

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

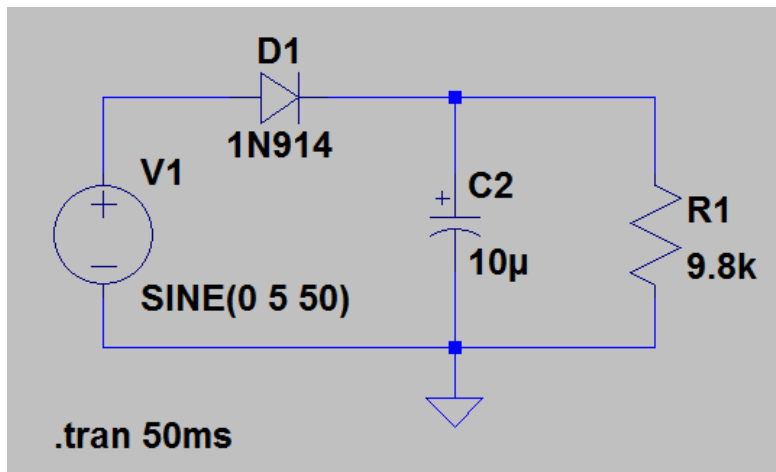
Звіт  
З виконання лабораторної роботи №2  
з дисципліни “Аналогова електроніка-1”

Виконав:  
студент групи ДК-61  
Гловацький Д.Ю.

Перевірив:  
доц. Короткий Є В.

# 1. Дослідження однонапівперіодного випрямляча.

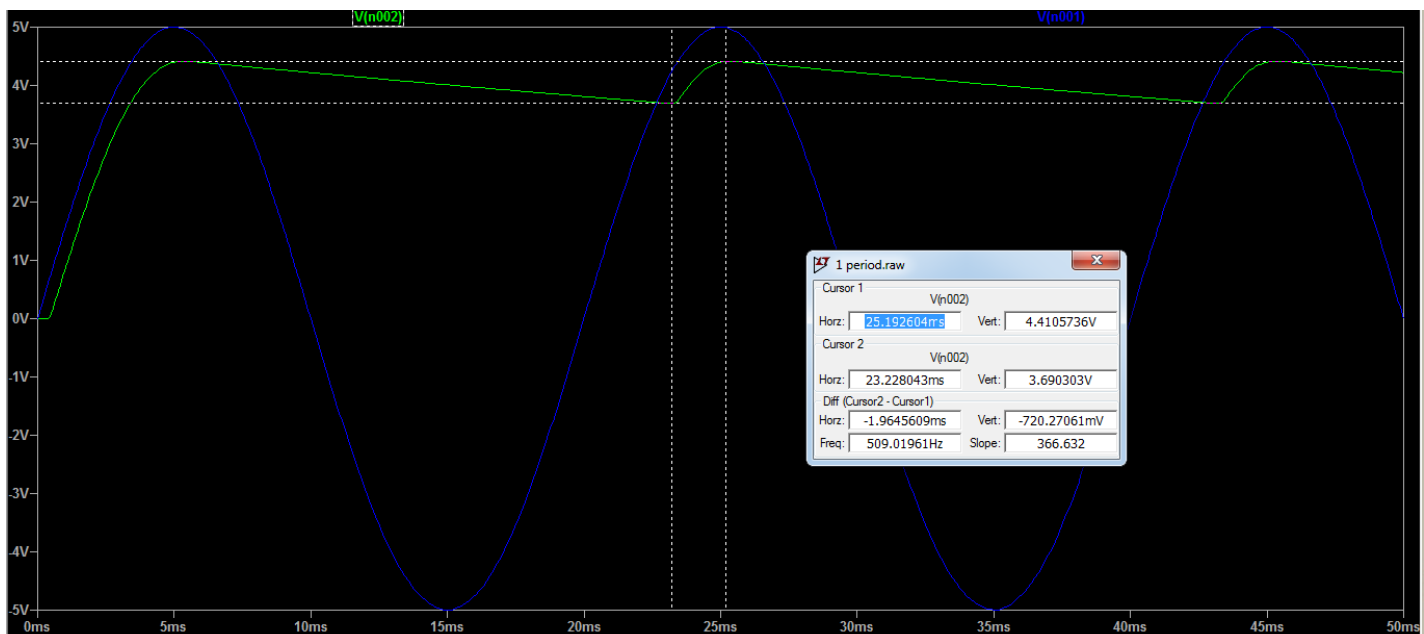
а.



Було проведено симуляцію роботи випрямляча з напівпровідникового діоду та конденсатору в середовищі LTSpice з наступними параметрами:

- Вхідний сигнал – гармонійний біполярний, з амплітудою 5В та частотою 50Гц
- Згладжуюча ємність – 10мкФ
- Навантаження – резистор 9.8 кОм.

На навантаженні отримано вихідний сигнал з амплітудою пульсацій 0.720 В:



Середній струм через навантаження склав:

$$I = \frac{4.410}{9800} + \frac{3.690}{9800} = 413 \text{ [мкА]}$$

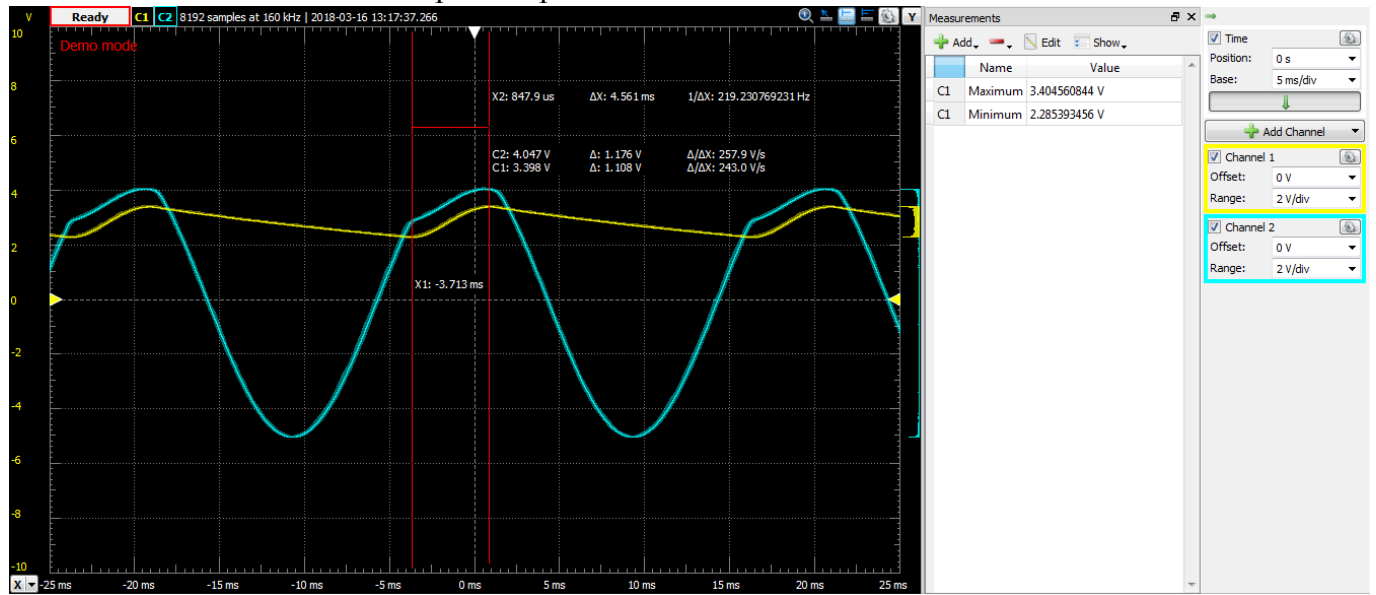
Для такого випрямляча амплітуда коливань напруги має становити:

$$\Delta U = \frac{413 * 10^{-6}}{10 * 10^{-6} * 50} = 827 \text{ мВ}$$

б. Схему однонапівперіодного випрямляча було складено у лабораторії. Використали наступні компоненти:

- Згладжуюча ємність – 10мкФ

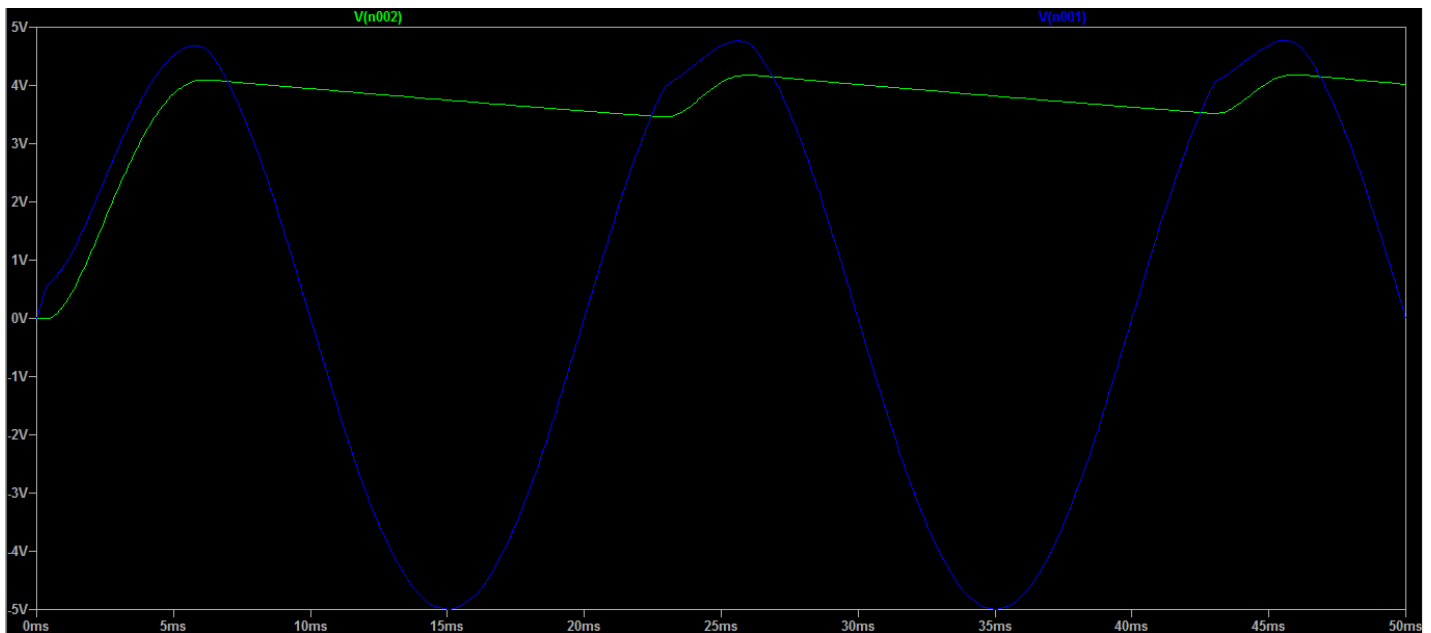
## - Навантаження – резистор 9.8 кОм



В якості генератора сигналу та осцилографу використали Analog Discovery 2. Під час роботи схеми отримали наступні результати (жовтий – C1, вихід, голубий – C2, вхід):

