження 5КОм

1.2 Отримуємо такі графіки зміни напруги та струму на окремих ділянках схеми



1.3 Амплітуда пульсацій напруги на резисторі

резисторі навантаження:

Cursor 1	
V(n002)	
Horz: 45.296443ms	Vert: 4.3997122V
Cursor 2	
V(n002)	
Horz: 62.608696ms	Vert: 3.128226V
Diff (Cursor2 - Cursor1)	
Horz: 17.312253ms	Vert: -1.2714862V
Freq: 57.762557Hz	Slope: -73.4443

$$V_{\min} = 3.128 \text{ В}$$

$$V_{\max} = 4.399 \text{ В}$$

$$dU = V_{\max} - V_{\min} = 1.271 \text{ В}$$

1.4 Середнє значення струму через

навантаження

Cursor 1	
I(R1)	
Horz: 65.296443ms	Vert: 879.93806µA
Cursor 2	
I(R1)	
Horz: 82.608696ms	Vert: 625.64047µA
Diff (Cursor2 - Cursor1)	
Horz: 17.312253ms	Vert: -254.2976µA
Freq: 57.762557Hz	Slope: -0.0146889

$$I_{\min} = 625.640 \text{ мкА}$$

$$I_{\max} = 879.938 \text{ мкА}$$

$$I_{av} = (I_{\max} + I_{\min})/2 = 752,789 \text{ мкА}$$

1.5 Перевірка формули, що пов'язує амплітуду пульсацій напруги на навантаженні, струм навантаження, ємність конденсатора на виході та частоту сигналу:

$$dU = I_{av} / (C \cdot f)$$

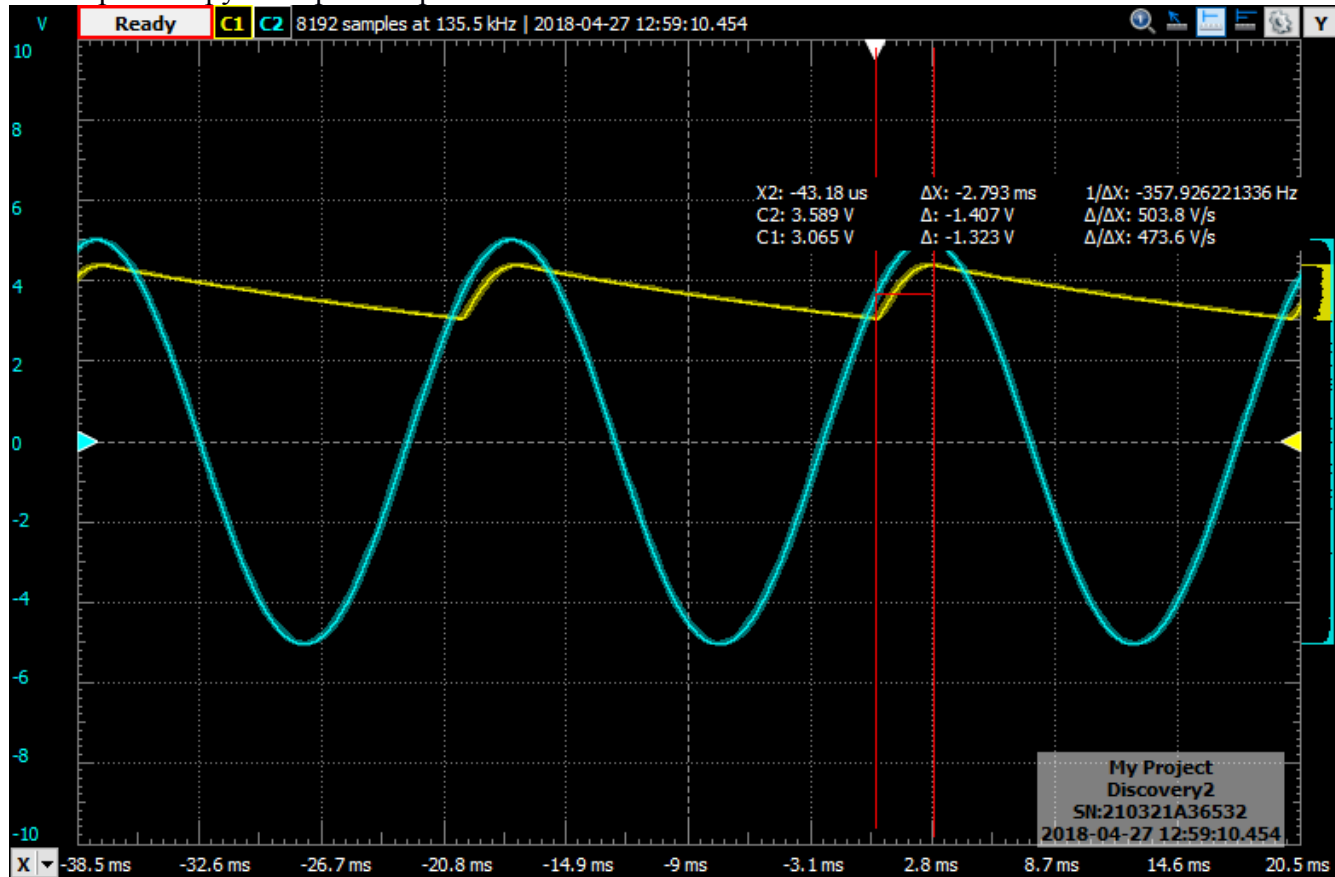
Теоретично:

$$dU = 752,789 \cdot 10^{-6} / 10 \cdot 10^{-6} \cdot 50 = 1.505 \text{ В}$$

Симуляція:

$$dU = 1.271 \text{ В}$$

1.7 Форма напруги на резисторі навантаження:



1.8 Амплітуда пульсацій на резисторі навантаження, як видно з графіку, становить: $dU = 1.323 \text{ В}$

Така різниця між розрахованим теоретичним опором пояснюється тим. Що в симуляторі не враховується опір провідників та похибка елементів: як ємності конденсатора, марки діода та опору, адже реальний опір резистора був 4.7 Ком, адже 5 Ком — нестандартний опір. Номінальний набір E6

1.9 Оскільки опір резистора становив 4.7 Ком — в формулі розрахунку будемо використовувати саме його значення (хоч воно теж відрізняється від реального значення).

$$V_{\min} = 3.065 \text{ В}$$

$$V_{\max} = 4.388 \text{ В}$$

$$I_{av} = [(3.065 + 4.388) / 2] / 4.7 \cdot 10^6 = 792.872 \text{ мкА}$$

Практичний розрахунок

$$dU = I_{av}/(C*f)$$

$$dU = 792.872*10^{-6}/10*10^{-6}*50 = 1.585 \text{ В}$$

Реальне значення:

$$dU = 1.323 \text{ В}$$

1.10 Порівняння виміряних значень в симуляторі та практичного виконання

Значення	Симулятор	Реальна схема	Похибка
V_{min}	3.128 В	3.065 В	2 %
V_{max}	4.399 В	4.388 В	0.25 %
I_{min}	625.640 мкА	652.127 мкА	4 %
I_{max}	879.938 мкА	933.617 мкА	6 %

1.11 Порівняння амплітуд пульсацій

Схема	Симулятор	Реальна схема	Похибка
dU	1.271 В	1.323 В	4 %
I _{av}	752,789 мкА	792.872 мкА	5 %

1.1 Побудова однонапівперіодного випрямляча в LTSpice з характеристиками:

$f = 50 \text{ Гц}$

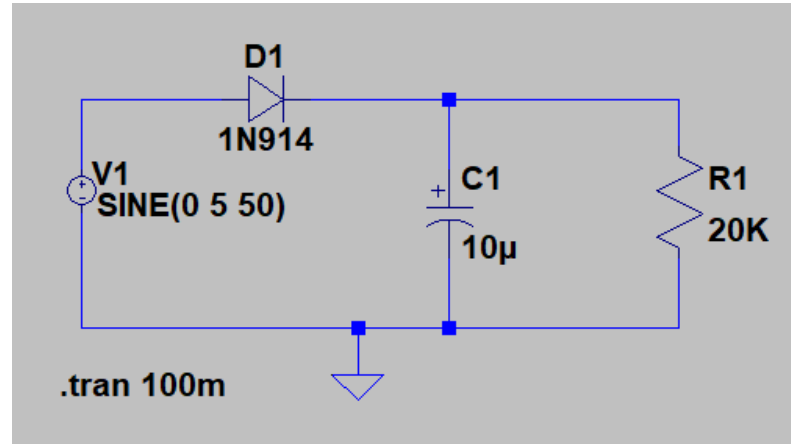
Amplitude (v) = 4 В

Форма — Синусоїдальна.

