

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”

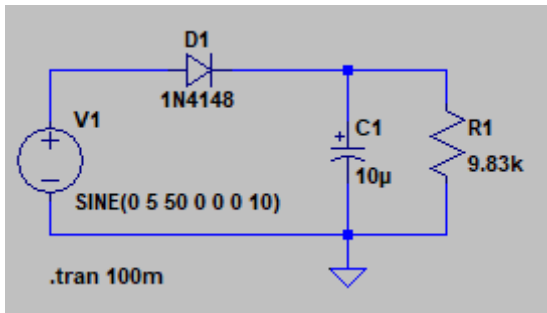
Виконав:
студент групи ДК-61
Сільчук В.І.

Перевірив:
доц. Короткий Є. В.

Так як на практиці були використані резистори 9.83 кОм та 19.8 кОм, а діоди – 1N4148, в симуляціях схем лабораторної роботи використовувались ці ж компоненти.

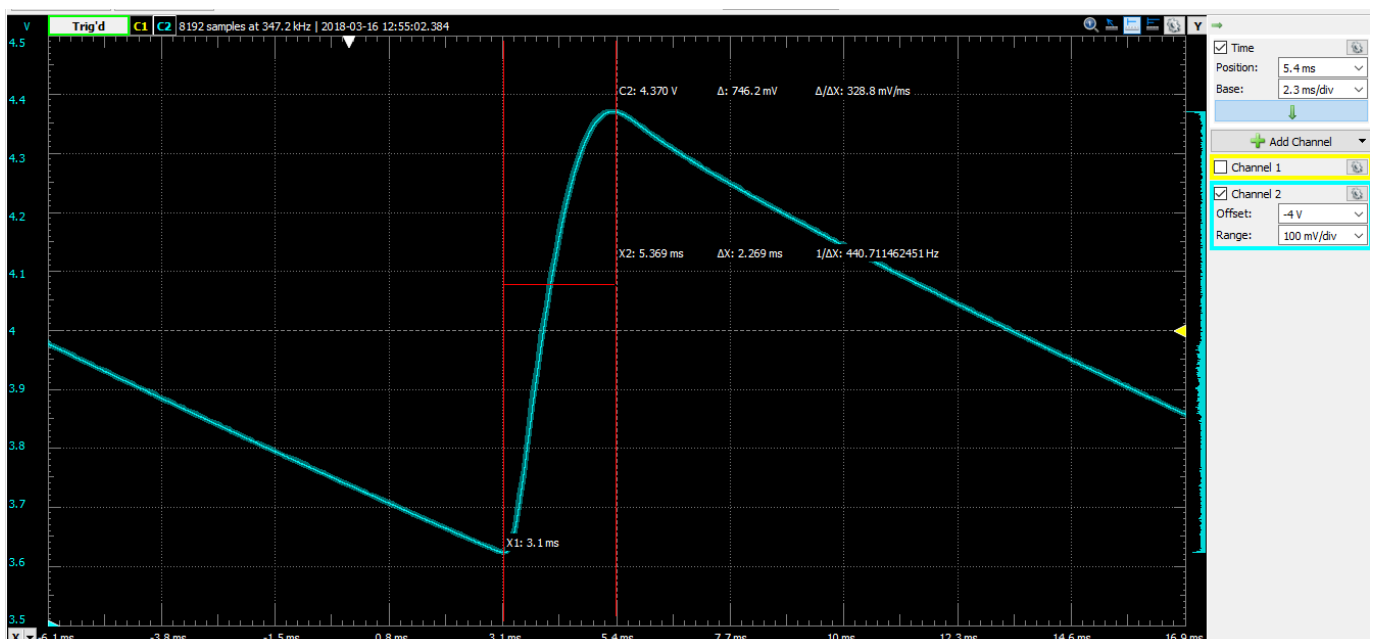
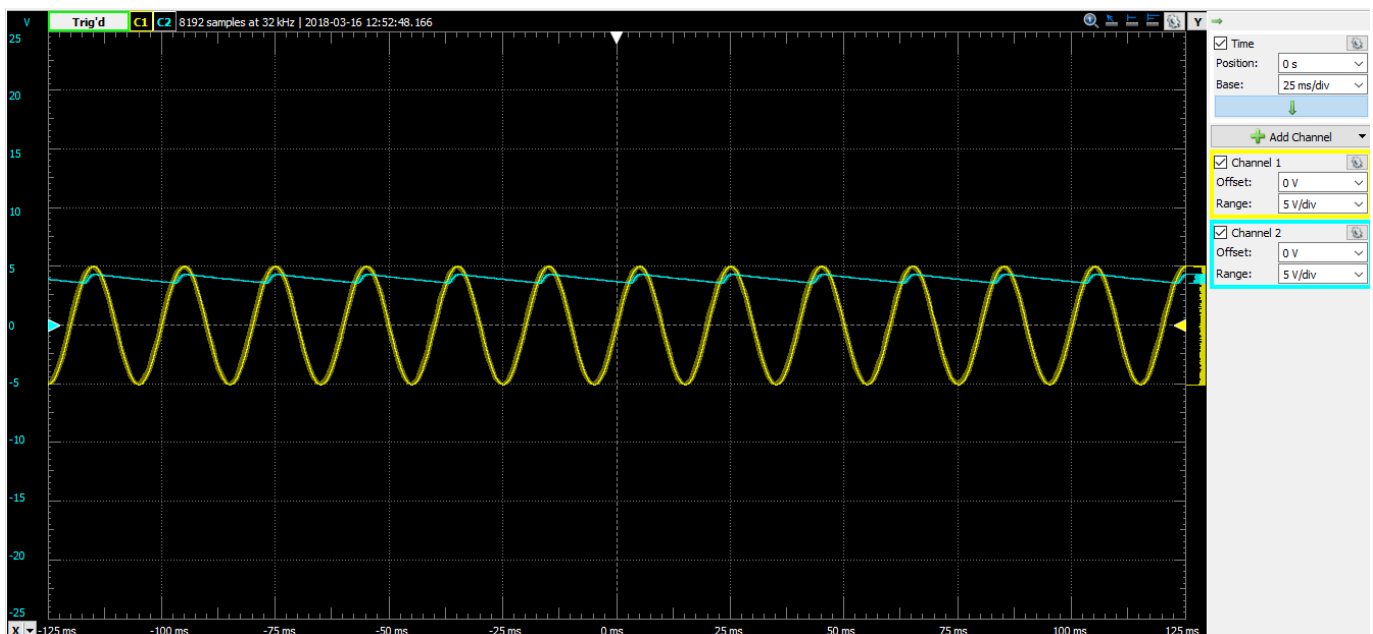
1. Дослідження однонапівперіодного випрямляча.

Був побудований однонапівперіодний випрямляч, за наступною схемою:



Експериментальні результати:

1) $R1 = R_{\text{навантаження}} = 9.83 \text{ кОм}$



Амплітуда пульсацій dU – різниця між найбільшим та найменшим значеннями напруги на резисторі за період.

Як бачимо, амплітуда пульсацій напруги на резисторі:

$$dU_{\text{експ}} = 746.2 \text{ (мВ)} = 0.7462 \text{ (В)}$$

Середнє значення струму через навантаження – середнє значення найбільшого та найменшого струму через навантаження за період.

Середній струм через навантаження:

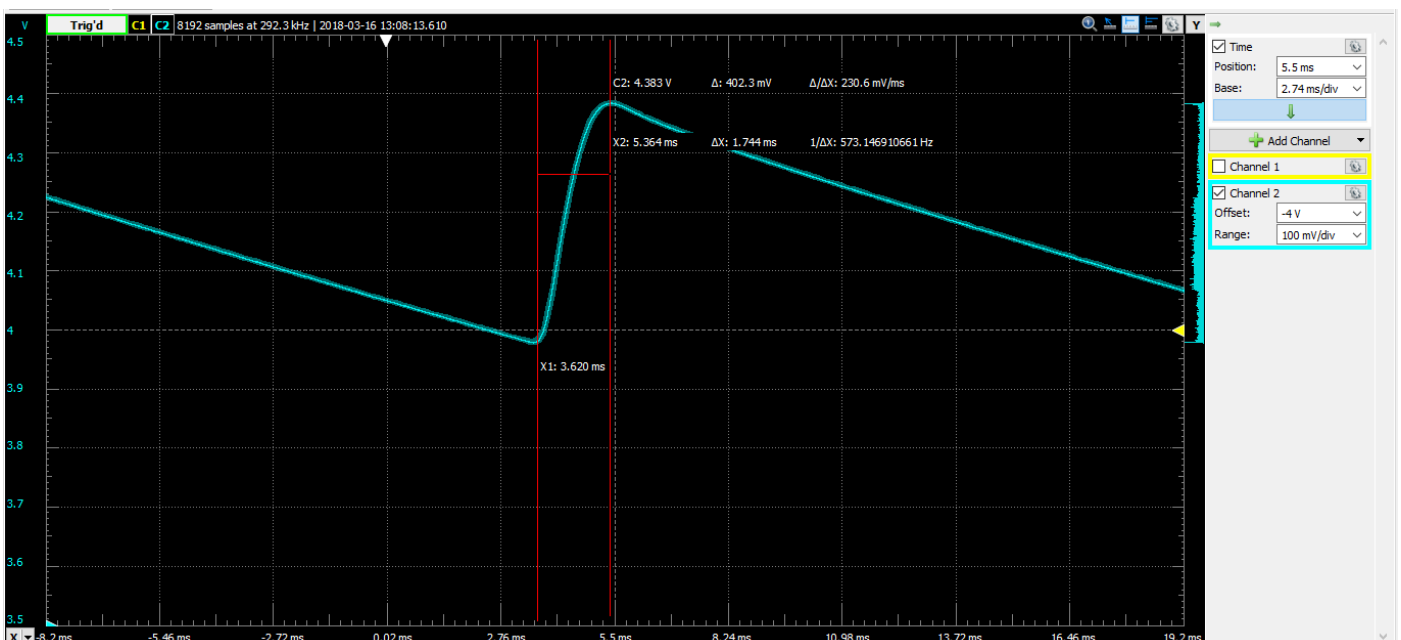
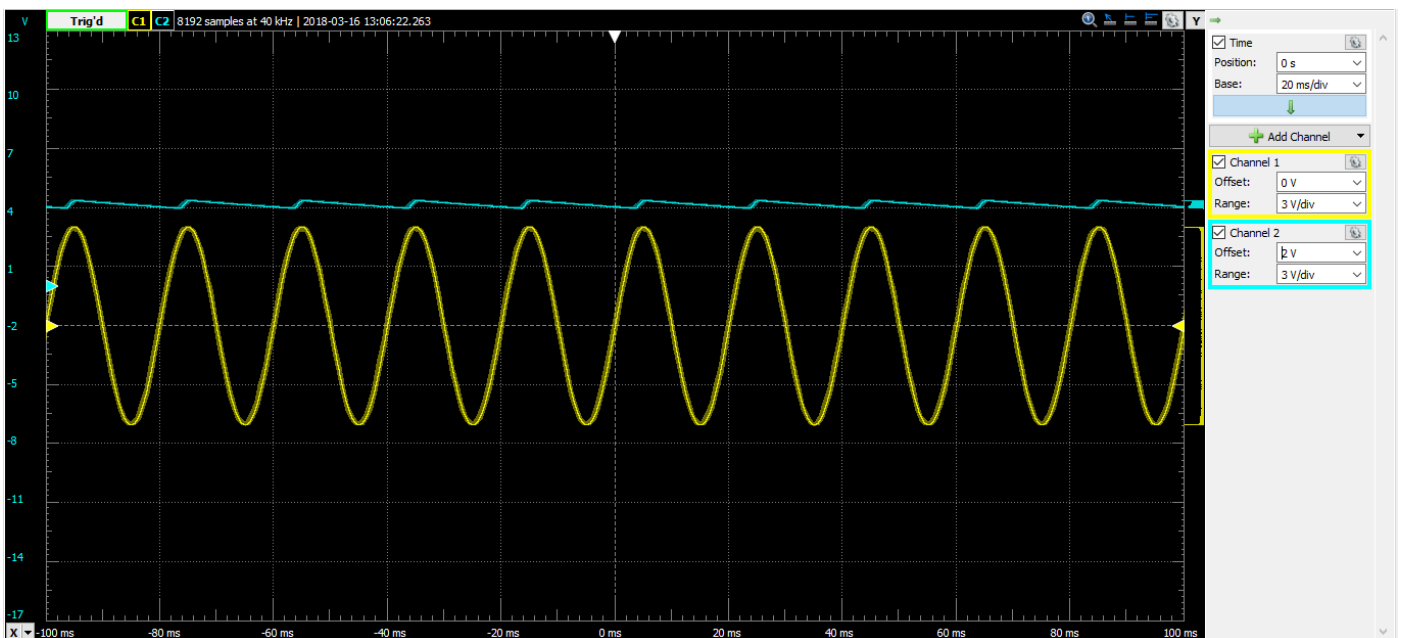
$$I_{\text{ав}} = (4.37/9830 + 3.624/9830) / 2 = 406.62 \text{ (мкА)}$$

