

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

***Кафедра: КЕОА***

***Курс: “Аналогова електроніка – 1”***

**Лабораторна робота № 2**

**Тема:** Дослідження схем побудованих на базі кремнієвих діодів

*Виконав:*

*Ст. групи ДК-92*

*бригада №7*

*Бодак Єгор*

Київ 2020

## **Лабораторна робота №2**

**Тема:** “Дослідження схем побудованих на базі кремнієвих діодів”

**Досліджувані схеми:** однонапівперіодний та двонапівперіодний випрямлячі, подвоювач напруги, обмежувач напруги.

В досліджуваних схемах будуть використовуватись кремнієві діоди, пряме падіння напруги на яких складає 0.7 вольт.

### **1.1. Практичне застосування досліджуваних схем**

Досліджувані схеми дуже широко застосовуються в електроніці. Одно- та двонапівперіодні випрямлячі є основою блоків живлення, що перетворюють змінну напругу 220В в постійну напругу на виході (для зменшення величини напруги застосовують трансформатор). Обмежувачі напруги застосовують для захисту входів схем від перевищення напруги на них, що могло б привести до виходу схем з ладу. У випадку наявності обмежувача напруги, напруга на провіднику знаходить в певних межах, заданих обмежувачем. Це стандартний спосіб захисту, наприклад, входів цифрових та аналогових мікросхем від високої напруги. Помножувачі (у найпростішому випадку подвоювачі) напруги застосовують для підвищення постійної напруги без трансформатора для живлення лічильників Гейгера, іонізаторів повітря, електрошокерів, телевізійних електронно-променених трубок.

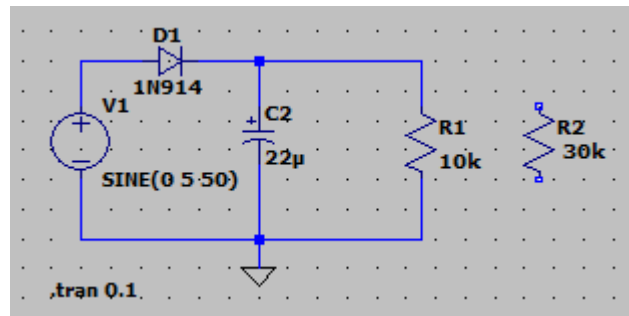
### **1.2. Теоретична частина**

- Принцип роботи діода, який розглянуто в [1], [2: лекція 4].
- Принцип роботи однонапівперіодного та двонапівперіодного діодних випрямлячів розглянуто в [2: лекція 4], [3: стр.218-222], [4].
- Принцип роботи подвоювача напруги розглянуто в [5].
- Принцип роботи обмежувача напруги на діодах розглянуто в [2: лекція 4].

### 1.3. Завдання на лабораторну роботу

#### 1. Дослідження однонапівперіодного випрямляча.

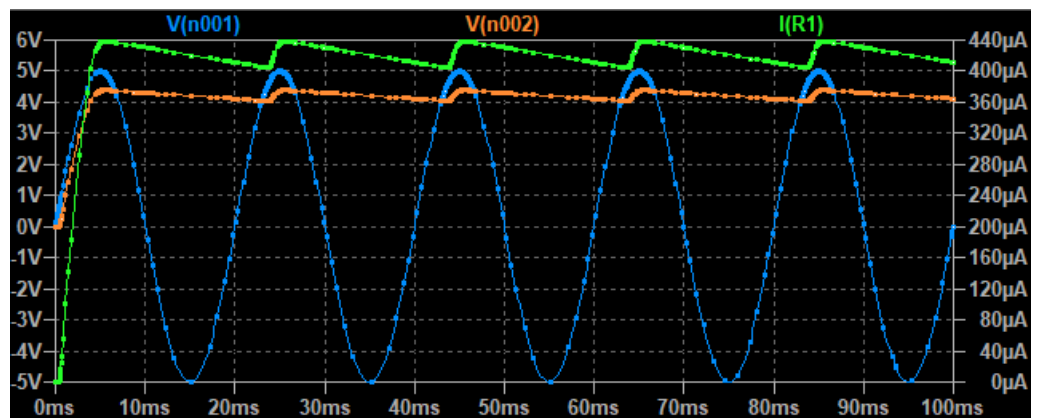
1.1. Побудуйте в LTSpice схему однонапівперіодного випрямляча. Джерело напруги – синусоїдальний гармонічний сигнал з частотою 50 Гц, амплітудою 5 В. Діод кремнієвий, конденсатор електролітичний (22 мкФ).



1.2. Перевірте, що напруга на резисторі та струм через нього змінюється по наступному закону. На графіку показана напруга джерела, напруга на резисторі та струм через нього.

$C1 = 22 \text{ мкФ}$

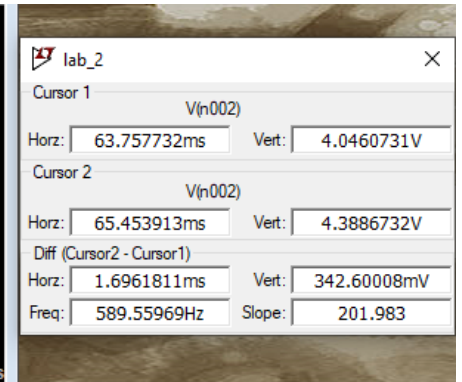
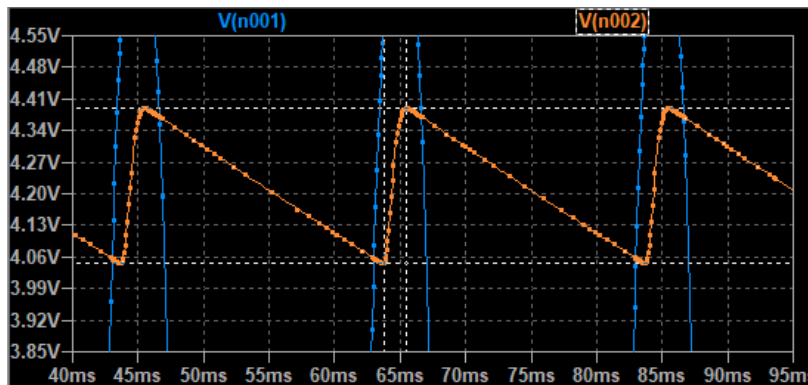
$R1 = 10 \text{ kOm}$



1.3. Знайдіть амплітуду пульсацій напруги на резисторі навантаження (dU). Амплітуда пульсацій – це різниця між найбільшим та найменшим значеннями напруги на резисторі за період.

