

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КІЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМ. І. СІКОРСЬКОГО»  
Кафедра конструювання електронно-обчислювальної апаратури

КУРСОВА РОБОТА

з дисципліни Аналогова електроніка  
на тему: Регулятор швидкості кулера на 555 таймері

Студента 2 курсу групи ДК-71  
Напряму підготовки: Радіоелектронні апарати  
Спеціальності: Телекомунікації та радіотехніка  
Сідоренко М.І.

доцент , к.т.н. Короткий Є.В.  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)  
Національна оцінка: \_\_\_\_\_  
Кількість балів: \_\_\_\_\_ Оцінка: ECTS \_\_\_\_\_

Члени комісії: \_\_\_\_\_  
(підпись) \_\_\_\_\_  
(вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_  
(підпись) \_\_\_\_\_  
(вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Київ - 2019 рік

Зміст	
Вступ .....	3
РОЗДІЛ 1 – Вибір та дослідження принципової схеми .....	4
1.1 - Опис та характеристика таймеру NE555.....	4
1.2 - Схема приладу.....	6
РОЗДІЛ 2 – Математичне виведення залежності коефіцієнта заповнення.....	7
2.1 - Розрахунок опору термістора.....	7
2.2 - Розрахунок дільника напруги на виході CONT.....	7
2.3 - Розрахунок часу заряду конденсатора.....	7
2.4 - Розрахунок часу розряду конденсатора.....	9
2.5 - Розрахунок коефіцієнта заповнення.....	10
РОЗДІЛ 3 – Моделювання схеми .....	11
3.1 - Моделювання схеми в LTspice.....	11
3.2 - Моделювання при 10кОм.....	12
3.3 - Моделювання при 1кОм.....	13
3.4 - Моделювання при 0.5кОм.....	14
РОЗДІЛ 4 - Створення та дослідження готового прототипу.....	15
4.1 - Створення готового прототипу.....	15
4.2 - Дослідження готового прототипу.....	16
Висновки .....	20
Посилання .....	21

## Вступ

Температура навколошнього середовища іноді сильно впливає на електронні прилади. Вона може змінювати властивості приладу, прилад може вимикатись або взагалі вийти з ладу.

Температурна залежність електронних приладів настільки важливі, що знайшли багато варіантів рішення цієї проблеми. Від звичайних радіаторів до кріогенних систем охолодження.

Але іноді невідповідальні виробники нехтують охолодженням своїх електронних приладів, що може привести до виводу пристрою з ладу.

Існує багато схем з регулювання звичайного повітряного охолодження.

Одну я з них вирішив описати та зробити власноруч.

Я вважаю цю схему хорошим рішенням для багатьох приладів. Вона досить та проста в використанні.

