

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ І СПОРТУ УКРАЇНИ**

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**

**«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»**

**КАФЕДРА КОНСТРУЮВАННЯ КЕОА**

**ЗВІТ**

з лабораторної роботи №2

по курсу «Аналогова схемотехніка»

на тему

***«Дослідження схем побудованих на базі кремнієвих діодів»***

Виконав:

студент гр. ДК-61

Шваюк М.В.

Перевірів:

доцент

Короткий Є. В.

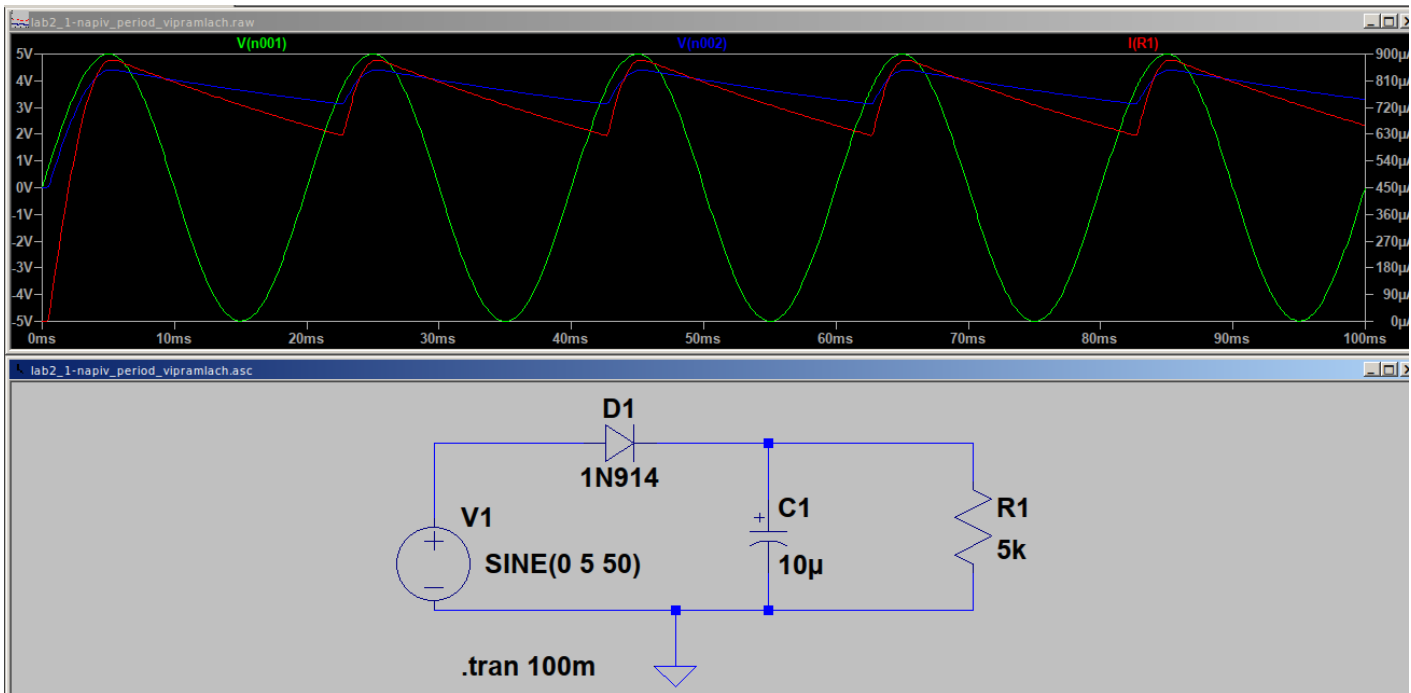
У лабі є 4 завдання:

1. Дослідження однонапівперіодного випрямляча
2. Дослідження двонапівперіодного випрямляча
3. Дослідження подвоювача напруги
4. Дослідження обмежувача напруги

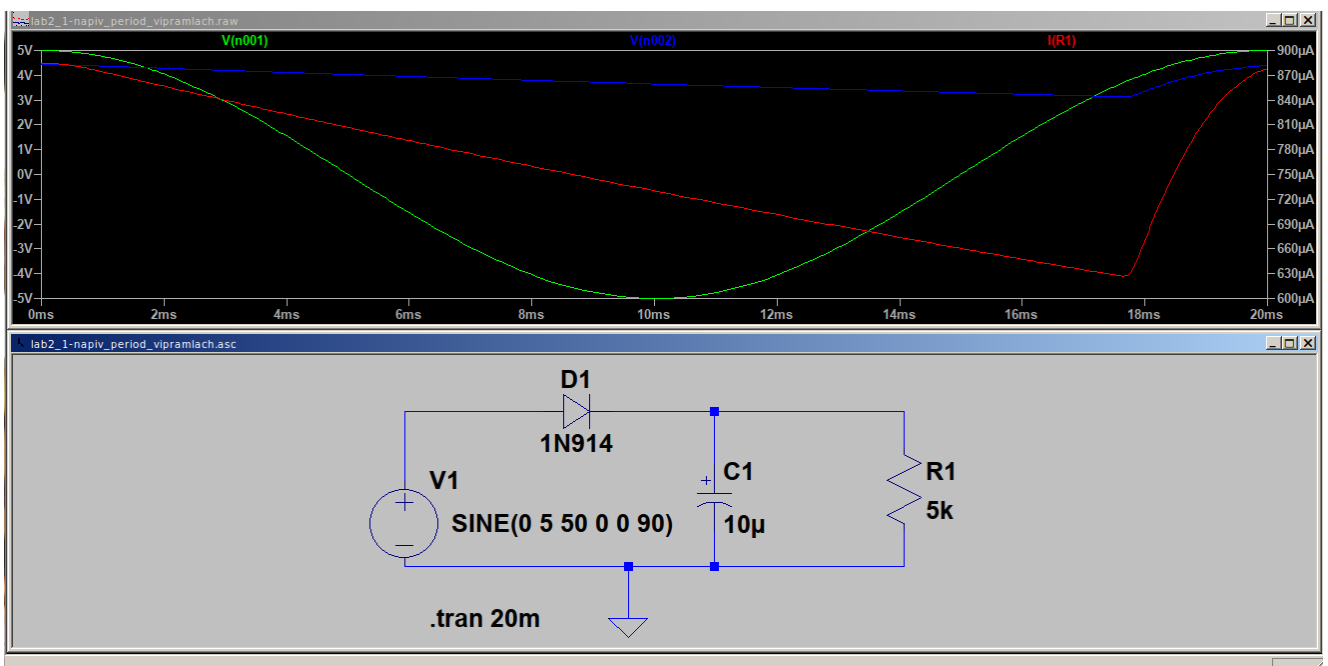
# Завдання 1

## Дослідження однонапівперіодного випрямляча (5 kOm)

1) Моделювання у LTSpice



Збільшимо масштаб так щоб на екрані уміщався лише 1 період, щоб було зручніше аналізувати  
( $T = 20 \text{ мс}$ )



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

$$\underline{dU = 4.43 - 3.13 = 1.3 \text{ V}}$$

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

$$\underline{I_{av} = (627 + 884) / 2 = 755 \text{ uA}}$$

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 ( $f$ ):

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

Для такого випрямляча амплітуда коливань напруги має становити:

$$\underline{\Delta U = 755 * 10^{-6} / (10 * 10^{-6} * 50)}$$

$$\underline{\Delta U = 755 / (10 * 50)}$$

$$\underline{\Delta U = 755 / 500 = 1.51 \text{ V}}$$

Домножимо на коефіцієнти  $\frac{3}{4}$ , щоб наша модель враховувала ще і час заряду – розряду конденсатора:

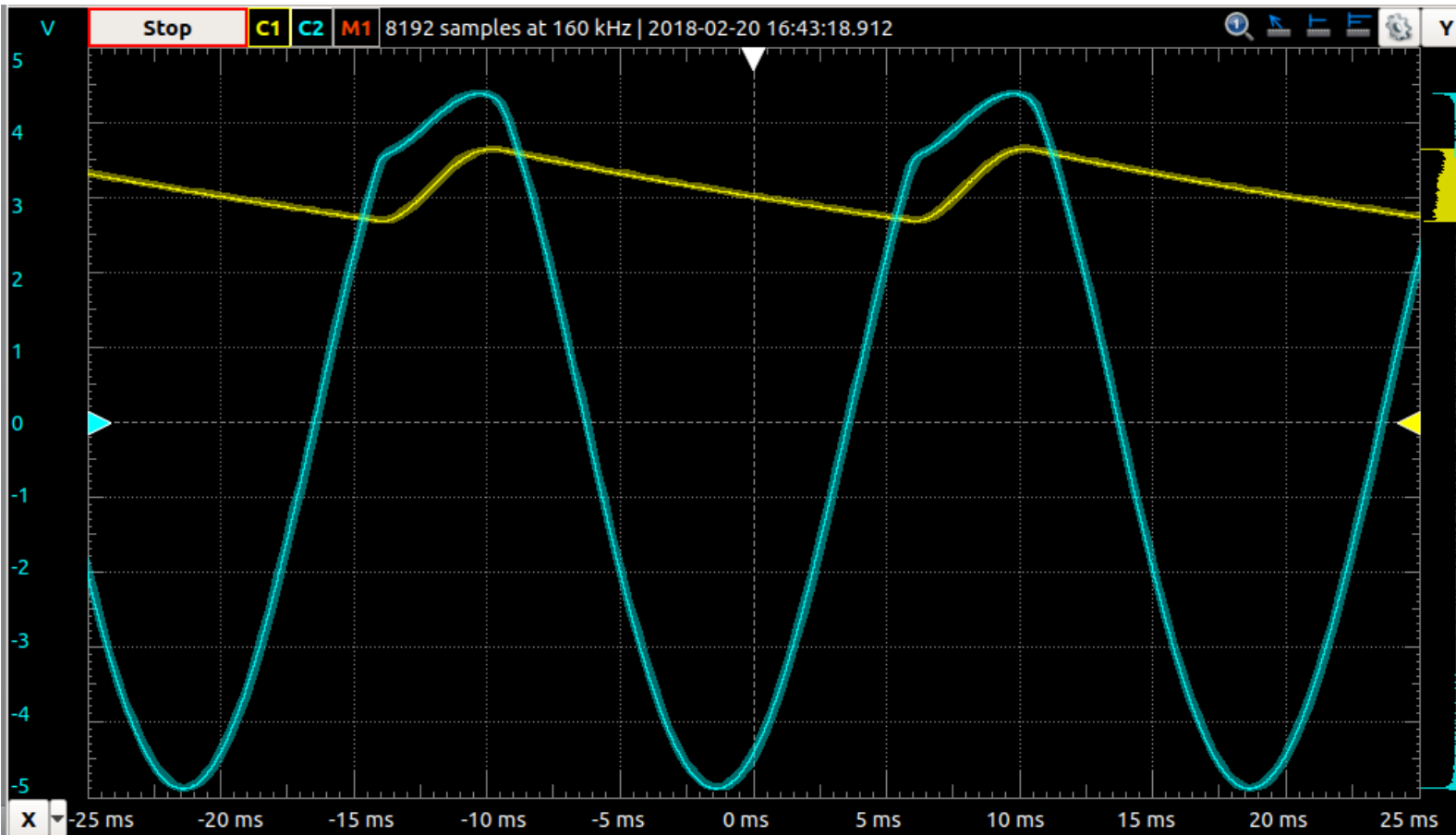
$$\underline{1.51 * \frac{3}{4} = 1.13 \text{ V}}$$

Це значення вже більш наближене до моделі та реальних вимірювань.