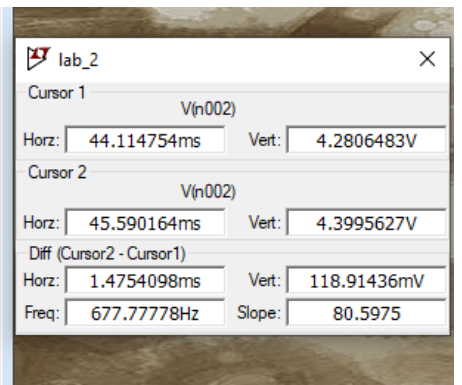
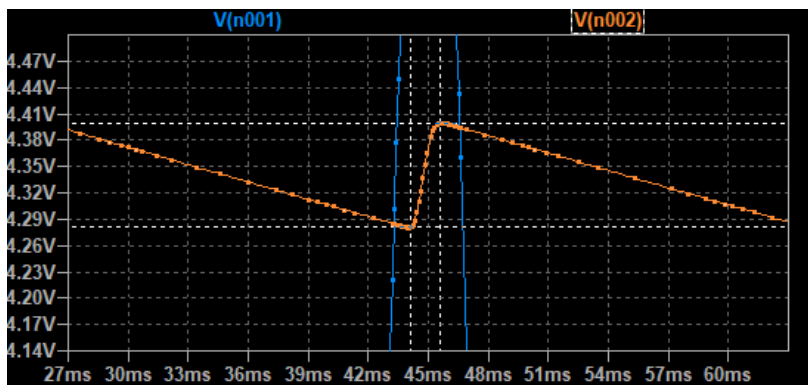
$R1 = 10\text{ k}\Omega$

Amplitude = 342.6 mV



$R2 = 30\text{ k}\Omega$

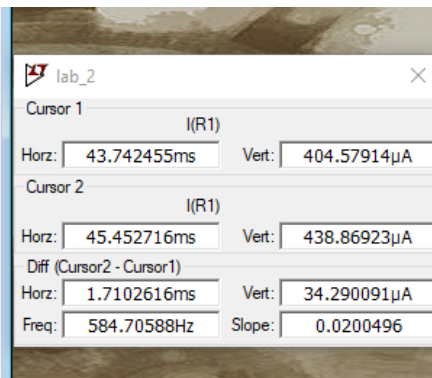
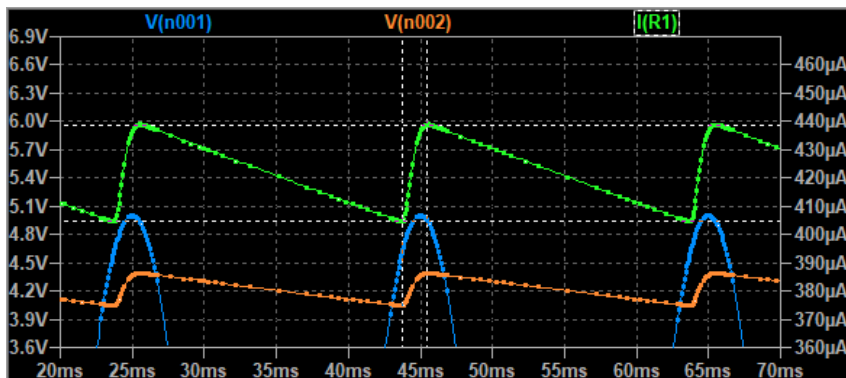
Amplitude = 118.9 mV



1.4. Знайдіть середнє значення струму через резистор навантаження ( $I_{av}$ ). Для цього знайдіть найбільший та найменший струм через навантаження за період та розрахуйте середнє значення цього струму

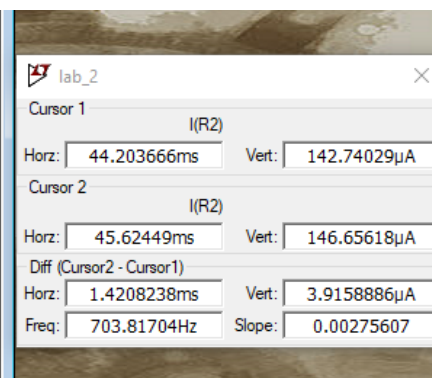
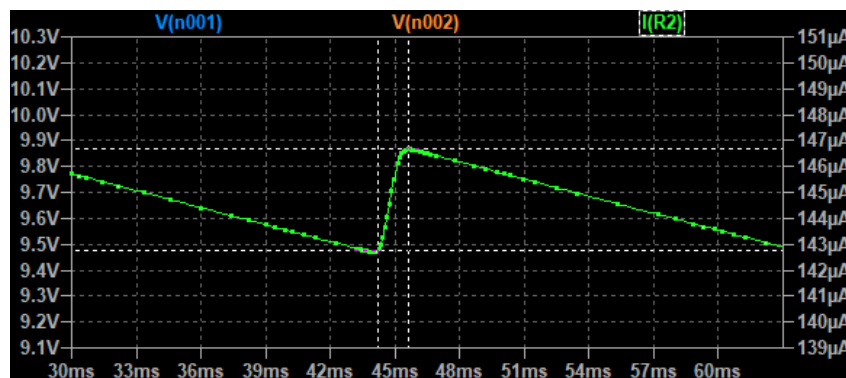
$$R1 = 10 \text{ k}\Omega$$

$$I_R = (404.5 + 438.8) / 2 = \underline{421.65 \text{ }\mu\text{A}}$$



$$R2 = 30 \text{ k}\Omega$$

$$I_R = (142.7 + 146.6) / 2 = \underline{144.65 \text{ }\mu\text{A}}$$



1.5.Перевірте формулу, яка пов'язує амплітуду пульсацій напруги на навантаженні ( $dU$ ) однопівперіодного випрямляча, струм навантаження ( $I_{av}$ ), ємність конденсатора на виході однопівперіодного випрямляча ( $C$ ) та частоту сигналу, що випрямляється ( $f$ ):

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

З цієї формули знаходять ємність конденсатора на виході випрямляча, яку необхідно використовувати для досягнення необхідної амплітуди пульсації. Зазвичай чим більша ємність, тим менша амплітуда пульсацій.

$$U_{R1} = I_{R1} / (C * f) = (421,65 * 10^{-6}) / (22 * 10^{-6} * 50) = 0,383 \text{ V}$$