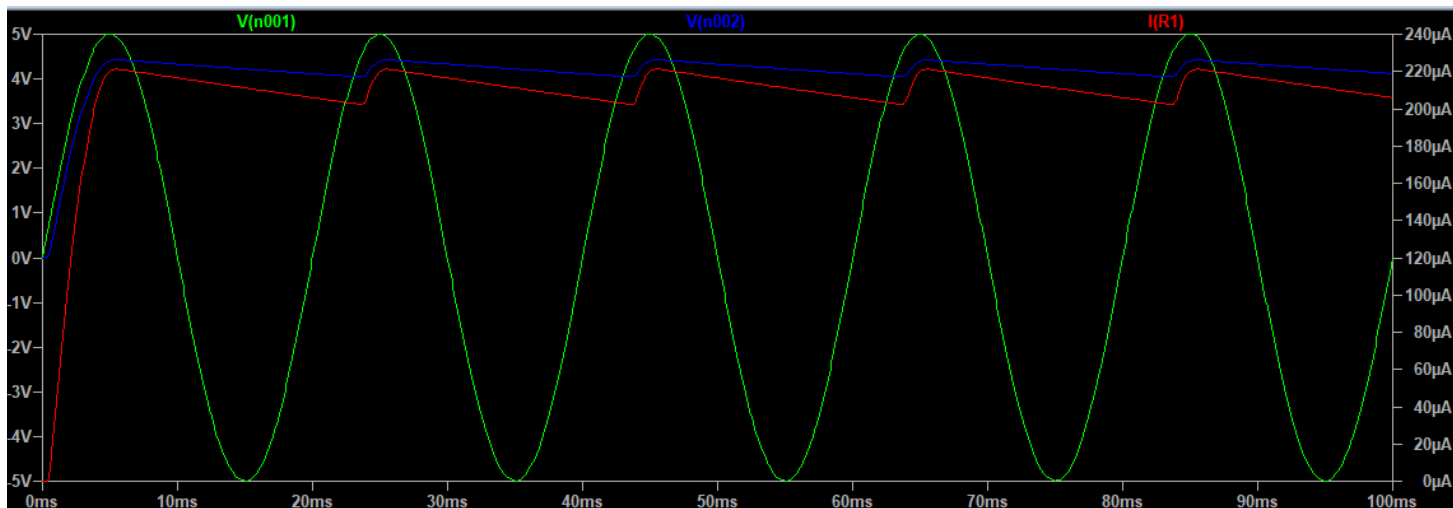
Кремнієвий діод

Конденсатор — 10 мкФ

Резистор навантаження 5КОм



1.2 Отримуємо такі графіки зміни напруги та струму на окремих ділянках схеми



1.3 Амплітуда пульсацій напруги на резисторі

резисторі навантаження:

Cursor 1		V(n002)	
Horz:	45.471698ms	Vert:	4.4243933V
Cursor 2		V(n002)	
Horz:	63.679245ms	Vert:	4.0459025V
Diff (Cursor2 - Cursor1)			
Horz:	18.207547ms	Vert:	-378.49073mV
Freq:	54.92228Hz	Slope:	-20.7876

$$V_{\min} = 4.045 \text{ В}$$

$$V_{\max} = 4.424 \text{ В}$$

$$dU = V_{\max} - V_{\min} = 0.379 \text{ В}$$

1.4 Середнє значення струму через

навантаження

Cursor 1		I(R1)	
Horz:	45.471698ms	Vert:	221.21966µA
Cursor 2		I(R1)	
Horz:	63.679245ms	Vert:	202.29513µA
Diff (Cursor2 - Cursor1)			
Horz:	18.207547ms	Vert:	-18.924529µA
Freq:	54.92228Hz	Slope:	-0.00103938

$$I_{\min} = 202.295 \text{ мкА}$$

$$I_{\max} = 221.219 \text{ мкА}$$

$$I_{\text{av}} = (I_{\max} + I_{\min})/2 = 211.757 \text{ мкА}$$

1.5 Перевірка формули, що пов'язує амплітуду пульсацій навантаження, струм навантаження, ємність конденсатора на виході та частоту сигналу:

$$dU = I_{av}/(C*f)$$

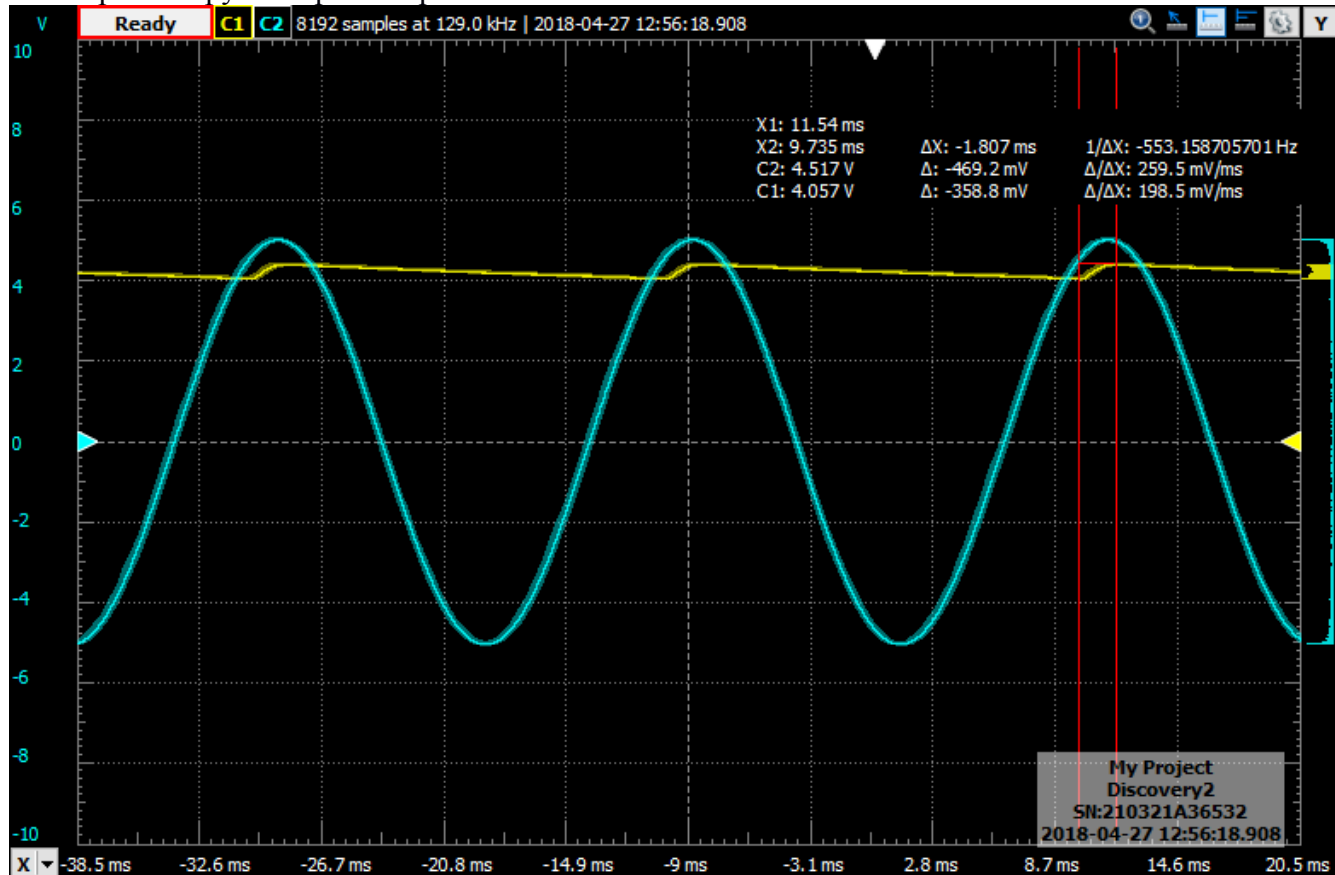
Теоретично:

$$dU = 211.757 \cdot 10^{-6} / 10 \cdot 10^{-6} \cdot 50 = 0.423 \text{ V}$$

Симуляція:

$$dU = 0.379 \text{ V}$$

1.7 Форма напруги на резисторі навантаження:



1.8 Амплітуда пульсацій на резисторі навантаження, як видно з графіку, становить: $dU = 0.358 \text{ V}$

Така різниця між розрахованим теоретичним опором пояснюється тим. Що в симуляторі не враховується опір провідників та похибка елементів: як ємності конденсатора, марки діода та опору, адже реальний опір резистора був 22 КОм, адже 20 КОм — нестандартний опір. Номінальний набір Е6.

1.9 Оскільки опір резистора становив 22 Ком — в формулі розрахунку будемо використовувати саме його значення (хоч воно теж відрізняється від реального значення).

$$V_{\min} = 4.057 \text{ V}$$

$$V_{\max} = 4.415 \text{ V}$$

$$I_{av} = [(4.057 + 4.415) / 2] / 22 \cdot 10^6 = 192.545 \text{ мкА}$$

Практичний розрахунок

$$dU = I_{av}/(C*f)$$

$$dU = 192.545 \cdot 10^{-6} / 10 \cdot 10^{-6} \cdot 50 = 0.385 \text{ В}$$

Реальне значення:

$$dU = 0.358 \text{ В}$$

1.10 Порівняння вимірених значень в симуляторі та практичного виконання

Значення	Симулятор	Реальна схема	Похибка
V_{min}	4.045 В	4.057 В	0.29 %
V_{max}	4.424 В	4.415 В	0.20 %
I_{min}	202.295 мкА	184.409 мкА	8 %
I_{max}	221.219 мкА	200.681 мкА	9 %

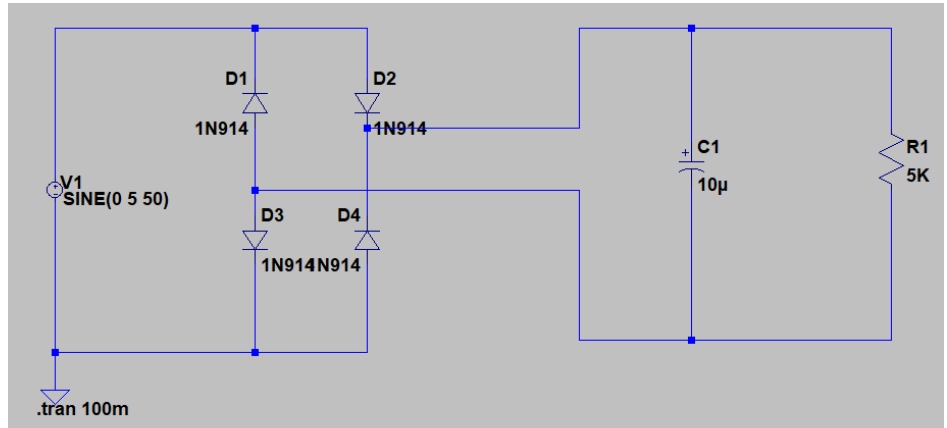
1.11 Порівняння розрахованих амплітуд пульсацій

Схема	Симулятор	Реальна схема	Похибка
dU	0.379 В	0.358 В	5 %
I_{av}	211.757 мкА	192.545 мкА	9 %

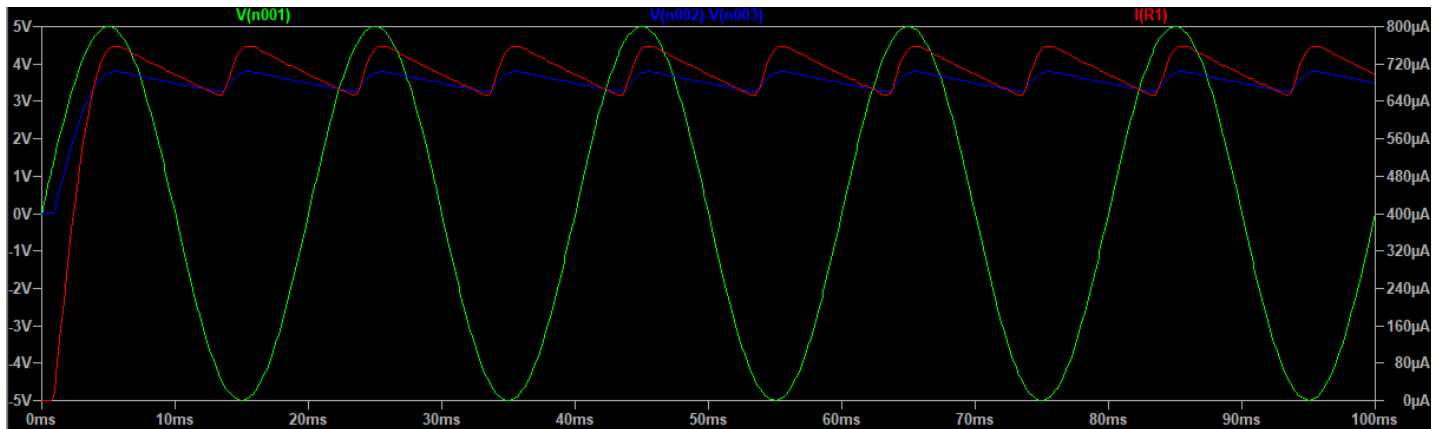
Дослідження двонапівперіодного випрямляча

2.1 Було проведено симуляцію випрямляча на діодному мосту у середовищі LTSpice з наступними параметрами:

- Вхідний сигнал – гармонійний біполярний, з амплітудою 5В та частотою 50Гц
- Згладжуюча ємність – 10мкФ
- Навантаження – резистор 5 кОм



2.2 Отримуємо такі графіки зміни напруги та струму на окремих ділянках схеми



2.3 Амплітуда пульсацій напруги на резисторі навантаження:

Cursor 1			
V(n002)-V(n003)			
Horz:	45.486726ms	Vert:	3.7909004V
Cursor 2			
V(n002)-V(n003)			
Horz:	53.362832ms	Vert:	3.2640054V
Diff (Cursor2 - Cursor1)			
Horz:	7.8761062ms	Vert:	-526.89503mV
Freq:	126.96629Hz	Slope:	-66.8979

$$V_{\min} = 3.264 \text{ V}$$

$$V_{\max} = 3.790 \text{ V}$$

2.4 Середнє значення струму через навантаження

Cursor 1			
I(R1)			
Horz:	45.486726ms	Vert:	758.18003µA
Cursor 2			
I(R1)			
Horz:	53.362832ms	Vert:	652.80109µA
Diff (Cursor2 - Cursor1)			
Horz:	7.8761062ms	Vert:	-105.37894µA
Freq:	126.96629Hz	Slope:	-0.0133796

$$I_{\min} = 652.801 \text{ µA}$$

$$I_{\max} = 758.180 \text{ µA}$$

$$dU = V_{\max} - V_{\min} = 0.526 \text{ В}$$

$$I_{\text{av}} = (I_{\max} + I_{\min})/2 = 705.490 \text{ мкА}$$

2.5 Перевірка формули, що пов'язує амплітуду пульсацій напруги на навантаженні, струм навантаження, ємність конденсатора на виході та частоту сигналу:

$$dU = I_{\text{av}}/(2 \cdot C \cdot f)$$

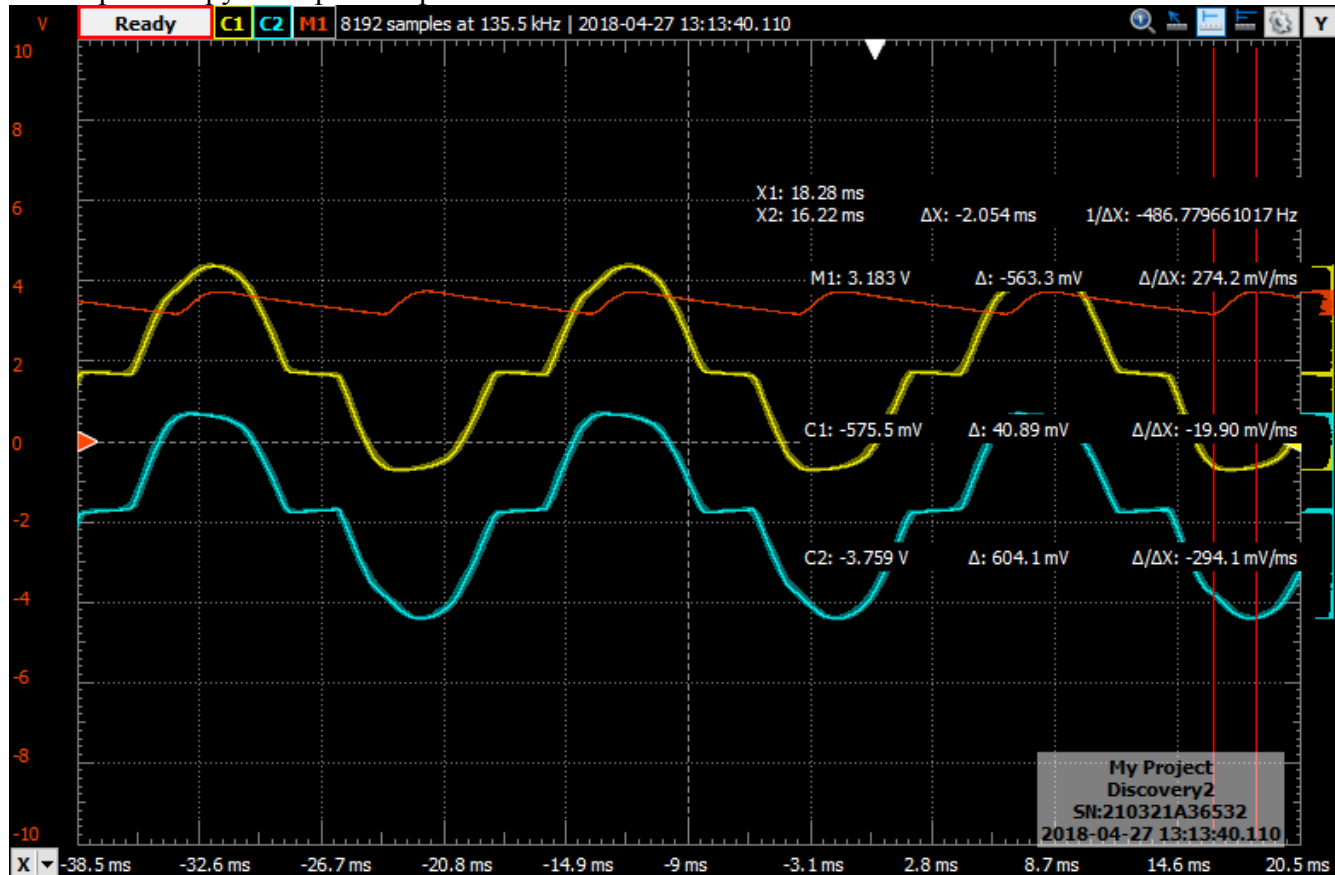
Теоретично:

$$dU = 705.490 \cdot 10^{-6} / (2 \cdot 10 \cdot 10^{-6} \cdot 50) = 0.705 \text{ В}$$

Симуляція:

$$dU = 0.526 \text{ В}$$

2.7 Форма напруги на резисторі навантаження:



2.8 Амплітуда пульсацій на резисторі навантаження, як видно з графіку, становить: $dU = 0.563 \text{ В}$

Така різниця між розрахованим теоретичним опором пояснюється тим. Що в симуляторі не враховується опір провідників та похибка елементів: як ємності конденсатора, марки діода та опору, адже реальний опір резистора був 4.7 КОм, адже 5 КОм — нестандартний опір. Номінальний набір Е6.

2.9 Оскільки опір резистора становив 4.7 Ком — в формулі розрахунку будемо використовувати саме його значення (хоч воно теж відрізняється від реального значення).

$$V_{\min} = 3.183 \text{ В}$$

$$V_{\max} = 3.746 \text{ В}$$

$$I_{\text{av}} = [(3.183 + 3.746)/2] / 4.7 \cdot 10^6 = 737.127 \text{ мкА}$$

Практичний розрахунок

$$dU = I_{av}/(2 \cdot C \cdot f)$$

$$dU = 737.127 \cdot 10^{-6} / (2 \cdot 10 \cdot 10^{-6} \cdot 50) = 0.737 \text{ В}$$

Реальне значення:

$$dU = 0.558 \text{ В}$$

2.10 Порівняння виміряних значень в симуляторі та практичного виконання

Значення	Симулятор	Реальна схема	Похибка
V_{min}	3.264 В	3.183 В	2 %
V_{max}	3.790 В	3,746 В	1 %
I_{min}	652.801 мкА	678.510 мкА	3 %
I_{max}	758.180 мкА	797.234 мкА	5 %

2.11 Порівняння розрахованих амплітуд пульсацій

Схема	Симулятор	Реальна схема	Похибка
dU	0.526 В	0.558 В	6 %
I_{av}	705.490 мкА	737.872 мкА	4 %