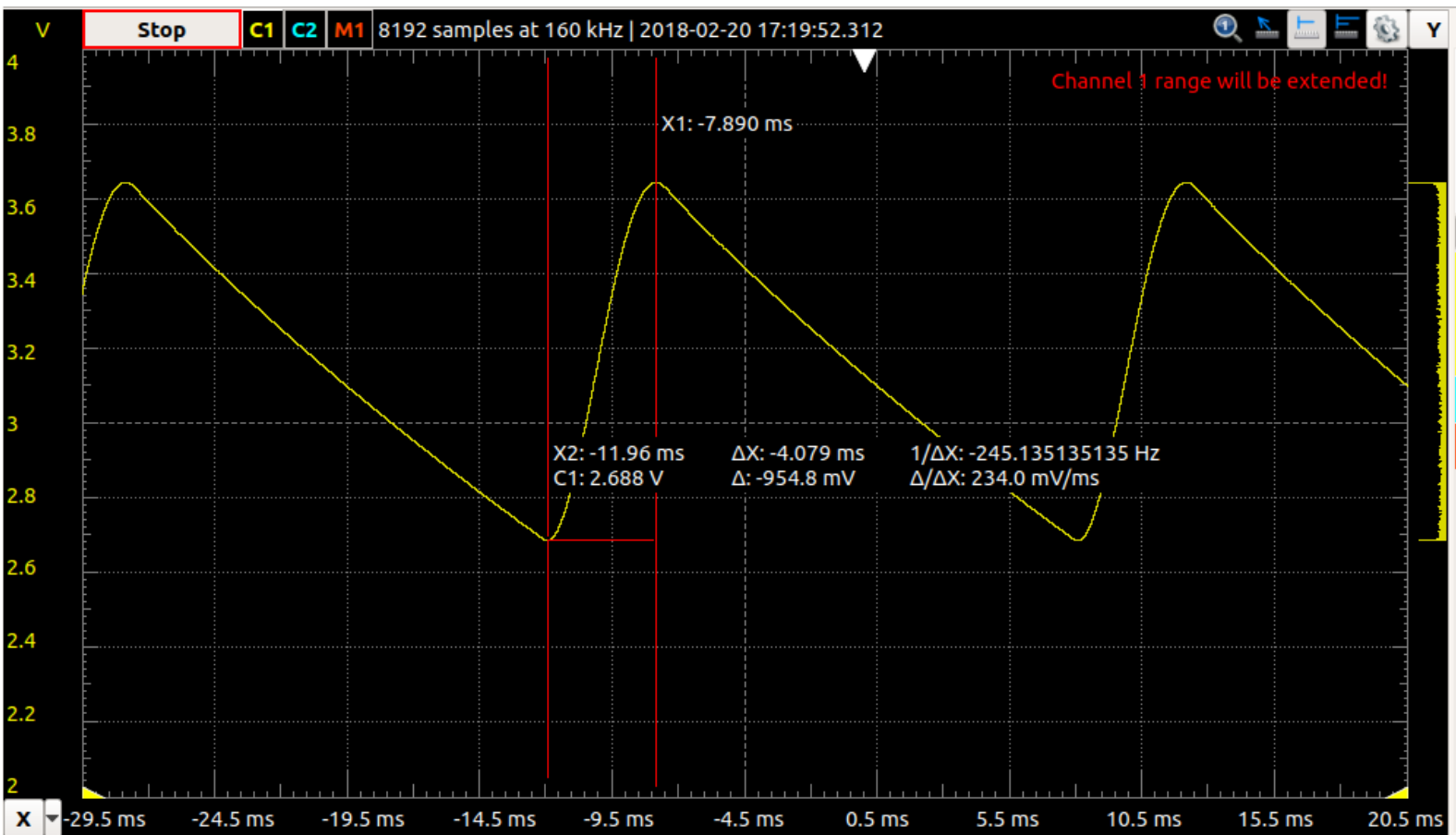
**Висновок:** амплітуда коливань напруги теоретична та моделі співпали у межах допустимих похибок (13%).

## Реальна схема

$C = 10 \text{ mF}$ ;  $R = 5.1 \text{ k}\Omega$ ;  $U_{in} = \sin 5 \text{ V}, 50 \text{ Hz}$



Амплітуда пульсації напруги на резисторі = **954 mV**



Похибка у порівнянні із моделлю = 26%. Причиною такої похибки може бути неточність вимірювальних приладів (а звідси трохи різні значення опору та ємності у моделі на в реальному випрямлячі). А також додатковий опір перемичок на щупах та паразитна ємність самих щупів.

$$\underline{I_{av} = (I_{max} + I_{min}) / 2} = ( 2.688 / 5100 + 3.642 / 5100 ) / 2 =$$

$$= ( 0.000527 + 0.000714 ) / 2 = 0.000621 = \mathbf{621\text{ }\mu A}$$

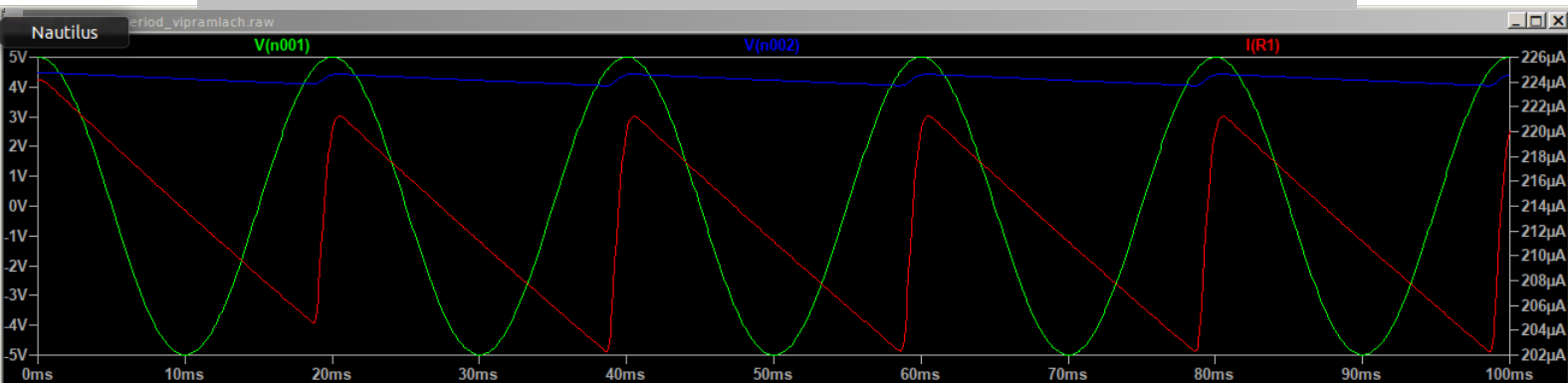
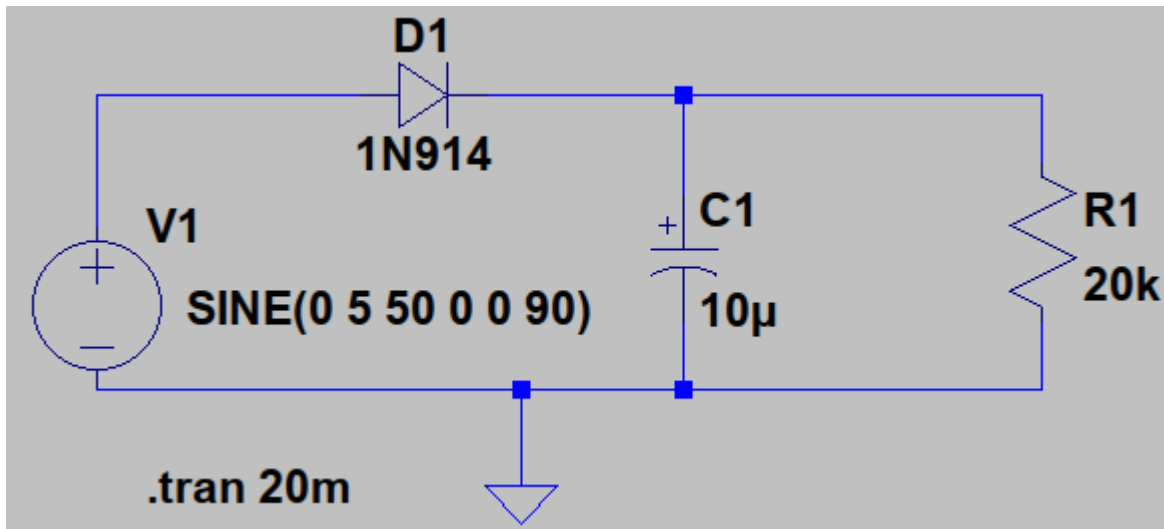
Похибка у порівнянні із моделлю = **17%**.

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

$$\mathbf{dU} = 621 * 10^{-6} / (10 * 10^{-6} * 50) = 621 / 500 = \mathbf{1.242\text{ V}}$$

Похибка у порівнянні із моделлю = **5.5%**.

Все те ж саме, але для 20кОм:



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

$$\underline{dU = 388 \text{ mV}}$$

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

$$\underline{I_{av} = (204 + 224) / 2 = 214 \text{ }\mu\text{A}}$$

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 ( $f$ ):