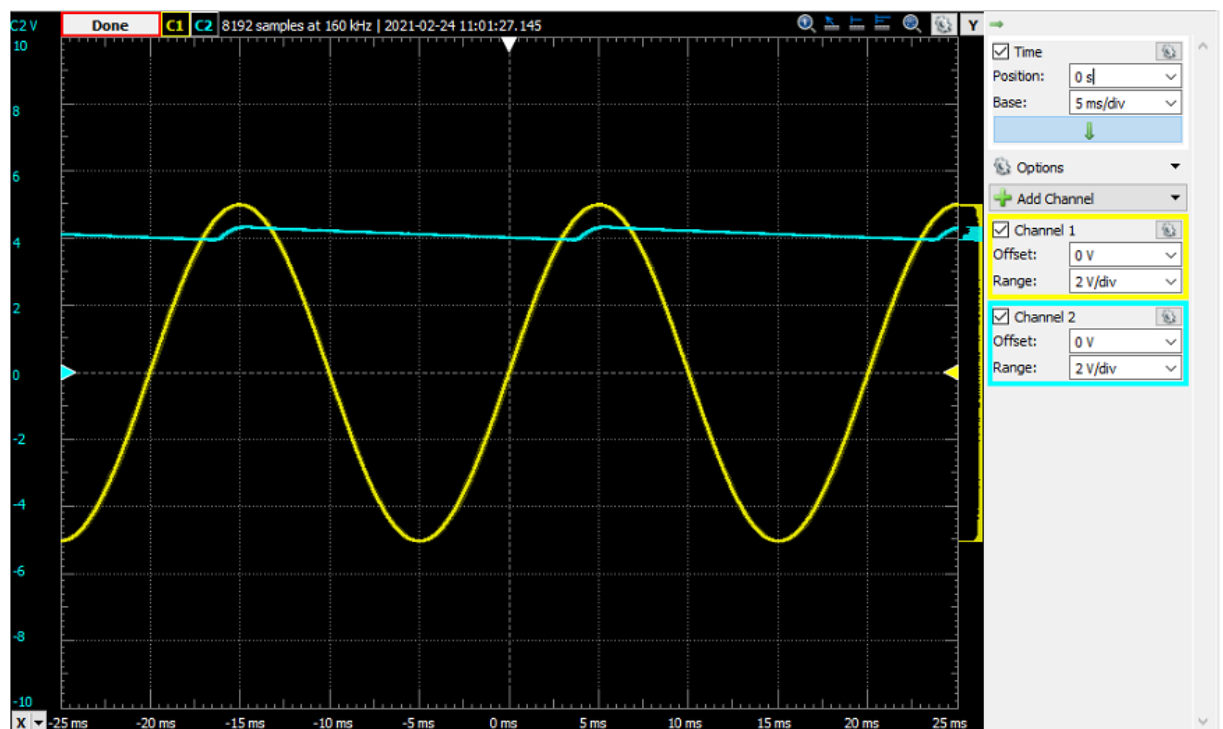
$$U_{R2} = I_{R2} / (C * f) = (144,65 * 10^{-6}) / (22 * 10^{-6} * 50) = 0,131 \text{ V}$$

Теоретичний розрахунок для R1: **0,383 V**  
Вимірювання в LTSpice для R1: **0,342 V**

Теоретичний розрахунок для R2: **0,131 V**  
Вимірювання в LTSpice для R2: **0,118 V**

1.6. Складіть схему однонапівперіодного випрямляча на макетній платі.

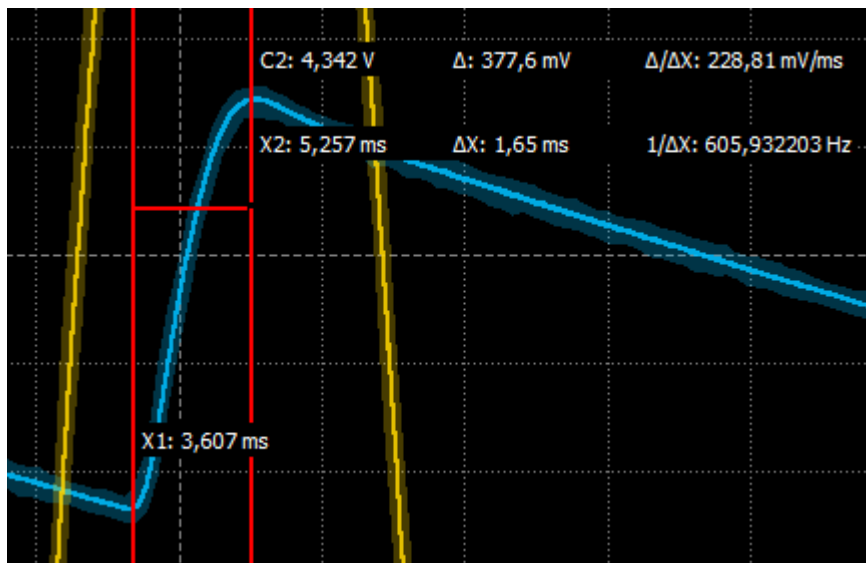
1.7. Замалюйте (сфотографуйте) форму напруги на резисторі навантаження;



1.8.3 одержаного малюнка визначте амплітуду пульсацій сигналу на резисторі навантаження;

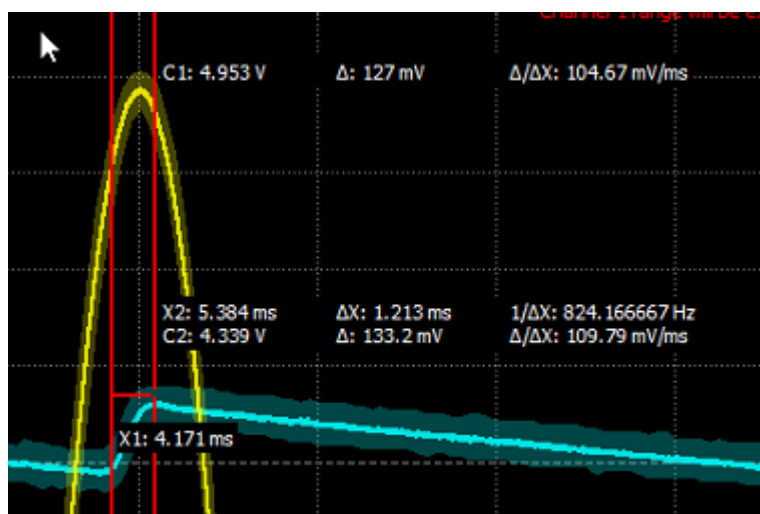
$R1 = 10\text{ k}\Omega$

Amplitude = 377.6 mV



$R1 = 10\text{ k}\Omega$

Amplitude = 127 mV



1.9. Знайдіть середній струм через навантаження. Знаючи як змінюється напруга на резисторі навантаження, за законом Ома знайдіть найбільший та найменший струм через навантаження за період та розрахуйте середнє значення цього струму.

Для R1:

$$I_{\max} = 4,342 / 10^4 = 434 \text{ uA}$$

$$I_{\min} = 4,342 - 0,3376 / 10^4 = 396 \text{ uA}$$

$$(434 * 10^{-6} + 396 * 10^{-6}) / 2 = \underline{415 \text{ uA}}$$

Для R2:

$$I_{\max} = 4,953 / 30 * 10^3 = 165 \text{ uA}$$

$$I_{\min} = 4,953 - 0,127 / 10^4 = 160 \text{ uA}$$

$$(165 * 10^{-6} + 160 * 10^{-6}) / 2 = \underline{162 \text{ uA}}$$

1.10. Порівняйте виміряні значення з одержаними під час симуляції;

Метод вимірювань	Амплітуда напруги на R1	Середнє значення струму на R1	Амплітуда напруги на R1	Середнє значення струму на R1
Моделювання в LTSpice	342,6 mV	421,65 uA	118,9 mV	144,65 uA
Розрахунок по формулі	383 mV	(421,65) uA	131 mV	(144,65) uA
Заміри через WaveForms	377,6 mV	415 uA	127 mV	162 uA