Перевіряємо формулу, яка пов'язує dU , $I_{\text{ав}}$, C , f :

$$dU_{\text{теор}} = I_{\text{ав}} / (C \cdot f)$$

$$dU_{\text{експ, теор}} = 406.62 \cdot 10^{-6} / (10 \cdot 10^{-6} \cdot 50) = 0.8242 \text{ (В)} = 813.2 \text{ (мВ)} = 0.8132 \text{ (В)}$$

2) $R_{\text{навантаження}} = 19.8 \text{ кОм}$



Як бачимо, амплітуда пульсацій напруги на резисторі:

$$dU_{\text{експ}} = 402.3 \text{ (мВ)} = 0.4023 \text{ (В)}$$

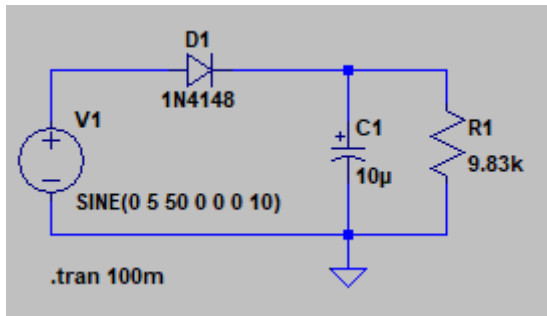
Середній струм через навантаження:

$$I_{\text{ав}} = (4.383/19800 + 3.981/19800) / 2 = 211.2 \text{ (мкА)}$$

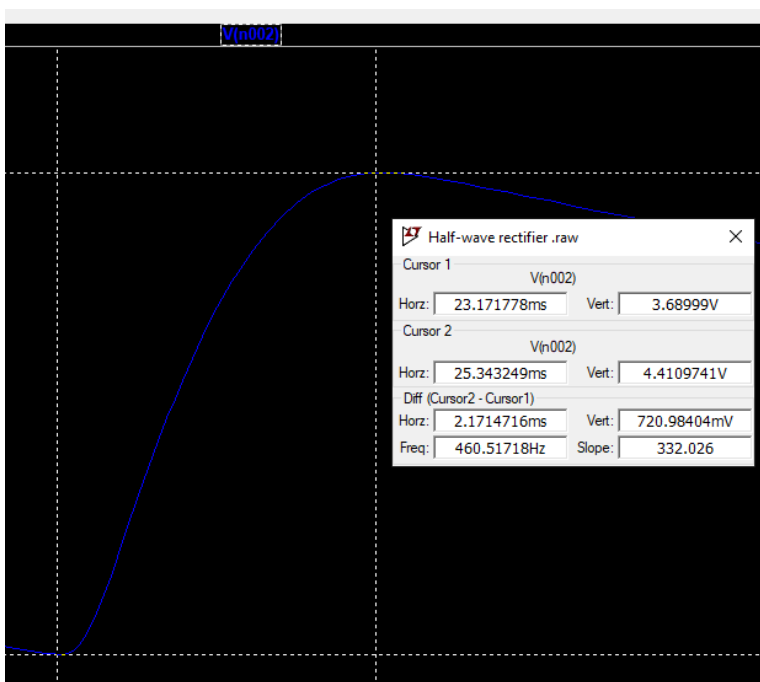
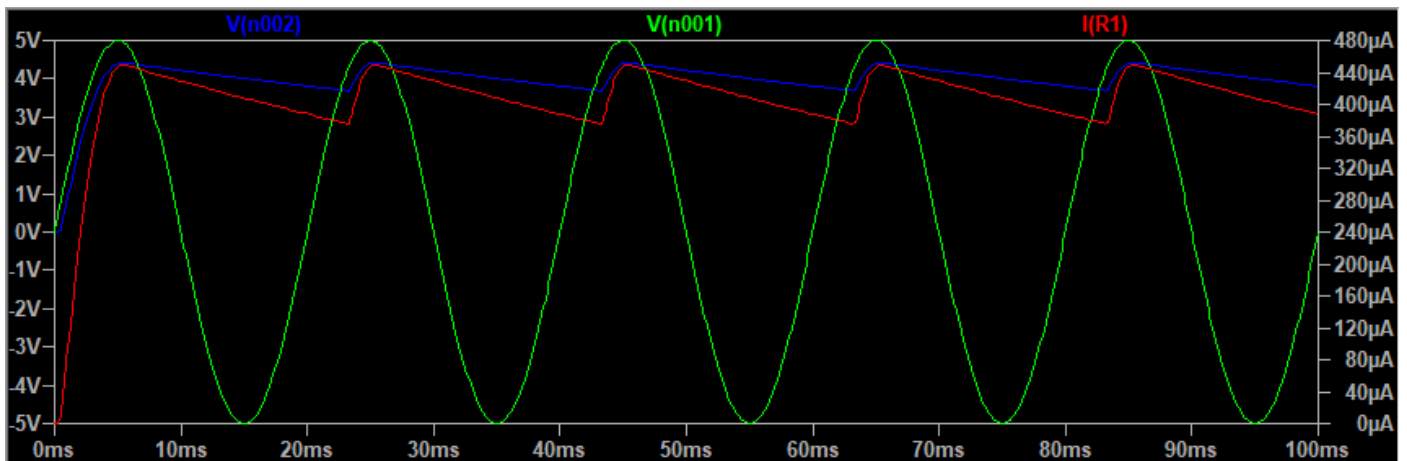
$$dU_{\text{експ,теор}} = 211.2 \cdot 10^{-6} / (10 \cdot 10^{-6} \cdot 50) = 0.4224 \text{ (В)} = 422.4 \text{ (мВ)}$$

Симуляція в LTSpice:

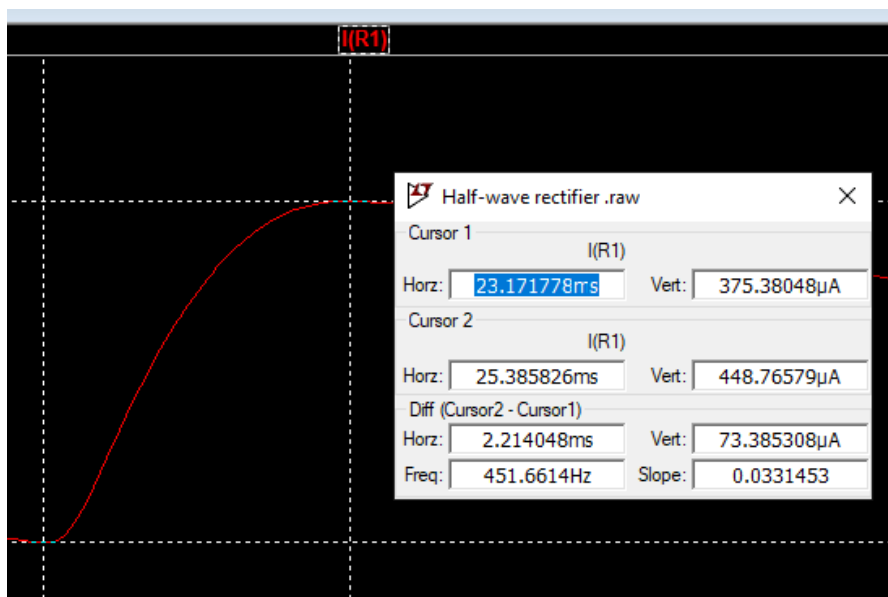
1) $R_{\text{навантаження}} = 9.83 \text{ кОм}$



Напруга джерела, напруга на резисторі та струм через резистор:



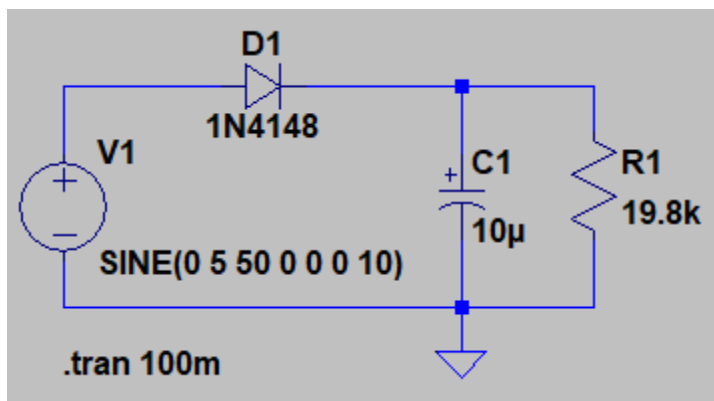
$$dU_{\text{симул}} = 4.411 - 3.690 = 0.721 \text{ (В)} = 721 \text{ (мВ)}$$