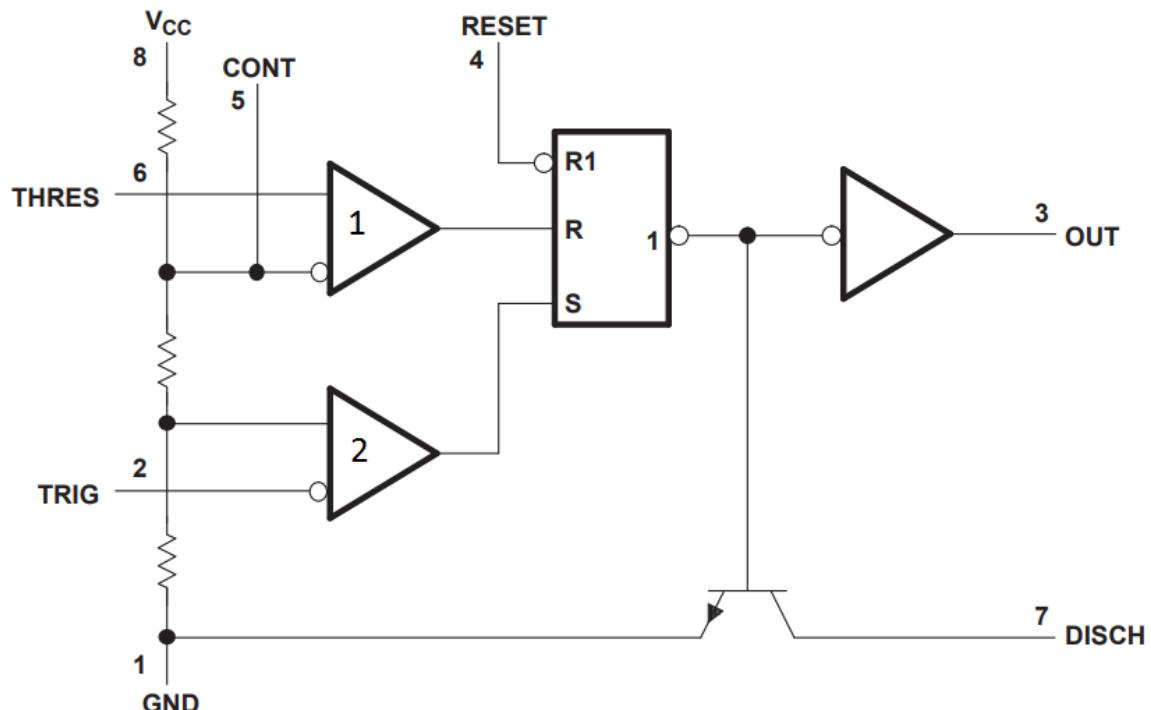
## РОЗДІЛ 1

### Дослідження принципової схеми приладу

#### 1.1 Опис та характеристики таймеру NE555.

Щоб зрозуміти як працює схема потрібно побачити її схему (Рис.1.1)

Схема та інформація взята з [1].



*Рисунок 1.1 (Внутрішня будова таймера 555)*

Опис кожного входу і виходу мікросхеми

1 - GND тобто мінус джерела живлення

2 - TRIG вхід запуску мікросхеми. З рис 1.1 видно що цей вхід підключений до негативного входу компаратору. На позитивному вході компаратора 1/3 від напруги живлення. Це означає, що якщо вхід запуску менше чим 1/3 від напруги живлення, то компаратор видасть логічну одиницю. В своїй чергі, ця логічна одиниця піде на вхід встановлення РС-тригера, а це вже означає, що на виході встановиться логічна одиниця, а транзистор закриється.

3 - OUT вихід схеми, струм може досягати 200mA

4 - RST інверсне скидання. Тобто на виході таймера встановиться логічний нуль якщо на 4 вхід подати 0 і потрібно подати 1, щоб цей вхід не впливав на роботу схеми

5 - CONT з цього виходу можна отримати напругу 2/3 від напруги живлення. Подаючи на цей вхід напругу, можна вплинути на рівень напруги, який потрібно досягти входу 6, щоб вплинути на компаратор. Збільшуючи цю напругу можна збільшити коефіцієнт заповнення на виході.

6 - THRES цей вхід підключений до позитивного входу компаратора 1. Негативний вхід компаратора підключений до напруги 2/3 від джерела живлення. Це означає, щоб встановити логічну 1 на виході компаратора потрібно щоб на цей вхід подали напругу більшу за 2/3 від живлення. В свою чергу ця логічна одиниця піде на вхід скидання РС-тригера і встановить логічний нуль на виході таймера, а транзистор стане відкритим.

7 - DISCHARGE вхід розряду, як можна побачити з рис. 1.1 цей вивід є колектором транзистора. Зазвичай використовується для розряду конденсатора. Якщо на виході логічний 0 то транзистор відкритий і вхід може розряджати конденсатори. Якщо на виході логічна одиниця, то цей транзистор закритий і вхід не може розряджати.

8 -  $U_{cc}$  вхід напруги живлення таймеру від 4.5 до 16В

До всіх входів можна прикладти напругу не більшу за  $U_{cc}$ . Робочий діапазон температур складає від 0 до 70 градусів по Цельсію.

Знаючи повний опис, зазначений вище, ми можемо легко побудувати схему мультивібратора на даній мікросхемі. Для більшої простоти ми можемо його взяти з даташиту[1].

Коли напруга на конденсаторі досягає 2/3 від напруги живлення, компаратор, що підключений до входу P приймає значення логічної 1 і як наслідок вихід тригера перемикається в логічний 0.

Транзистор на вході розряду таймера відкривається і в цей момент часу починається розряд конденсатору C1 через резистор R2 на вхід розряду.

Як тільки конденсатор розрядиться до напруги 1/3 від живлення, то компаратор, який відповідає за вхід встановлення на РС тригері видасть логічну 1 і тригер на виході видасть теж логічну одиницю. І так буде відбуватись циклічно.

Контролювати тривалість імпульсів на виході можна сумістю C1 і резисторами R1 і R2.

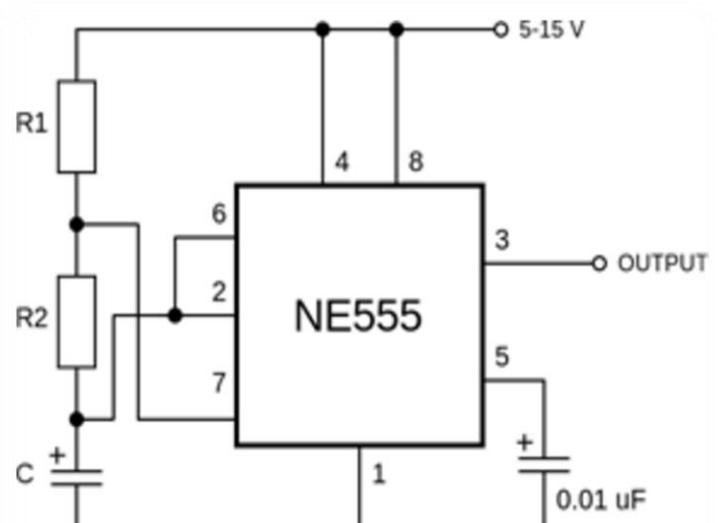


Рисунок 1.2 (Загальна схема мультивібратора)

Для того що коефіцієнт заповнення вихідного меандру був близький до 0.5 потрібно щоб  $R_2 \gg R_1$ .