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

Для такого випрямляча амплітуда коливань напруги має становити:

$$\Delta U = 214 * 10^{-6} / (10 * 10^{-6} * 50)$$

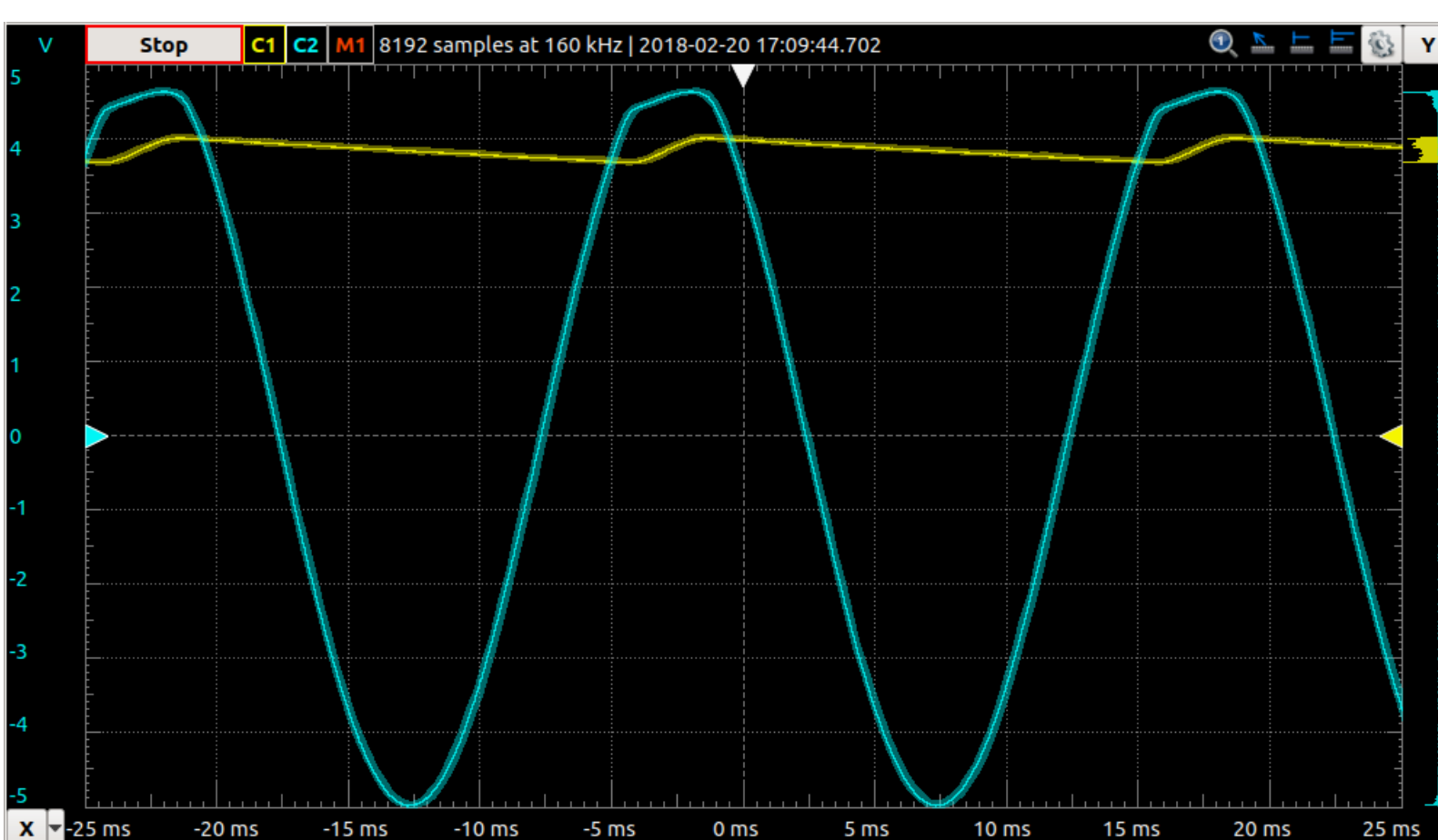
$$\Delta U = 214 / (10 * 50)$$

$$\Delta U = 214 / 500 = 0.428 \text{ V} = 428 \text{ mV}$$

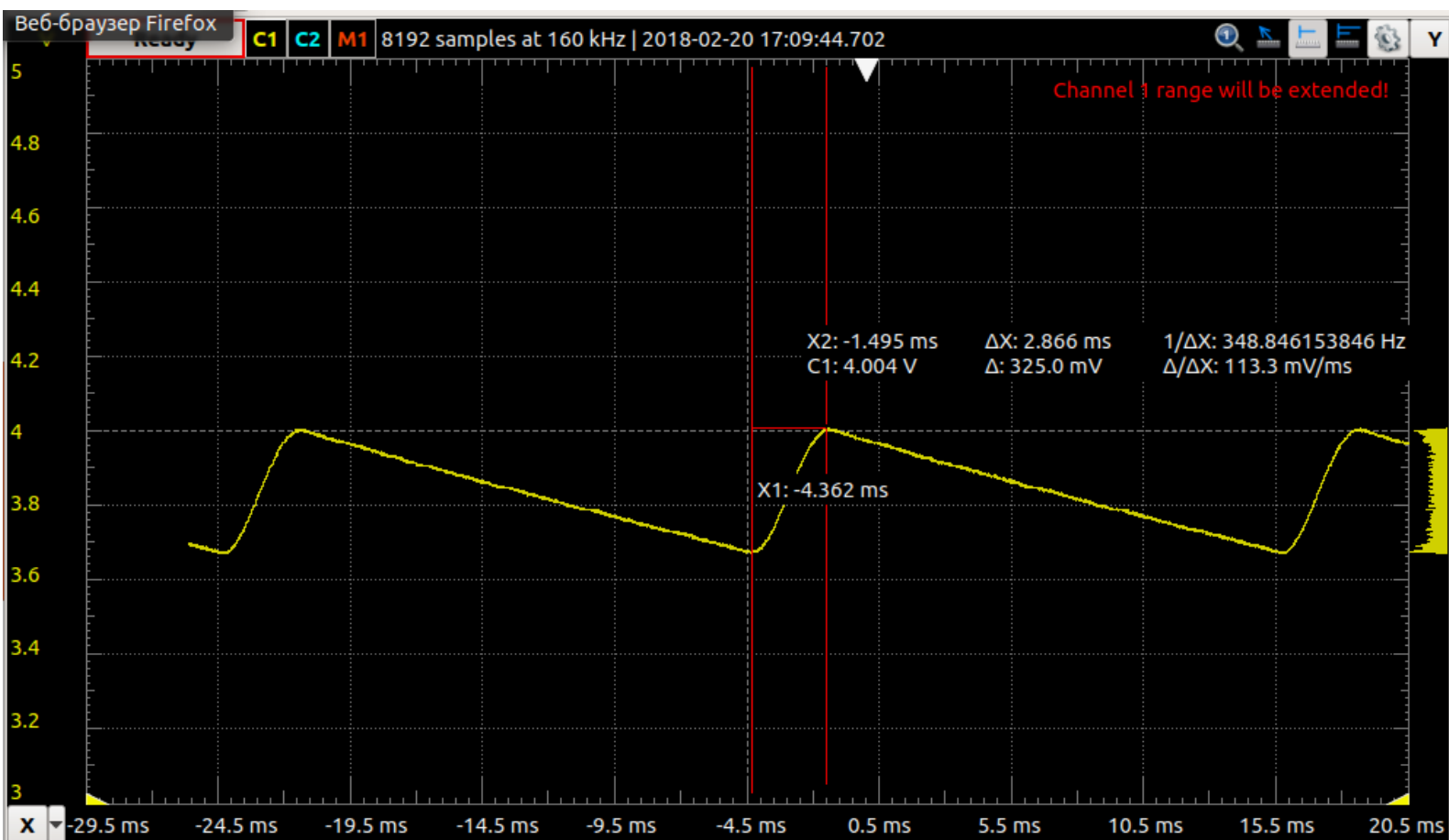
$$428 * \frac{3}{4} = 321 \text{ mV}$$

**Висновок:** амплітуда коливань напруги теоретична та емпірична співпали у межах допустимих похибок (17%).

## Реальна схема







Амплітуда пульсації напруги на резисторі = **325 mV**

Висновок: похибка у порівнянні із моделлю склала **16%**.

$$\underline{I_{av} = (I_{max} + I_{min}) / 2} = ( 3.679 / 20000 + 4.004 / 20000 ) / 2 =$$
$$= ( 0.000184 + 0.000200 ) / 2 = 0.000192 = 192 \text{ mA}$$

Похибка у порівнянні із моделлю = **10%**.

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

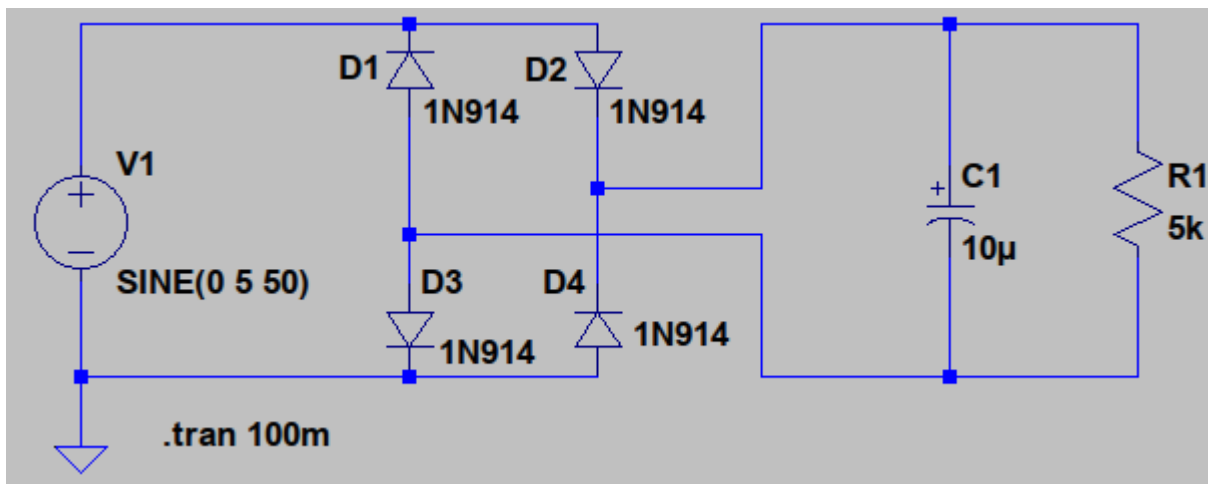
$$\underline{dU = 192 * 10^{-6} / (10 * 10^{-6} * 50 ) = 192 / 500 = 0.384 \text{ V}}$$

Похибка у порівнянні із моделлю = **1%**.

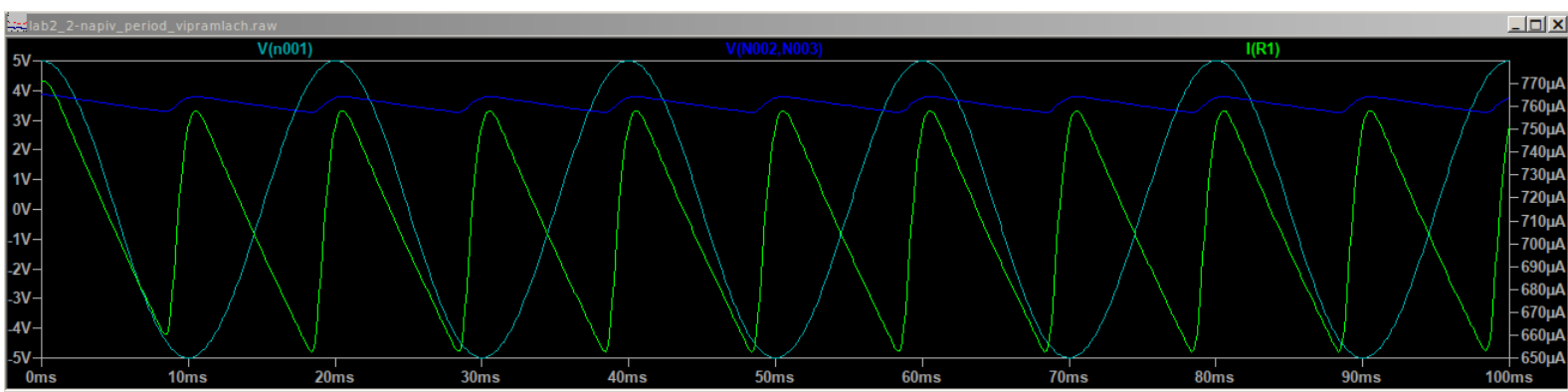
## Завдання 2

### Дослідження двонапівперіодного випрямляча (5 kOm )

Схема



Моделювання у LTSpice:



dU на резисторі навантаження = **525 mV**

I<sub>av</sub> на резисторі навантаження = ( 652 + 757 ) / 2 = **704 uA**

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 ( $f$ ):

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

$$dU = 704 * 10^{-6} / (2 * 10 * 10^{-6} * 50) = 704 / 1000 = \mathbf{0.704\ V}$$

$dU$  емпіричне та теоретичне співпадають з урахуванням похибки ( 34% ).

