

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 та цифрової радіоелектронної апаратури - 1”

Виконав:

студент групи ДК-51

Махньов О. І.

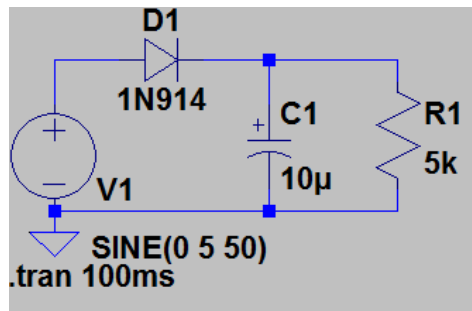
Перевірив:

доц. Короткий Є В.

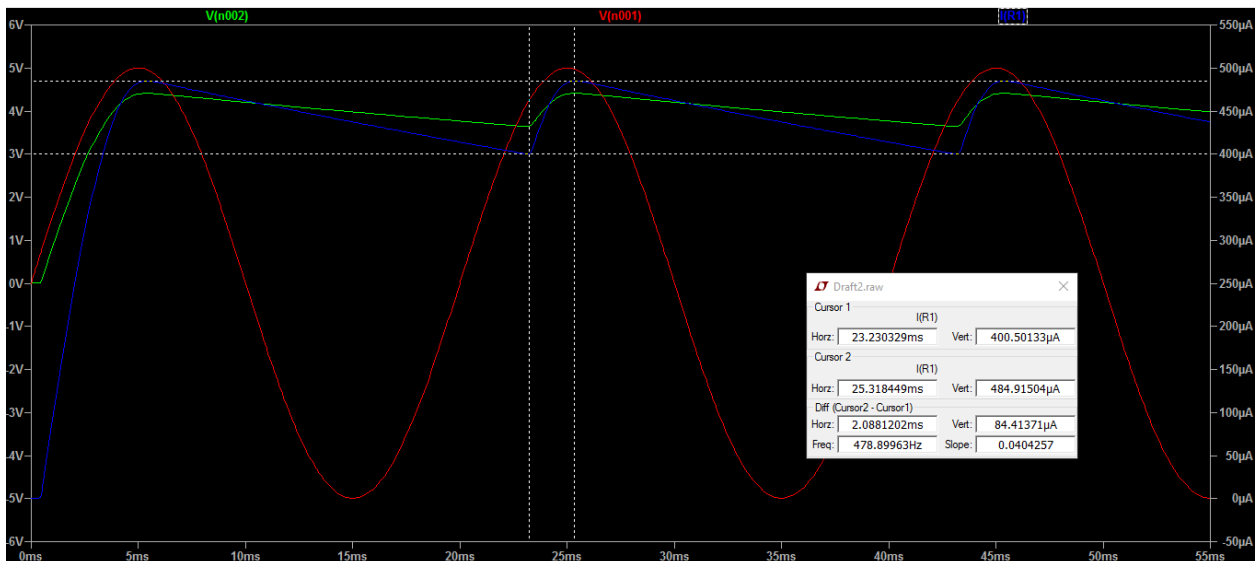
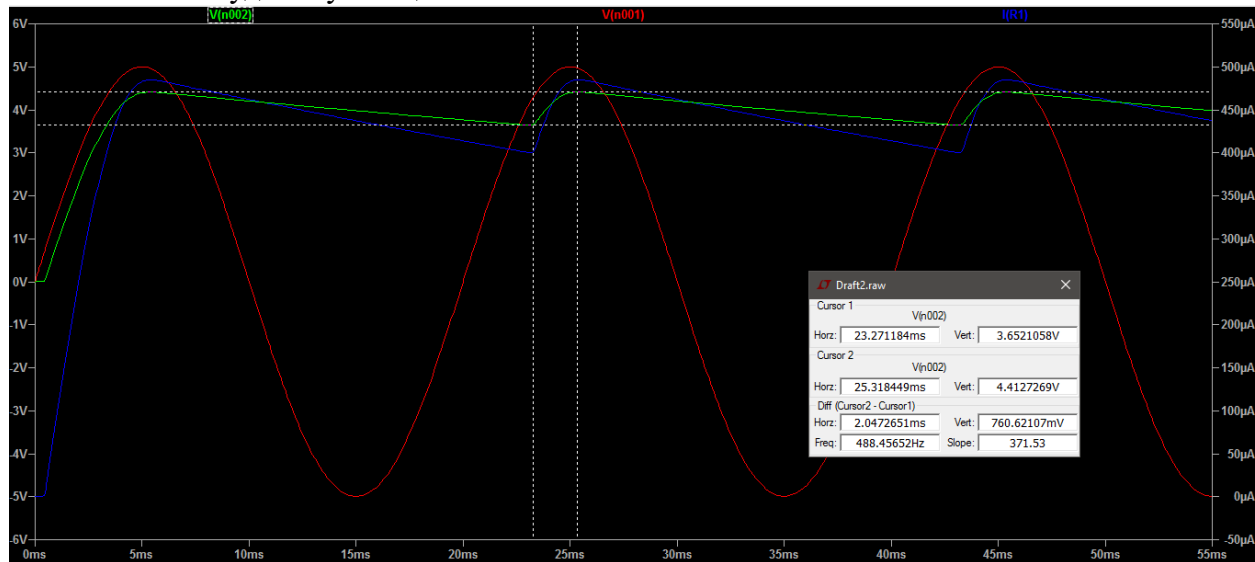
# 1. Дослідження однонапівперіодного випрямляча.