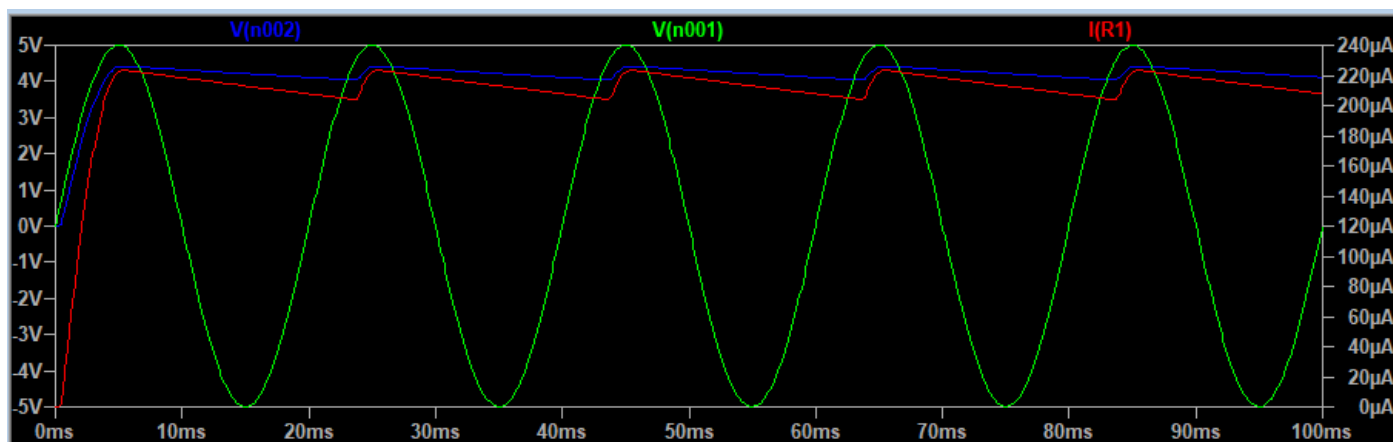
$$I_{av} = (375.4 + 448.8)/2 = 824.2/2 = 412.1 \text{ (мкА)} = 412.1 \cdot 10^{-6} \text{ (А)}$$

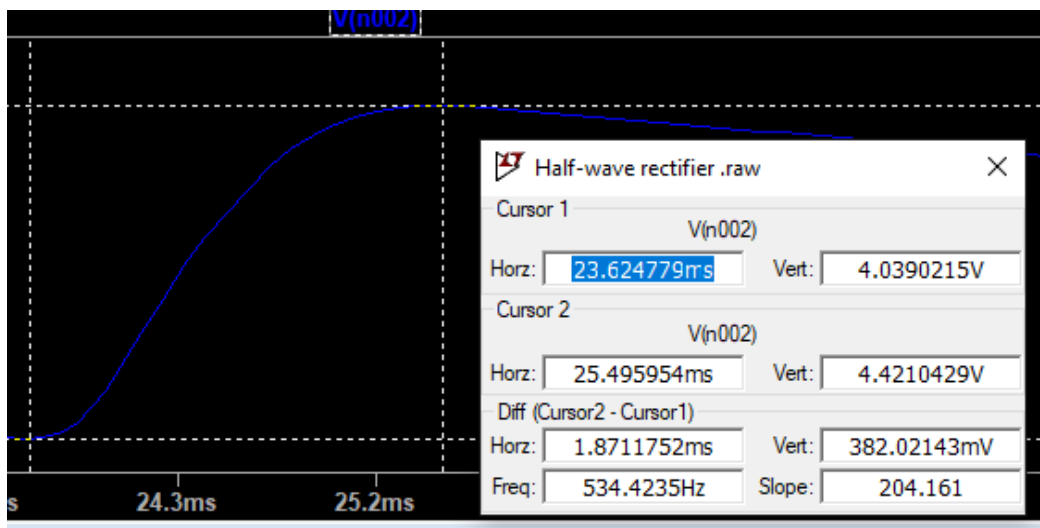
$$dU_{\text{симул, теор}} = I_{av} / (C \cdot f) = 412.1 \cdot 10^{-6} / (10 \cdot 10^{-6} \cdot 50) = 0.8242 \text{ (В)} = 824.2 \text{ (мВ)}$$

2) $R_{\text{навантаження}} = 19.8 \text{ кОм}$

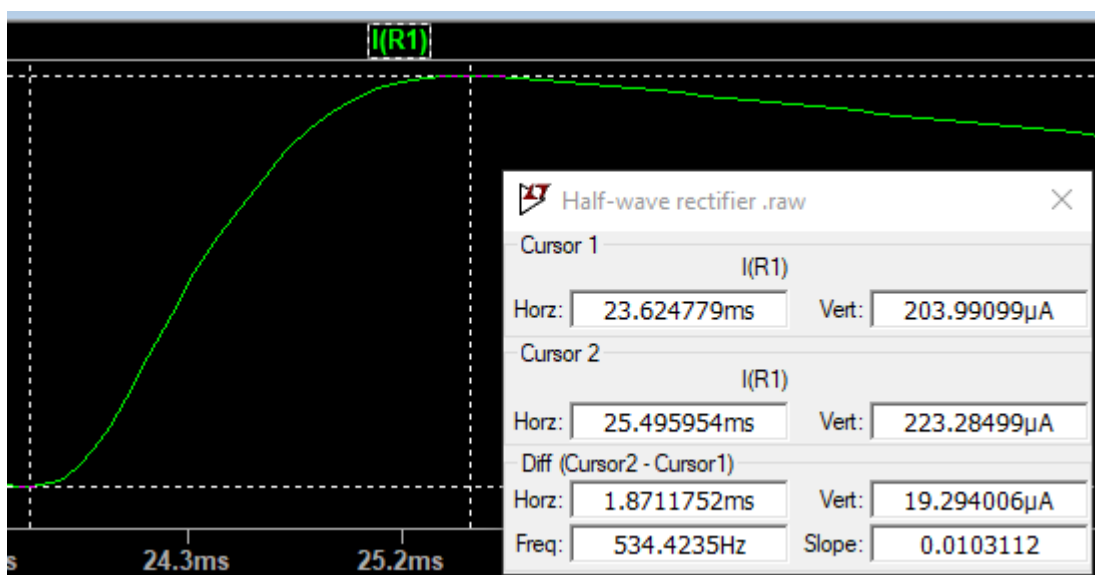


Напруга джерела, напруга на резисторі та струм через резистор:





$$dU_{\text{симул}} = 4.42 - 4.04 = 0.38 \text{ (В)} = 380 \text{ (мВ)}$$



$$I_{\text{ав}} = (223.3 + 204) / 2 = 427.3 / 2 = 213.65 \text{ (мкА)} = 213.65 * 10^{-6} \text{ (А)}$$

$$dU_{\text{симул, теор}} = I_{\text{ав}} / (C * f) = 213.65 * 10^{-6} / (10 * 10^{-6} * 50) = 0.427 \text{ (В)} = 427 \text{ (мВ)}$$

Висновки:

1) $R_H = 9.8 \text{ кОм}$

dU	Виміряне, В	За формулою, В
Експеримент	0.7462	0.8132
Симуляція	0.721	0.8242

Вважаючи значення, отримане при симуляції за точне значення, розрахуємо похибку між цим значенням та експериментально отриманим:

$$\delta = ((dU_{\text{симул}} - dU_{\text{експ}}) / dU_{\text{симул}}) * 100\% = |(0.721 - 0.7462) / 0.721| * 100\% = 3.5\%$$

Похибка між експериментальним значенням з осцилограм та значенням dU, розрахованим за формулою, для $I_{\text{ав}}$, отриманого експериментально:

$$\delta = |((dU_{\text{експ, теор}} - dU_{\text{експ}}) / dU_{\text{експ, теор}}) * 100\% = 8.2\%$$

Похибка між значенням при симуляції та значенням dU, розрахованим за формулою, для I_{av}, отриманого при симуляції:

$$\delta = |((dU_{\text{симул, теор}} - dU_{\text{симул}}) / dU_{\text{симул, теор}}) | * 100\% = 12.52\%$$

2) R_н = 19.8 кОм

dU	Виміряне, В	За формулою, В
Експеримент	0.4023	0.4224
Симуляція	0.38	0.427

Вважаючи значення, отримане при симуляції за точне значення, розрахуємо похибку між цим значенням та експериментально отриманим:

$$\delta = |((dU_{\text{симул}} - dU_{\text{експ}}) / dU_{\text{симул}}) | * 100\% = 5.9\%$$

Похибка між експериментальним значенням з осцилограм та значенням dU, розрахованим за формулою:

$$\delta = |((dU_{\text{експ, теор}} - dU_{\text{експ}}) / dU_{\text{експ, теор}}) | * 100\% = 4.8\%$$

Похибка між значенням dU при симуляції та значенням dU, розрахованим за формулою:

$$\delta = |((dU_{\text{симул, теор}} - dU_{\text{симул}}) / dU_{\text{симул, теор}}) | * 100\% = 11\%$$

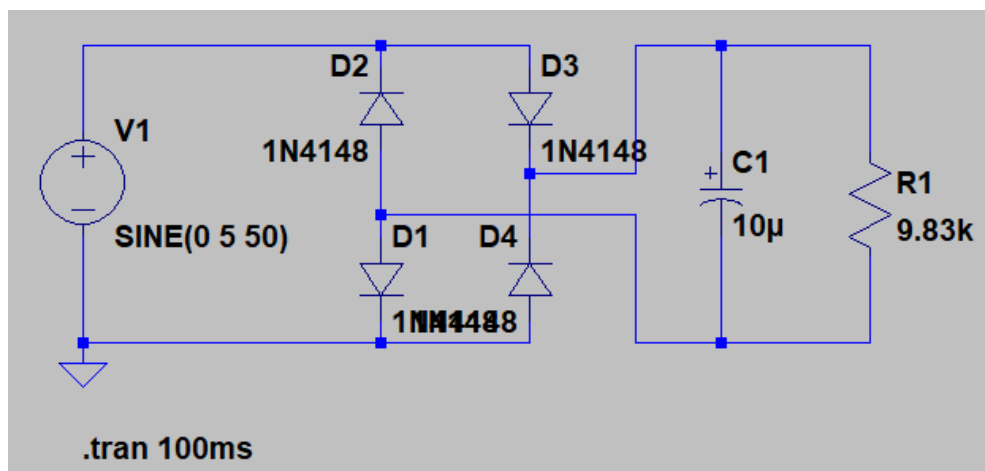
Можна бачити, що для обох значень опорів, похибки між експериментально отриманим значенням dU та значенням, отриманим при симуляції, доволі малі – всього 3-5%.

Також не дуже високі значення похибок отримані як при порівнюванні експериментально отриманих значень зі значеннями, отриманими за допомогою формули $dU = I_{av} / (C * f)$, так і при порівнюванні значень, отриманих при симуляції, зі значеннями, отриманими при розрахунках за цією формулою.

Було перевірено домножування отриманих за формулою значень dU_{теор} на $\frac{3}{4}$ для врахування часу розряду конденсатора, але суттєвого покращення результатів в цьому випадку це не дало, тому я зупинився на звичайному вигляді формули для dU при розрахунках.

2. Дослідження двонапівперіодного випрямляча.