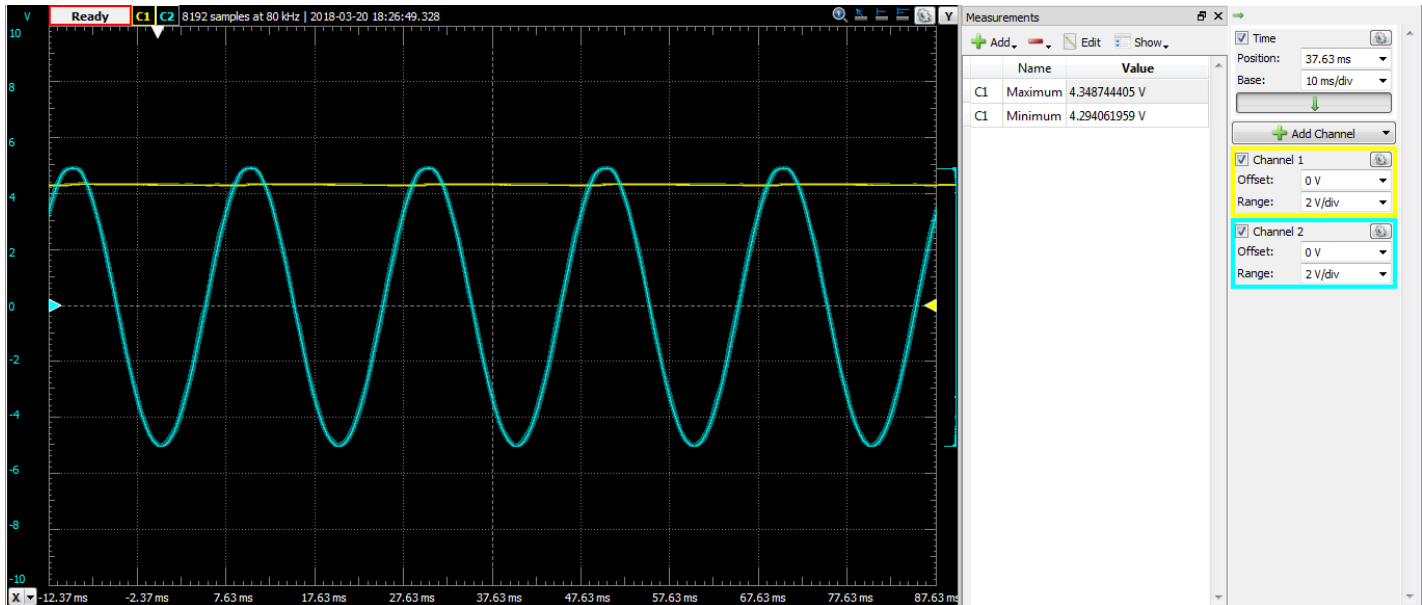
Амплітуда пульсацій вихідного сигналу склала 598мВ, середній струм:  $I = \frac{\frac{4.348}{9800} + \frac{4.294}{9800}}{2} = 361\text{мкА}$ . За теоретичними очікуваннями, для такого випрямляча амплітуда пульсацій повинна складати  $\Delta U = \frac{361 \cdot 10^{-6}}{10 \cdot 10^{-6} \cdot 50} = 722\text{мВ}$ . Похибку можна пояснити спотворенням вхідного сигналу внутрішнім опором генератору, допуском резистору та недосконалістю моделі, з якої впливає ця формула (час розряду конденсатора).

Симуляція в LTSpice зі внутрішнім опором генератору відображає «просідання» напруги вхідного сигналу як на подільнику напруги.



Зменшити цей ефект можна змінивши відношення опорів:  $R_{\text{генератора}} \ll R1$ .

Пізніше дослідження було виконано аналогічно для навантаження 170 кОм з такими результатами:



Амплітуда пульсацій: 54 мВ

$$\text{Середній струм: } I = \frac{\frac{4,348}{170 \cdot 10^3} + \frac{4,294}{170 \cdot 10^3}}{2} = 25 \text{ мкА}$$

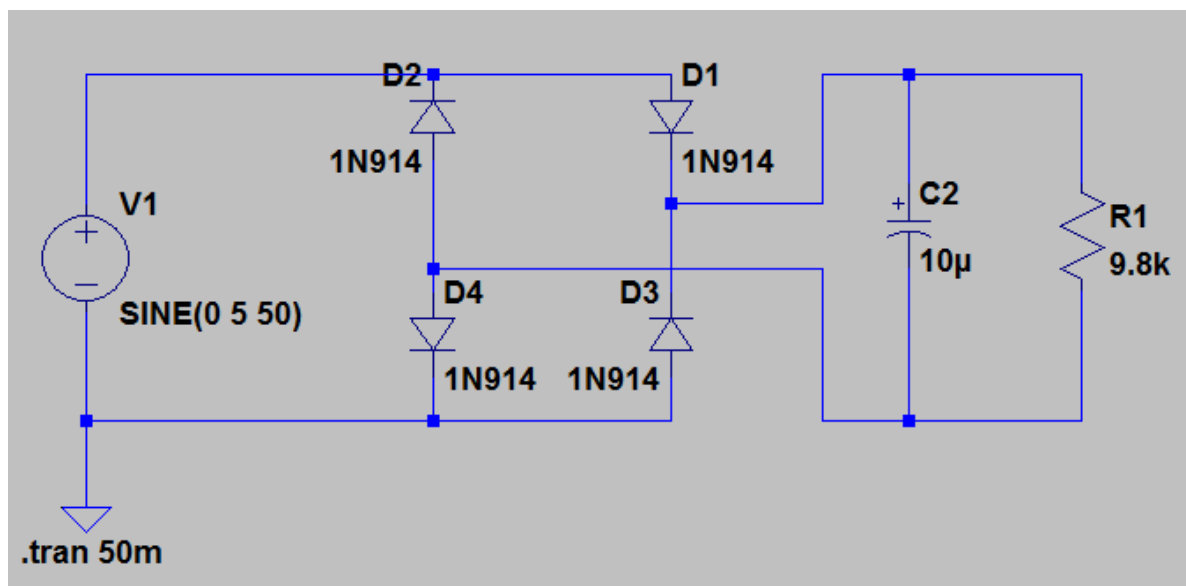
$$\text{Теоретично розрахована амплітуда пульсацій: } \Delta U = \frac{80 \cdot 10^{-6}}{10 \cdot 10^{-6} \cdot 50} = 51 \text{ мВ}$$