а. Було проведено симуляцію роботи випрямляча з напівпровідникового діоду та конденсатора в середовищі LTSpice з наступними параметрами:

- Вхідний сигнал – гармонійний біполярний, з амплітудою 5В та частотою 50Гц
- Згладжуюча ємність – 10мкФ
- Навантаження – резистор 9.1 кОм



На навантаженні отримано вихідний сигнал з амплітудою пульсацій 0.76 В:



Середній струм через навантаження склав:

$$I = \frac{400 + 484}{2} = 442 \text{ [мкА]}$$

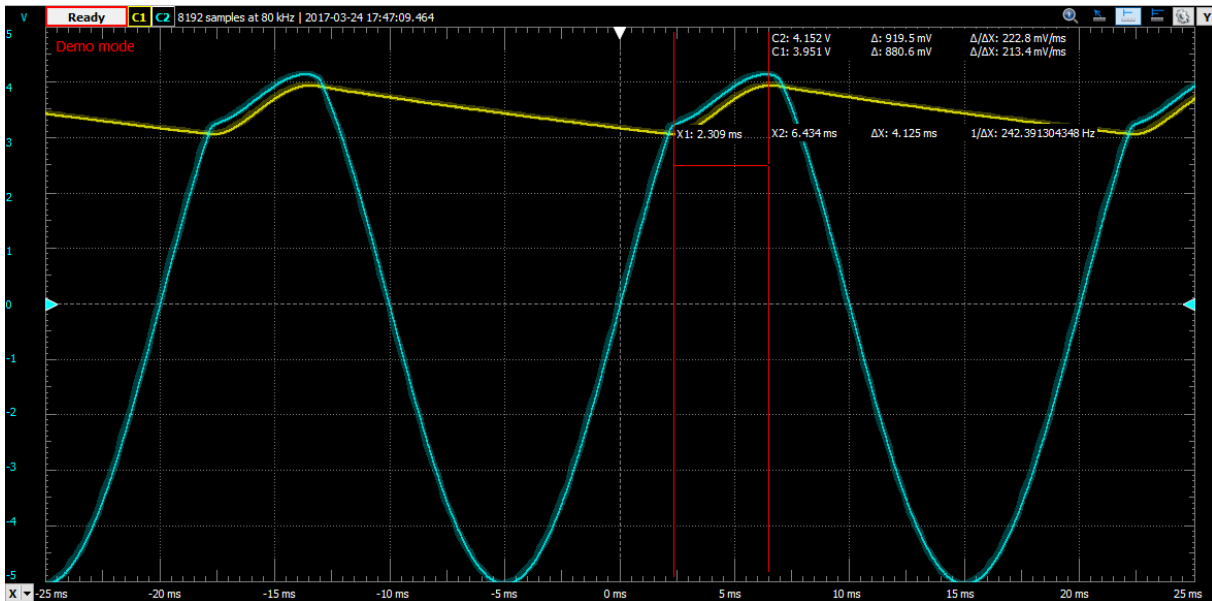
Для такого випрямляча амплітуда коливань напруги має становити:

$$\Delta U = \frac{442 * 10^{-6}}{10 * 10^{-6} * 50} = 0,8\text{В}$$

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

- Згладжуюча ємність – 10мкФ
- Навантаження – резистор 9,1 кОм

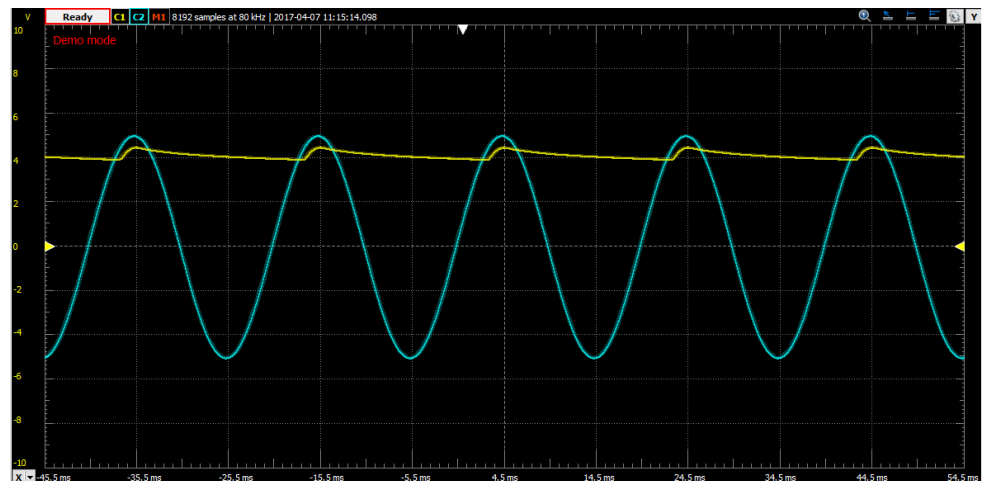
В якості генератора сигналу та осцилографу використали Analog Discovery 2. Під час роботи схеми отримали наступні результати (жовтий – C1, вихід, голубий – C2, вхід):



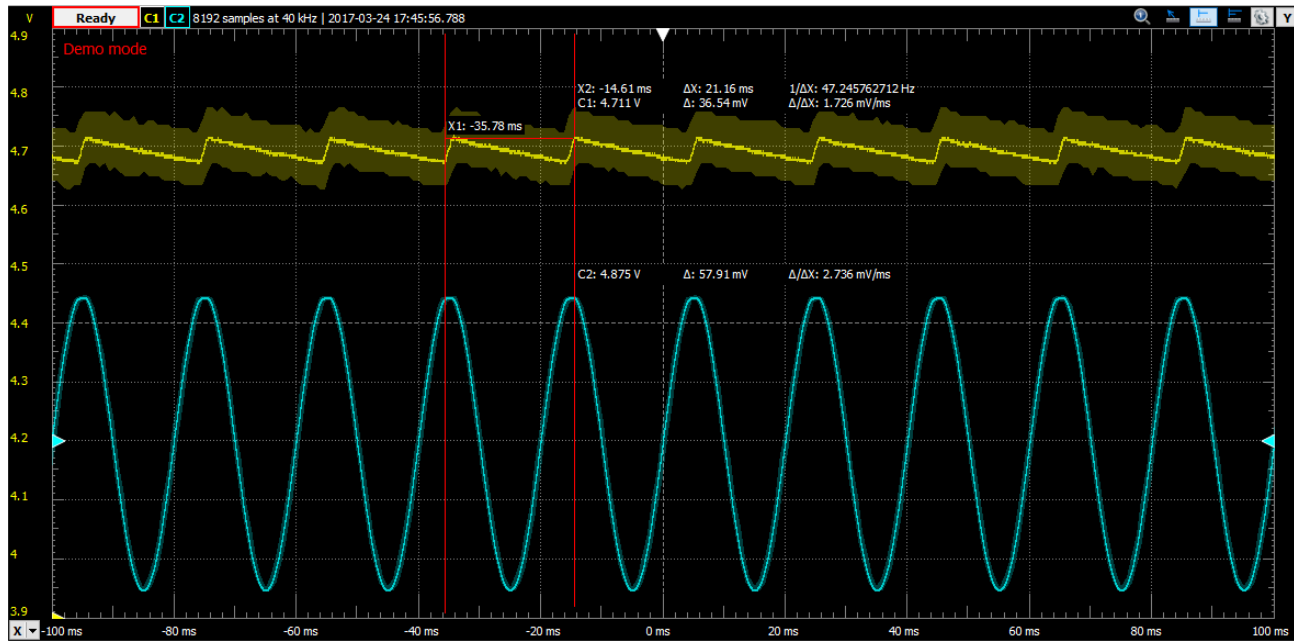
Амплітуда пульсацій вихідного сигналу склала 0.88В, середній струм:  $I = \frac{\frac{3,2}{9,1 \cdot 10^3} + \frac{4}{9,1 \cdot 10^3}}{2} = 395 \mu\text{A}$ .