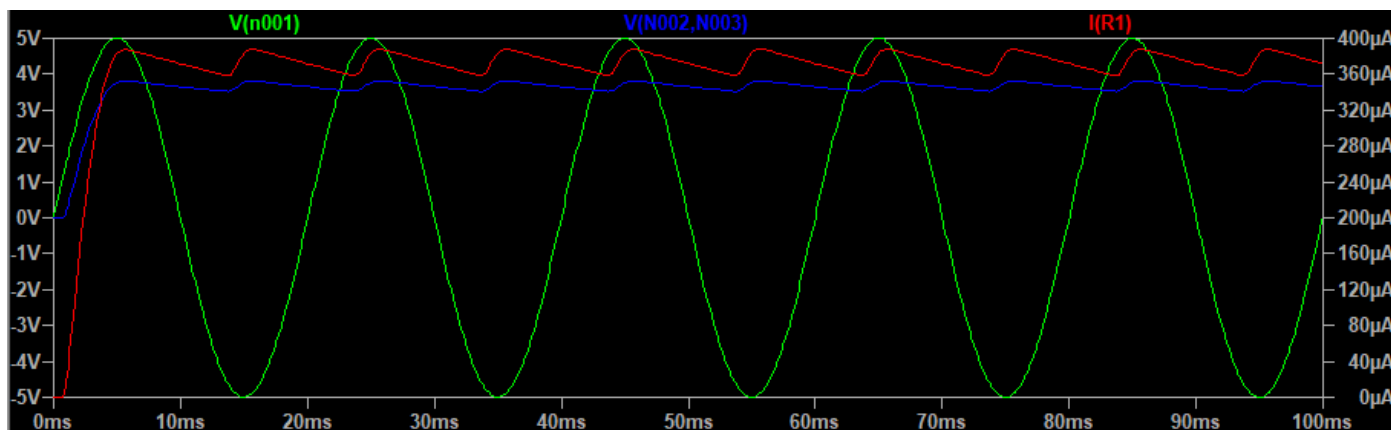
Був складений двонапівперіодний випрямляч за наступною схемою:



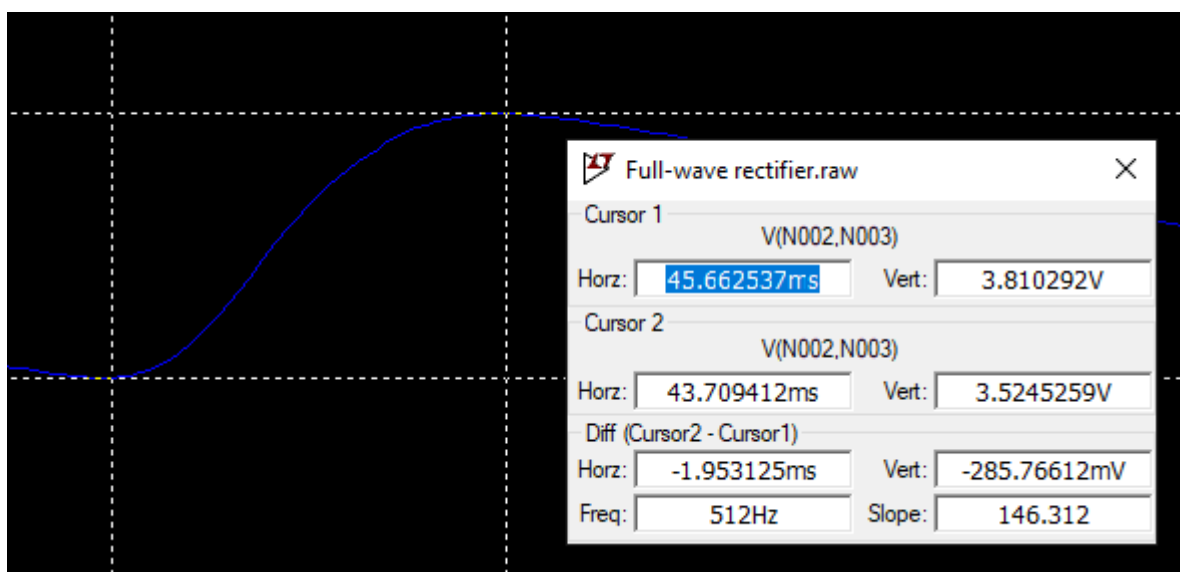
Симуляція в LTSpice:

1) $R_{\text{навантаження}} = R1 = 9.83 \text{ кОм}$

Напруга джерела, напруга на резисторі, струм через резистор:

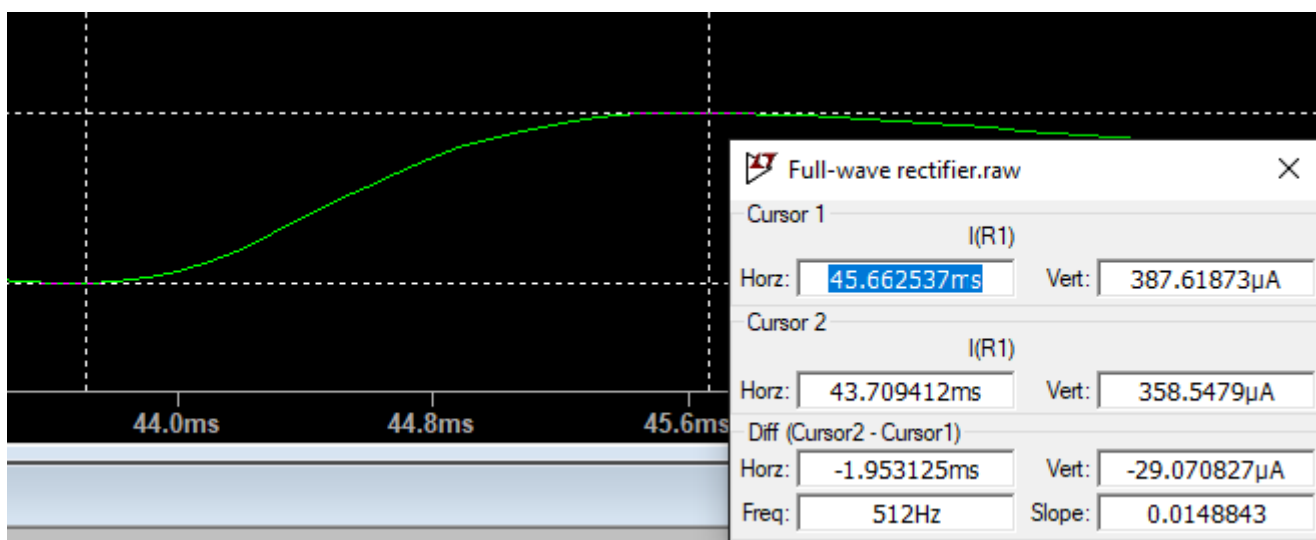


Шукаємо амплітуду пульсацій напруги на резисторі навантаження dU :



$$dU_{\text{симул}} = 3.81 - 3.52 = 0.29 \text{ (В)}$$

Шукаємо середнє значення струму через резистор навантаження $I_{\text{ав}}$:



$$I_{\text{ав}} = (387.6 \cdot 10^{-6} + 358.5 \cdot 10^{-6}) / 2 = 373.05 \cdot 10^{-6} \text{ (A)} = 373.05 \text{ (мкА)}$$

Перевірка формули, яка пов'язує амплітуду пульсацій на навантаженні двонапівперіодного випрямляча dU , струм навантаження I_{av} , ємність конденсатора на виході випрямляча C та частоту сигналу, який випрямляється f :

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

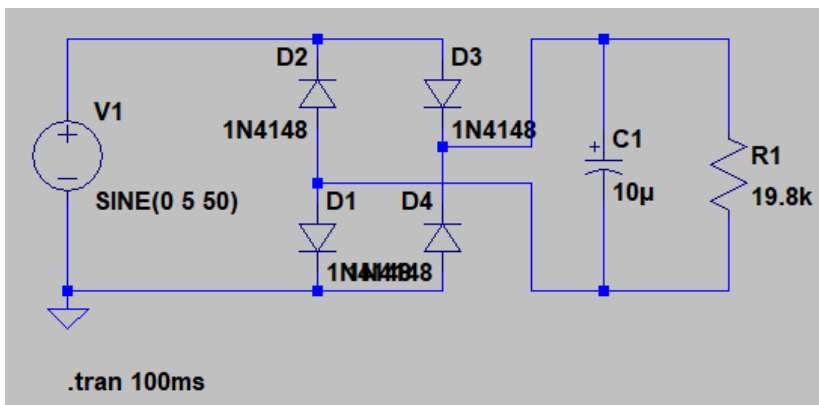
$$dU_{\text{симул, теор}} = 373.05 * 10^{-6} / (2 * 10 * 10^{-6} * 50) = 0.37305 \text{ (В)}$$

Домножимо на $\frac{3}{4}$, щоб врахувати час розряду конденсатора:

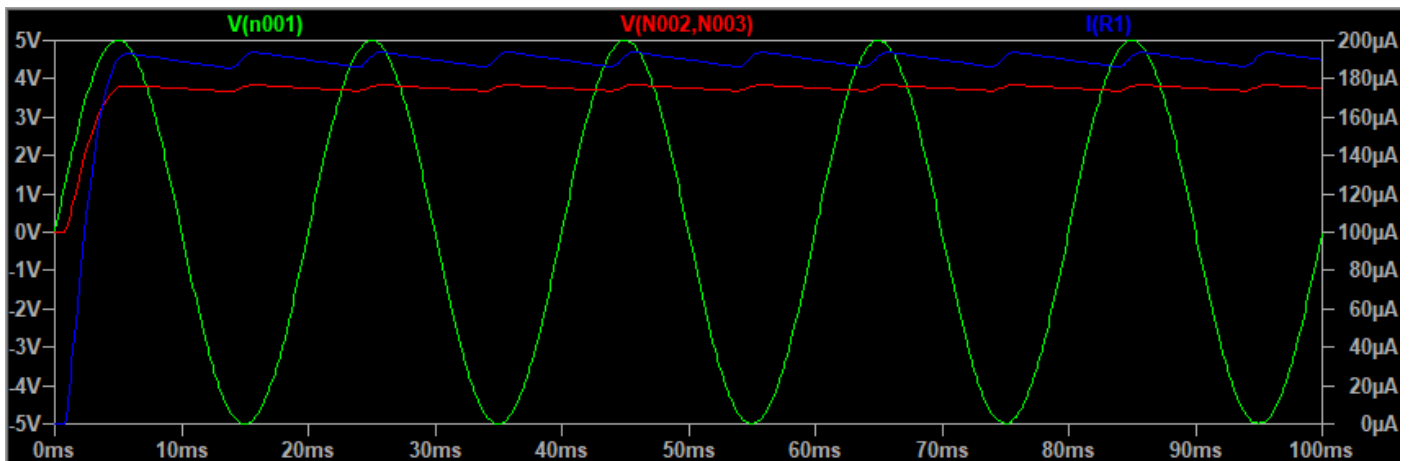
$$dU_{\text{симул, теор}} = 0.37305 * \frac{3}{4} = 0.28 \text{ (В)}$$

Як видно, результат став значно більш схожий на отриманий в симуляції.