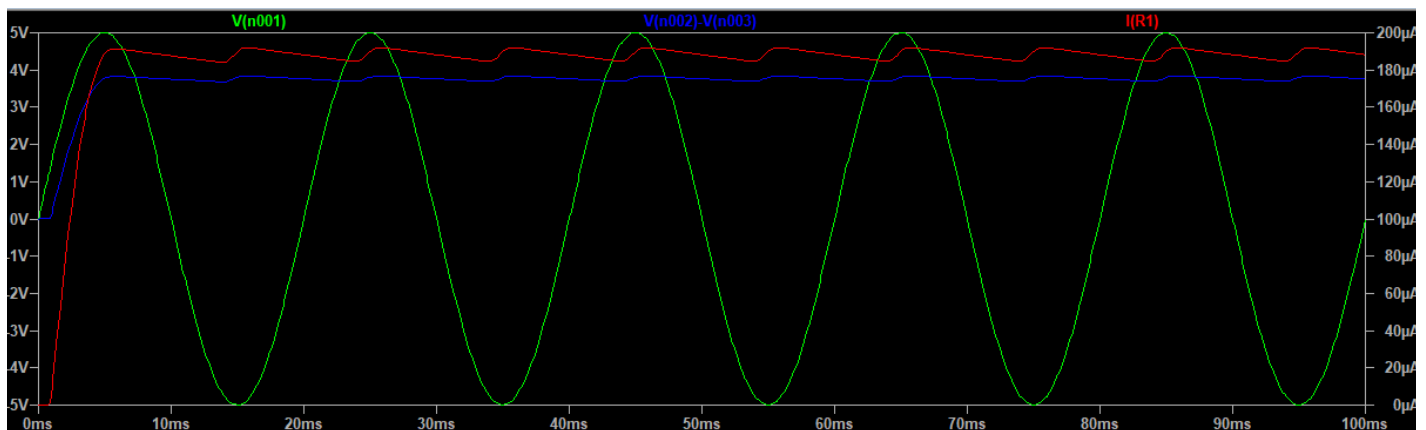
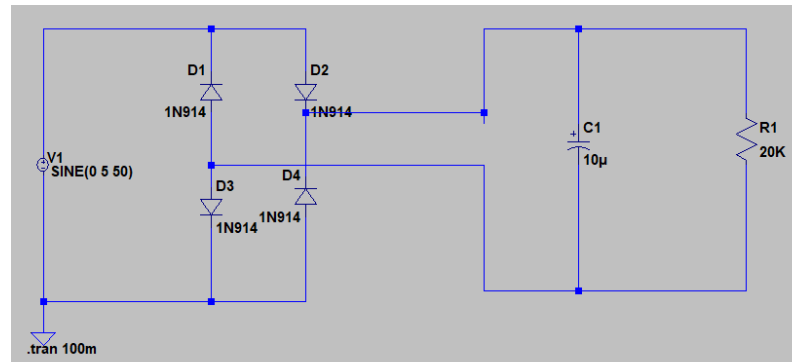
2.1 Було проведено симуляцію випрямляча на діодному

мосту у середовищі LTSpice з

наступними параметрами:

- Вхідний сигнал – гармонійний біполярний, з амплітудою 5В та частотою 50Гц
- Згладжуюча ємність – 10мкФ
- Навантаження – резистор 5 кОм

2.2 Отримуємо такі графіки зміни напруги та струму на окремих ділянках схеми



2.3 Амплітуда пульсацій напруги на резистор

резисторі навантаження:

Cursor 1	
V(n002)-V(n003)	
Horz: 45.752212ms	Vert: 3.8397681V
Cursor 2	
V(n002)-V(n003)	
Horz: 53.893805ms	Vert: 3.6936785V
Diff (Cursor2 - Cursor1)	
Horz: 8.1415929ms	Vert: -146.08961mV
Freq: 122.82609Hz	Slope: -17.9436

$$V_{\min} = 3.693 \text{ V}$$

2.4 Середнє значення струму через

навантаження

Cursor 1	
I(R1)	
Horz: 45.752212ms	Vert: 191.9884µA
Cursor 2	
I(R1)	
Horz: 53.893805ms	Vert: 184.68393µA
Diff (Cursor2 - Cursor1)	
Horz: 8.1415929ms	Vert: -7.3044686µA
Freq: 122.82609Hz	Slope: -0.000897179

$$I_{\min} = 184.683 \text{ µA}$$

$$V_{\max} = 3.839 \text{ В}$$

$$dU = V_{\max} - V_{\min} = 0.146 \text{ В}$$

$$I_{\max} = 191.988 \text{ мкА}$$

$$I_{\text{av}} = (I_{\max} + I_{\min})/2 = 188.335 \text{ мкА}$$

2.5 Перевірка формули, що пов'язує амплітуду пульсацій напруги на навантаженні, струм навантаження, ємність конденсатора на виході та частоту сигналу:

$$dU = I_{\text{av}}/(2 \cdot C \cdot f)$$

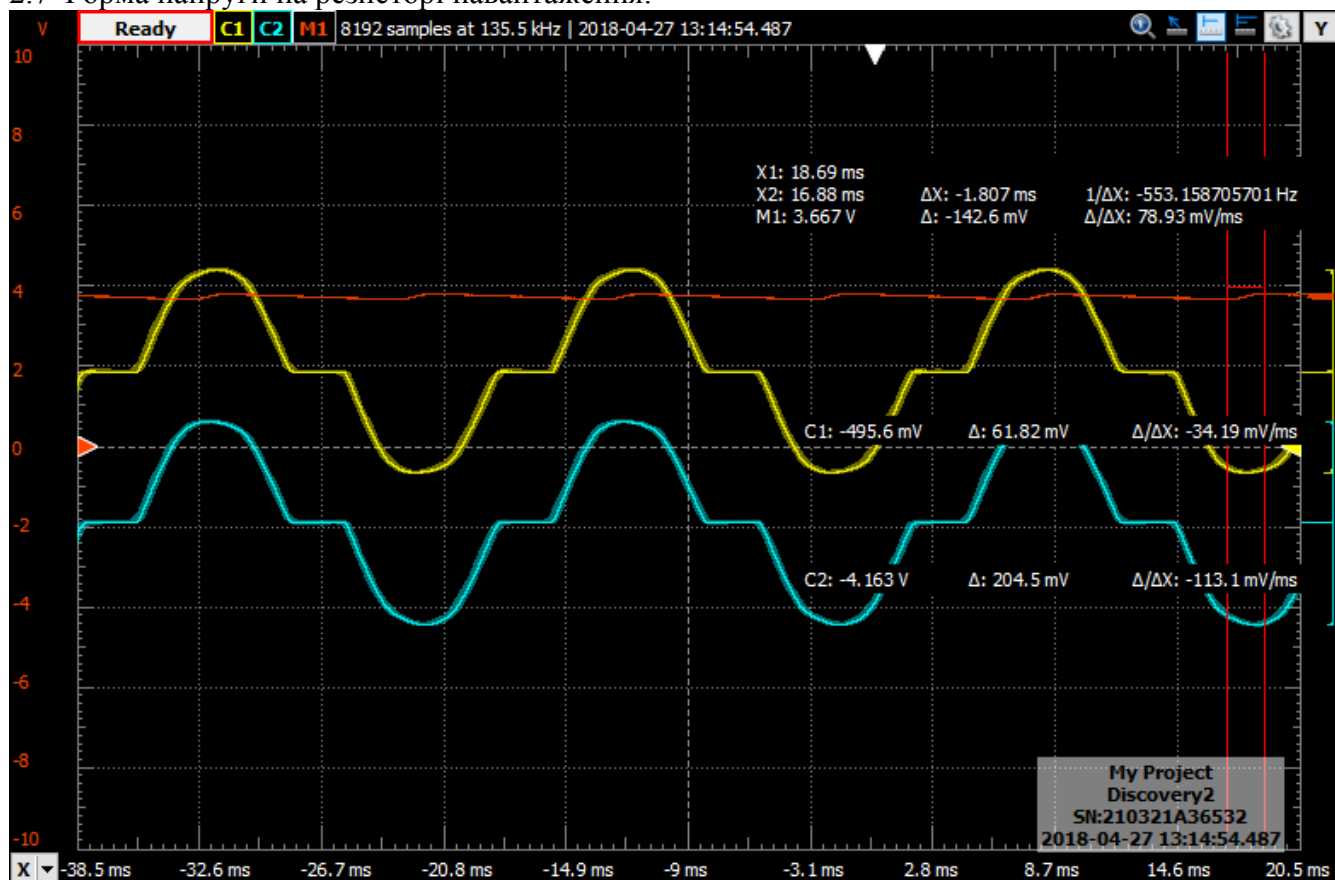
Теоретично:

$$dU = 188.335 \cdot 10^{-6} / (2 \cdot 10 \cdot 10^{-6} \cdot 50) = 0.188 \text{ В}$$