За теоретичними очікуваннями, для такого випрямляча амплітуда пульсацій повинна складати  $\Delta U = \frac{395 \cdot 10^{-6}}{10 \cdot 10^{-6} \cdot 50} = 0,8\text{В}$ . Похибку можна пояснити спотворенням вхідного сигналу внутрішнім опором генератора, допуском резистору та недосконалістю моделі, з якої впливає ця формула (час розряду конденсатора).

Пізніше дослідження було проведено повторно, з генератором без вбудованого опору узгодження лінії, під час яких отримали осцилограми сигналу без спотворень:



Дослідження було виконано аналогічно для навантаження 200 кОм з такими результатами:



Амплітуда пульсацій: 44 мВ

$$\text{Середній струм: } I = \frac{\frac{4,671}{200 \cdot 10^3} + \frac{4,715}{200 \cdot 10^3}}{2} = 23,4 \text{ мкА}$$

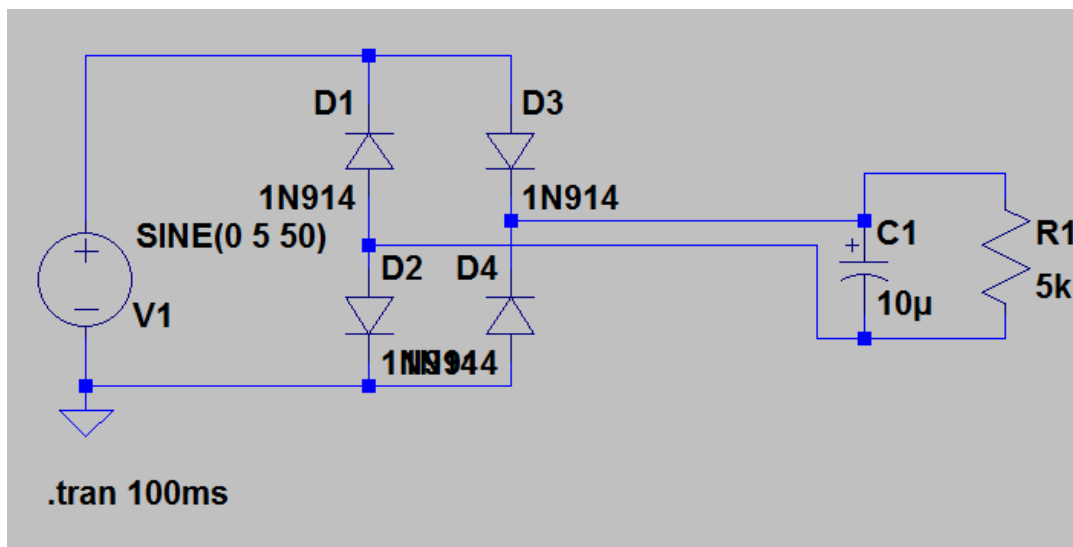
$$\text{Теоретично розрахована амплітуда пульсацій: } \Delta U = \frac{23,4 \cdot 10^{-6}}{10 \cdot 10^{-6} \cdot 50} = 46 \text{ мВ}$$