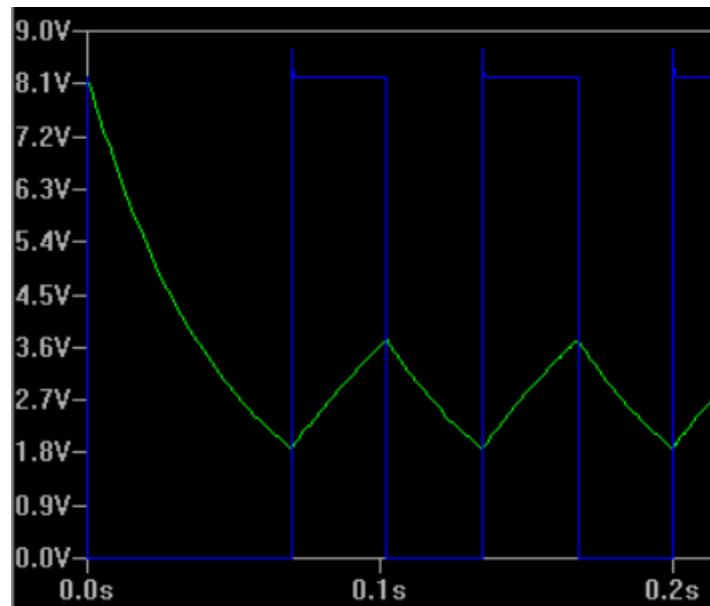


Рисунок 1.3 (Графік напруги на задавальному конденсаторі та виході)

## 1.2 Схема приладу

Схема складається з простої схеми[2](Рис.1.4).

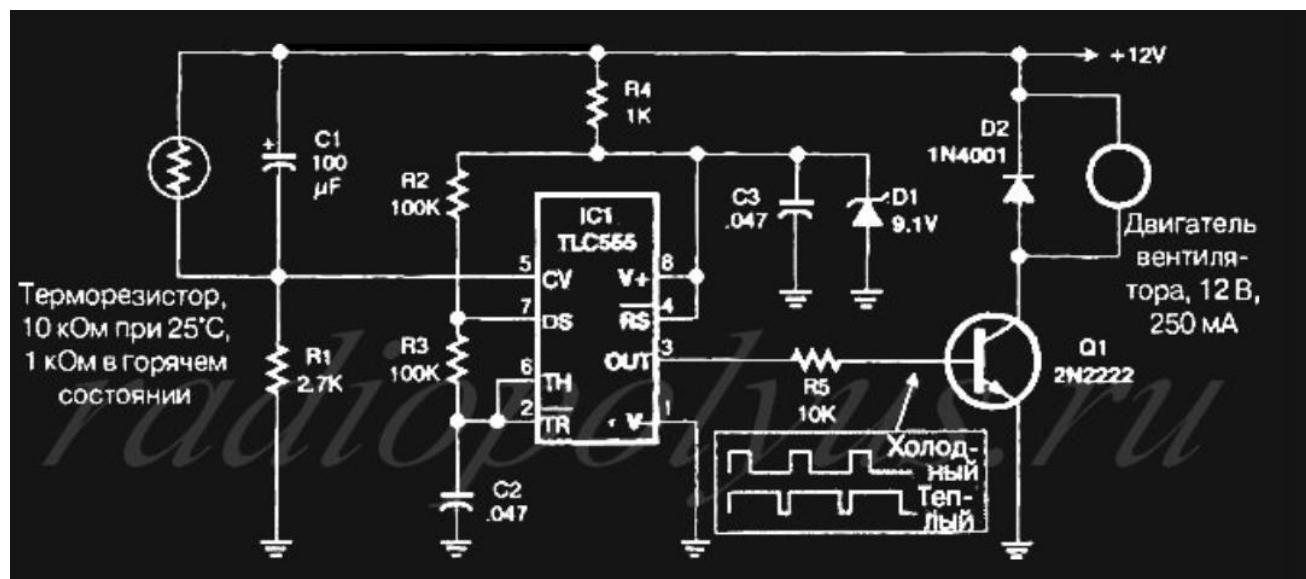


Рисунок 1.4

## РОЗДІЛ 2

Математичне виведення залежності коефіцієнта заповнення від температурі на термісторі.