Але якщо провести більш точні обчислення та враховувати час розряду конденсатора, отримаємо кращі результати:

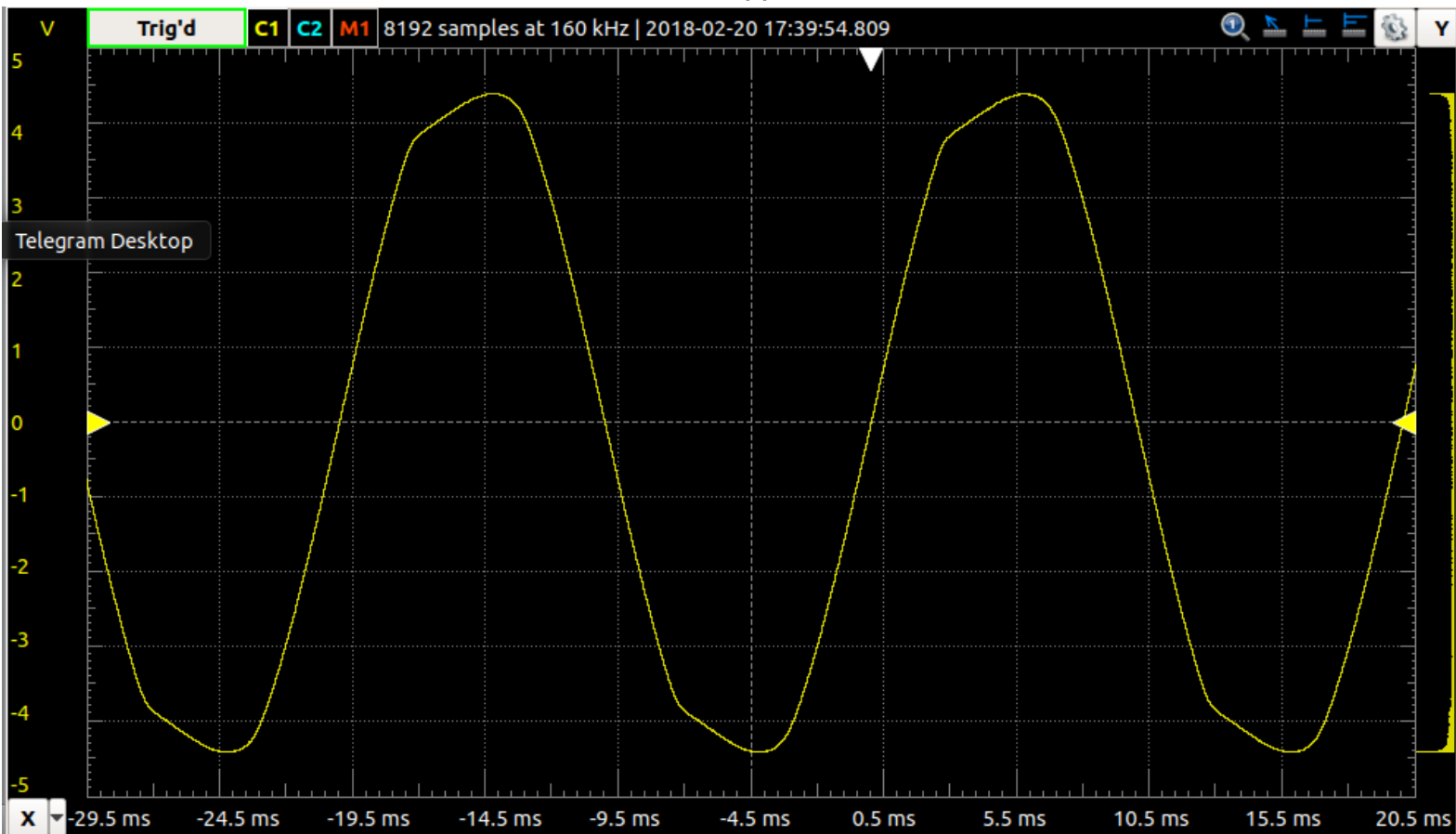
$$\underline{dU = ( I_{av} * \frac{3}{4} ) / (2 * C * f)}$$

$$dU = 704 * 10^{-6} * \frac{3}{4} / (2 * 10 * 10^{-6} * 50) = 704 * \frac{3}{4} / 1000 = 528 / 1000 = \mathbf{528\ mV}$$

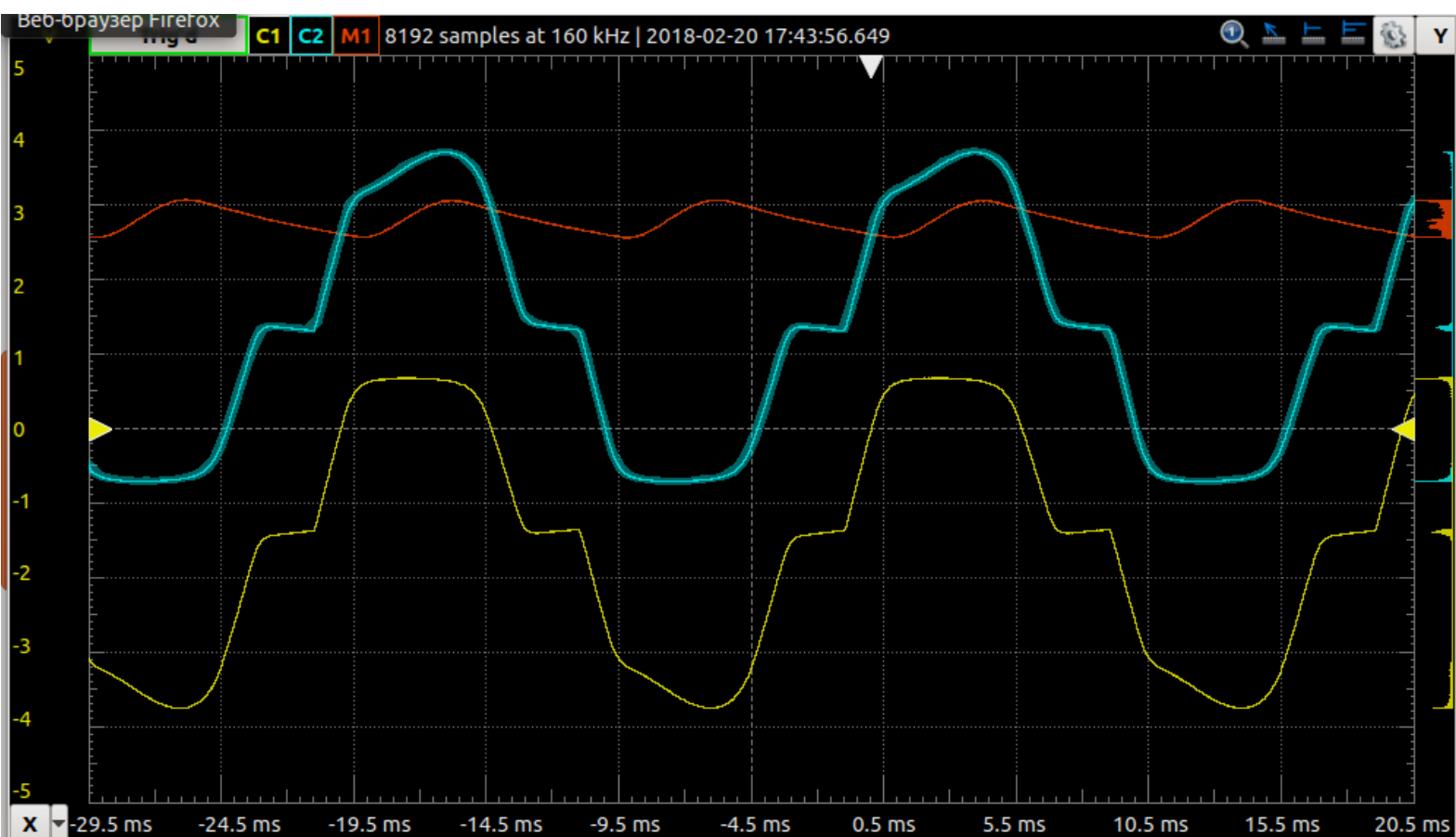
Тепер результати набагато точніші (похибка = 0.5%).

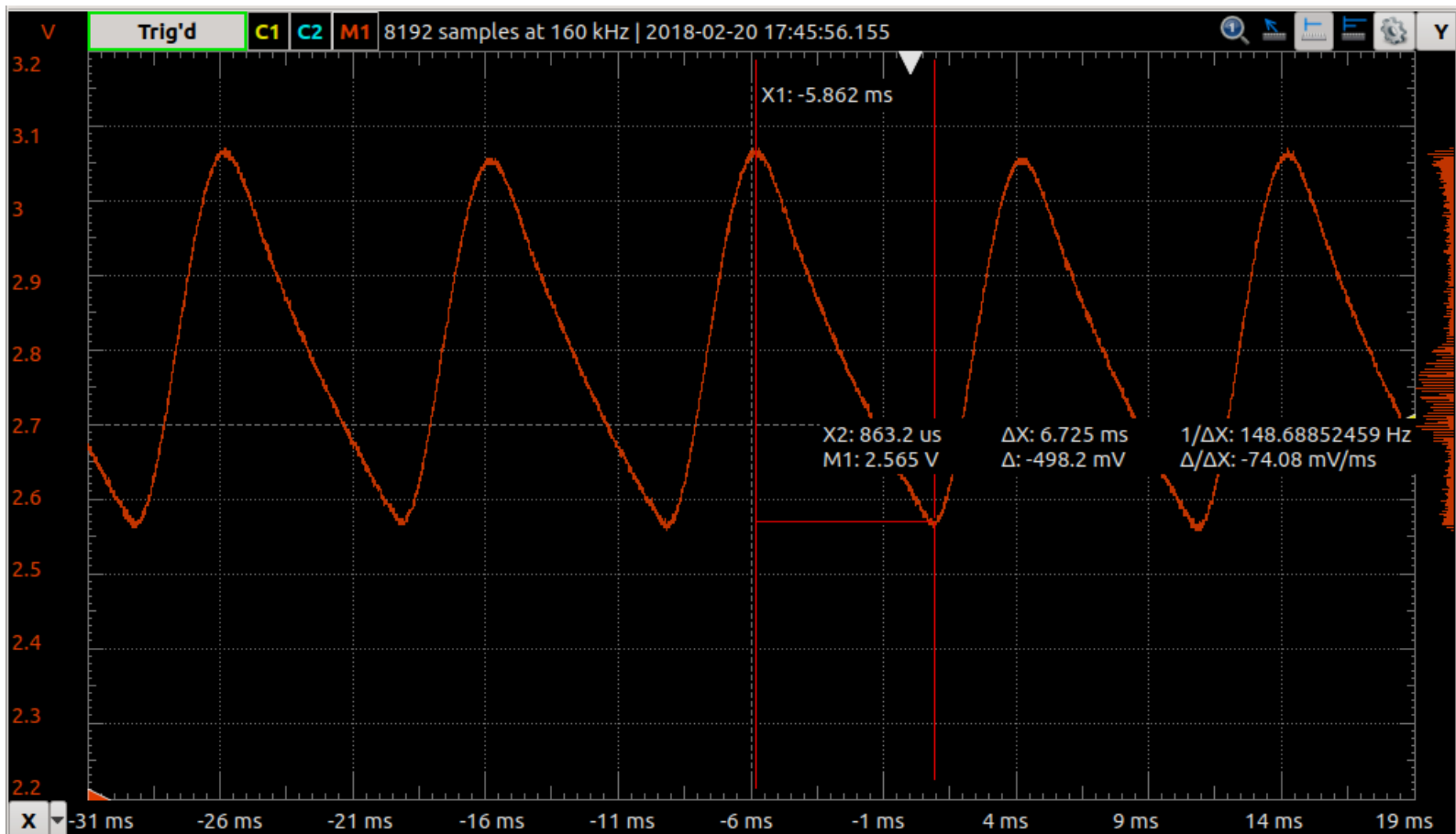
# Дослідження за допомогою Analog Discovery:

Вхід:



Резистор навантаження:





Амплітуда пульсації напруги на резисторі = **498 mV**

Похибка у порівнянні із моделлю склала **6%**.

$$I_{av} = (I_{max} + I_{min}) / 2 = (2.565 / 5100 + 3.063 / 5100) / 2 =$$

$$= (0.000502 + 0.000601) / 2 = 0.000551 = \mathbf{551 \text{ mA}}$$

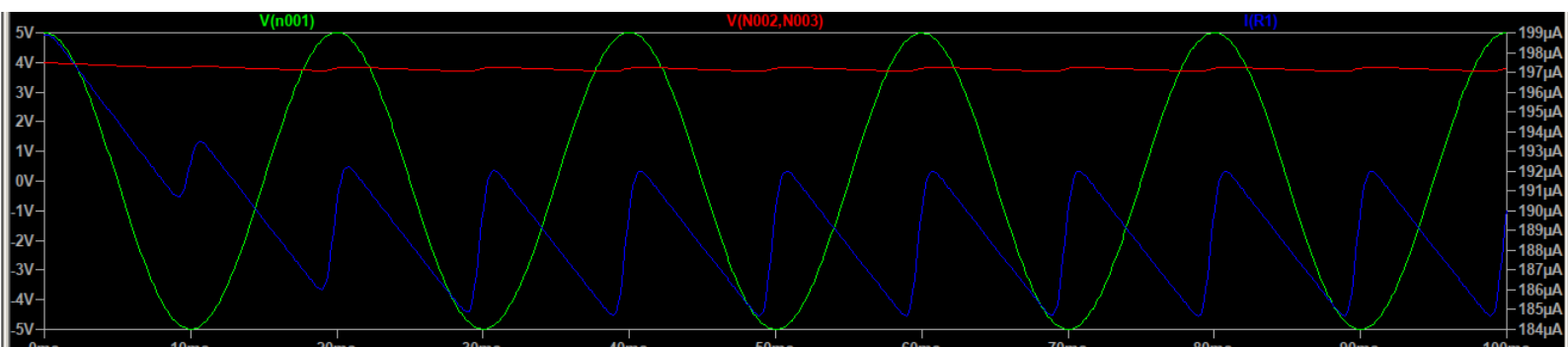
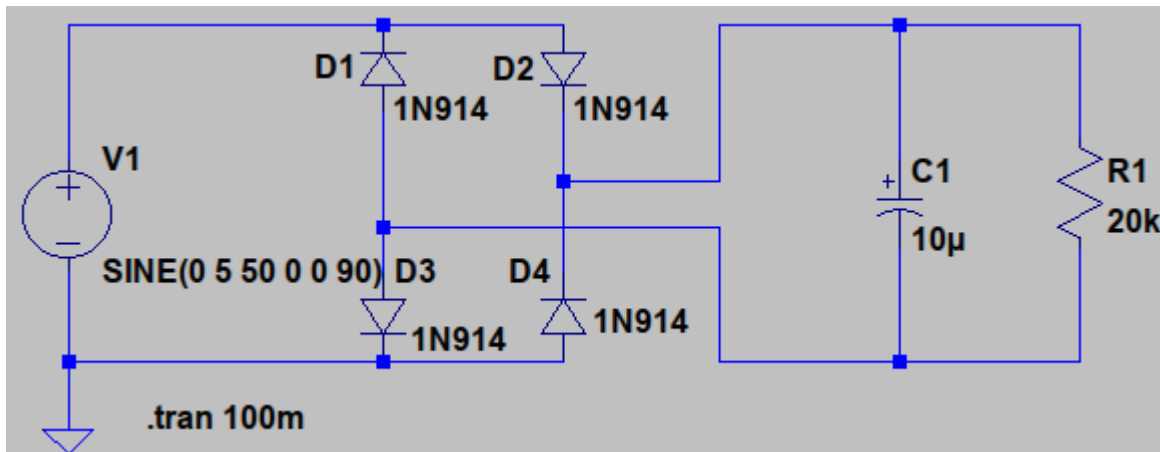
Похибка у порівнянні із моделлю = **21%**.

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

$$dU = 551 * 10^{-6} / (10 * 10^{-6} * 50 * 2) = 551 / 1000 = \mathbf{0.551 \text{ V}}$$

Похибка у порівнянні із моделлю = **5%**.

Все те ж саме, але для 20кОм:



$dU$  на резисторі навантаження = 145 mV

$I_{av}$  на резисторі навантаження =  $(186 + 192) / 2 = 189 \mu A$

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 ( $f$ ):

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

$$dU = 189 * 10^{-6} / (2 * 10 * 10^{-6} * 50) = 189 / 1000 = \mathbf{0.189 V = 189 mV}$$

$dU$  емпіричне та теоретичне співпадають з урахуванням похибки ( 30% ).

Але якщо провести більш точні обчислення та враховувати час розряду конденсатора, отримаємо кращі результати:

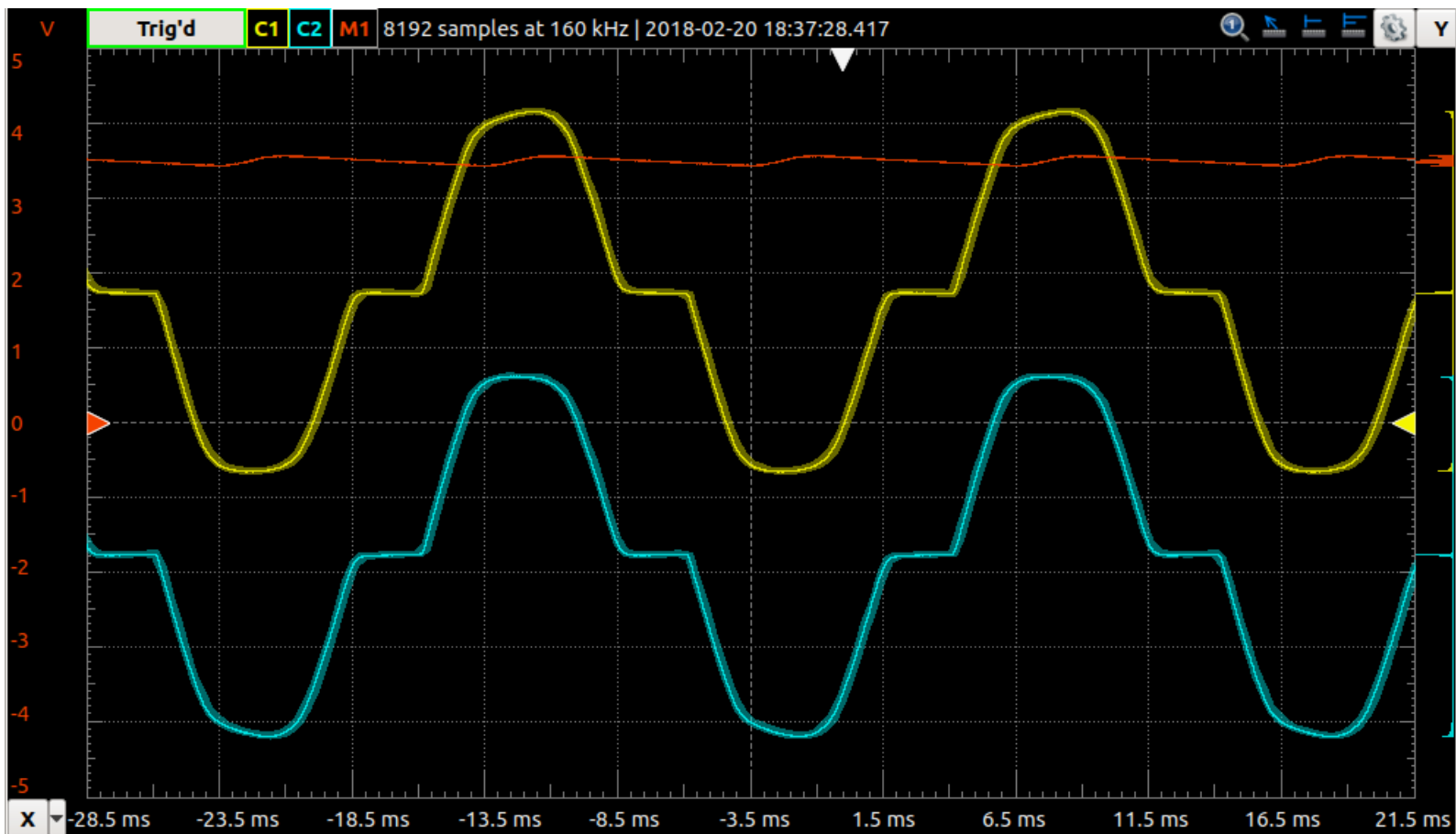
$$\underline{dU = (I_{av} * \frac{3}{4}) / (2 * C * f)}$$