Амплітуда пульсацій з симулятора:  $\Delta U = 54 \text{ мВ}$

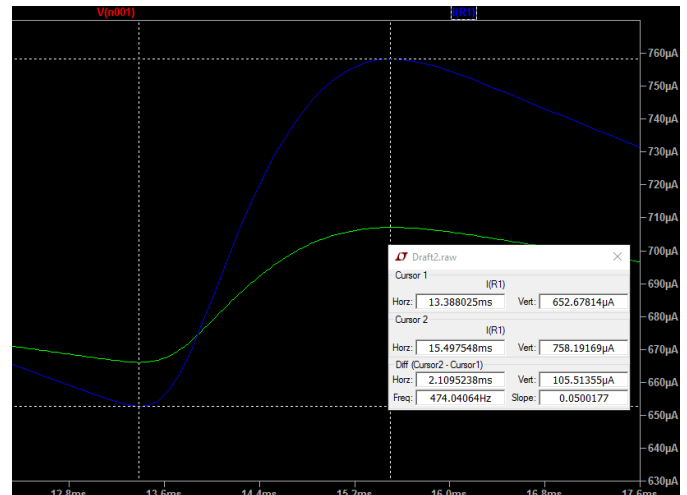
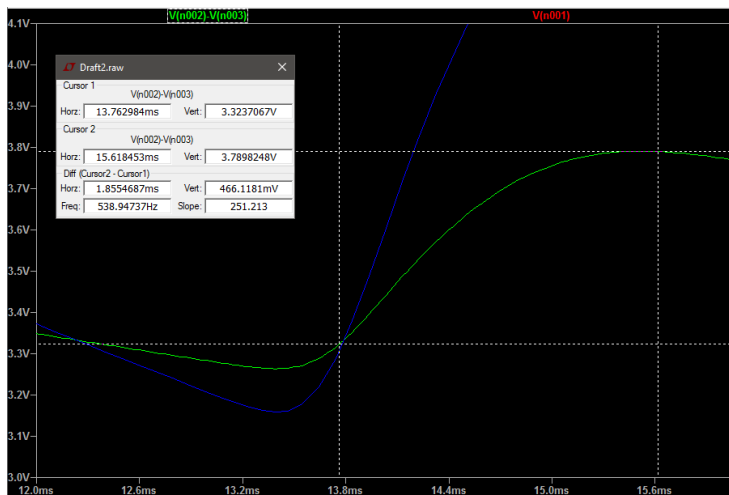
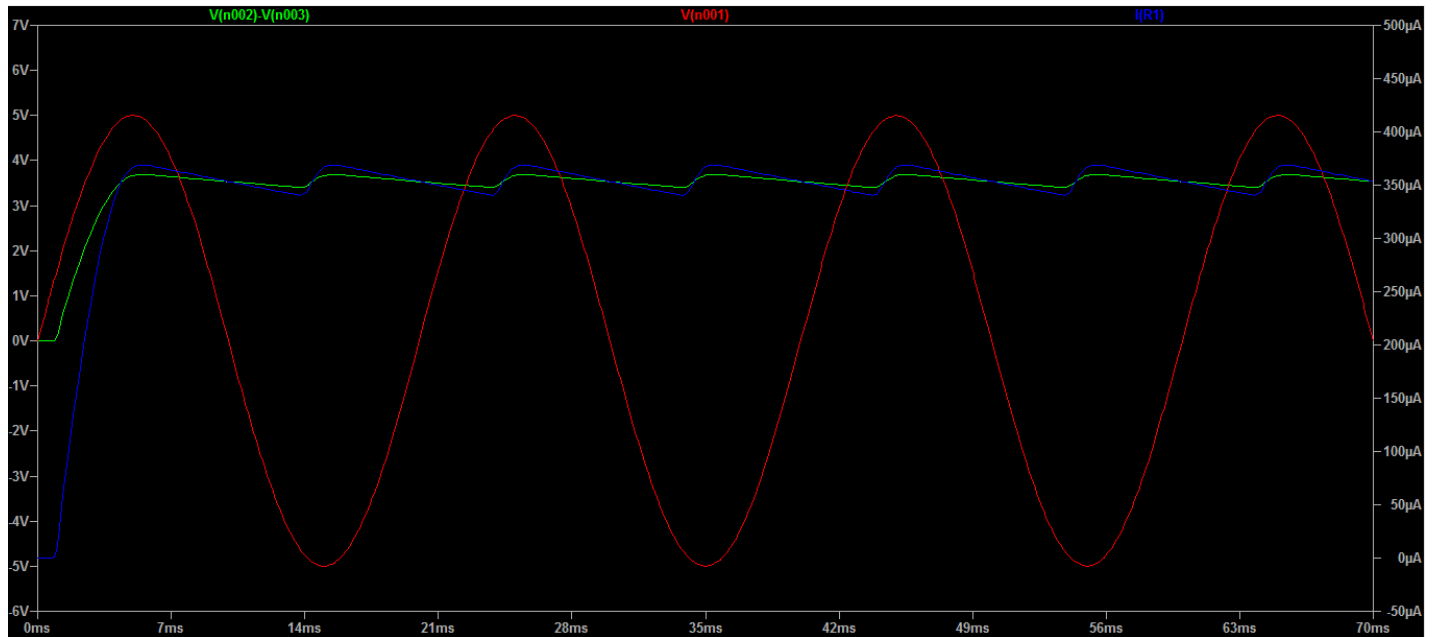
## 2. Дослідження двонапівперіодного випрямляча

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 5 кОм



Отримали такі результати:

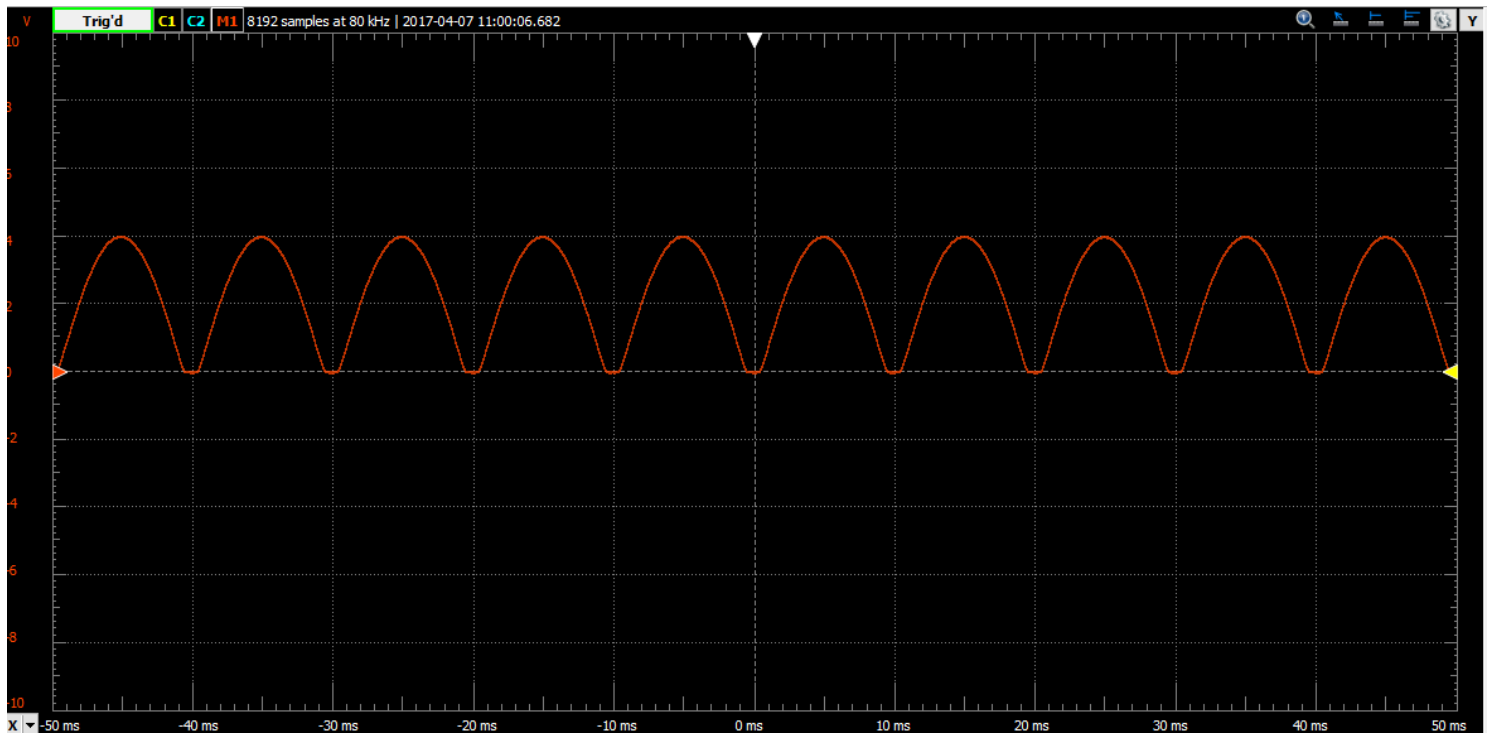


Амплітуда пульсацій вихідної напруги склала 466 мВ, середній струм через навантаження:  $I = \frac{652+758}{2} = 705$  [мкА]. Залежність  $\Delta U = \frac{I_r}{2 \cdot C \cdot f} = \frac{705 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 10 \cdot 10^{-6} \cdot 50} = 705$  мВ виконується з похибкою. Врахування часу розряду конденсатора призводить до таких результатів:  $\Delta U = \frac{I_r}{2 \cdot C \cdot f} = \frac{705 \cdot 10^{-6} \cdot 3/4}{2 \cdot 10 \cdot 10^{-6} \cdot 50} = 528$  мВ, що наближає розрахунок до симуляції.

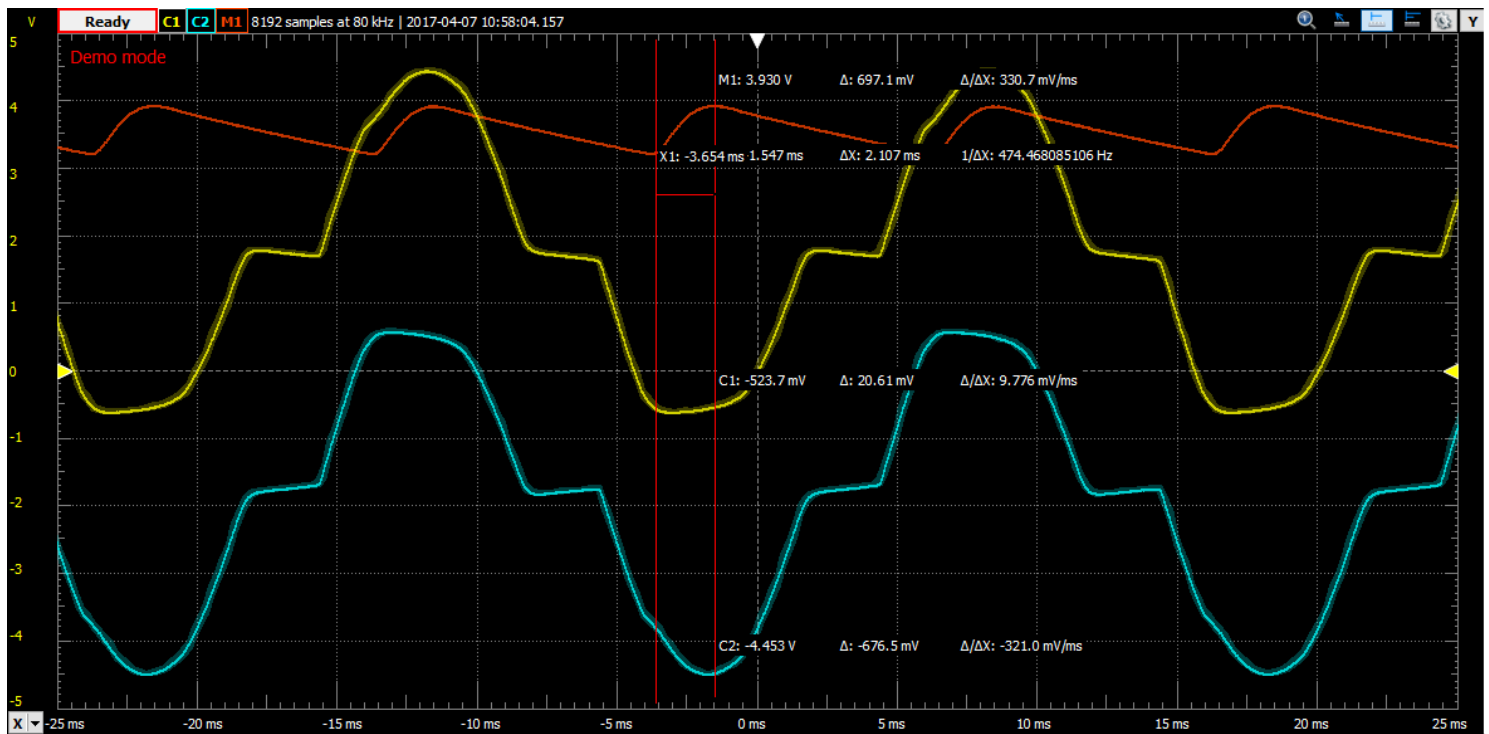
- б. Схему випрямляча напруги на діодному мосту склали у лабораторії. В якості генератора та осцилографа використовували Analog Discovery 2. Для зняття напруги на резисторі навантаження в умовах неможливості розв'язати землі осцилографа та генератора використали два входи осцилографу та функцію математичної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

Було отримано такі результати:

Сигнал без згладжувального конденсатора:



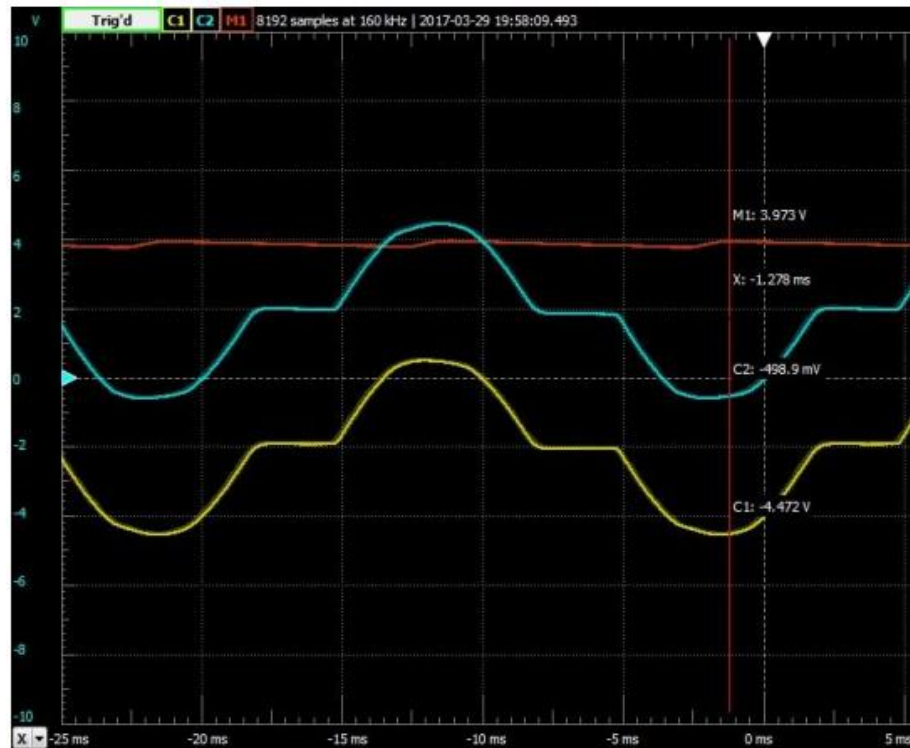
З навантаженням 5кОм:



Амплітуда пульсацій склала 697.1 мВ, середній струм через навантаження:  $I = \frac{\frac{3,9}{5 \cdot 10^3} + \frac{3,2}{5 \cdot 10^3}}{2} = 710 \mu\text{A}$ . За теоретичними очікуваннями, для такого випрямляча амплітуда пульсацій повинна складати  $\Delta U = \frac{710 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 10^{-6} \cdot 50} = 710 \text{ мВ}$ .

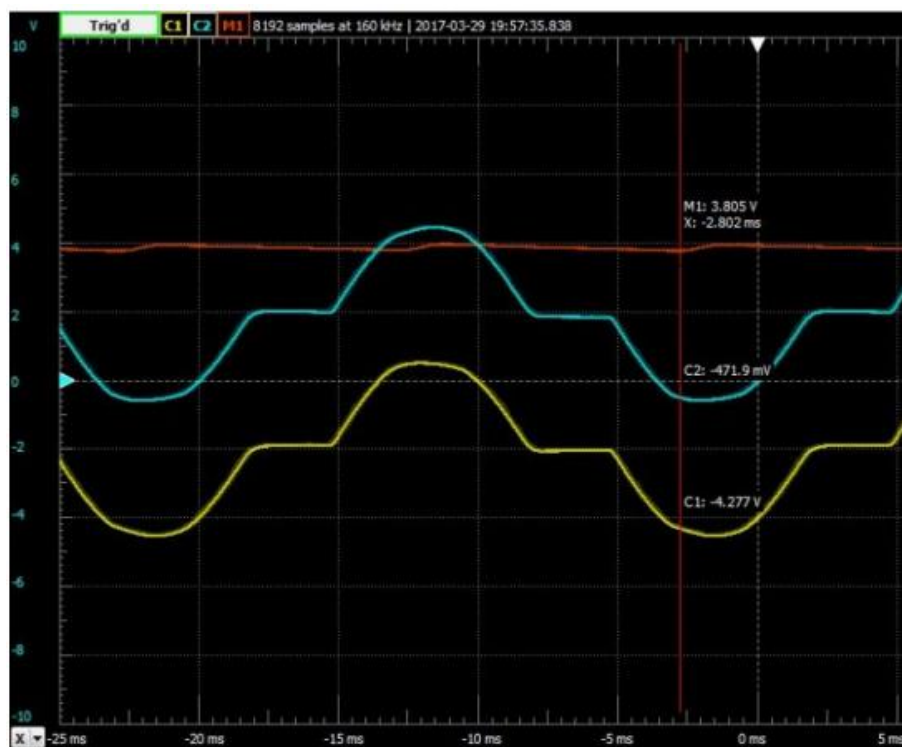
Похибку можна пояснити спотворенням сигналу на деяких внутрішніх опорах генератору та недосконалістю моделі. Відхилення від даних симуляції може бути пояснена умовами використання діодів, спотворенням вхідного сигналу через внутрішні опори та недосконалістю моделі, з якої впливає формула пульсацій.

Аналогічне дослідження було проведено для опору навантаження 20 кОм. Для вимірювання використали дві плати Analog Discovery 2, що використовували розв'язані джерела живлення. Отримали такі результати:



Амплітуда пульсацій вихідного сигналу склала 168 мВ. середній струм через навантаження:

$$I = \frac{\frac{3,805}{20 \cdot 10^3} + \frac{3,973}{20 \cdot 10^3}}{2} = 194 \text{ мкА.}$$
 За теоретичними очікуваннями, для такого випрямляча амплітуда пульсацій повинна складати  $\Delta U = \frac{194 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 10 \cdot 10^{-6} \cdot 50} = 194 \text{ мВ.}$  Моделювання показало амплітуду пульсацій 150 мВ. Похибки можна пояснити тими ж самими факторами, що і для попереднього експерименту:

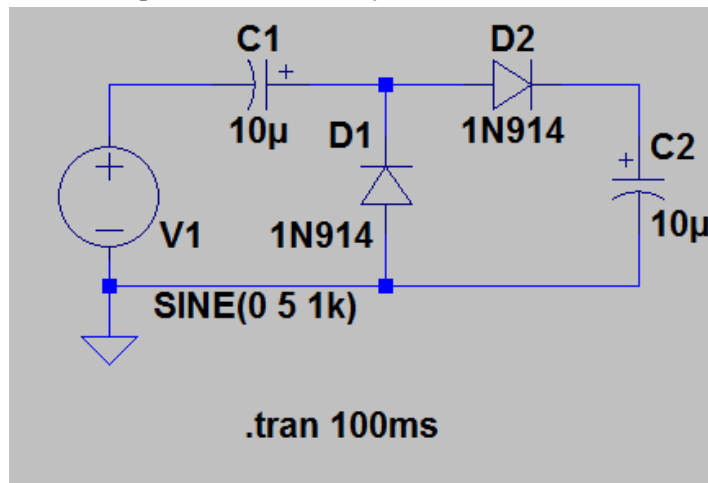




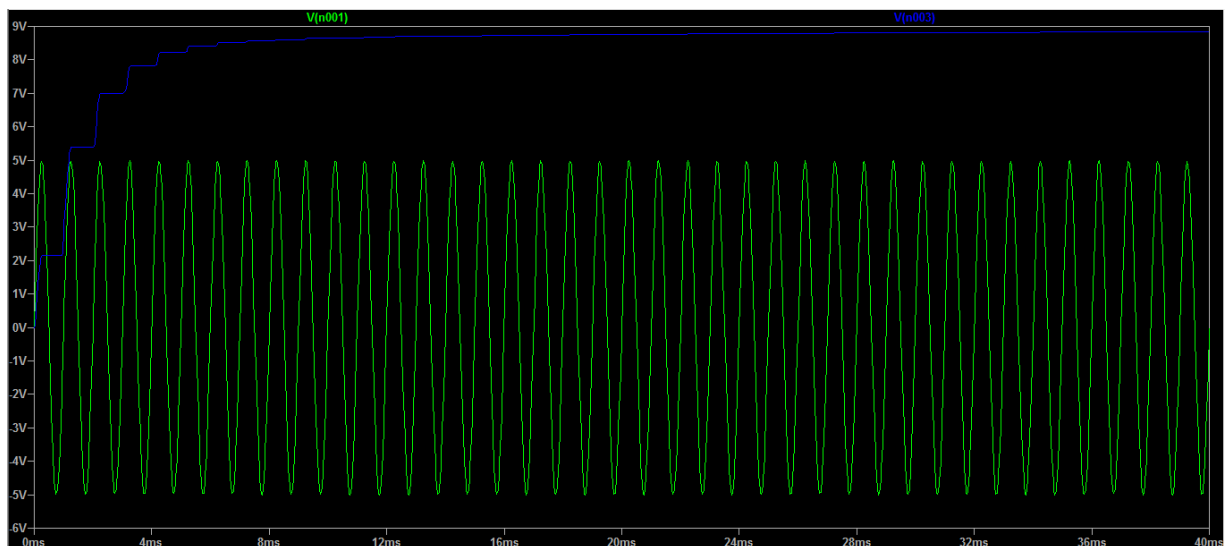
### 3. Дослідження подвоювача напруги.

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

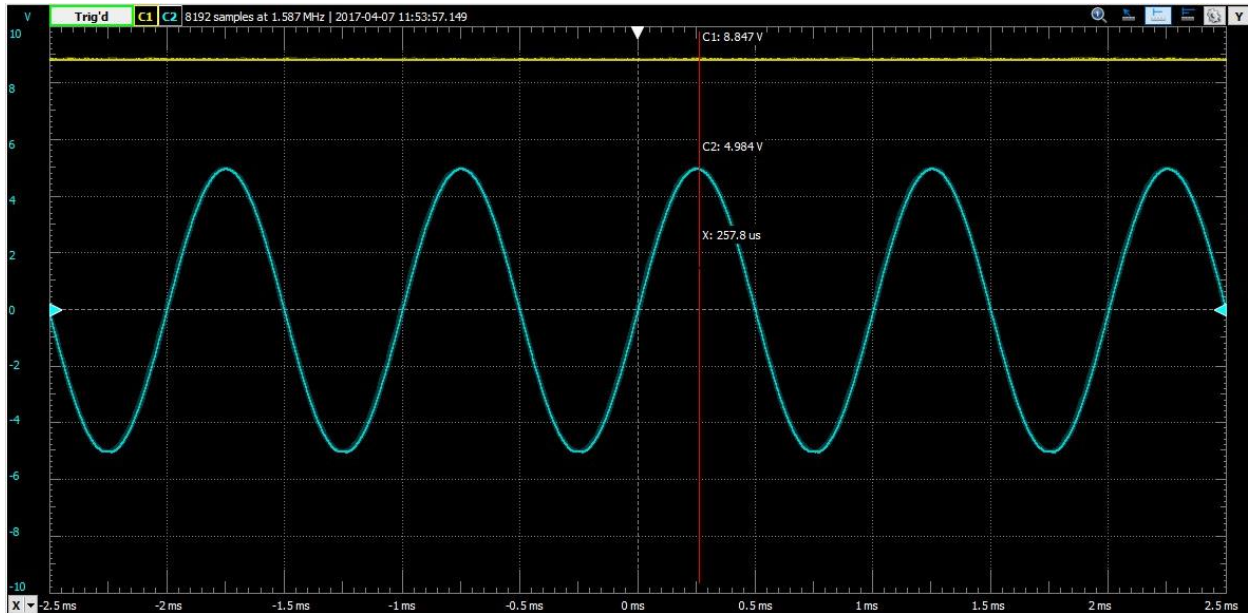


Було отримано наступні результати:



Сигнал на виході встановлюється на рівні 8.8В через 10 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.