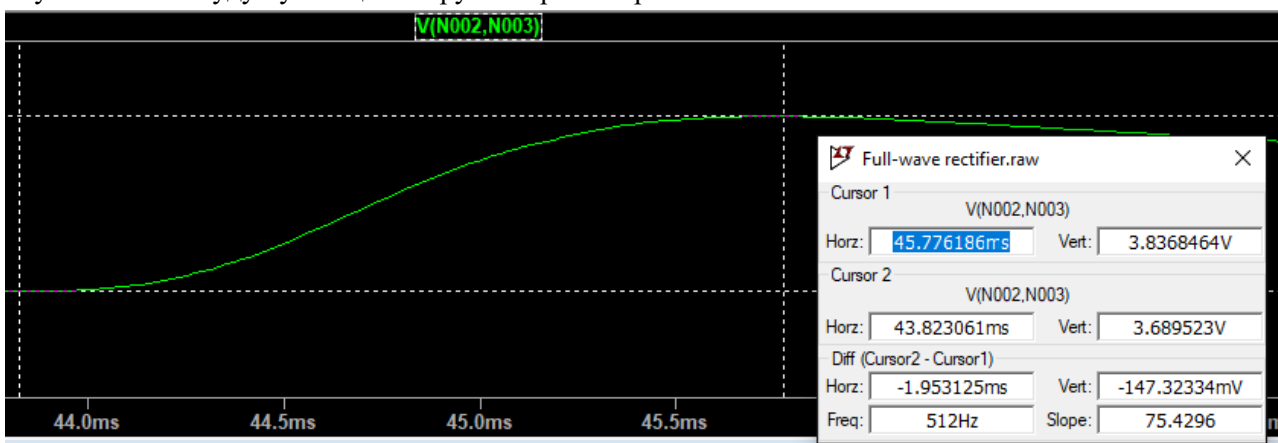
2) $R_{\text{навантаження}} = 19.8 \text{ кОм}$



Напруга джерела, напруга на резисторі, струм через резистор:

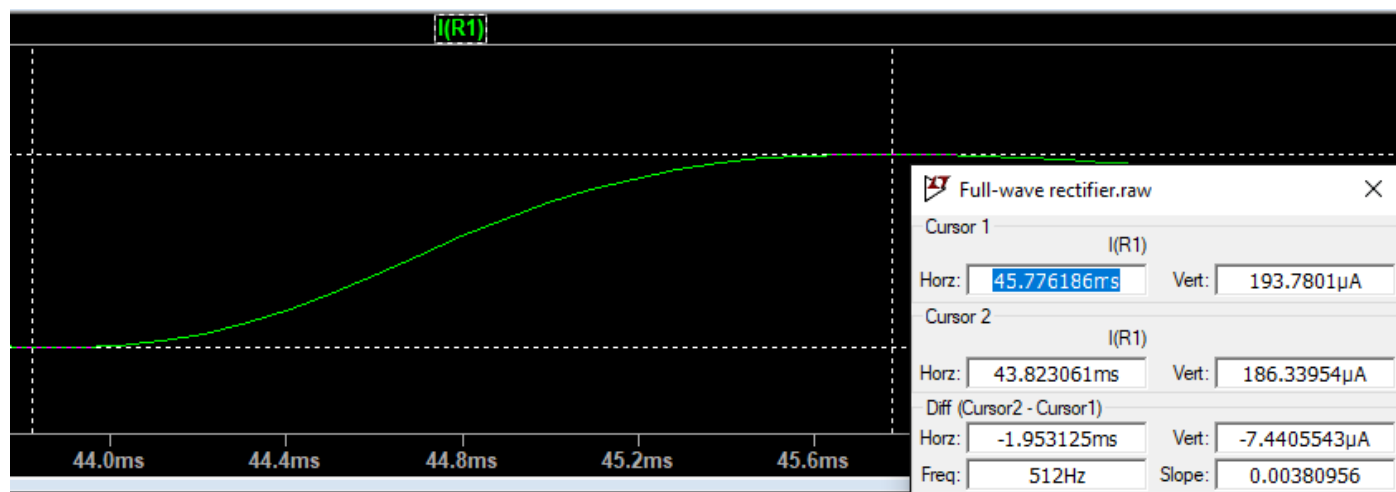


Шукаємо амплітуду пульсацій напруги на резисторі навантаження dU :



$$dU_{\text{симул}} = 3.84 - 3.69 = 0.15 \text{ (В)}$$

Шукаємо середнє значення струму через резистор навантаження I_{av} :



$$I_{av} = (193.78 \cdot 10^{-6} + 186.33 \cdot 10^{-6}) / 2 = 190.1 \cdot 10^{-6} \text{ (A)} = 190.1 \text{ (мкА)}$$

$$dU_{\text{симул, теор}} = I_{av} / (2 \cdot C \cdot f) = 190.1 \cdot 10^{-6} / (2 \cdot 10 \cdot 10^{-6} \cdot 50) = 0.19 \text{ (В)}$$

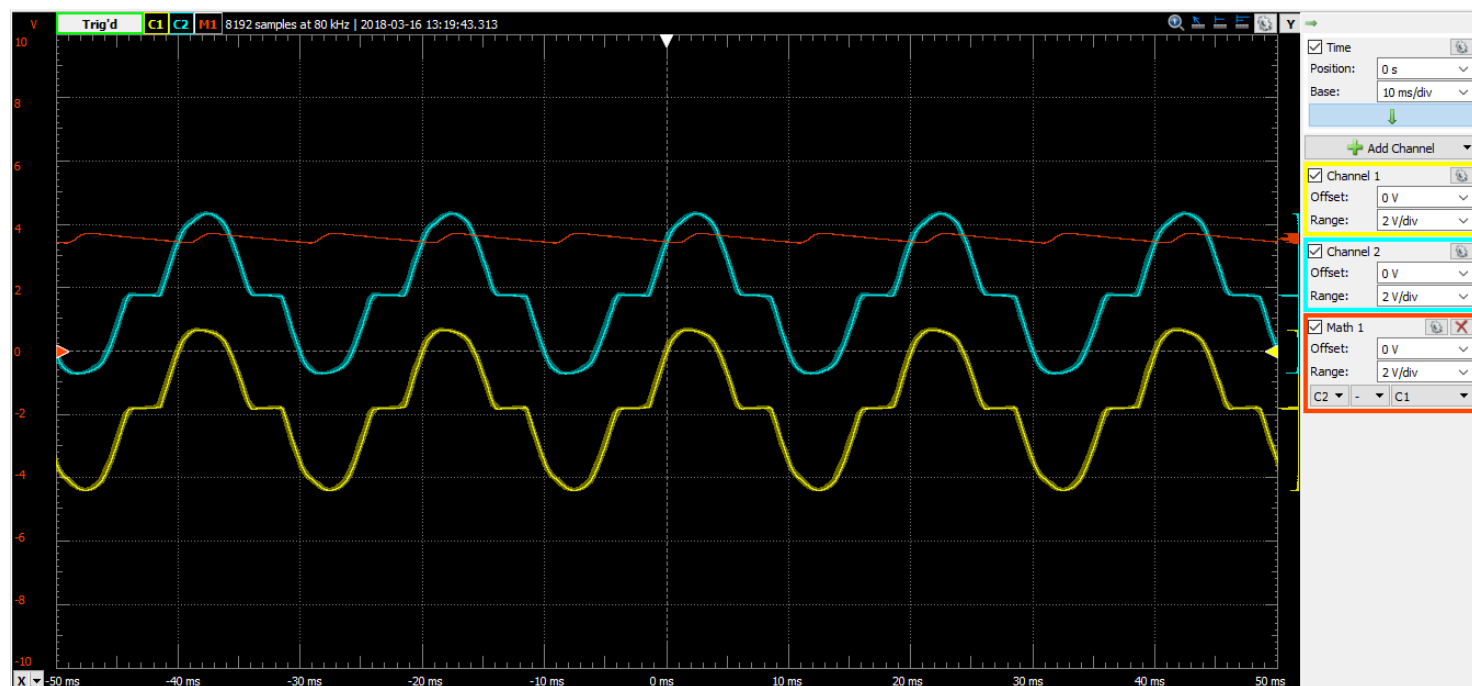
Домножимо на $\frac{3}{4}$, щоб врахувати час розряду конденсатора:

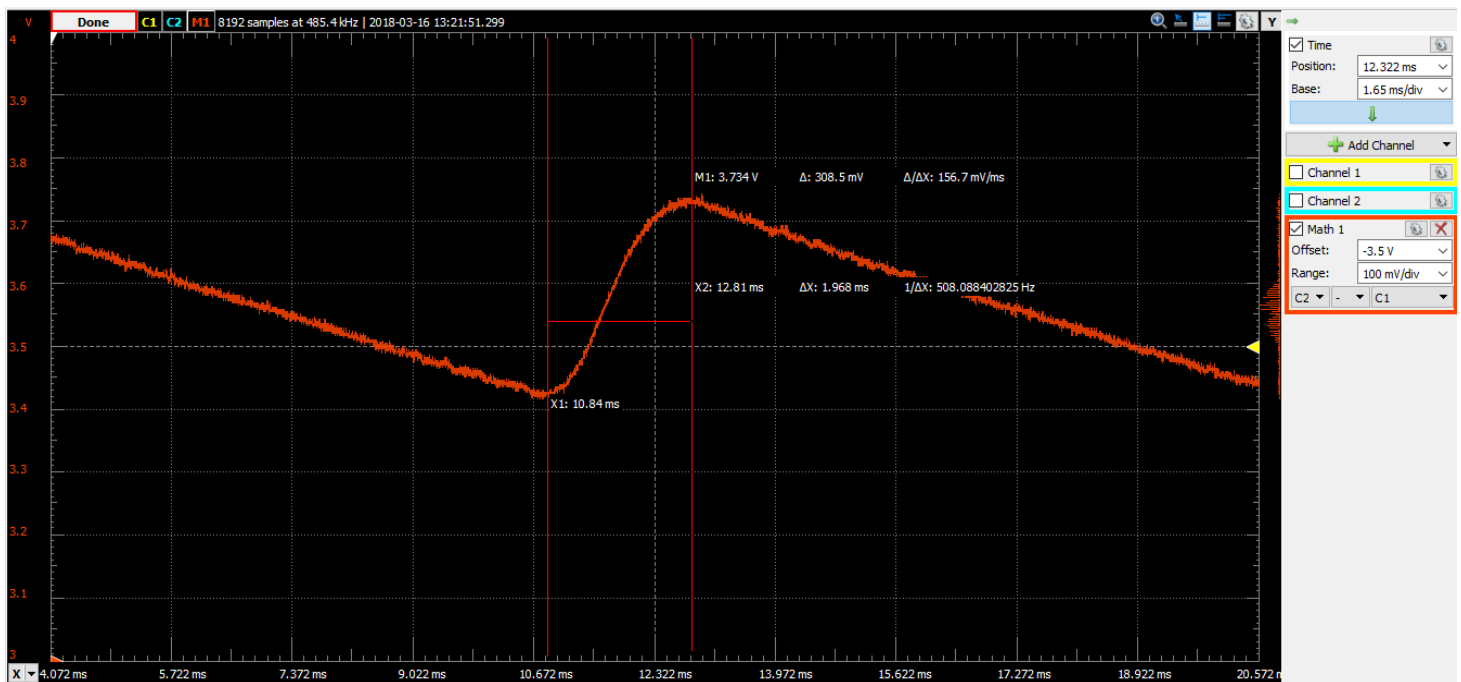
$$dU_{\text{симул, теор}} = 0.19 \cdot \frac{3}{4} = 0.14 \text{ (В)}$$