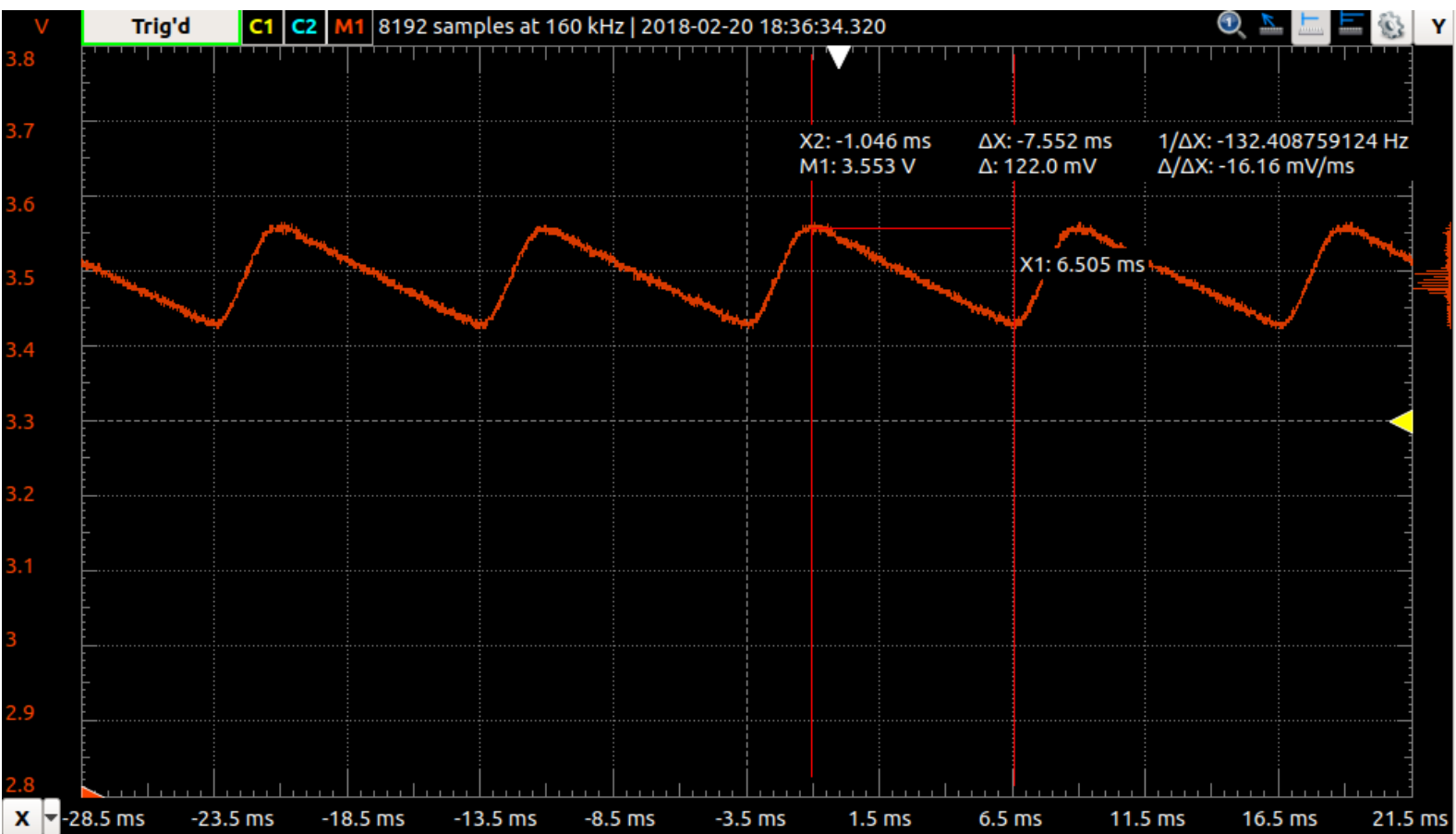
$$dU = 189 * 10^{-6} * \frac{3}{4} / (2 * 10 * 10^{-6} * 50) = 189 * \frac{3}{4} / 1000 = 141 / 1000 = \mathbf{0.141 \text{ V}}$$

Тепер результати стали набагато точніші (похибка = 2%).

### Дослідження за допомогою Analog Discovery:

Вихід:





Амплітуда пульсації напруги на резисторі = **122 mV**

Похибка у порівнянні із моделлю склала **15%** .

$$I_{av} = (I_{max} + I_{min}) / 2 = (3.431 / 20000 + 3.553 / 20000) / 2 =$$

$$= (0.000171 + 0.000178) / 2 = 0.000174 = 174 \text{ mA}$$

Похибка у порівнянні із моделлю = **8%**.

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

$$dU = 174 * 10^{-6} / (10 * 10^{-6} * 50 * 2) = 174 / 1000 = \mathbf{0.174 \text{ V}}$$

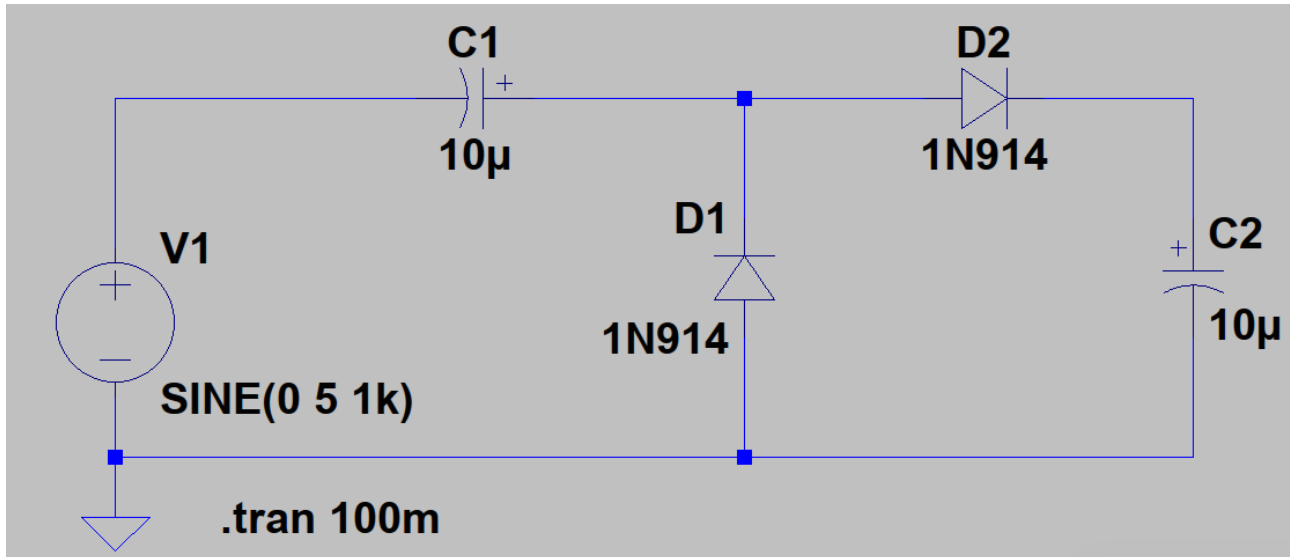
Похибка у порівнянні із моделлю = **20%**.



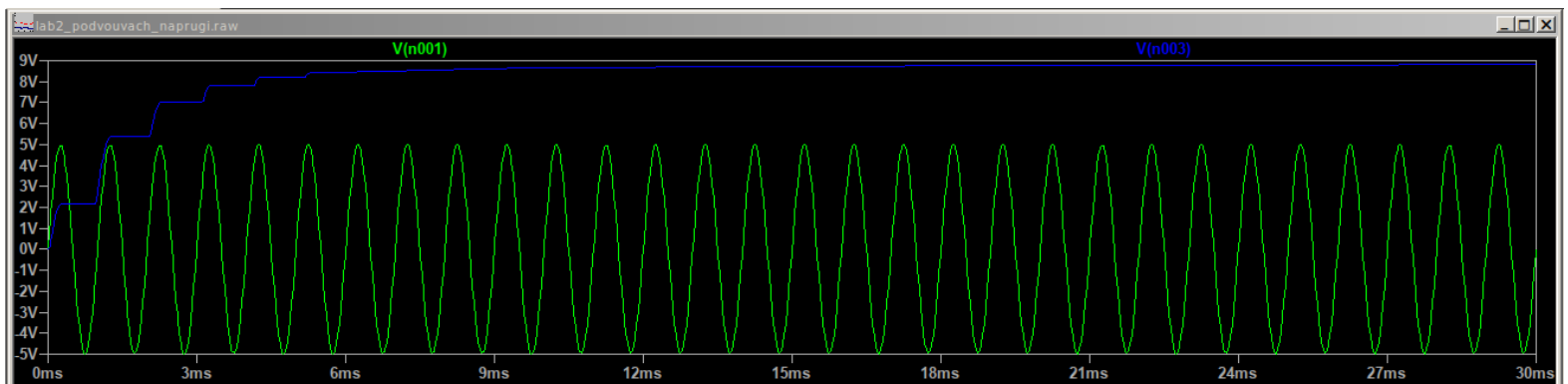
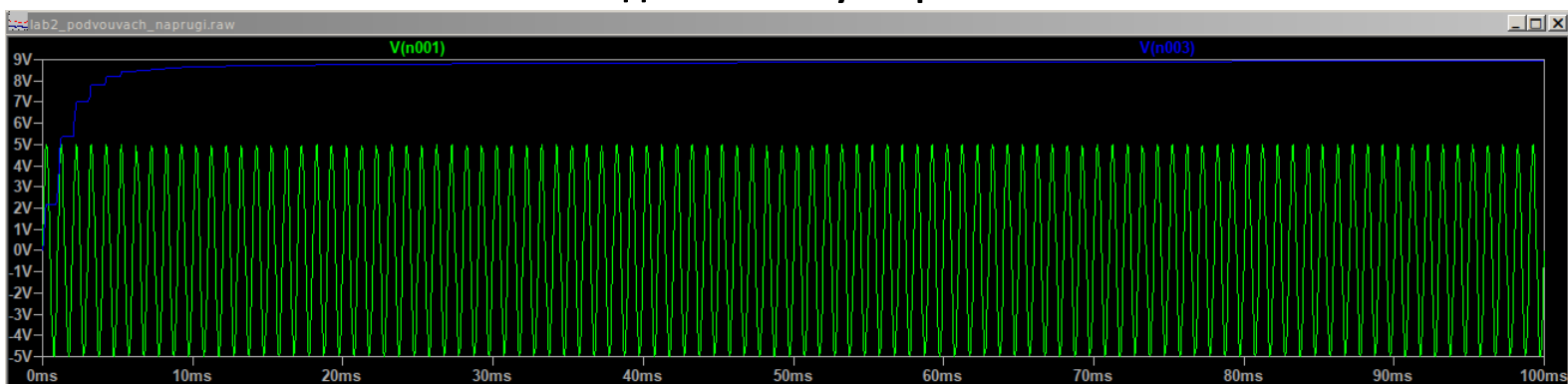
## Завдання 3

### Дослідження подвоювача напруги

Схема



Моделювання у LTSpice:



Отримана осцилограмма справді співпала із наведеною в методичці, напруга на виході дійсно стабілізувалася на відмітці **8.8 V**.