Амплітуда пульсацій з симулятора:  $\Delta U = 60 \text{ мВ}$

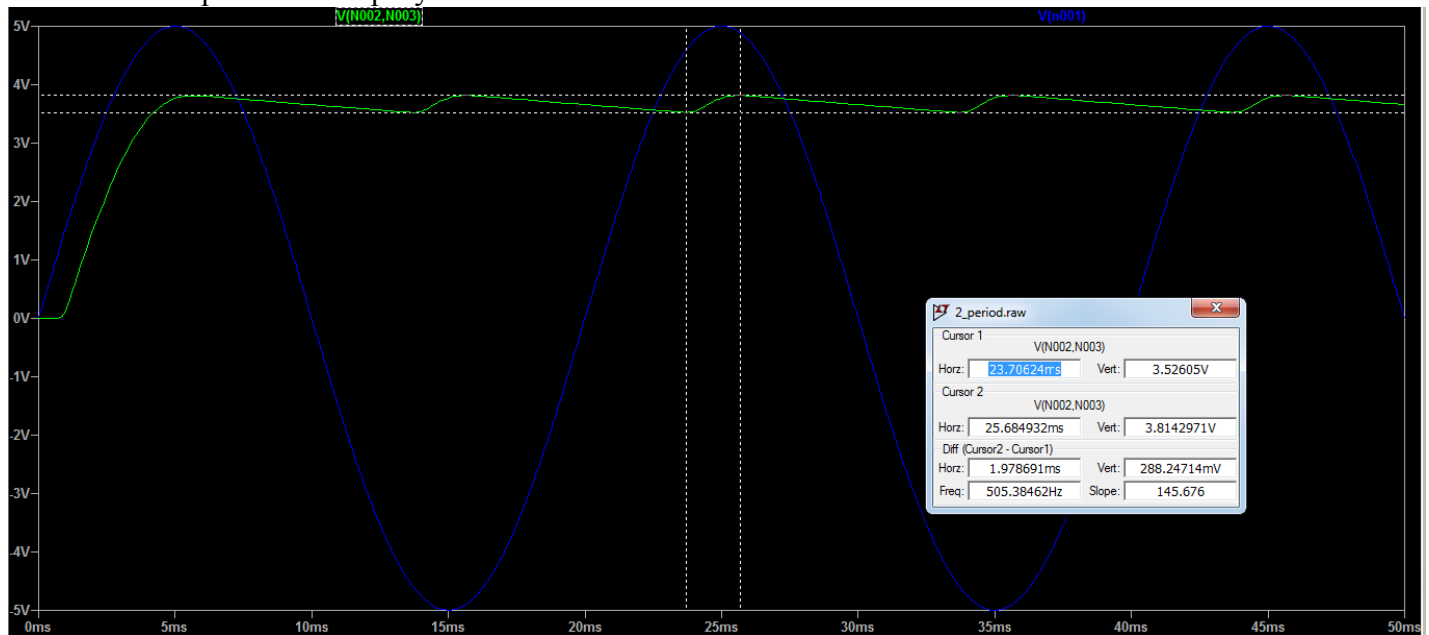
## 2. Дослідження двонапівперіодного випрямляча

а. 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 9.8 кОм



Отримали такі результати:

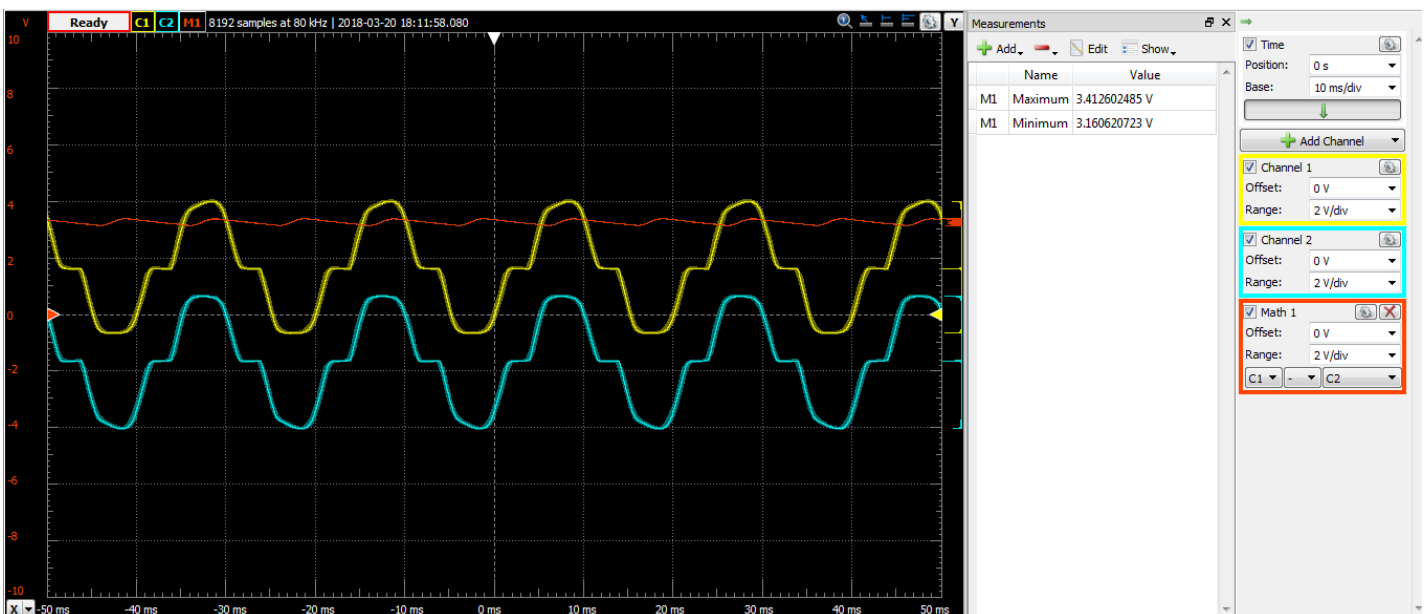


Амплітуда пульсацій вихідної напруги склала 288 мВ, середній струм через навантаження:

Середній струм:  $I = \frac{\frac{3.814}{9800} + \frac{3.526}{9800}}{2} = 374 \text{ мкА}$ . Залежність  $\Delta U = \frac{I_r}{2 \cdot C \cdot f} = \frac{374 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 10 \cdot 10^{-6} \cdot 50} = 374 \text{ мВ}$

виконується з похибкою. Врахування часу розряду конденсатора призводить до таких результатів:  $\Delta U = \frac{I_r}{2 \cdot C \cdot f} = \frac{374 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{3}{4}}{2 \cdot 10 \cdot 10^{-6} \cdot 50} = 281 \text{ мВ}$ , що наближає розрахунок до симуляції.