Результати експерименту:

1) $R_{\text{навантаження}} = 9.83 \text{ кОм}$

Напруга на резисторі навантаження:





$$dU_{\text{експ}} = 0.3085 \text{ (B)} = 308.5 \text{ (B)}$$

$$I_{\text{ав}} = (3.734/9830 + 3.426/9830) / 2 = 364.2 \cdot 10^{-6} \text{ (A)} = 364.2 \text{ (мкА)}$$

Розрахуємо dU за формулою:

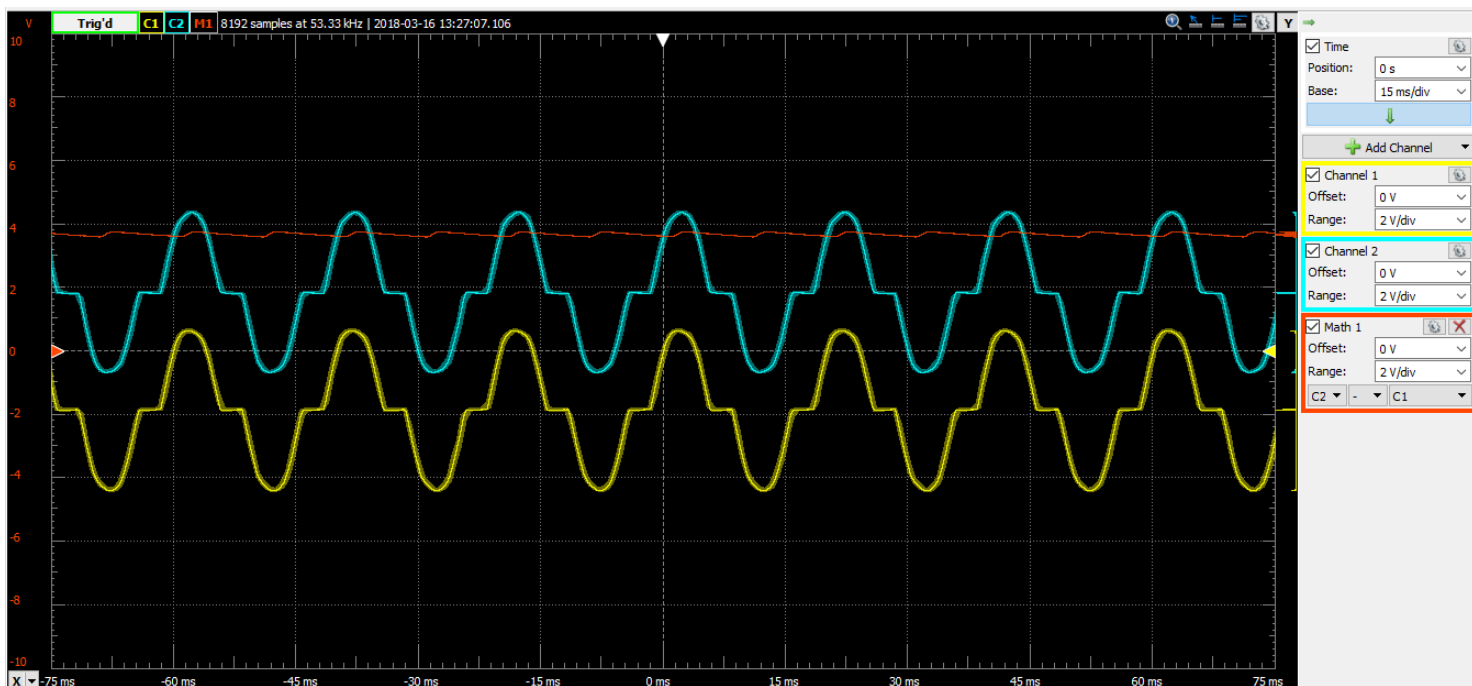
$$dU_{\text{експ,теор}} = I_{\text{ав}} / (2 \cdot C \cdot f) = 364.2 \cdot 10^{-6} / (2 \cdot 10 \cdot 10^{-6} \cdot 50) = 0.3642 \text{ (B)}$$

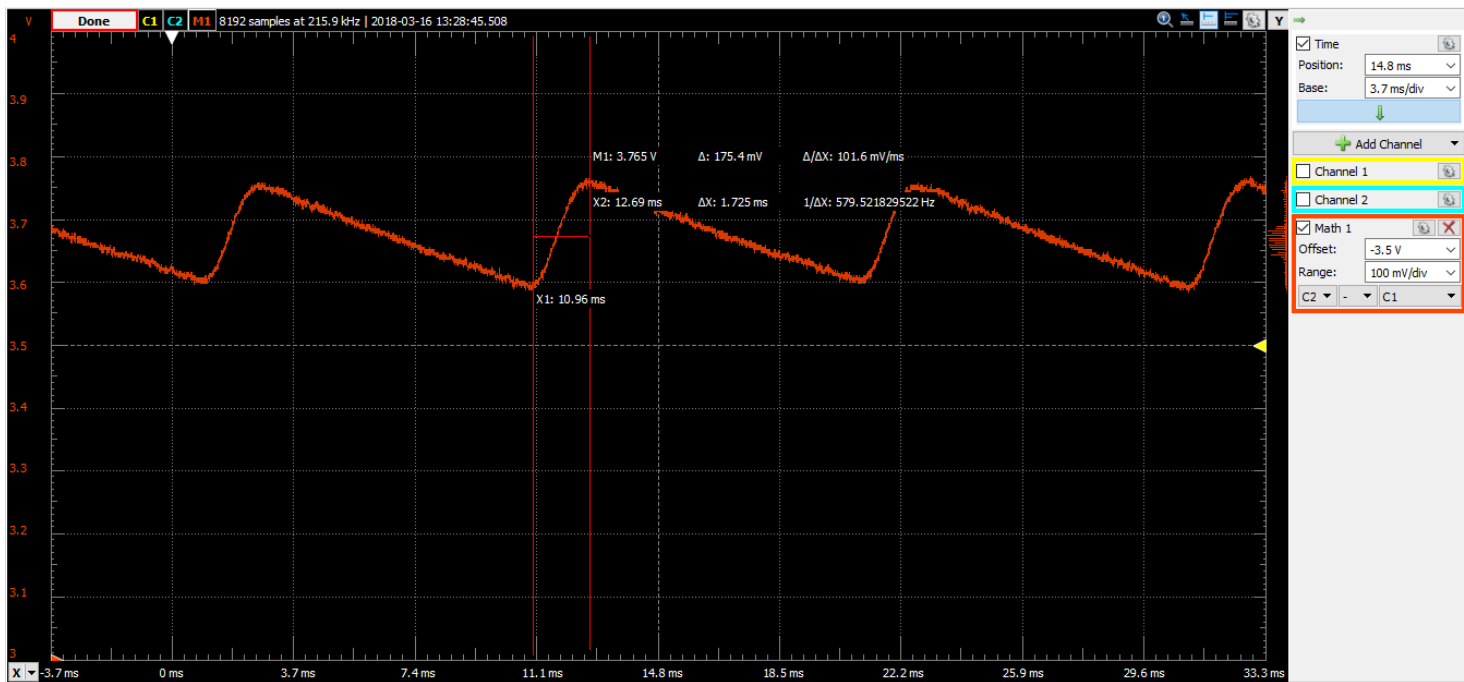
Врахуємо час розряду конденсатора:

$$dU_{\text{експ,теор}} = 0.3642 \cdot \frac{3}{4} = 0.27 \text{ (B)}$$

2) R навантаження = 19.8 кОм

Напруга на резисторі навантаження:





Амплітуда пульсацій напруги на резисторі навантаження:

$$dU_{\text{експ}} = 174.5 \text{ (мВ)} = 0.1745 \text{ (В)}$$

Знайдемо середній струм через резистор навантаження:

$$I_{\text{ав}} = (3.765/19800 + 3.5896/19800) / 2 = 185.7 \cdot 10^{-6} \text{ (А)} = 185.7 \text{ (мкА)}$$

Розрахуємо dU за формулою:

$$dU_{\text{експ,теор}} = I_{\text{ав}} / (2 \cdot C \cdot f) = 185.7 \cdot 10^{-6} / (2 \cdot 10 \cdot 10^{-6} \cdot 50) = 0.1857 \text{ (В)} = 185.7 \text{ (мВ)}$$

Врахуємо час розряду конденсатора:

$$dU_{\text{експ,теор}} = 0.1857 \cdot \frac{3}{4} = 0.139 \text{ (В)}$$

Як видно, в цьому випадку врахування часу розряду конденсатора не дозволило зменшити похибку.

Висновки:

1) $R_{\text{н}} = 9.8 \text{ кОм}$

dU	Виміряне, В	За формулою, В
Експеримент	0.3085	0.27
Симуляція	0.29	0.28

Вважаючи значення, отримане при симуляції за точне значення, розрахуємо похибку між цим значенням та експериментально отриманим:

$$\delta = |((dU_{\text{симул}} - dU_{\text{експ}}) / dU_{\text{симул}}) \cdot 100\% = ((0.29 - 0.3085) / 0.29) \cdot 100\% = 6.4\%$$

Похибка між експериментальним значенням з осцилограм та значенням dU, розрахованим за формулою, для $I_{\text{ав}}$, отриманого експериментально:

$$\delta = |((dU_{\text{експ,теор}} - dU_{\text{експ}}) / dU_{\text{експ,теор}}) \cdot 100\% = ((0.27 - 0.3085) / 0.27) \cdot 100\% = 14.3\%$$

Похибка між значенням при симуляції та значенням dU, розрахованим за формулою, для $I_{\text{ав}}$, отриманого при симуляції:

$$\delta = |((dU_{\text{симул,теор}} - dU_{\text{симул}}) / dU_{\text{симул,теор}}) | * 100\% = ((0.28 - 0.29) / 0.28) * 100\% = 3.6\%$$

2) **R_н = 19.8 кОм**

dU	Виміряне, В	За формулою, В
Експеримент	0.1745	0.1857
Симуляція	0.15	0.14

Вважаючи значення, отримане при симуляції за точне значення, розрахуємо похибку між цим значенням та експериментально отриманим:

$$\delta = |((dU_{\text{симул}} - dU_{\text{експ}}) / dU_{\text{симул}}) | * 100\% = ((0.15 - 0.1745) / 0.15) * 100\% = 16.3\%$$