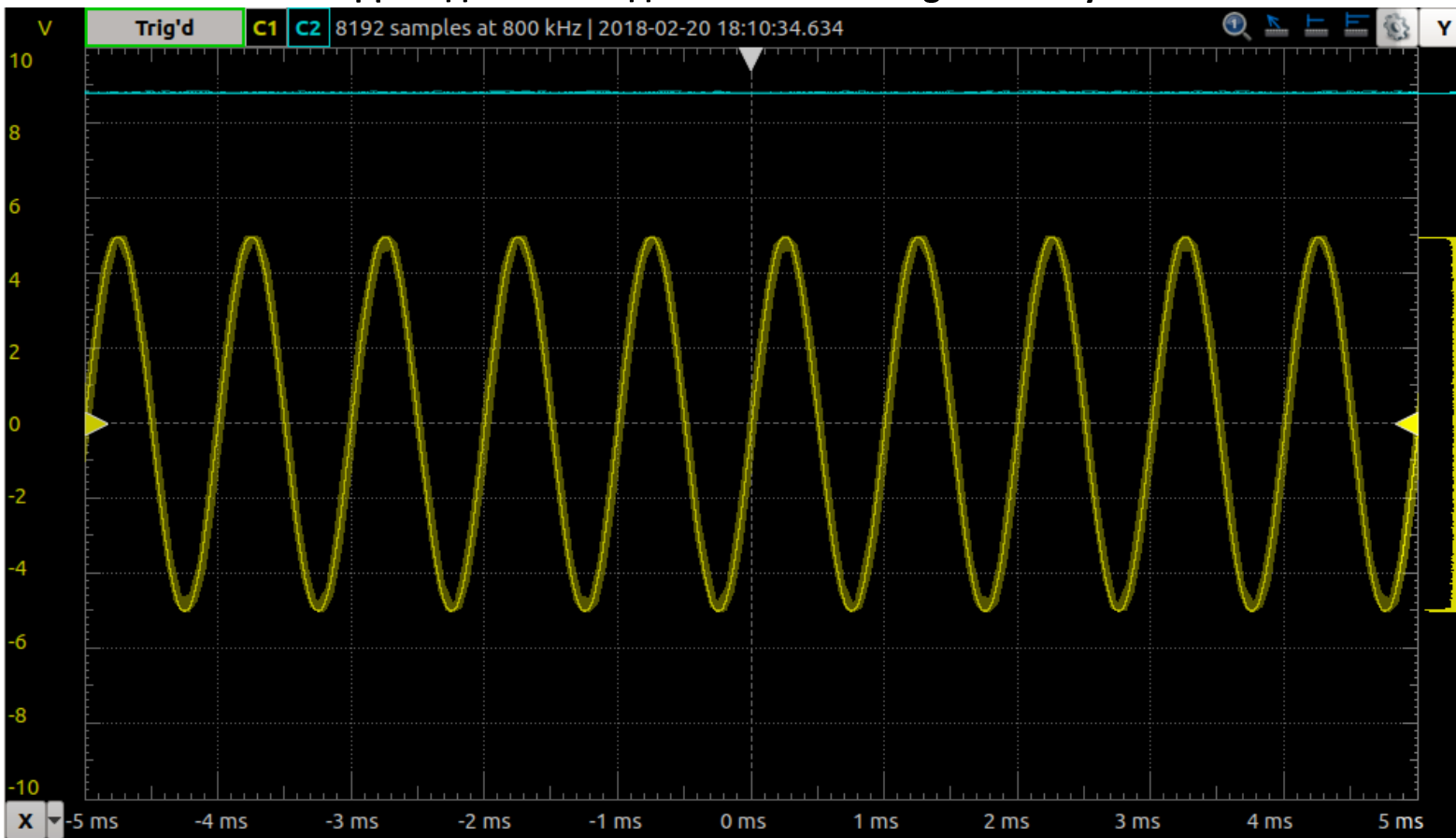
Чому напруга на виході подвоювача приймає значення саме 8.8 В, а не 10 В?

Тому що формула обчислення **U<sub>out</sub>** подвоювача напруги має вигляд:

$$\mathbf{U_{out} = 2 * U_{in\ max} - 2 * U_{vd}}$$

Де **U<sub>vd</sub>** – напруга відкривання діода (напруга, що на ньому падає). Ця напруга йде на те, щоб підтримувати діод у відчиненому стані. Для звичайних кремнієвих діодів ця напруга складає **[0.6 – 0.8] В**. І сума напруг на цих двох діодах якраз і дає падіння **1.2 В**.

### Дослідження за допомогою Analog Discovery:

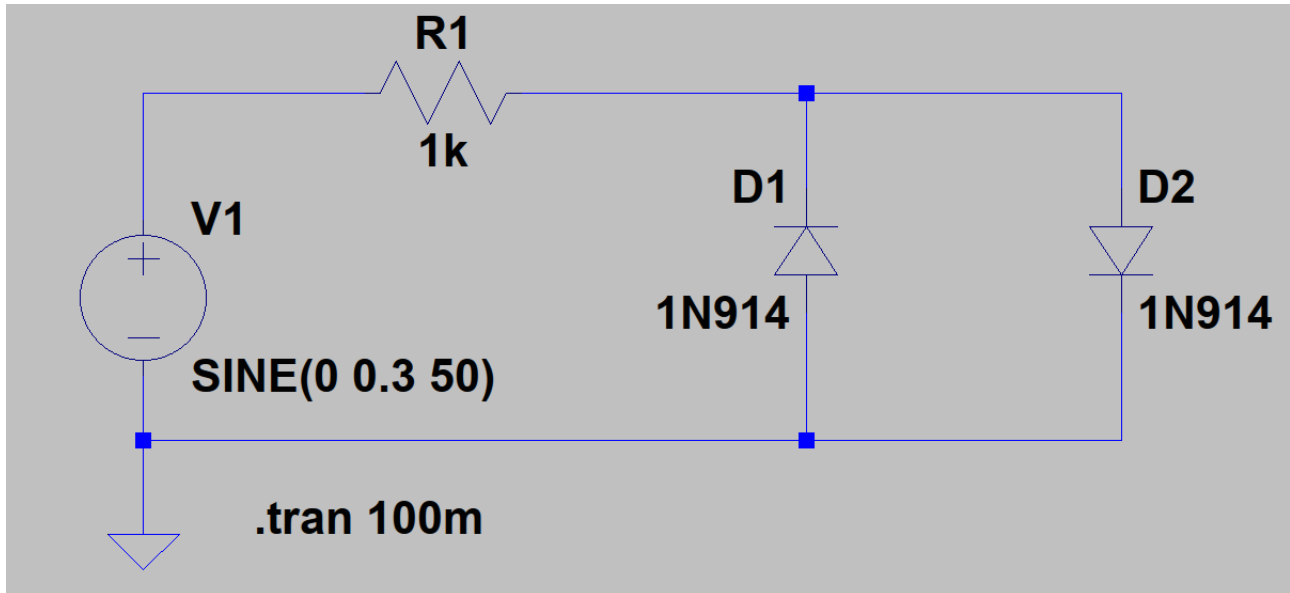


Отримані реальні результати абсолютно точно співпали із теоретичними.

## Завдання 4

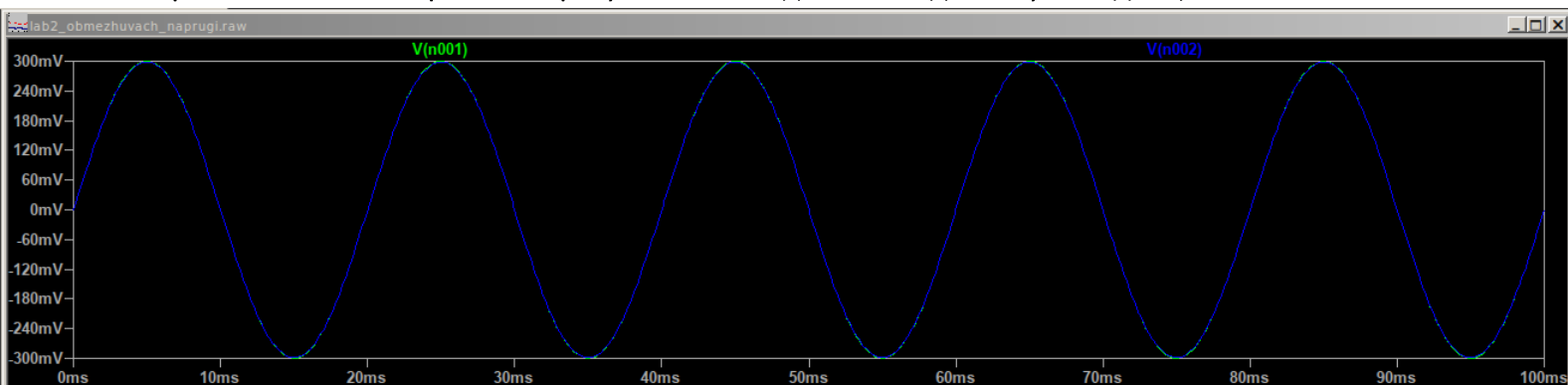
### Дослідження обмежувача напруги

Схема

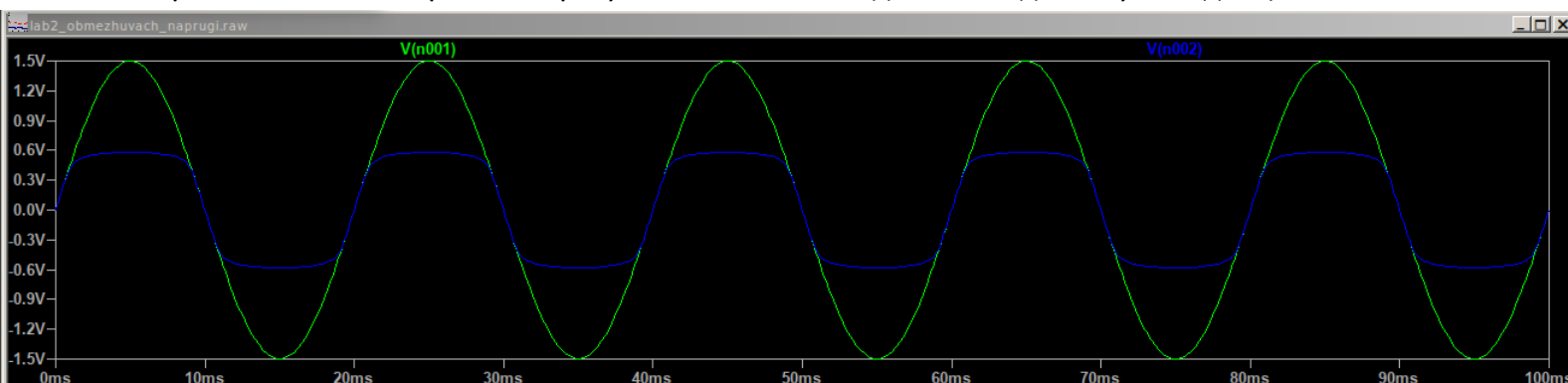


Моделювання у LTSpice:

При  $U_{in} = 0.3 \text{ V}$  отриманий результат співпадає із наведеним у методичці:



При  $U_{in} = 1.5 \text{ V}$  отриманий результат також співпадає із наведеним у методичці:



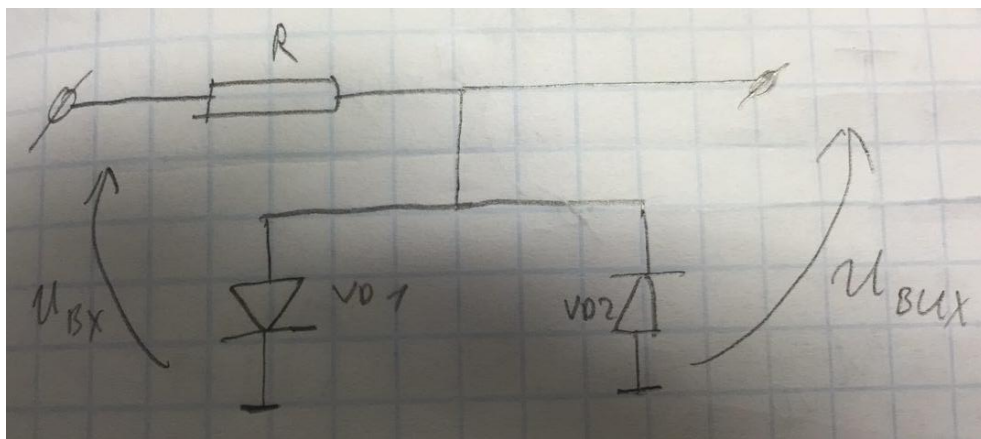
Поясніть принцип роботи даної схеми.