- б. Схему випрямляча напруги на діодному мосту склали у лабораторії. В якості генератора та осцилографа використовували Analog Discovery 2. Для зняття напруги на резисторі навантаження в умовах неможливості розв'язати землі осцилографа та генератора використали два входи осцилографу та функцію математичної обробки сигналів – входи осцилографа під'єднали до виводів резистора, підключеного у схему та відняли один сигнал від одного, отримавши падіння. Було отримано такі результати з навантаженням 9.8кОм:



Амплітуда пульсацій склала 252 мВ, середній струм через навантаження:

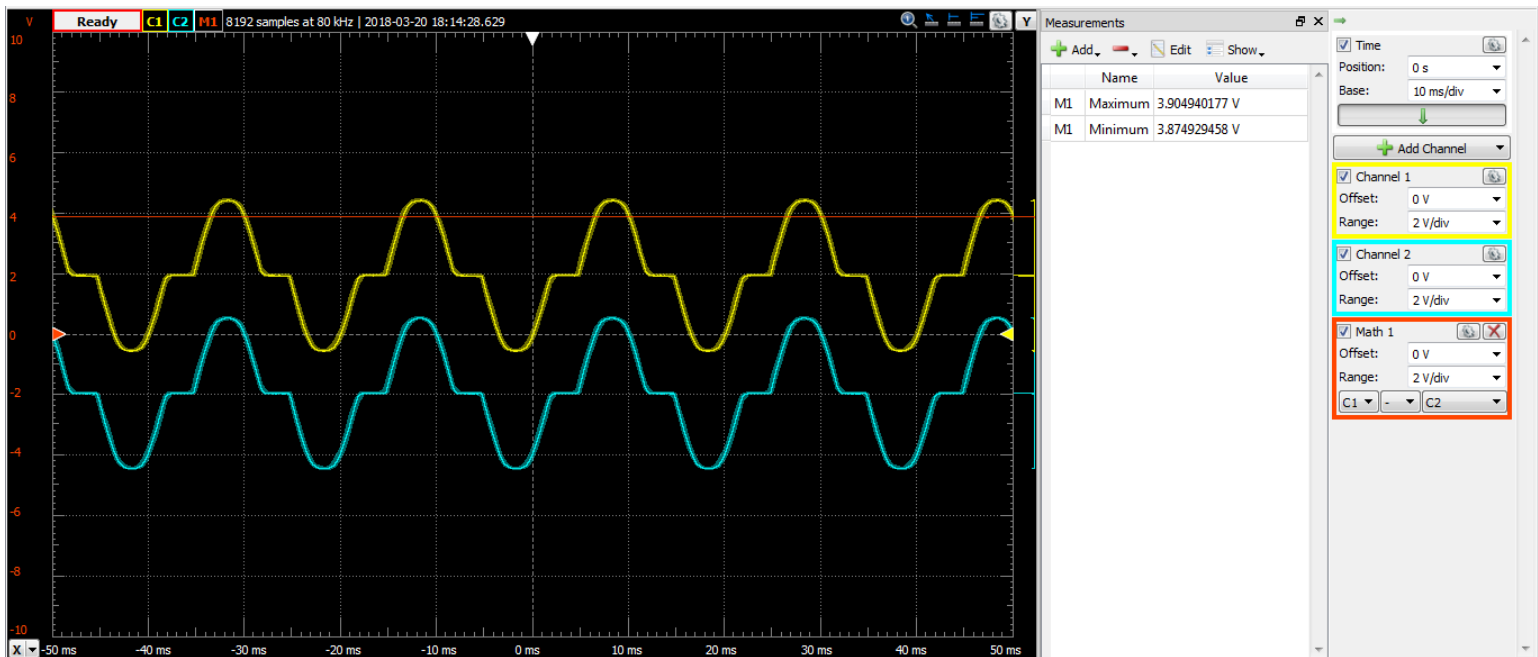
$$I = \frac{\frac{3.412 + 3.160}{2}}{\frac{9800 + 9800}{2}} = 335 \text{ мкА.}$$

За теоретичними очікуваннями, для такого випрямляча амплітуда пульсацій повинна складати  $\Delta U = \frac{335 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 10 \cdot 10^{-6} \cdot 50} = 335 \text{ мВ.}$

Похибку можна пояснити спотворенням сигналу на деяких внутрішніх опорах генератора. Відхилення від даних симуляції може бути пояснена умовами використання діодів, спотворенням вхідного сигналу через внутрішні опори та недосконалістю моделі, з якої впливає формула пульсацій.

Аналогічне дослідження було проведено для опору навантаження 170 кОм.

Отримали такі результати:



Амплітуда пульсацій вихідного сигналу склала 30 мВ. середній струм через навантаження:  $I = \frac{\frac{3.904 + 3.874}{2}}{\frac{170 \cdot 10^3 + 170 \cdot 10^3}{2}} = 23 \text{ мкА.}$  За теоретичними очікуваннями, для такого випрямляча амплітуда пульсацій повинна складати  $\Delta U = \frac{23 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 10 \cdot 10^{-6} \cdot 50} = 23 \text{ мВ.}$  Моделювання показало амплітуду пульсацій 44 мВ. Похибки можна пояснити тими ж самими факторами, що і для попереднього експерименту.