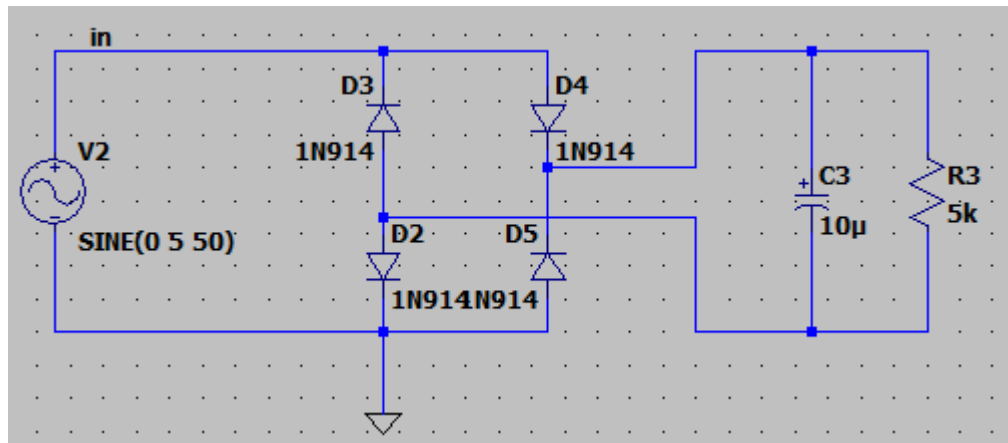
1.11. Порівняйте розраховану раніше та виміряну експериментально амплітуду пульсацій.

Отримані значення є гарними для масових вимірів, с приводу точності можу зауважити, очікував другого результату. Розрахунок по формулі виявився більш близький до вимірів на практиці з реальною схемою, хоча моделювання в LTSpice базується на математичному розрахунку сигналу тому мав вийти максимально точним.



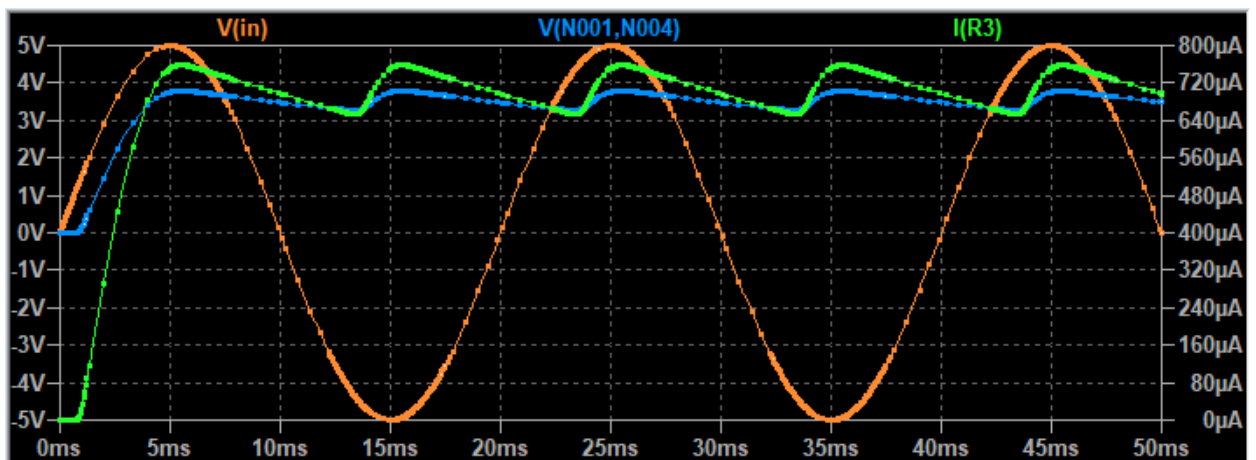
## 2. Дослідження двонапівперіодного випрямляча.

2.1. Побудуйте в LTSpice схему двонапівперіодного випрямляча. Джерело напруги – синусоїдальний гармонічний сигнал з частотою 50 Гц, амплітудою 5 В. Діоди кремнієві.

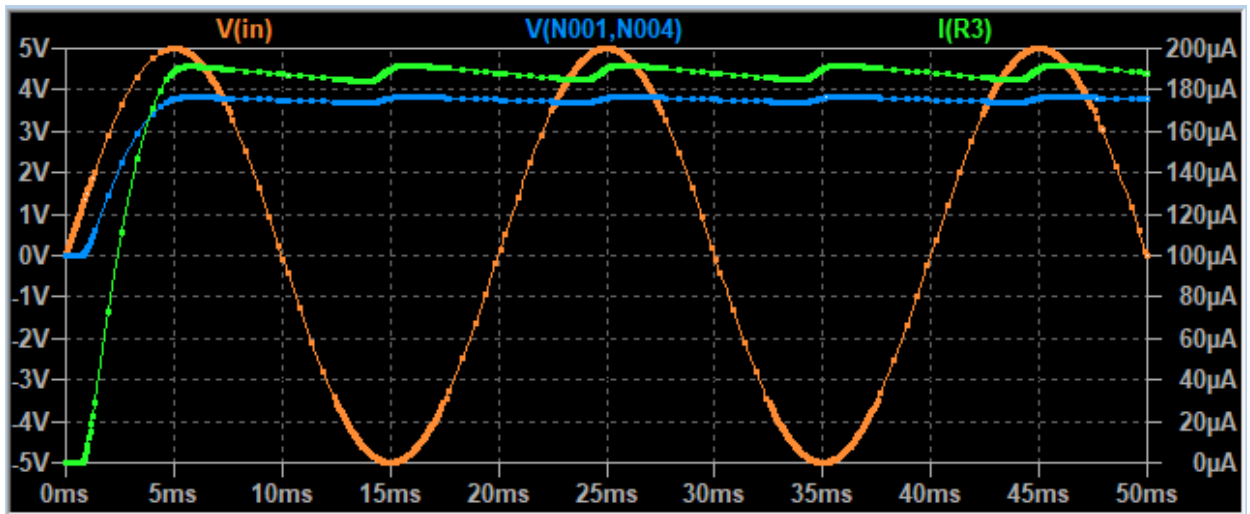


2.2. Перевірте, що напруга на резисторі та струм через нього змінюється по наступному закону. На графіку показана напруга джерела, напруга на резисторі та струм через нього. Зверніть увагу, що для визначення напруги на резисторі необхідно відняти напругу вузла верхнього контакту резистора від напруги вузла нижнього контакту резистора. Нагадаю, що вузлові напруги в LTSpice відраховуються від символу GND.