Похибка між експериментальним значенням з осцилограм та значенням dU, розрахованим за формулою:

$$\delta = |((dU_{\text{експ,теор}} - dU_{\text{експ}}) / dU_{\text{експ, теор}}) | * 100\% = ((0.1857 - 0.1745) / 0.1857) * 100\% = 6\%$$

Похибка між значенням при симуляції та значенням dU, розрахованим за формулою:

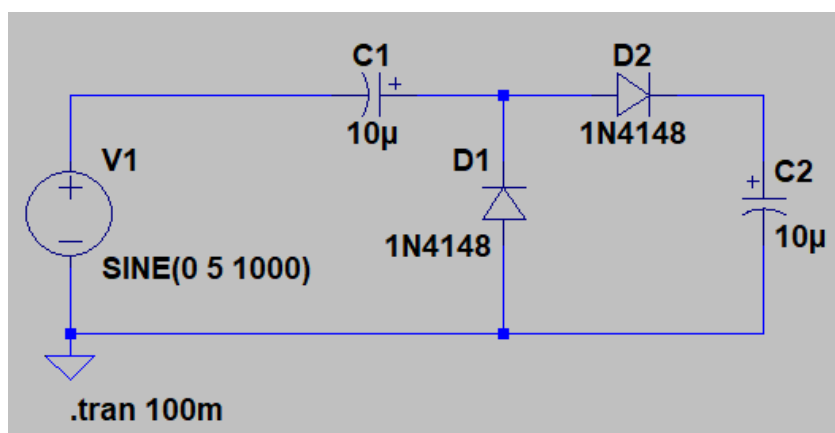
$$\delta = |((dU_{\text{симул,теор}} - dU_{\text{симул}}) / dU_{\text{симул,теор}}) | * 100\% = ((0.14 - 0.15) / 0.14) * 100\% = 7.1\%$$

Загалом, були отримані доволі точні результати для обох значень опорів резистора навантаження.

Також варто відзначити, що врахування часу розряду конденсатора дало можливість дещо зменшити похибки.

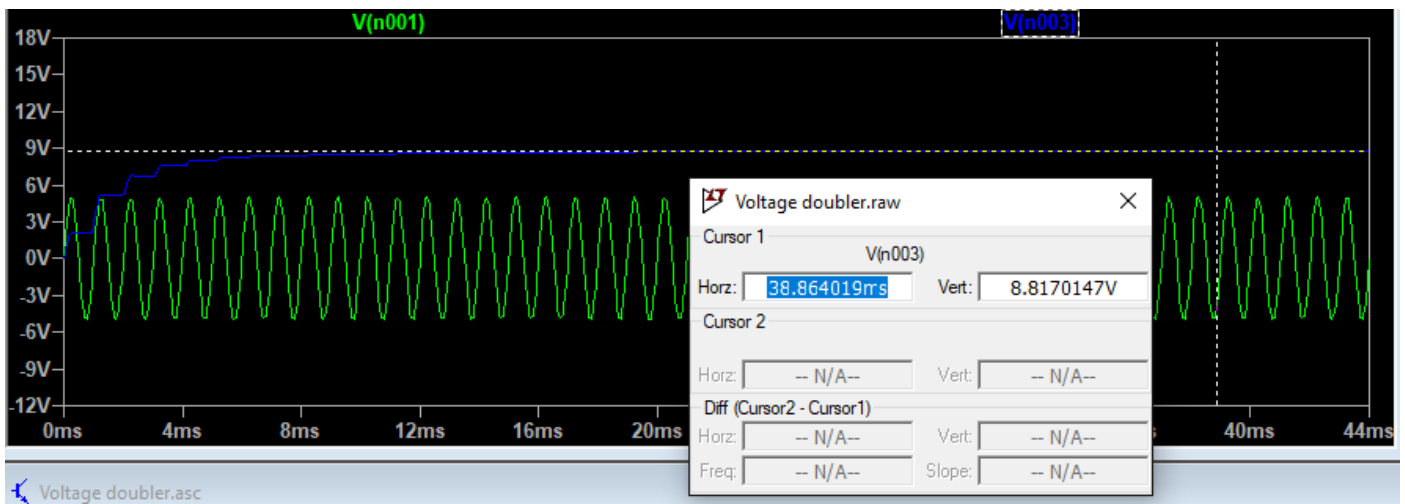
3. Дослідження подвоювача напруги.

Збираємо схему подвоювача напруги:



Симуляція в LTSpice:

Напруга на виході – на конденсаторі C2:



Форма вихідної напруги відповідає очікуванням - формі вхідної напруги з методички.

Як видно, вихідна напруга стабілізувалась на значенні ~ 8.8 В через деякий час після ввімкнення живлення.

Пояснюється це тим, що значення вихідної напруги розраховується як $2 \cdot U_{вхxm} - 2 \cdot U_{vd}$, тобто, напруга 1.2 В падає на двох діодах.

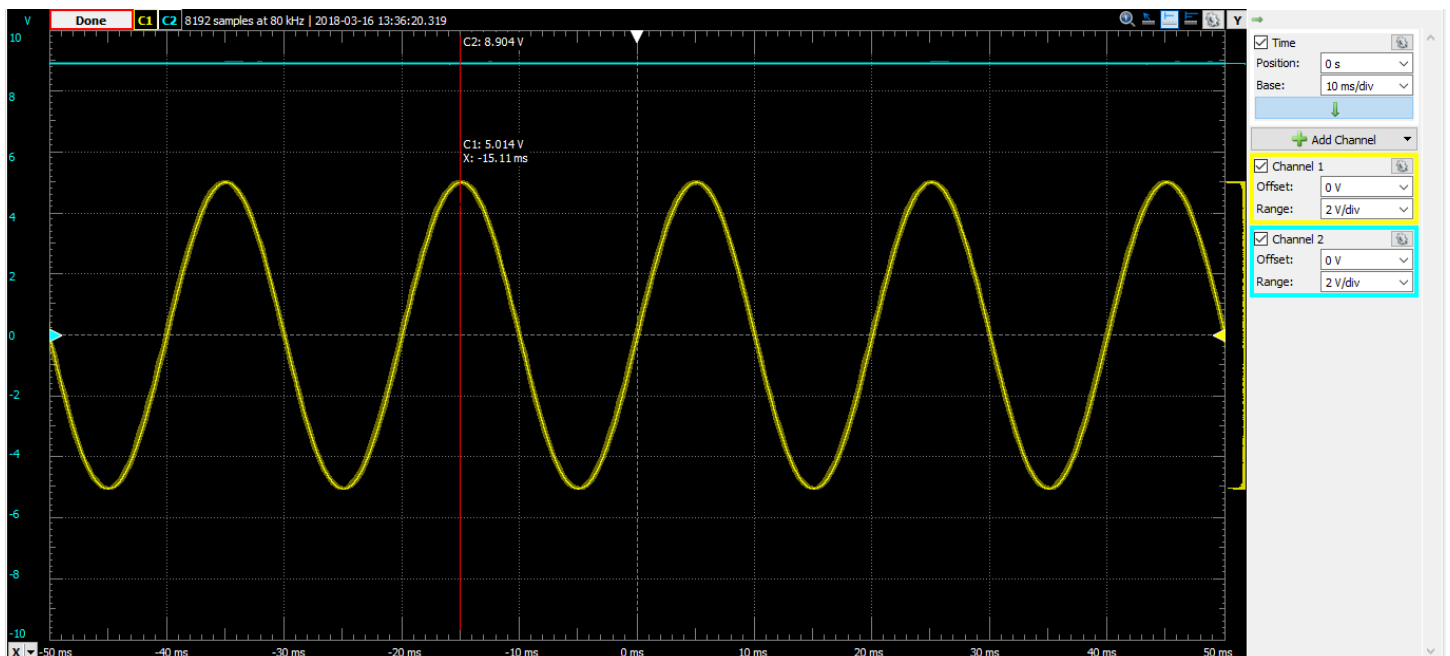
Для кремнієвих діодах значення $U_{vd} = 0.6 \dots 0.8$ В,
для германієвих – $0.2 \dots 0.4$ В, як і для діодів Шотткі.

Тому іноді є сенс брати саме діоди Шотткі, щоб отримати більшу напругу на виході, адже на них сумарне падіння напруги буде менше, ніж на кремнієвих, і тому вихідна напруга буде більшою.

Результати експерименту:

Була складена схема подвоювача напруги.

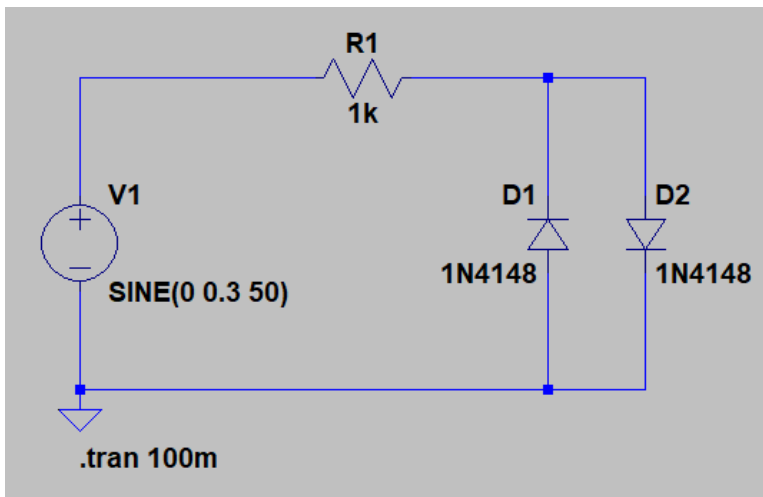
Напруга на виході та вході:



Як бачимо, вихідна напруга рівна 8.9 В, що відповідає очікуванням.

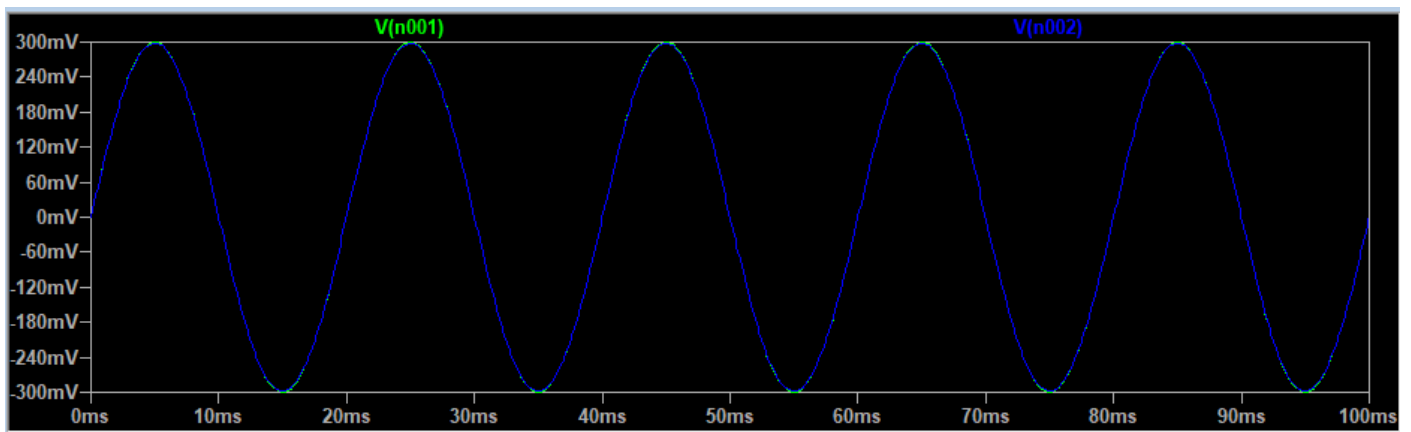
4.Дослідження обмежувача напруги.