Симуляція:

$$dU = 0.146 \text{ В}$$

2.7 Форма напруги на резисторі навантаження:



2.8 Амплітуда пульсацій на резисторі навантаження, як видно з графіку, становить: $dU = 0.142 \text{ В}$

Така різниця між розрахованим теоретичним опором пояснюється тим. Що в симуляторі не враховується опір провідників та похибка елементів: як ємності конденсатора, марки діода та опору, адже реальний опір резистора був 22 КОм, адже 20 КОм — нестандартний опір. Номінальний набір Е6.

2.9 Оскільки опір резистора становив 22 Ком — в формулі розрахунку будемо використовувати саме його значення (хоч воно теж відрізняється від реального значення).

$$V_{\min} = 3.667 \text{ В}$$

$$V_{\max} = 3.809 \text{ В}$$

$$I_{\text{av}} = [(3.667 + 3.809)/2]/22 \cdot 10^6 = 157.636 \text{ мкА}$$

Практичний розрахунок

$$dU = I_{\text{av}} / (2 \cdot C \cdot f)$$

$$dU = 157.636 \cdot 10^{-6} / 2 \cdot 10 \cdot 10^{-6} \cdot 50 = 0.157 \text{ В}$$

Реальне значення:

$$dU = 0.147 \text{ В}$$

2.10 Порівняння вимірених значень в симуляторі та практичного виконання

Значення	Симулятор	Реальна схема	Похибка
V_{\min}	3.693 В	3.670 В	0.6 %
V_{\max}	3.839 В	3,817 В	0.5 %
I_{\min}	184.683 мкА	166.818 мкА	9 %
I_{\max}	191.988 мкА	173.5 мкА	9 %

2.11 Порівняння розрахованих амплітуд пульсацій

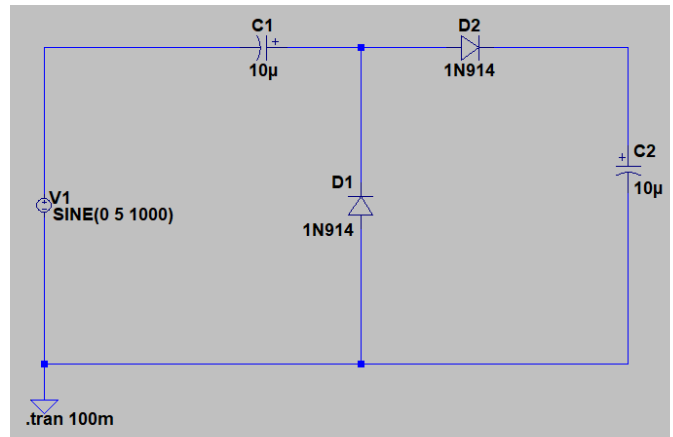
Схема	Симулятор	Реальна схема	Похибка
dU	0.146 В	0.147 В	0.6 %
I_{av}	188.335 мкА	157.636 мкА	16 %

Дослідження подвоювача напруги.

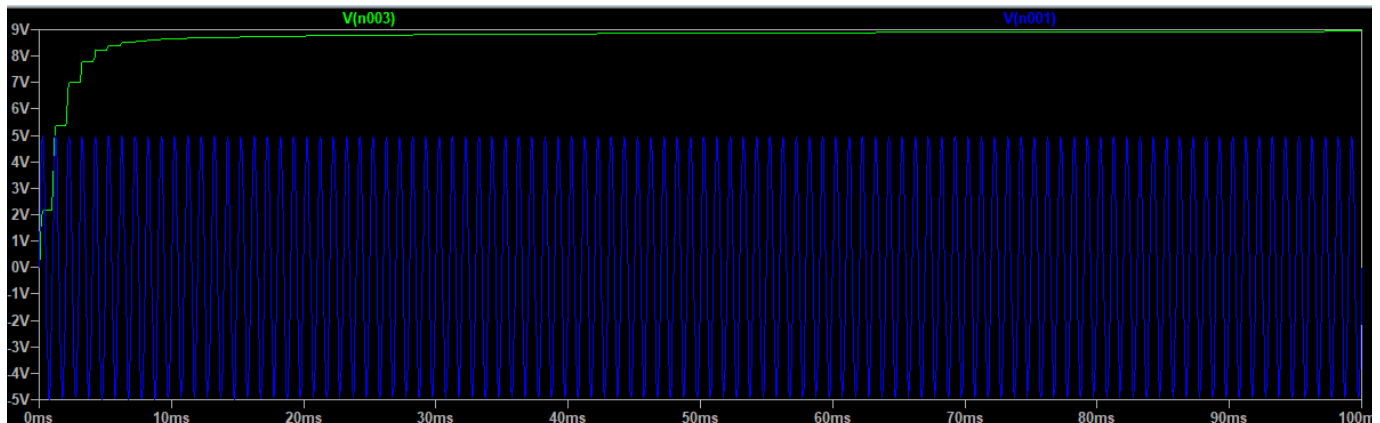
3.1 Схему подвоювача напруги на послідовних каскадах з діоду та конденсатору склали та симулювали у середовищі LTSpice.

Використали наступні параметри:

- Ємність конденсаторів: 10 мкФ
- Діоди кремнієві
- Вхідний сигнал – гармонійний, з амплітудою 5В, частотою 1 кГц