### 2.1 Математичний розрахунок опору термістора.

Почнемо виведення з розрахунку опору термістора. У кожного термістора в документації вказано температурний коефіцієнт, використовуючи його ми можемо розрахувати опір при будь-якій температурі на ньому. Формула та інформація була взята з [3]

$$R_1 = R_2 * e^{(-B * \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2})}$$

де В – це температурний коефіцієнт термістора.

Для моого термістора він дорівнює 3434

Розрахувавши опір при температурі 100°C я отримав опір на термісторі приблизно в 1кОм.

### 2.2 Розрахунок дільника напруги на виході таймера CONT.

На виході CONT в схемі створений дільник напруги, який регулюється термістором.

$$U_{cont} = U_{in} \frac{R}{R_{\text{термістора}} + R}$$

### 2.3 Розрахунок часу заряду конденсатора.

На вихід таймера подається імпульс коли конденсатор заряджається до напруги на виході CONT. Тому для розрахунку потрібна формула заряду конденсатора до напруги CONT:

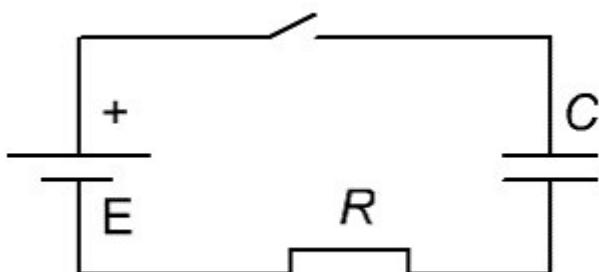


Рисунок 2.1 (Схема заряду конденсатора)

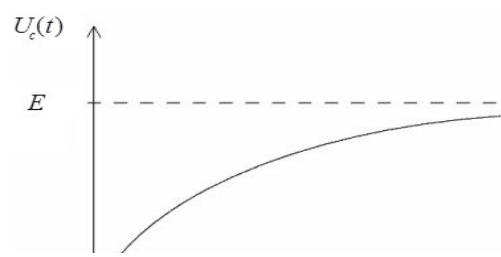


Рисунок 2.2 (Графік заряду конденсатора)

Заряд конденсатора відбувається через 2 послідовно підключені резистори, тому відразу розрахуємо:

$$R = R_1 + R_2 = 100\text{k}\Omega + 100\text{k}\Omega = 200\text{k}\Omega$$

За другим законом Кірхгофа:  $E = U_R + U_C$ , тоді  $U_C = E - U_R$ .

Так як  $I_R = I_C$ , то  $I_R = \frac{U_R}{R} = \frac{E - U_C}{R}$  та  $I_C = \frac{dU_C}{dt}$ . Можемо порівняти ці вирази.

Можна стверджувати, що  $\frac{dU_C}{dt} = -\frac{d(E - U_C)}{dt}$ , виходячи з цього  $\frac{dU_C}{dt} = -\frac{d(E - U_C)}{dt}$

Після маємо  $-RC \int \frac{d(E - U_C)}{E - U_C} = \int dt$ , та  $-RC \ln(E - U_C) = t + const.$

Тепер знайдемо константу.  $const = -RC \ln(E)$ , далі  $-RC \ln(E) = t - RC \ln(E)$

Якщо з цього рівняння вивести  $U_C$ , отримаємо формулу заряду конденсатора при умовах що вказувалися вище.

$$U_C(t) = E(1 - e^{\frac{-t}{RC}})$$

Знаючи що конденсатор заряджається до напруги  $CONT$ , то підставивши у формулу замість  $U_C$  можна вивести  $t$ .

$$t = -RC * \ln \frac{E - U_{cont}}{E}$$

Тепер можна розрахувати час імпульсу. Підставивши у рівняння значення:  $C = 0.47\text{мкФ}$ ,  $U_{CONT} = 2.76\text{В}$ ,  $E = 12\text{В}$  отримаємо:

$$t = -200 * 10^3 * 0.47 * 10^{-6} \ln \frac{12 * 2.76}{12} = 24.5\text{мС}$$

## 2.4 Розрахунок часу розряду конденсатора.

Час за який розрядається конденсатор, це час відсутності імпульсу. Тому, для розрахунку коефіцієнта заповнення нам потрібна ця формула. Розряд конденсатора відбувається через резистор ємністю 100кОм.