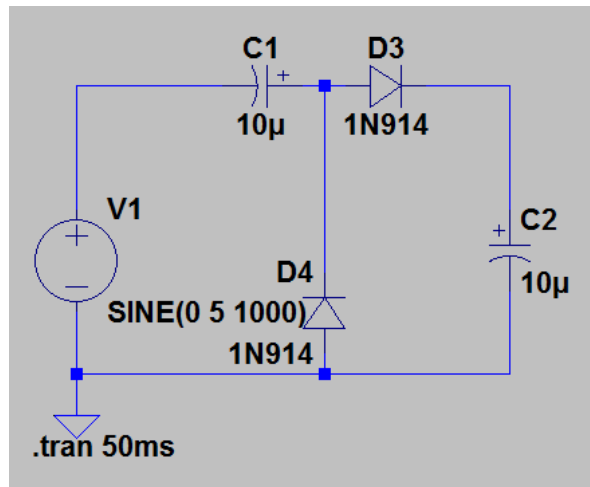
Як можна побачити, амплітуда виміряна досить близька до розрахованої теоретично (dU). А також те, що відношення амплітуд пульсацій при однакових опорах на різних схемах відрізняється в 2 рази (9.8Ком ~2.3, 170кОм ~1.8), що відповідає відношенню періодів ( $\Delta t$ ).

	WaveForm					
	R, Ом	V		Ampl	du, V	середній струм, А
1 напівперіодний	9 800,00	3,838	3,240	0,598	0,722	0,000361
	170 000,00	4,348	4,294	0,054	0,051	0,000025
2 напівперіодний	9 800,00	3,412	3,160	0,252	0,335	0,000335
	170 000,00	3,904	3,874	0,030	0,023	0,000023

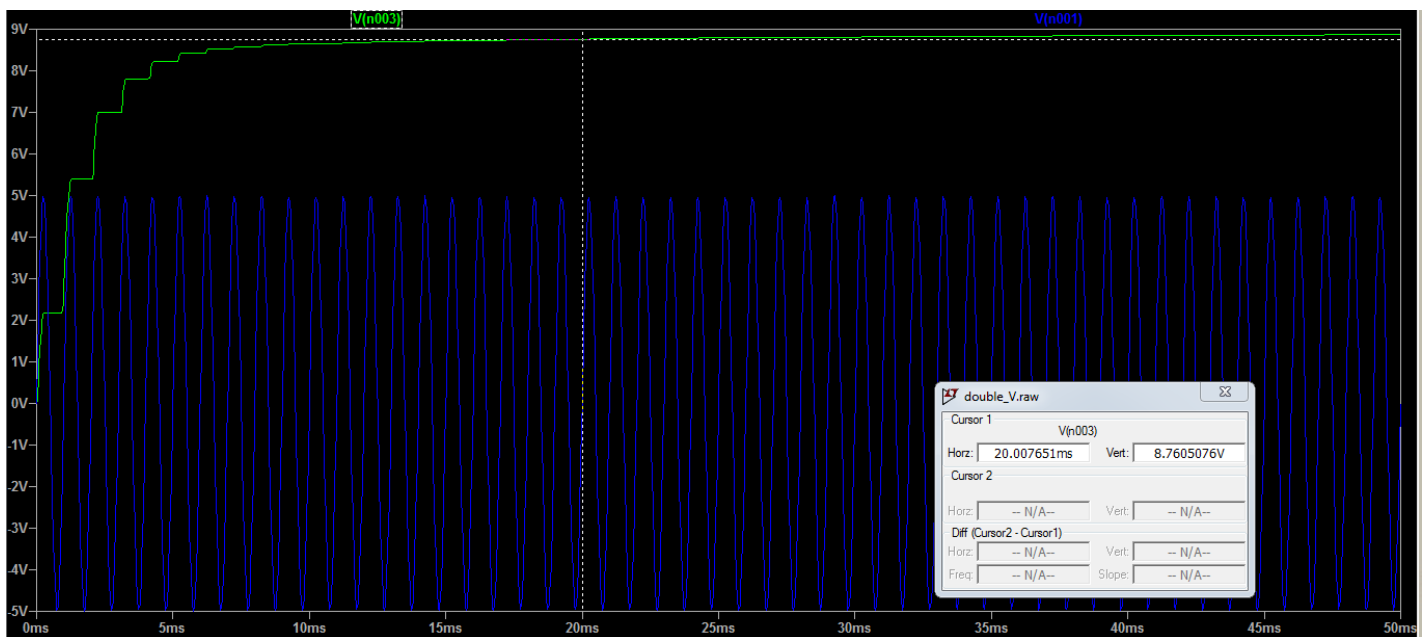
### 3. Дослідження подвоювача напруги.

а. Схему подвоювача напруги на послідовних каскадах з діоду та конденсатору було склали та симулювали у середовищі LTSpice. Використали наступні параметри:

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

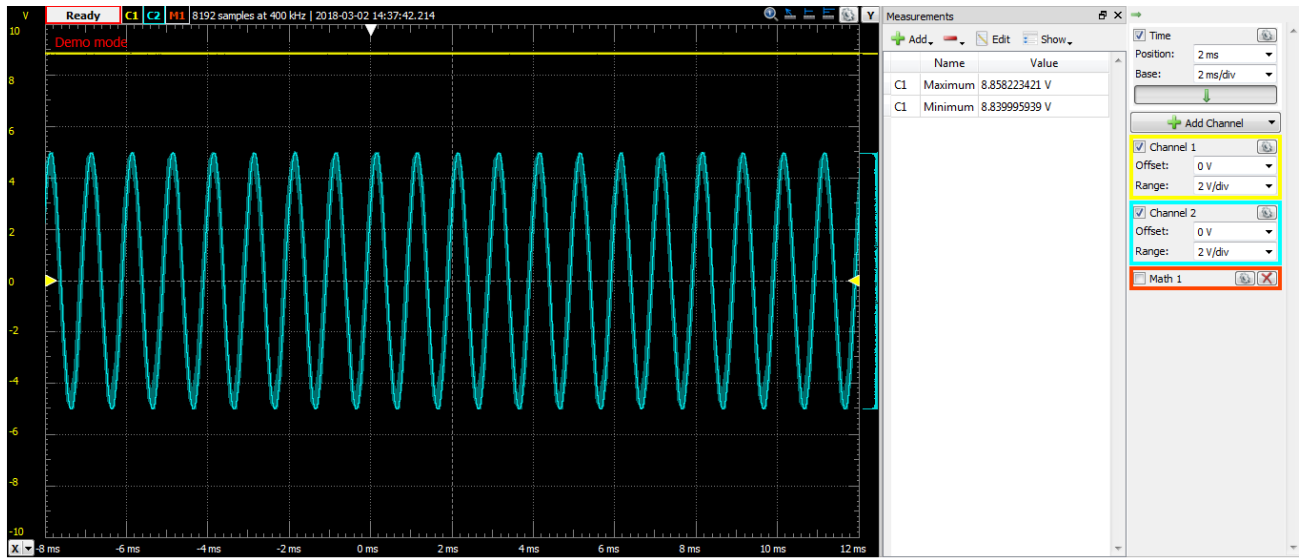


Було отримано наступні результати:



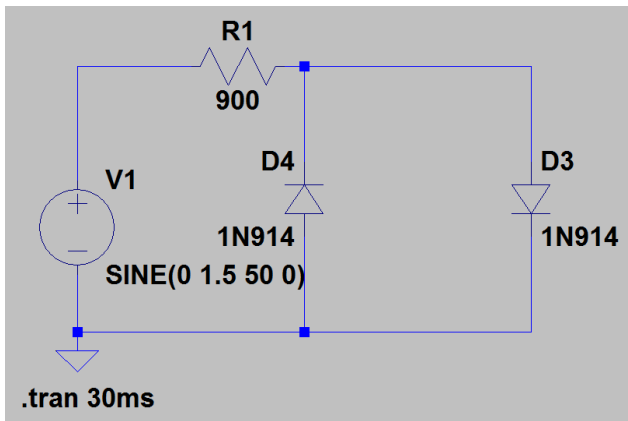
Сигнал на виході встановлюється на рівні 8.8В через ~20 мс після ввімкнення живлення. Саме такий рівень напруги пояснюється падінням на діодах, що використані у схемі. Напруга на вихідному конденсаторі дорівнює амплітуді вхідного сигналу мінус дві напруги прямого зміщення діоду.

Схему подвоювача склали на макетній платі, на подвоювач подали сигнал, аналогічний такому з симуляції. Було отримано наступні результати:

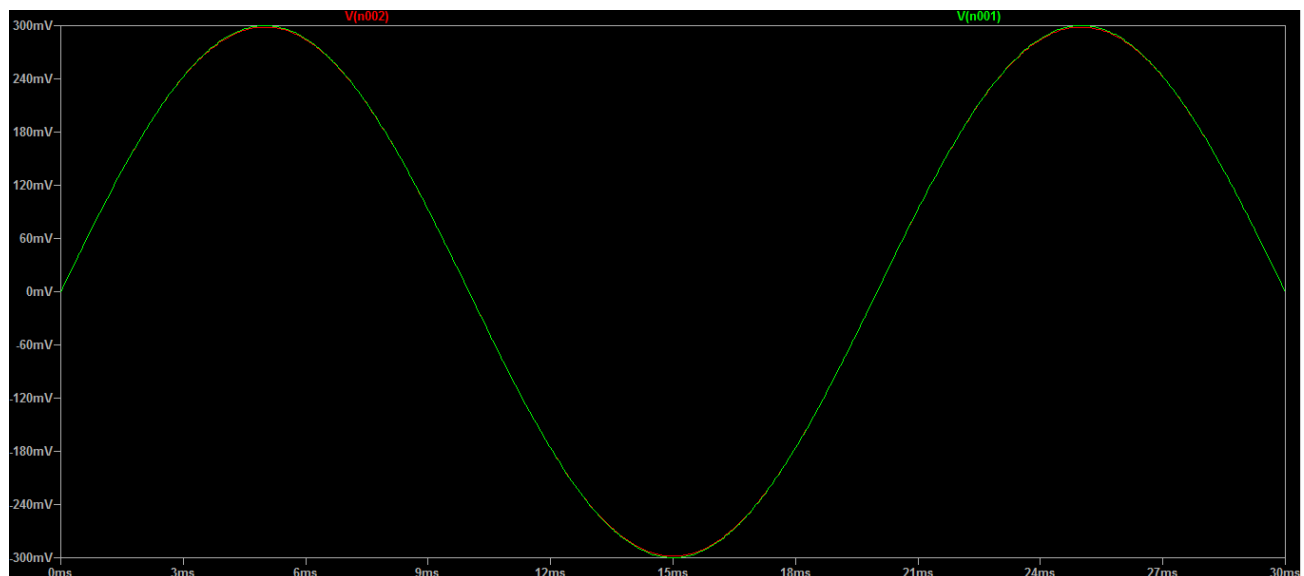


Напруга на виході склала 8.8В, що відповідає теоретичним очікуванням. Сигнал на виході можна вважати стабільним, так як схема нічим не навантажена, окрім вхідного опору вимірювального пристрою, котрим тут можна знехтувати.