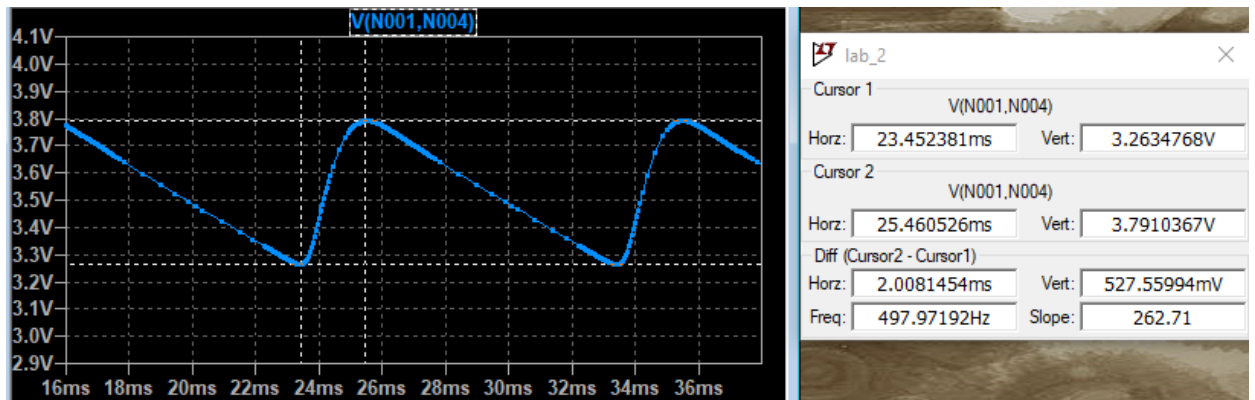
$$R1 = 5 \text{ k}\Omega$$



$R2 = 20\text{ k}\Omega$

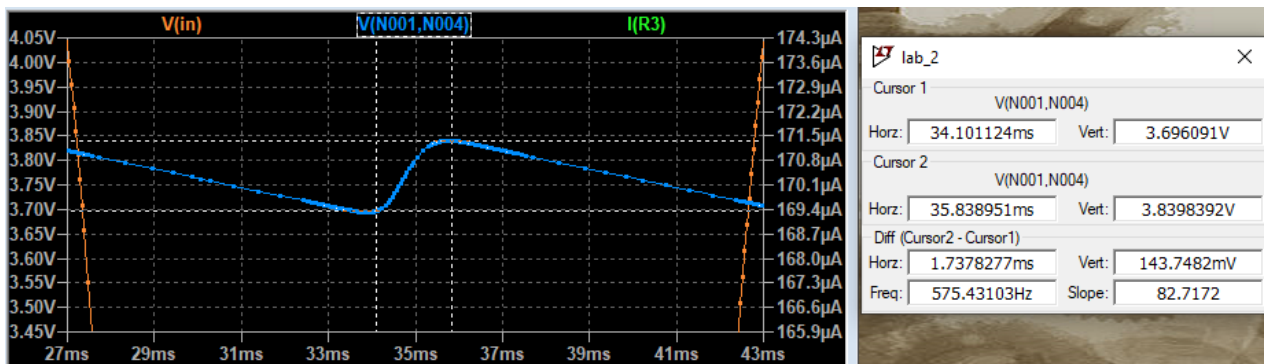


2.3. Знайдіть амплітуду пульсацій напруги на резисторі навантаження (dU).



$R1 = 5\text{ k}\Omega$

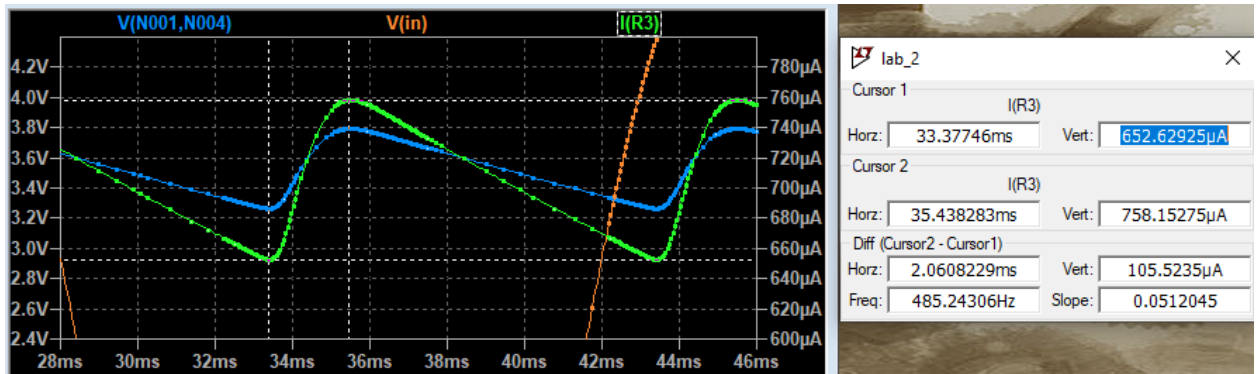
Amplitude = 527.5 mV



$R2 = 20\text{ k}\Omega$

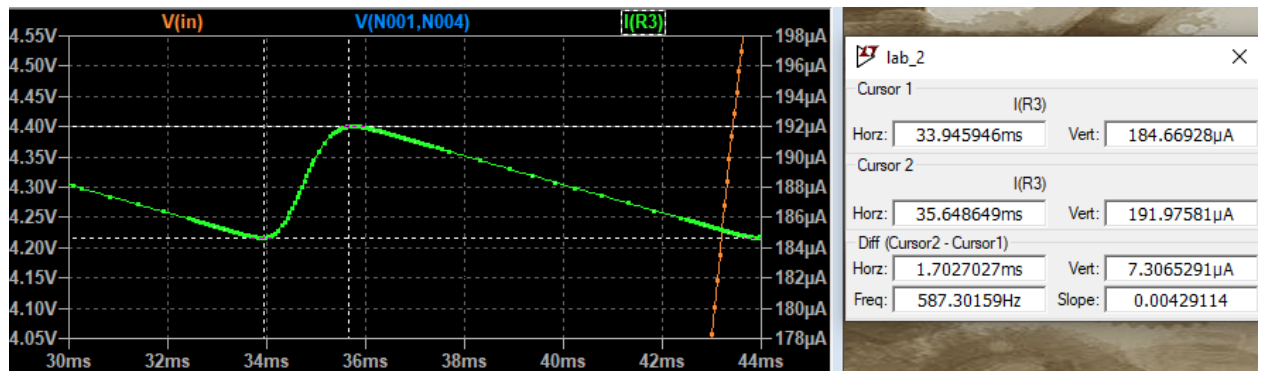
Amplitude = 142.7 mV

2.4. Знайдіть середнє значення струму через резистор навантаження ( $I_{av}$ ).



$$R1 = 5 \text{ k}\Omega$$

$$I_R = (758.15 + 652.62) / 2 = \underline{705.3 \text{ uA}}$$



$$R2 = 20 \text{ k}\Omega$$

$$I_R = (191.97 + 184.66) / 2 = \underline{188.3 \text{ uA}}$$

2.5. Перевірте формулу, як пов'язує амплітуду пульсацій напруги на навантаженні двонапівперіодного випрямляча ( $dU$ ), струм навантаження ( $I_{av}$ ), ємність конденсатора на виході двонапівперіодного випрямляча ( $C$ ) та частоту сигналу, що випрямляється ( $f$ ):

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

$$U_{R1} = I_{R1} / (C * f) = (705,3 * 10^{-6}) / (2 * 10^{-5} * 50) = \underline{705.3 \text{ mV}}$$

$$U_{R2} = I_{R2} / (C * f) = (188.3 * 10^{-6}) / (2 * 10^{-5} * 50) = \underline{188.3 \text{ mV}}$$

2.6. Складіть схему двонапівперіодного випрямляча на макетній платі;

2.7. Замалюйте (сфотографуйте) форму напруги на резисторі навантаження;

2.8. З одержаного малюнка визначте амплітуду пульсацій напруги на виході;

2.9. Знайдіть середній струм через навантаження. Знаючи як змінюється напруга на резисторі навантаження, за законом Ома знайдіть найбільший та найменший струм через навантаження за період та розрахуйте середнє значення цього струму.