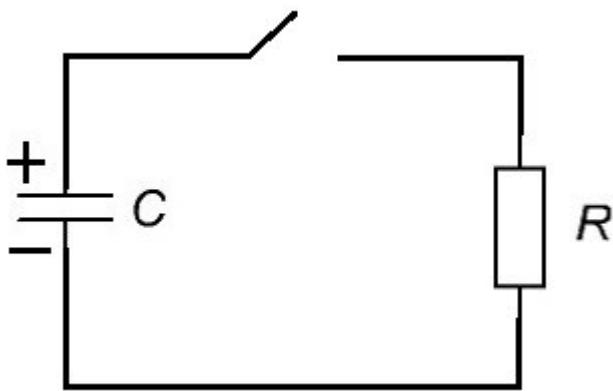


Рисунок 2.3 (Схема розряду конденсатора)

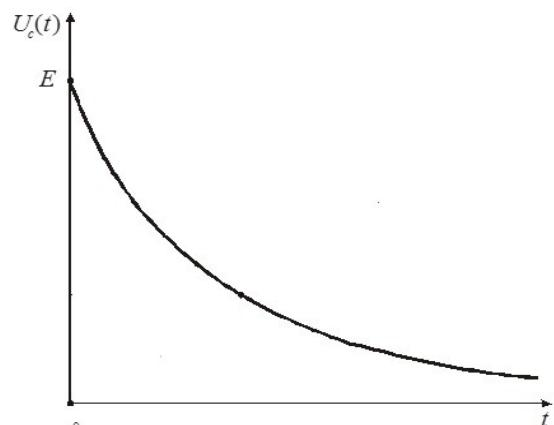


Рисунок 2.4 (Графік розряду конденсатора)

Конденсатор почне розряджатись  $U_c = U_R$

$I_R = -I_C$ , тому що в конденсаторі струм протікає від мінуса до плюса, а в схемі навпаки.

$$\text{Тоді } I_R = \frac{U_R}{R} = -\frac{U_C}{R}$$

$$I_C = C \frac{dU_C}{dt}$$

$$\int \frac{dU_C}{U_C} = - \int \frac{dt}{RC}$$

$$\ln U_C = -\frac{t}{RC} + \ln const$$

Конденсатор починає розряджатись при напрузі  $U_{cont}$

$$const = U_{cont}$$

$$\ln U_C = -\frac{t}{RC} + \ln(U_{cont})$$

$$U_C = U_{cont} * e^{-\frac{t}{RC}}$$

Виразивши  $t$  отримаємо

$$t = -RC * \ln \frac{E}{3 * U_{cont}}$$

Тепер можна розрахувати час розряду конденсатора.  $R = 100\text{k}\Omega$ ,  $C = 0.47\mu\text{F}$ ,  $U_{CONT} = 2.76\text{V}$ ,  $E = 12\text{V}$  отримаємо:

$$t = -100 * 10^3 * 0.47 * 10^{-6} * \ln \frac{12}{3 * 2.76} = 17.4\text{mC}$$

2.5 Розрахунок періоду та коефіцієнта заповнення[4].

$$T = 17.4\text{mC} + 24.5\text{mC} = 41.9\text{mC}$$

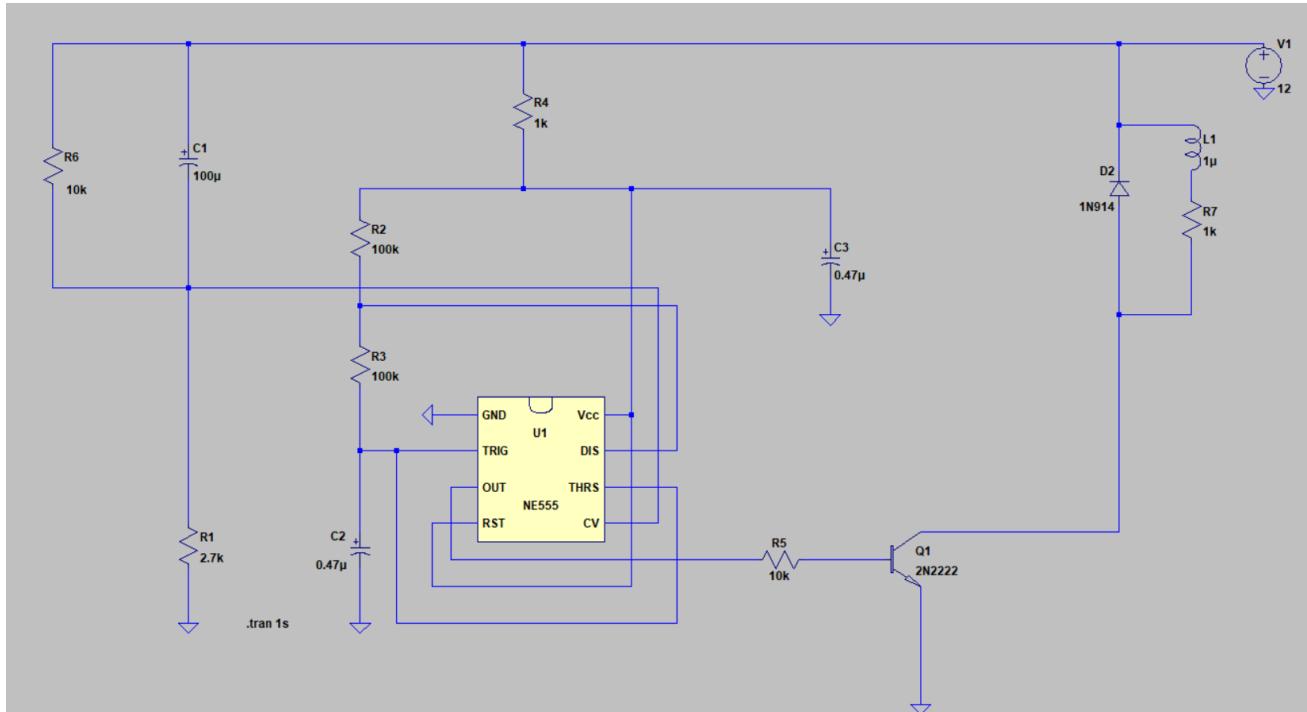
$$D = \frac{P}{T} = \frac{24.5\text{mC}}{41.9\text{mC}} * 100\% = 58.5\%$$