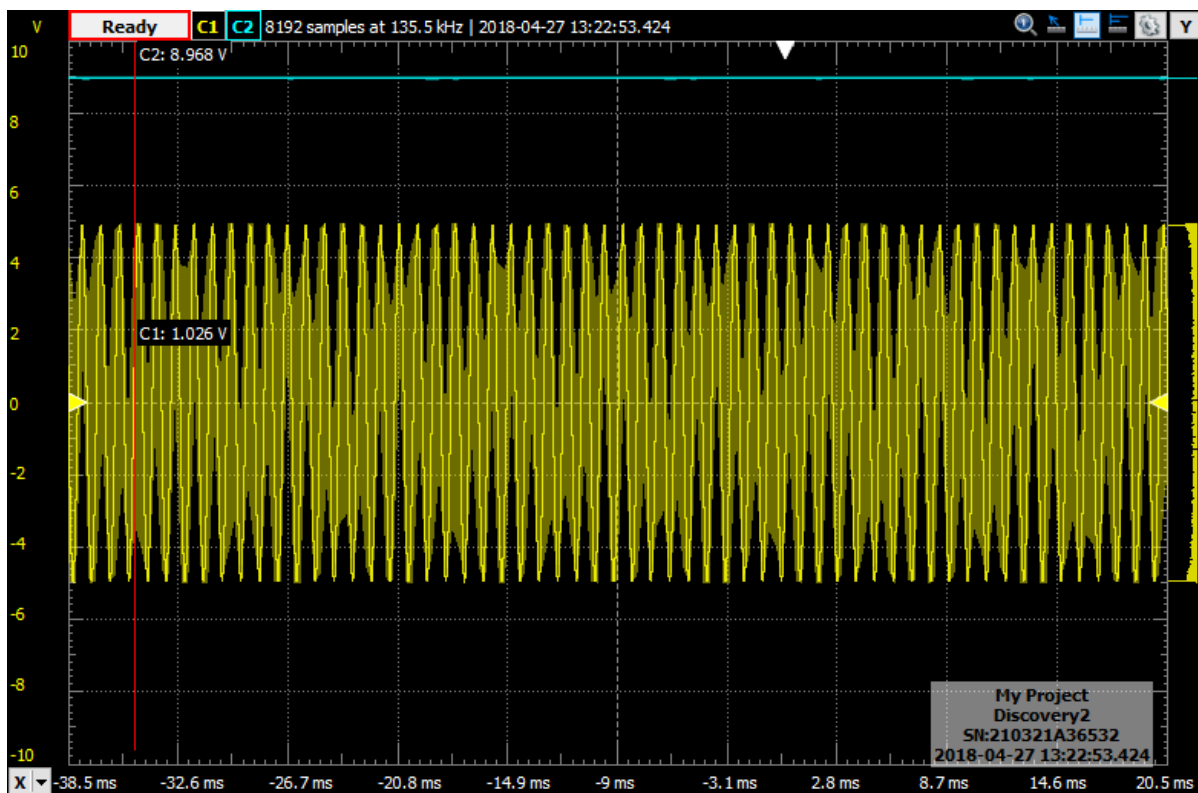


3.2 Форма сигналу на виході



3.3 Сигнал на виході встановлюється на рівні 8.8В через 12 мс після ввімкнення живлення. Рівень напруги у 8.8 В пояснюється падінням на діодах, що використані у схемі.

3.5 Складена схема на макетній платі показує очікуваний результат: напругу на виході на рівні 8.9В



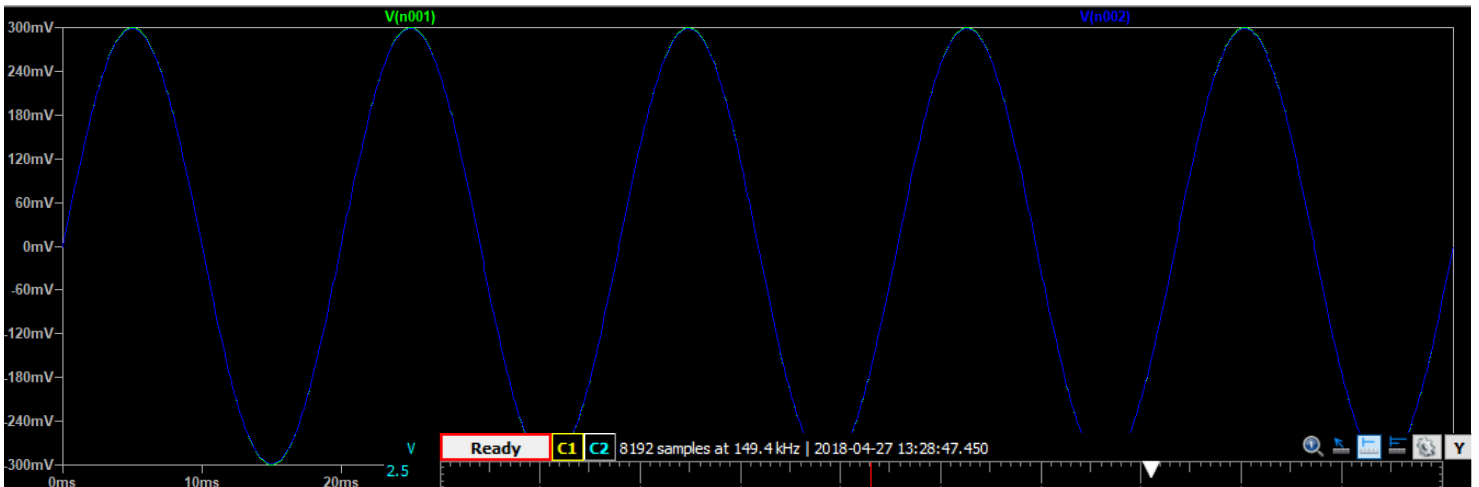
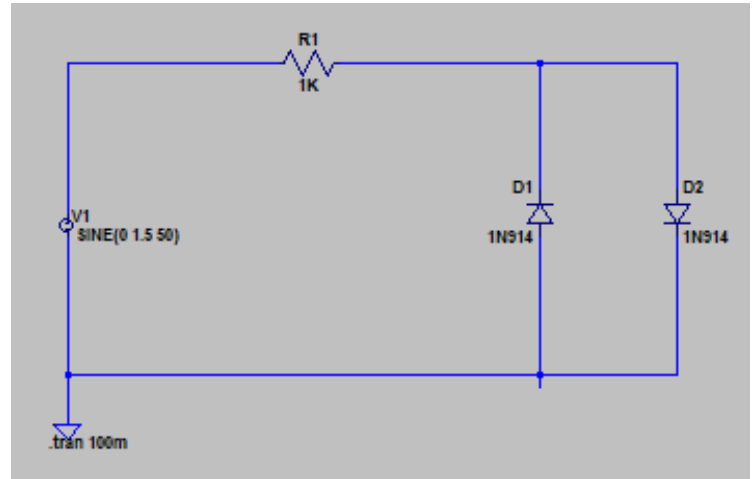
Напруга на виході не просідає, адже опір осцилографа дуже високий

Дослідження обмежувача напруги

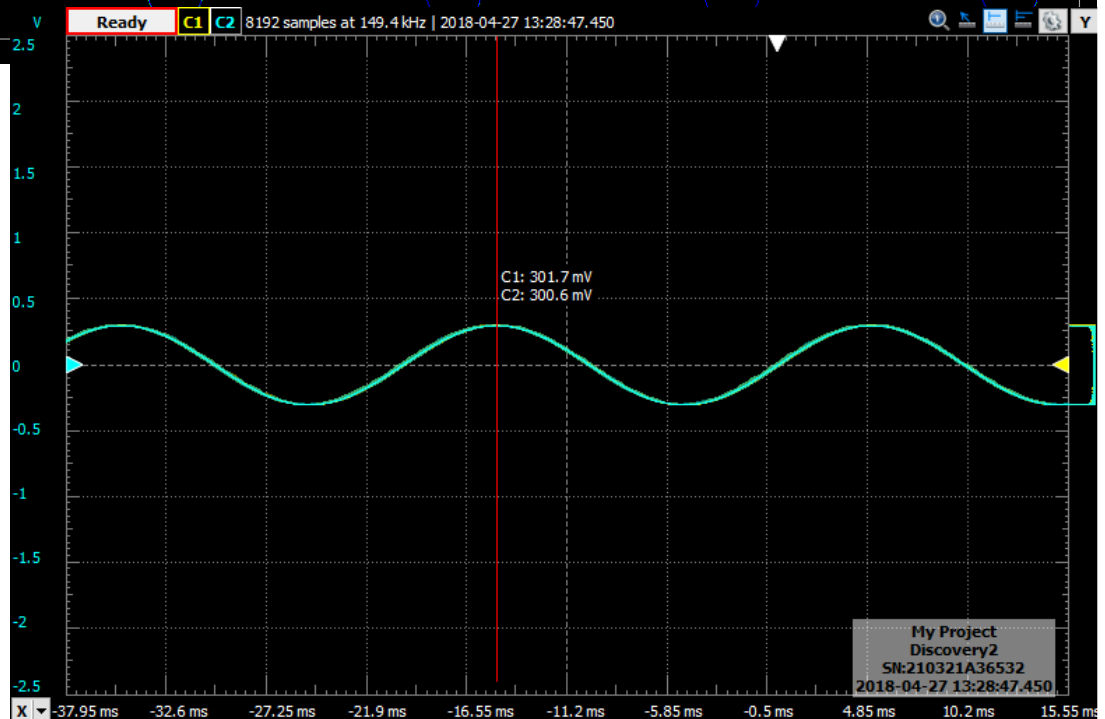
4.1 Схему обмежувача напруги на діоді склали у середовищі LTSpice та провели симуляцію.