На якому компоненті буде виділятися решта вхідної напруги?

Чому?

Це – обмежувач напруги і він обмежує напругу :) Цей обмежувач, до речі, двосторонній (тобто, обмежує її як зверху, так і знизу). Величина напруги по модулю, до якої він обмежує становить  $U_{vd}$  – напругу відкриття діода.

Для кращого пояснення я приведу схему із конспекту:



Тепер розглянемо 3 випадки (режими), у яких може працювати наша схема:

1)  $-0.7\text{ V} < U_{in} < 0.7\text{ V} \Rightarrow U_{out} \approx U_{in}$

Коли напруга на вході за модулем менша за напругу відкриття діода, нічого не змінюється (майже<sup>1\*</sup>) тому що діоди працюють як діелектрики (майже<sup>1\*</sup>), бо не вистачає напруги щоб їх відкрити, отже, вихідний сигнал не змінюється.

<sup>1\*</sup> якщо ми подивимося на ВАХ діода – ми побачимо, що навіть нижче напруги відкриття діод пропускає якийсь мінімальний струм, який і вносить різницю між напругами входу і виходу, зменшуючи останню.

2)  $U_{in} > 0.7 \text{ V} \Rightarrow U_{out} = U_{vd1} \approx 0.7 \text{ V}$

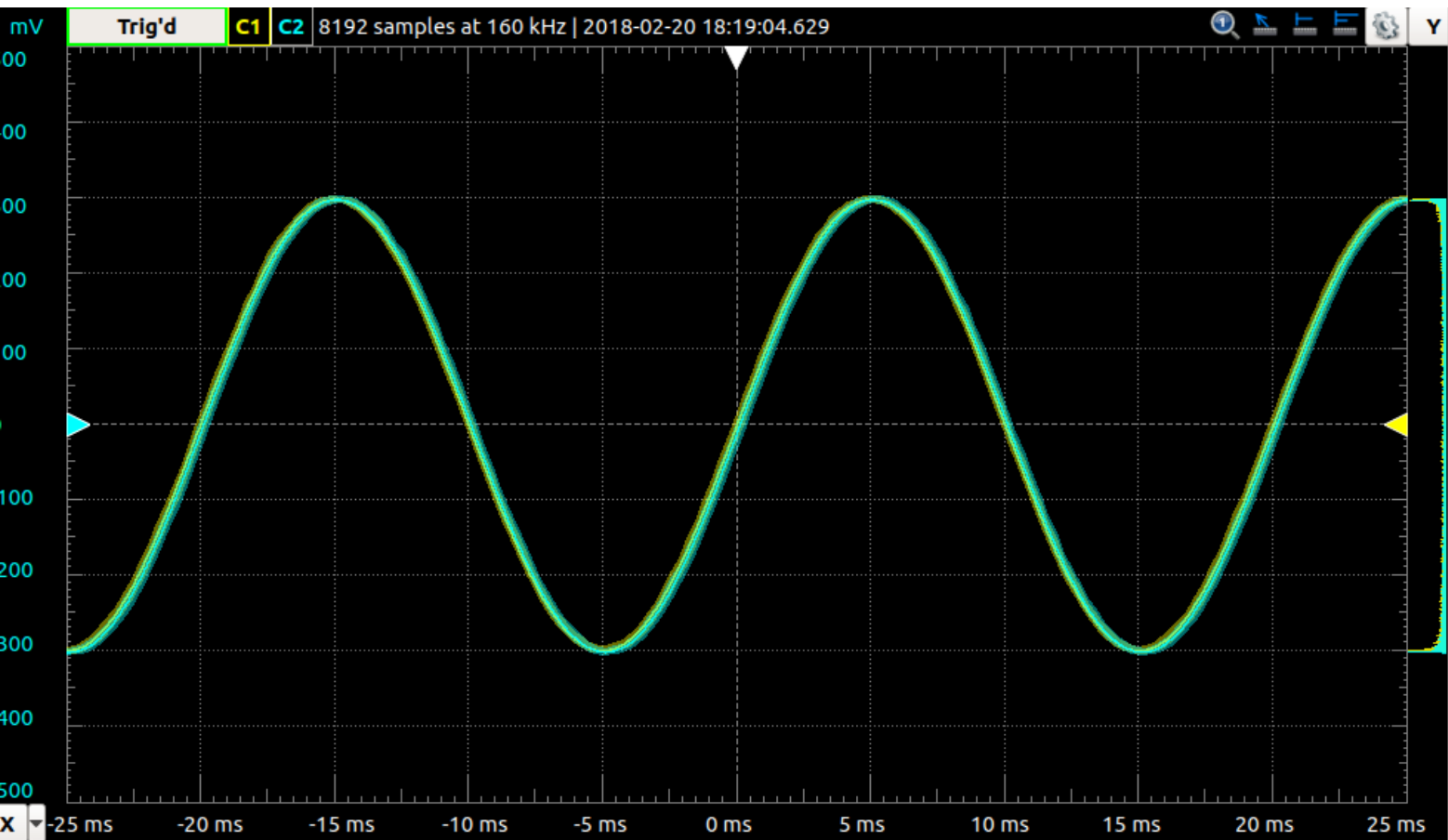
Ця ситуація вже цікавіша. Тут вхідна напруга дозволяє відкритися діода VD1 – отже, коли ми прикладаємо до входу напругу більшу ніж напруга відкривання цього діода, від відкривається та вся напруга, що більша за неї просто проходить на GND, а на виході ми маємо напругу відкривання діода VD1, тобто  **$\sim 0.7 \text{ V}$** .

3)  $U_{in} < -0.7 \text{ V} \Rightarrow U_{out} = U_{vd2} \approx 0.7 \text{ V}$

Ситуація аналогічна попередній, за виключенням того, що весь надлишок від'ємної напруги проходить на землю через діод VD2.

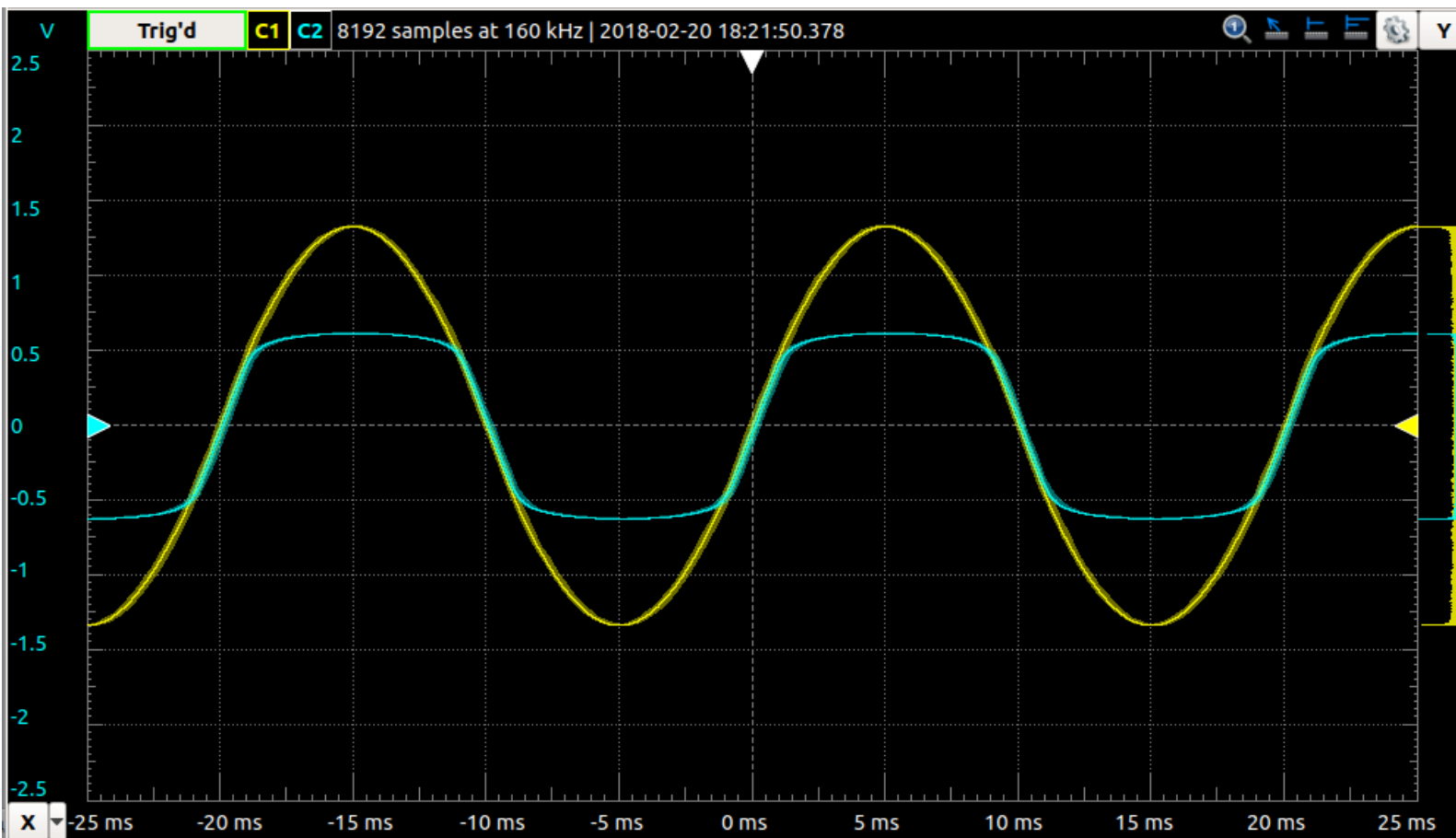
#### Дослідження за допомогою Analog Discovery:

1)  $U_{in} = \sin 0.3 \text{ V}, 50 \text{ Hz}$



Результат спідає із моделюванням, сигнали накладаються

2)  $U_{in} = 1.5 \text{ V}$ ,  $50 \text{ Hz}$



Результат також співпав із моделюванням, вихідний сигнал обмежується на напрузі **0.6V** .