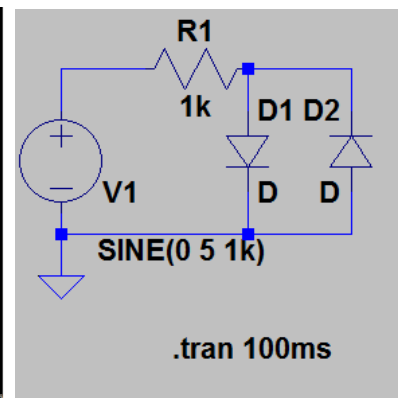
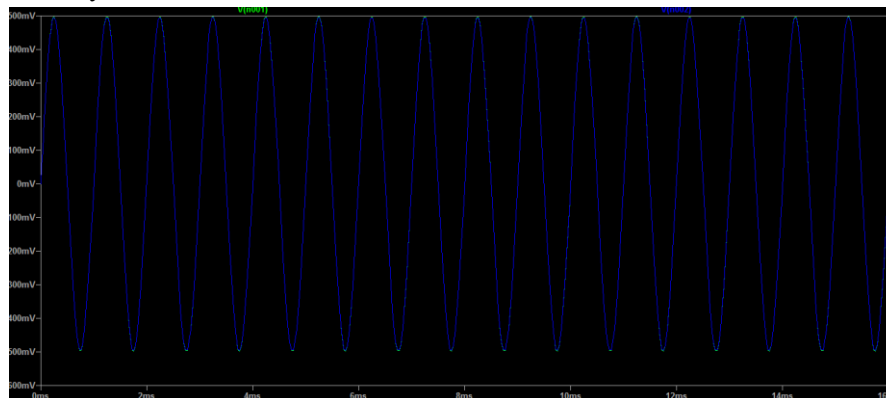
- b. Схему подвоювача склали на макетній платі, на подвоювач подали сигнал, аналогічний такому з симуляції. Було отримано наступні результати:



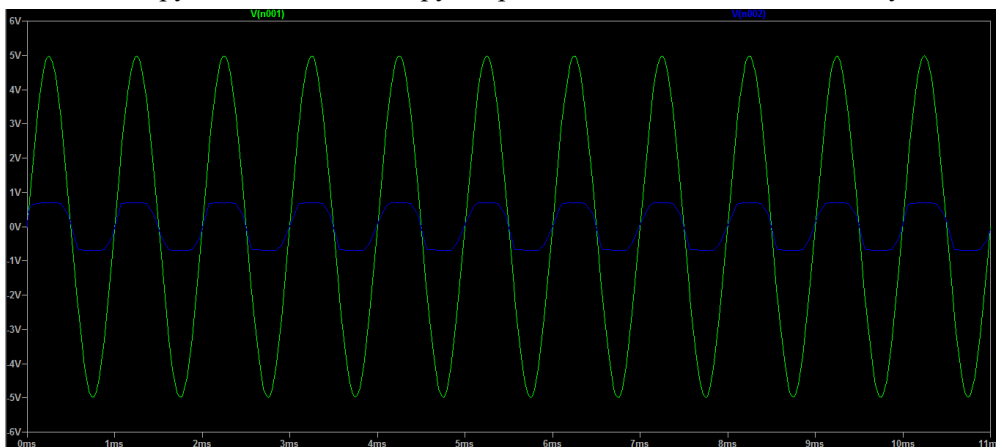
Напруга на виході склала 8.8В, що відповідає теоретичним очікуванням. Сигнал на виході можна вважати стабільним, так як схема нічим не навантажена, окрім вхідного опору вимірювального пристрою, котрим тут можна знехтувати.

#### 4. Дослідження обмежувача напруги

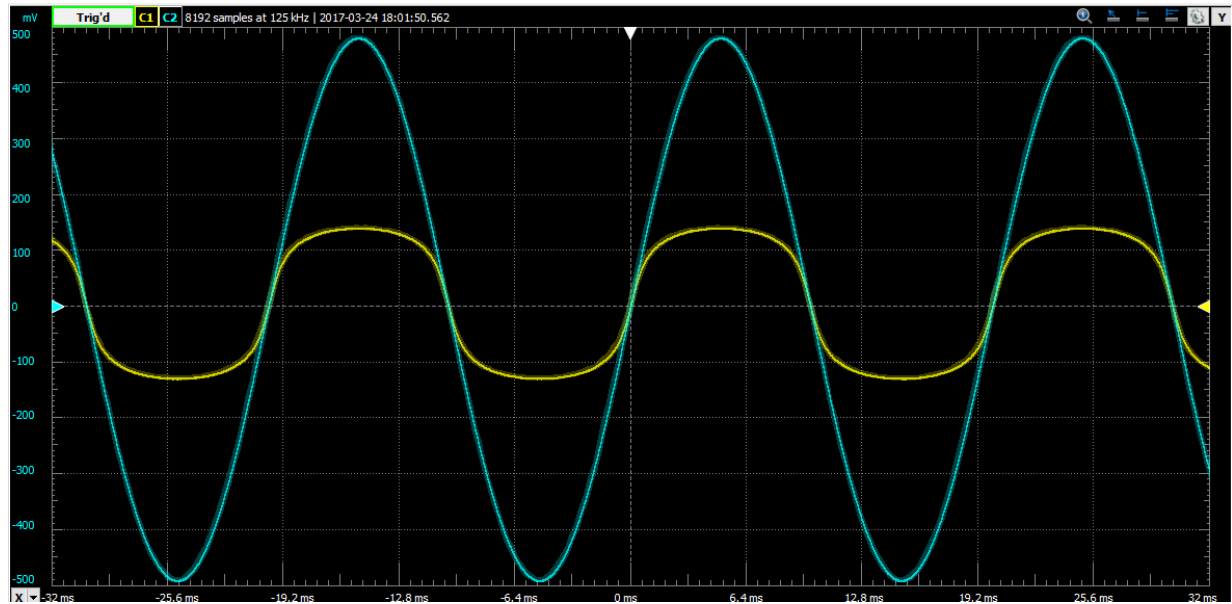
- a. Схему обмежувача напруги на діоді склали у середовищі LTSpice та провели симуляцію. Отримали наступні результати: при напрузі менш е, ніж напруга прямого зміщення діода, обмежувач не змінює сигнал:



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



b. Аналогічну поведінку схему було досліджено в лабораторії:



Так як було використано германієві діоди, напруга обмеження була в декілька разів менша, ніж та, що 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.