4.2 Як можемо бачити, при вхідній напрузі у 0.3 В та частоті 50 Гц на виході маємо не спотворений вхідний сигнал

Симулятор:

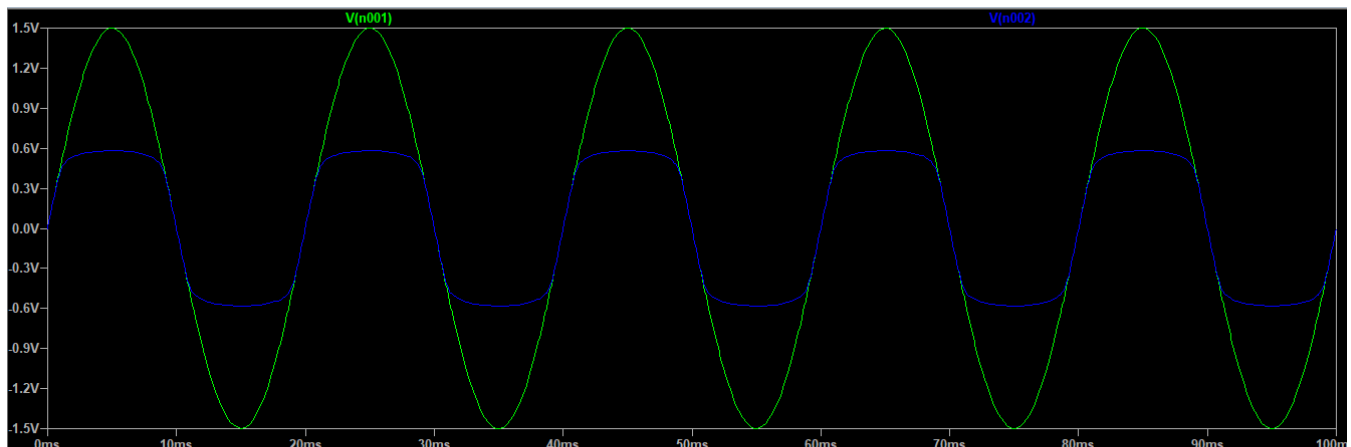


Реальна схема:

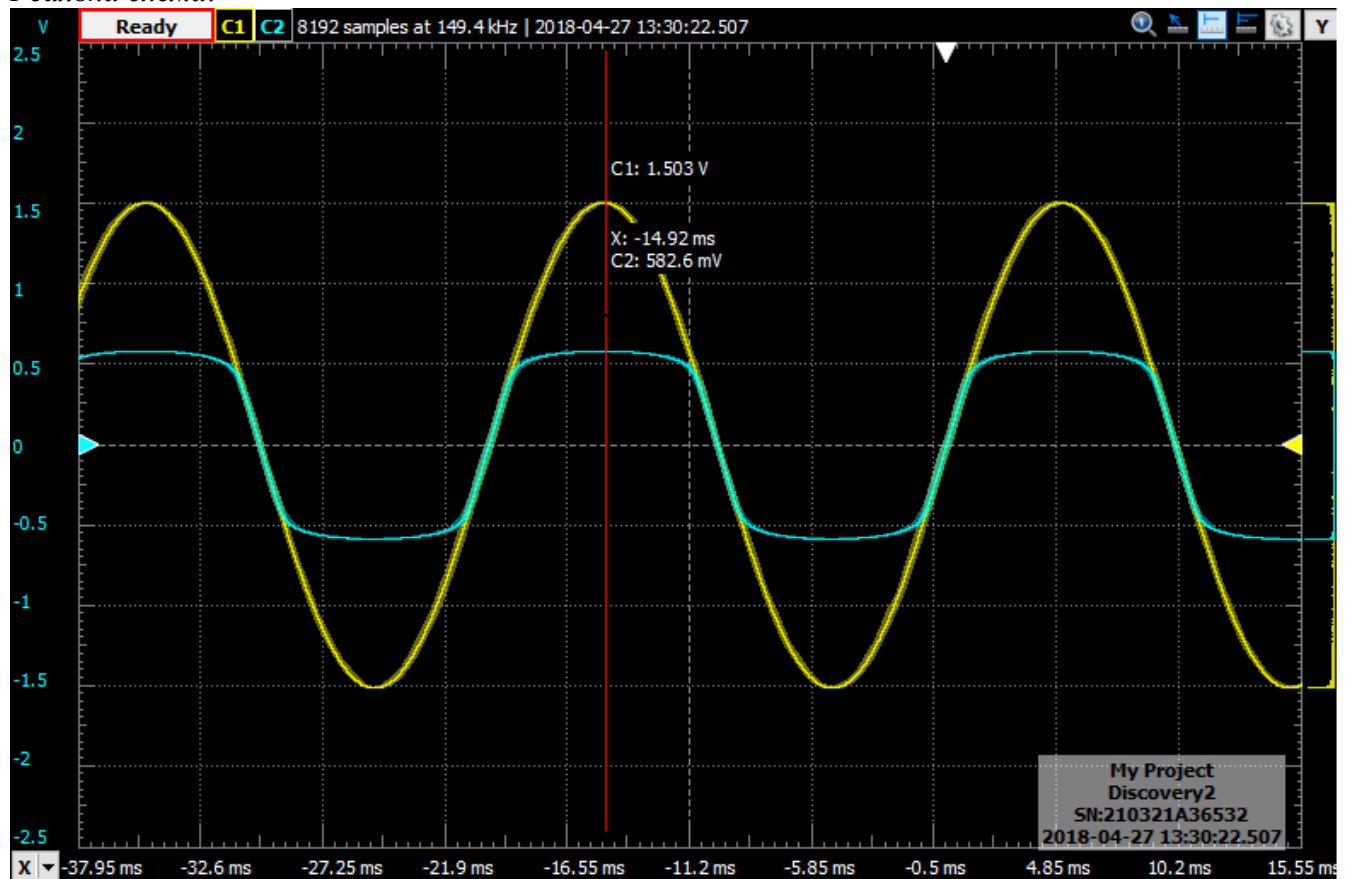


4.3 Для амплітуди вхідного синусоїдального сигналу рівного 1.5 В сигнал на виході схеми не буде виходить за межі -0.6 В ... 0.6 В:

Симулятор:



Реальна схема:



4.4 Решта напруги виділяється на резисторі, адже при перевищенні напруги відкриття діода, залишок напруги буде проходити по вхідному контуру.

Висновки

Було проведено дослідження деяких широко застосованих схем на напівпровідникових діодах – випрямлячів, подвоювача, обмежувача. Поведінки схем було вивчено при різних умовах роботи – різних навантаженнях, амплітудах вхідних сигналів, тощо. Отримані в лабораторії дані продубльовані даними симуляцій, які виявили деякі похибки вимірювань.