## РОЗДІЛ 3

### Моделювання схеми

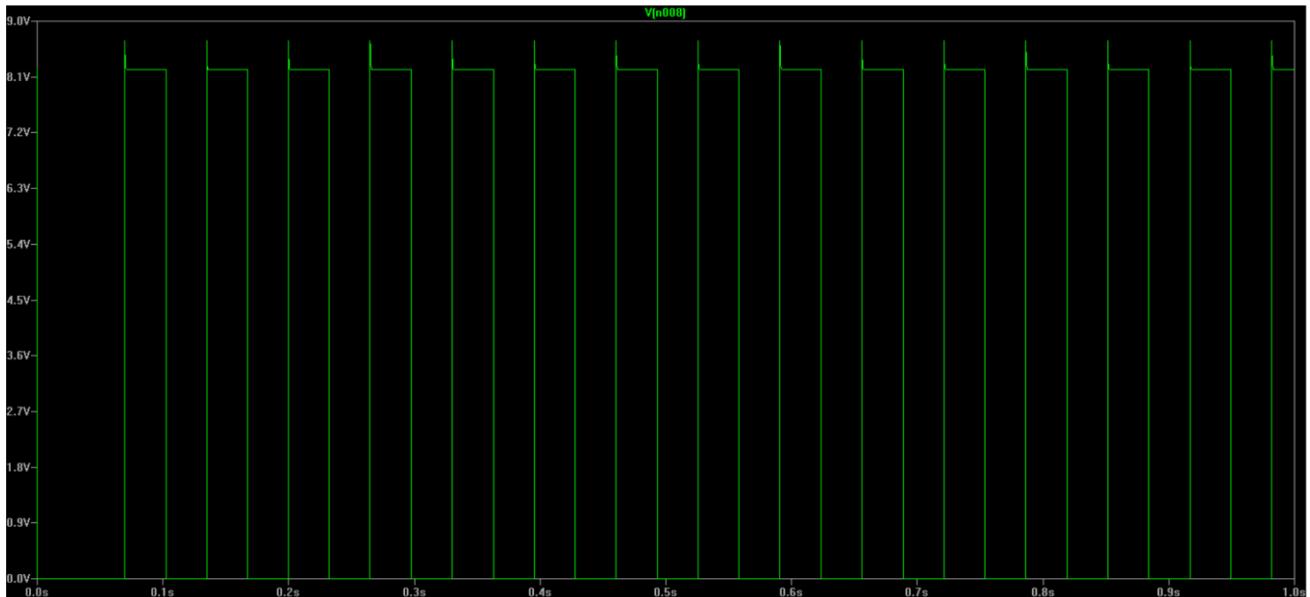
#### 3.1 Моделювання схеми в LTspice[5]

Спочатку я зібрав схему в симуляторі. Замість термістора я вирішив використати постійний резистор через відсутність термісторів в симуляторі. Я міг би використати команду симулятора “.STEP”, але при використанні цієї команди на виході отримували багато сигналів які тяжко вимірюти.



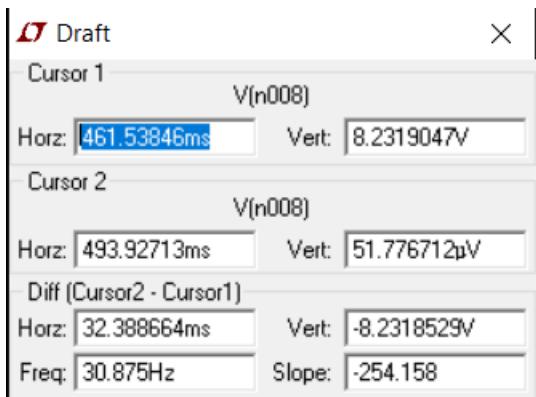
*Рисунок 3.1 (Досліджувана схема в симуляторі)*

3.2 Спочатку я дослідив схему при опору термістора 10кОм, що відповідає температурі 25°C (Рис 3.2) :