2.10. Порівняйте виміряні значення з одержаними під час симуляції;

R	$I_R(\mu A)$ LT Spice	$U_R(mV)$ LT Spice	$U_R(mV)$ Розраховане
$R1 = 5\text{ k}\Omega$	705.3	527.5	705.3
$R2 = 20\text{ k}\Omega$	188.3	142.7	188.3

Так як експериментальних даних для цього пункту ми не отримували, ми можемо підвести підсумок, що отримані дані з симуляції і розрахунку є гарними, похибка достатньо помітна, але це лише із-за того, що були вибрані менші величини вимірювань, у вольтах похибка не суттєва.

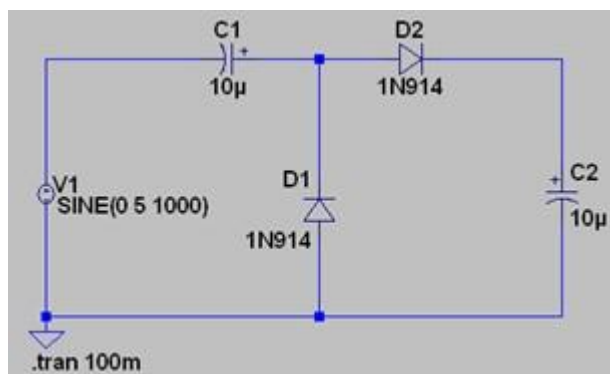
З цього розрахунку я засвоїв, що пульсація напруги тісно пов'язана з пульсацією струму і якщо взяти за центральну вісь середнє арифметичне мінімуму і максимуму пульсацій, осі напруги і струму мають бути на одній прямій. Таким чином, знаючи пульсації напруги, можемо розрахувати струм.

2.11. Порівняйте розраховану раніше та виміряну експериментально амплітуду пульсацій.

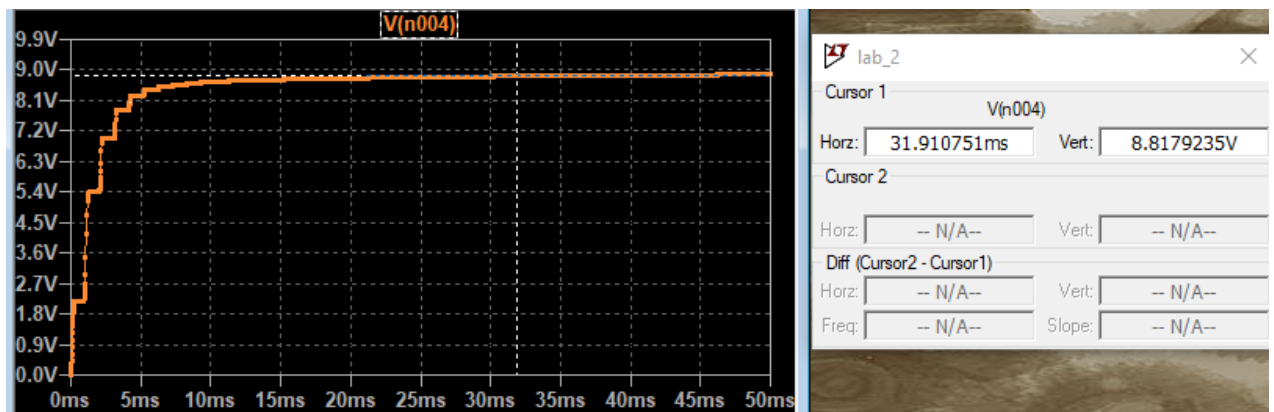
2.12. Виконайте попередні пункти також для схеми з опором резистору навантаження  $20\text{ k}\Omega$

### 3. Дослідження подвоювача напруги.

3.1. Складіть в LTSpice схему подвоювача напруги. Джерело напруги на вході повинно видавати гармонічний сигнал з частотою 1 КГц та амплітудою 5 В.

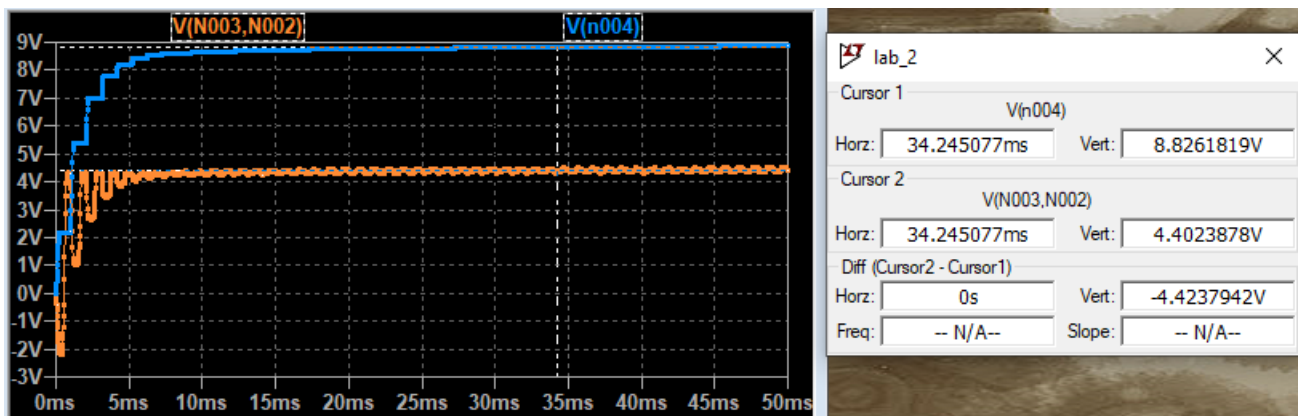


3.2. Перевірте, що форма напруги на виході подвоювача напруги (конденсатор C2) має наступну форму та є постійною напругою 8.8 В (ця напруга на виході стане постійною через певний час після ввімкнення живлення).



3.3. Чому напруга на виході подвоювача приймає значення саме 8.8 В, а не 10 В?

Схема являє собою не симетричний подвоювач напруги, коли діод D1 відкривається, конденсатор C1 заряджається через діод до напруги джерела, але в реальних вимірювання є просідання напруги і на виході маємо менше значення яке наведено нижче (4.4V).



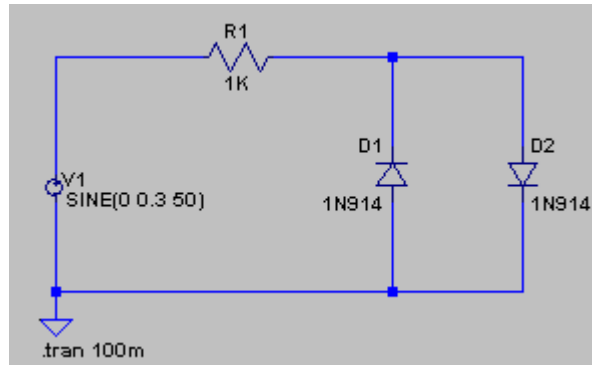
Конденсатор C1 зберігає свою напругу, діод D1 залишається відкритим, а діод D2 запобігає розряду конденсатора C2 напруга якого є суму напруг на конденсаторах. Таким чином отримуємо  $4.4 + 4.4 = 8.8V$ , падіння напруги виникає через діод, якщо взяти що діод ідеальний то напруга на виході мала бути 10V.