Складемо схему обмежувача напруги на діодах:

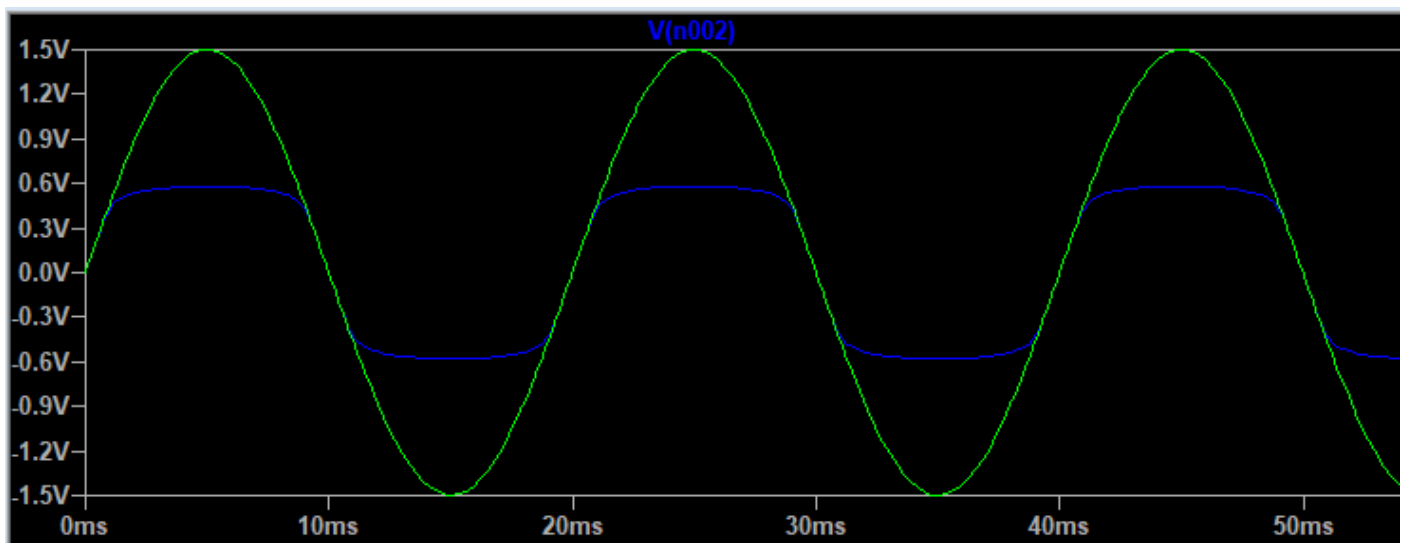


Симуляція в LTSpice:

При вхідній напрузі, рівній 0.3В, сигнал на виході схеми повторює вхідний сигнал:



Подаємо напругу вищу за 0.6В, – 1.5 В в даному випадку – і бачимо, що вихідний сигнал не виходить за межі - 0.6В ... 0.6В, що і очікувалось.



Дана схема реалізує обмеження з двох сторін.

Якщо вхідна напруга менша за напругу відкриття діодів, то вона проходить на вихід без змін.

Якщо $U_{вх} \geq 0.65V$, то діод VD1 відкриється, і вихідна напруга стане рівною напрузі на ньому.

Якщо $U_{вх} \leq -0.65V$, то відкриється діод VD2, і вихідна напруга стане рівною $-0.65V$.

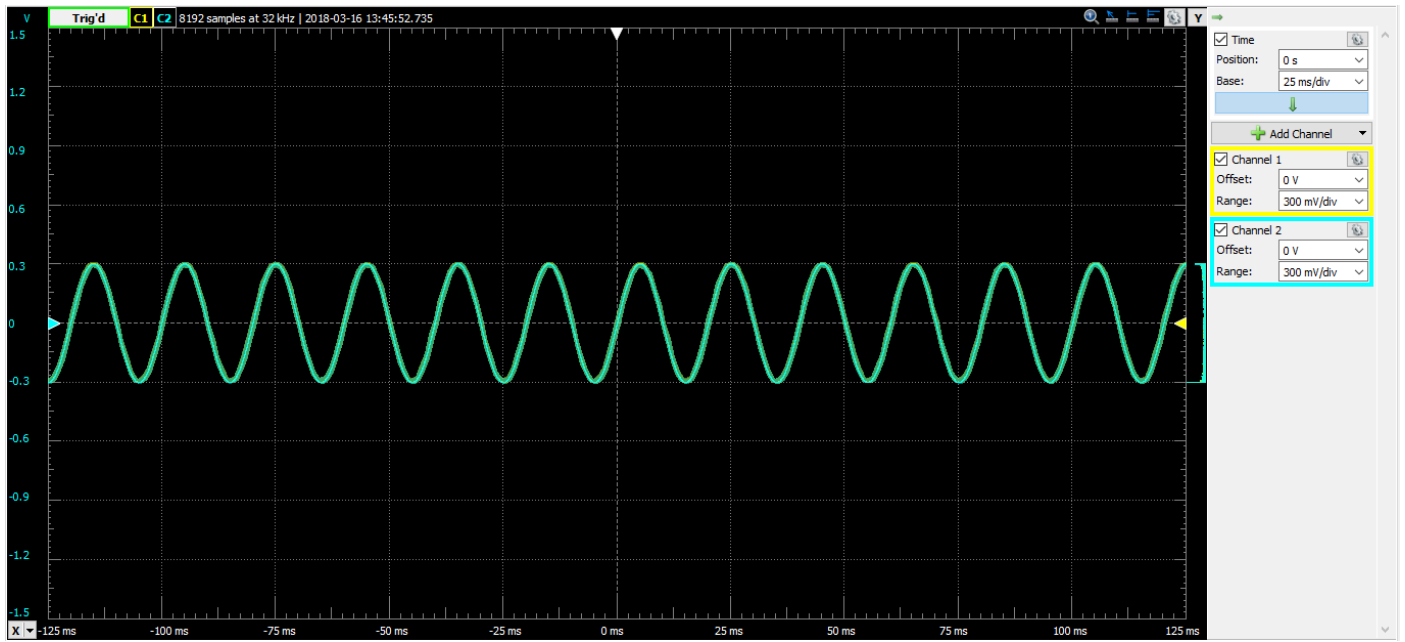
При відкритих діодах надлишок напруги виділятиметься на R.

При цьому значення $0.65V$ – це значення напруги відкриття кремнієвих діодів, для діодів Шотткі це значення становить $0.3V$.

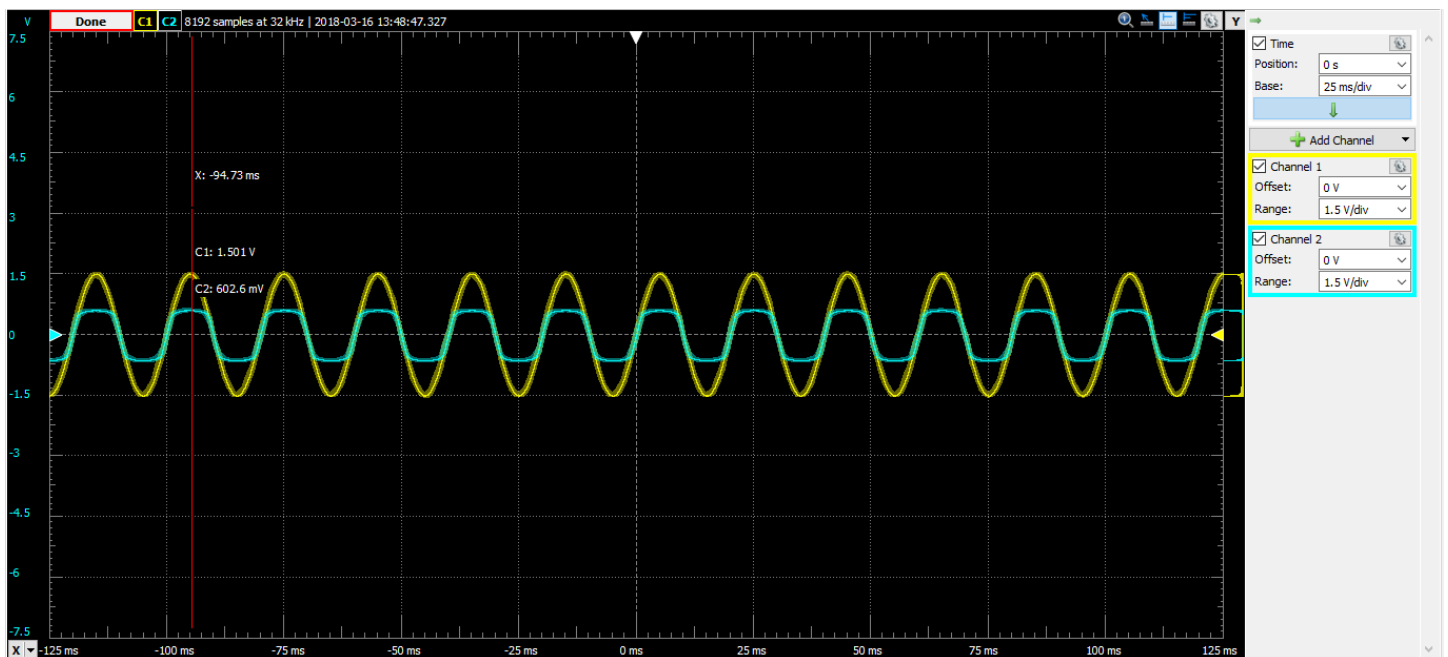
Результати експерименту:

Амплітуда вхідної напруги – $0.3V$.

Вихідний сигнал повторює вхідний.



Подаємо на вхід $1.5V$, спостерігаємо обмеження напруги:



Отже, робота схеми відповідає очікуванням.

Висновки:

Отже, в процесі виконання цієї лабораторної роботи, були досліджені одно- та двонапівперіодний випрямлячі.

Робота всіх схем була просимульована в LTSpice, а також на практиці за допомогою плати Analog Discovery 2.

Були розраховані амплітуди пульсацій одно- та двонапівперіодного випрямляча, середній струм через опір навантаження. Отримані результати були порівняні між собою.

І в загальному значення похибок доволі малі.