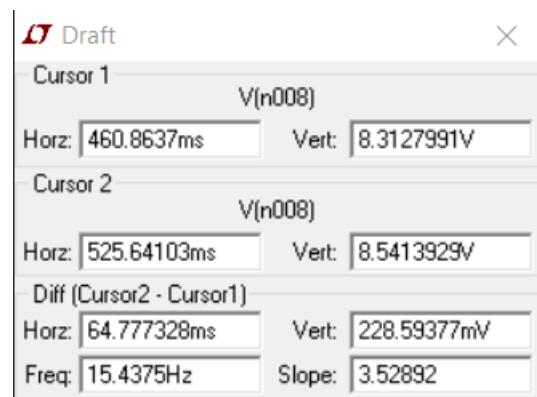


*Рисунок 3.2 (Сигнал на виході таймера)*

Отримав такі значення тривалості імпульсу (Рис. 3.3) та періоду(Рис. 3.4):



*Рисунок 3.3 (Тривалість імпульсу)*



*Рисунок 3.4 (Період)*

При моделюванні в симуляторі коефіцієнт заповнення при температурі 25°C:

$$D = \frac{P}{T} * 100\% = \frac{32.38}{64.77} * 100\% = 49.9\%$$

3.3 Далі я промоделював схему при опорі термістора 1кОм що приблизно дорівнює 100°C (Рис. 3.5):

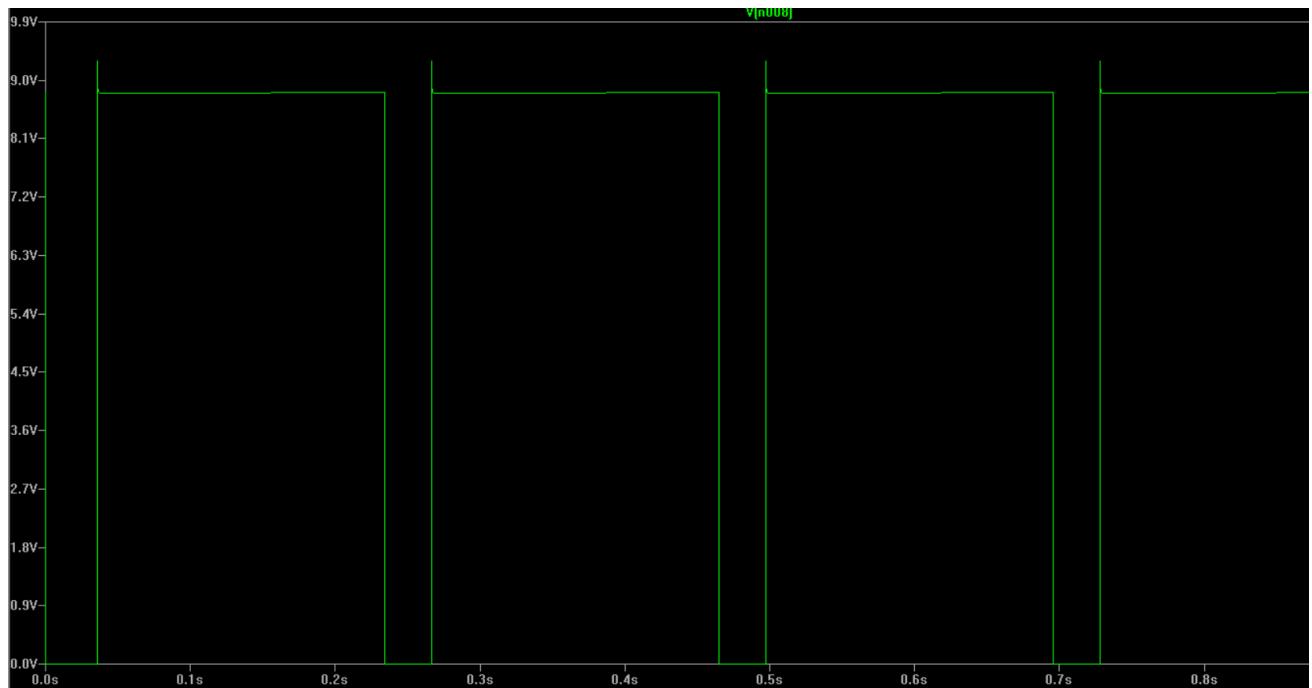


Рисунок 3.5 (Сигнал на виході)

Отримав такі значення тривалості імпульсу (Рис. 3.6) та періоду (Рис.3.7):

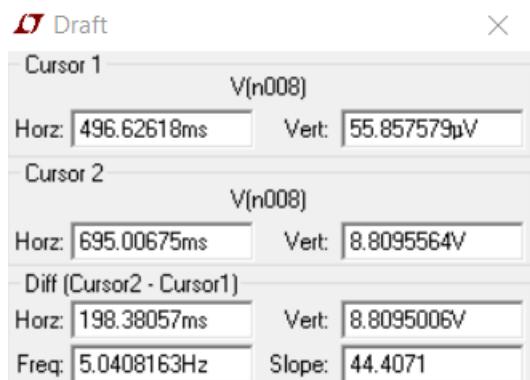


Рисунок 3.6 (Тривалість імпульсу)