3.4. Складіть схему подвоювача напруги на макетній платі.

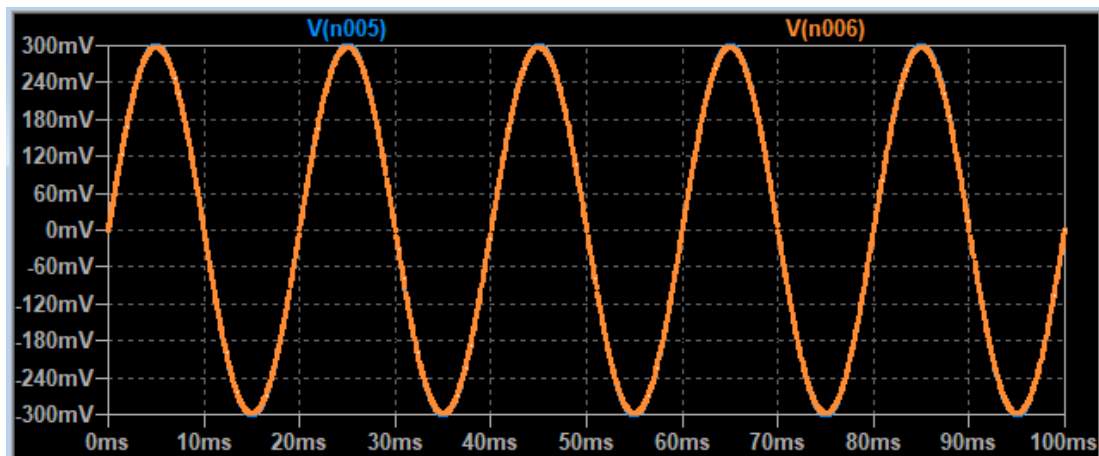
3.5. Виміряйте напругу на виході та порівняйте зі значеннями одержаними під час симуляції.

#### 4. Дослідження обмежувача напруги.

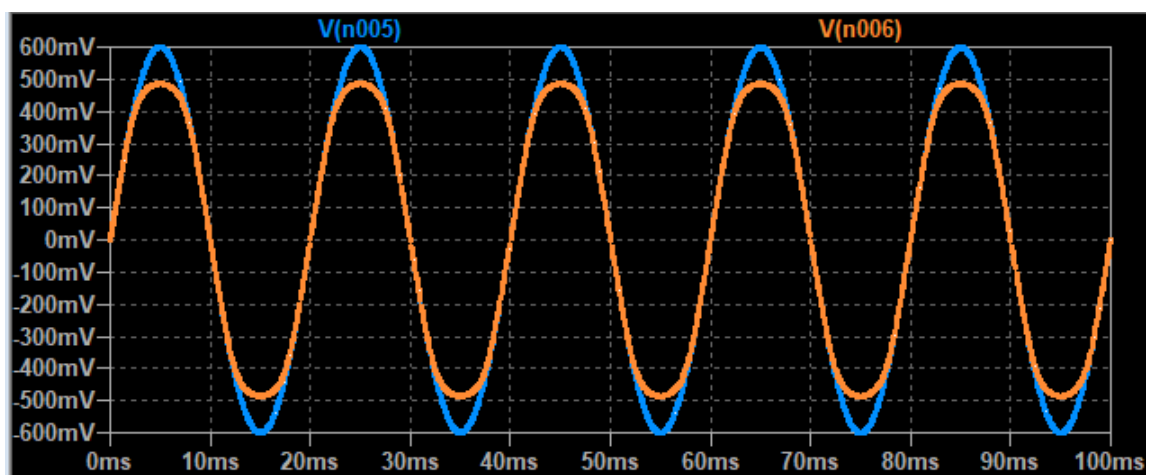
4.1. Складіть схему обмежувача напруги на діодах в LTSpice.



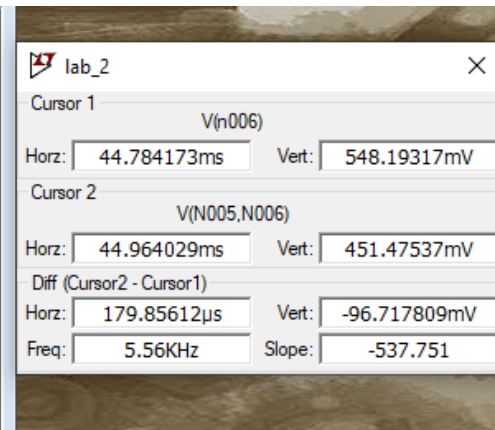
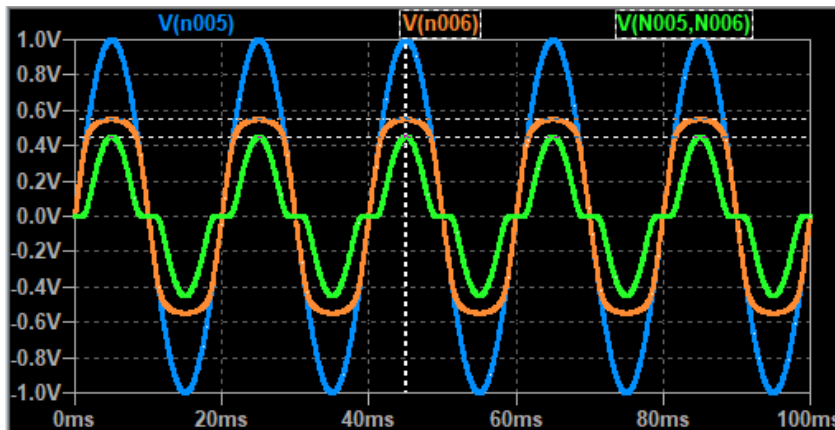
4.2. Перевірте, що для амплітуди вхідного синусоїдального сигналу 0.3 В (частота 50 Гц) сигнал на виході схеми буде повторювати вхідний сигнал:



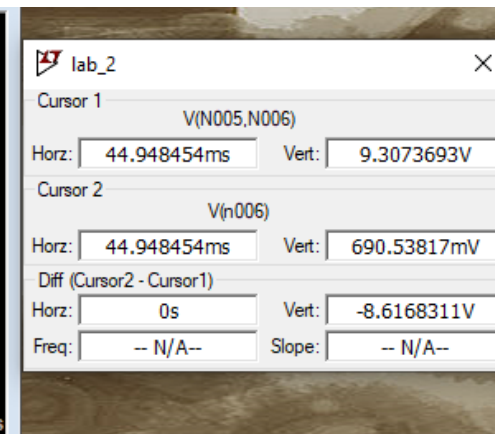
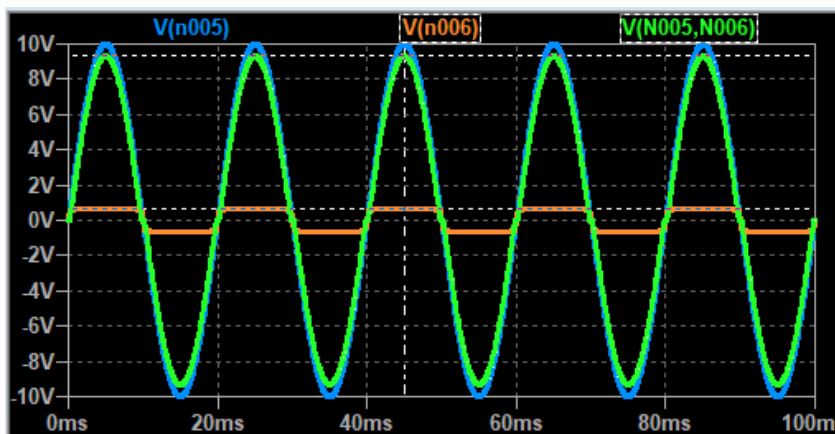
4.3. Перевірте, що для амплітуди вхідного синусоїдального сигналу більшої ніж 0.6 В (наприклад, 1.5 В) сигнал на виході схеми не буде виходити за межі -0.6 В ... 0.6 В:



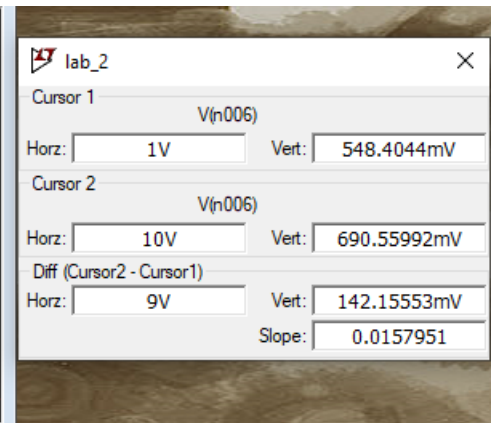
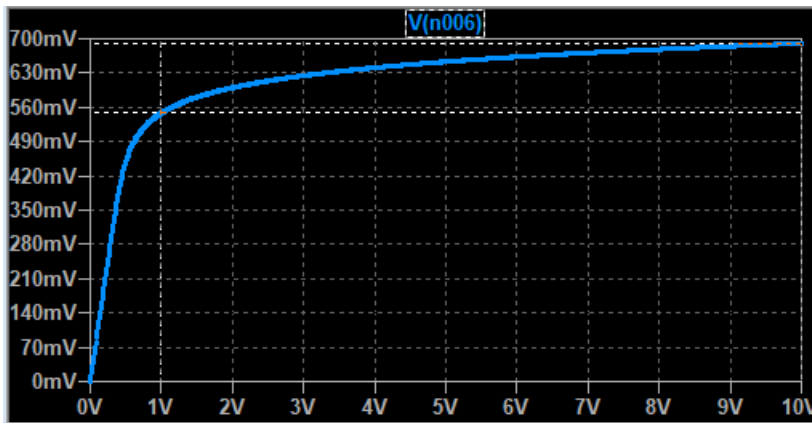
4.4. Поясніть принцип роботи даної схеми. На якому компоненті буде виділятися решта вхідної напруги? Чому?



Принцип роботи схеми достатньо простий, на момент подачі напруги 0.3V діоди D1 та D2 ще не встигають відкритись тому напруга не виділяється через резистор R1. Коли напруга на діодах перевищує 0.6V діоди відкриваються і утворюють коло де сигнал має стікати на землю, напруга виділяється на резисторі, але частина сигналу просідає на діодах тому напруга на виході(на діоді) буде змінюватись поступово. На скріншоті вище можемо побачити, що напруга на виході є відкриттям діода, а вся інша напруга виділяється на резисторі, по мірі збільшення сигналу на резисторі буде виділятися все більше і більше напруги.



Додатково я знайшов можливість промодельовати як змінюється напруга на діодах при підвищенні напруги на вході, тут добре видно яка напруга просідання. На горизонтальній прямій підвищення напруги джерела, а на вертикалі напруга на діодах.



### Висновок

На цій лабораторній роботі я детально дослідив принцип роботи діоду, випрямляча напруги в різних варіантах збірки та подвоювач напруги. Експериментальним та теоретичних розрахунком звірив принцип роботи, а також підтвердив, що робота виконана правильно. В підсумку я добре засвоїв як можна використовувати нелінійні компоненти в схемі, різних ситуаціях, як характеристика діоду може спрощувати проектування девайсів. Розібрався як працює подвоювач напруги і діодний обмежувач, детально проаналізував дані вимірювань LT Spice.



## Контрольні запитання

1. В чому полягають вентильні властивості напівпровідникового діода?
2. Яка напруга виділяється на напівпровідниковому кремнієвому діоді при його прямому зміщенні?
3. Яка напруга виділяється на напівпровідниковому германієвому діоді при його прямому зміщенні?
4. Яка напруга виділяється на напівпровідниковому діоді Шотткі при його прямому зміщенні?
5. Що таке максимальна напруга зворотного зміщення напівпровідникового діода? Що відбудеться, якщо до діода прикласти зворотну напругу більшу ніж це значення?
6. Що таке максимальний прямий струм напівпровідникового діода? Що буде. Якщо через діод протікатиме струм більший за це значення?
7. Намалюйте вольт-амперну характеристику напівпровідникового діода.
8. Напишіть формулу вольт-амперної характеристики напівпровідникового діода.
9. Що таке зворотній струм напівпровідникового діода?
10. Поясніть принцип роботи однонапівперіодного випрямляча.
11. Поясніть принцип роботи двонапівперіодного випрямляча.
12. Намалюйте схему однонапівперіодного випрямляча, а також графіки напруг на вході і виході схеми. Як зміниться графік напруги на виході, якщо прибрати згладжуючий конденсатор?
13. Намалюйте схему двонапівперіодного випрямляча, а також графіки напруг на вході і виході схеми. Як зміниться графік напруги на виході, якщо прибрати згладжуючий конденсатор?
14. Від яких параметрів залежить амплітуда пульсацій напруги на виході однонапівперіодного випрямляча? Як зменшити амплітуду пульсацій?
15. Від яких параметрів залежить амплітуда пульсацій напруги на виході двонапівперіодного випрямляча? Як зменшити амплітуду пульсацій?
16. Виведіть формулу розрахунку ємності згладжуючого конденсатору на виході однонапівперіодного випрямляча в залежності від необхідної амплітуди пульсацій.
17. Виведіть формулу розрахунку ємності згладжуючого конденсатору на виході двонапівперіодного випрямляча в залежності від необхідної амплітуди пульсацій.
18. Поясніть принцип роботи подвоювача напруги.

19. Поясніть принцип роботи обмежувачів напруги на діодах.
20. Де застосовуються обмежувачі напруги на діодах?