#### 4. Дослідження обмежувача напруги

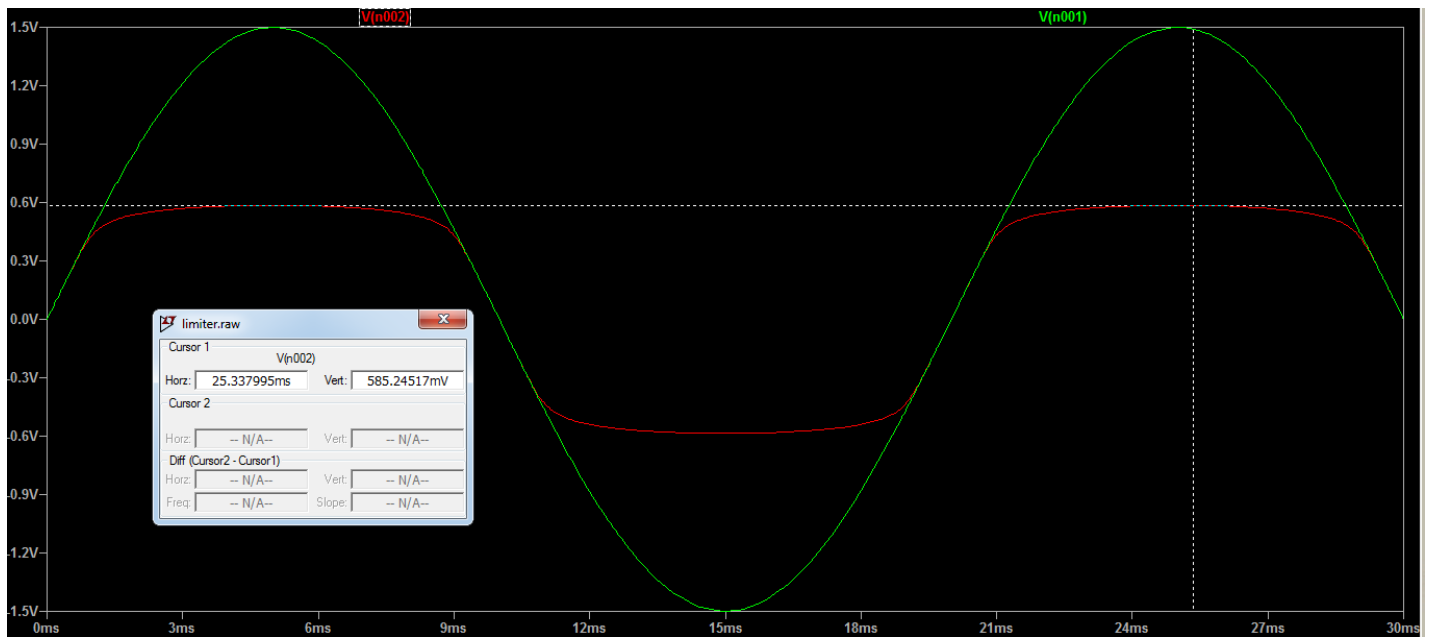


а. Схему обмежувача напруги на діоді склали у середовищі LTSpice та провели симуляцію. Отримали наступні результати: при напрузі менше, ніж напруга прямого зміщення діода, обмежувач не змінює сигнал:

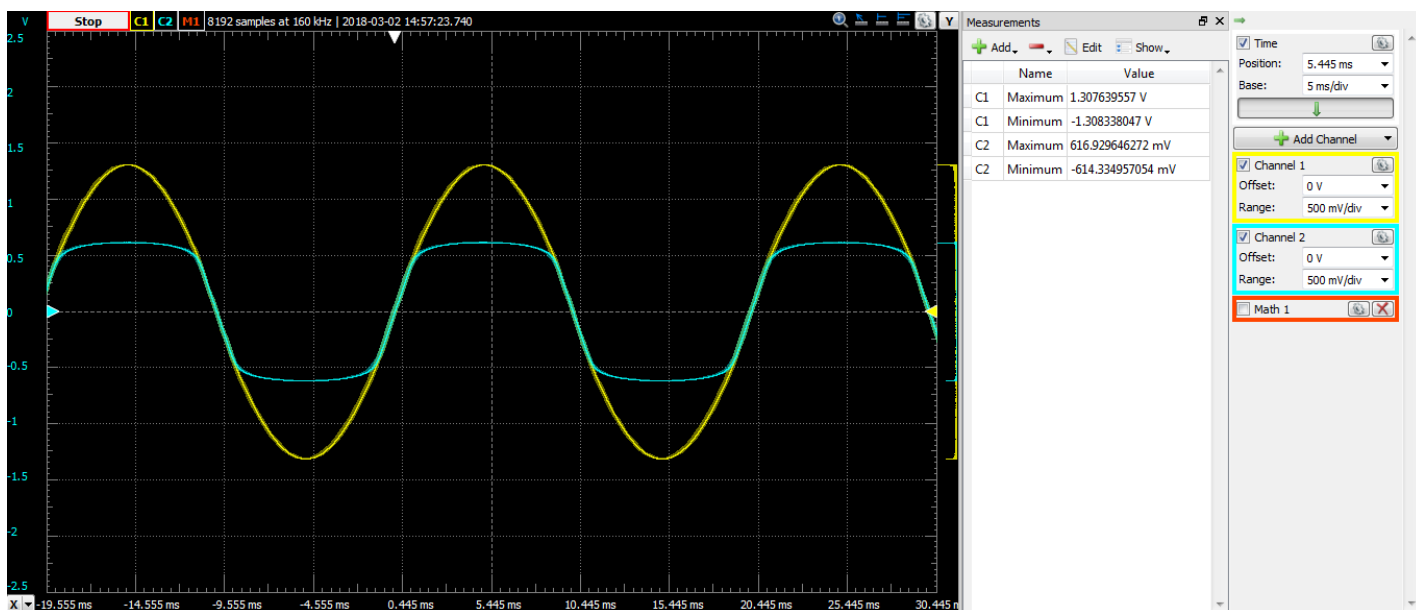




Але для напруги більше, ніж напруга прямого зміщення, схема обмежує сигнал:



- b. Аналогічну поведінку схему було досліджено в лабораторії:  
Були використані кремнієві діоди, напруга обмеження майже така ж сама, що ми спостерігали у симуляції.



## 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.