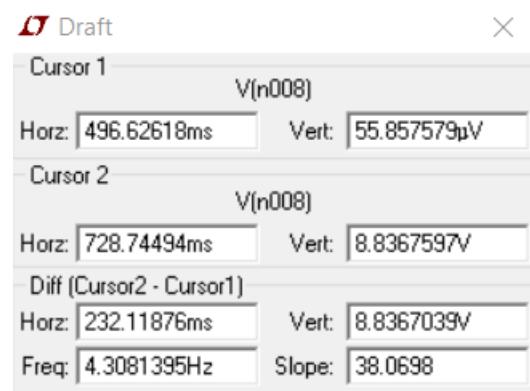
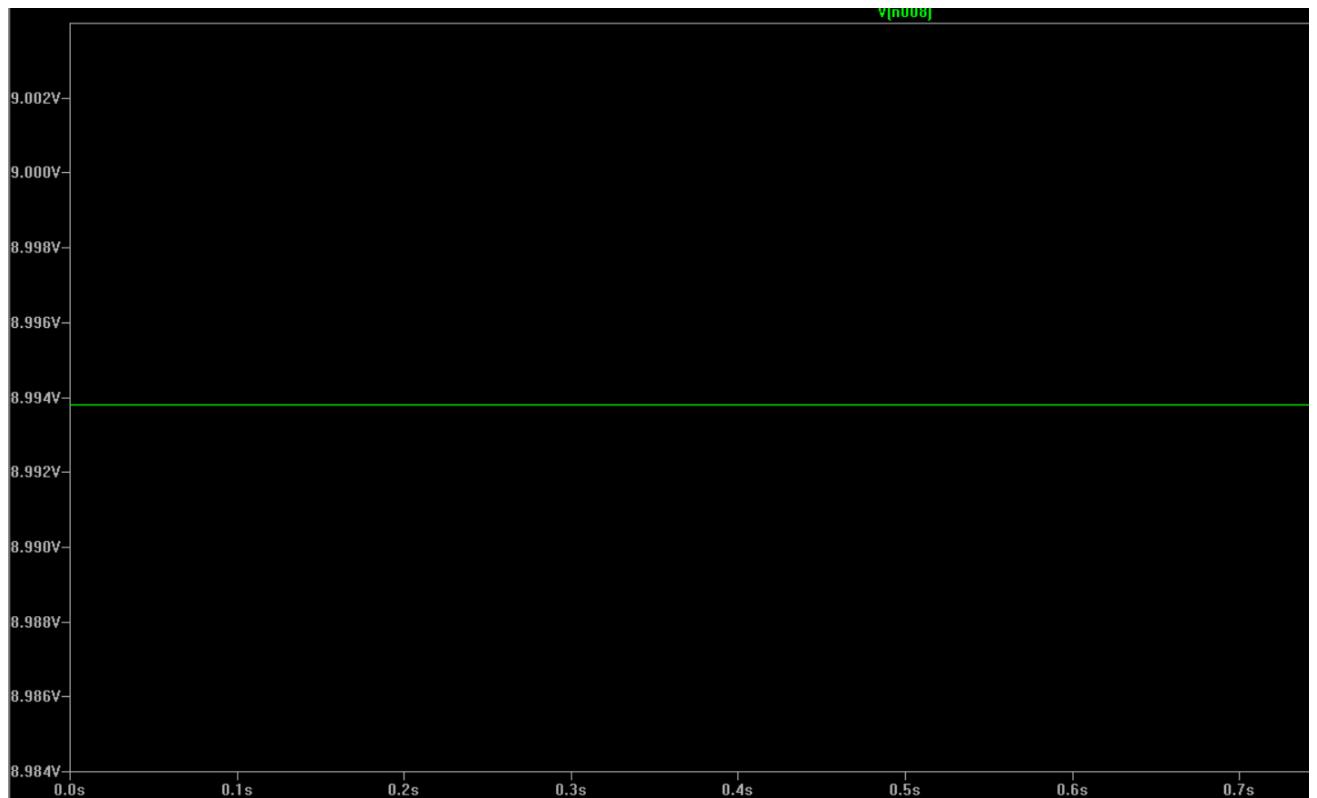


Рисунок 3.7 (Період)

При моделюванні в симуляторі коефіцієнт заповнення при температурі 100°C:

$$D = \frac{P}{T} * 100\% = \frac{198.38}{232.11} * 100\% = 85.5\%$$

3.4 Далі я промоделював схему при опорі 0.5кОм що приблизно відповідає температурі 120°C (Рис. 3.8) :



*Рисунок 3.8 (Сигнал на виході)*

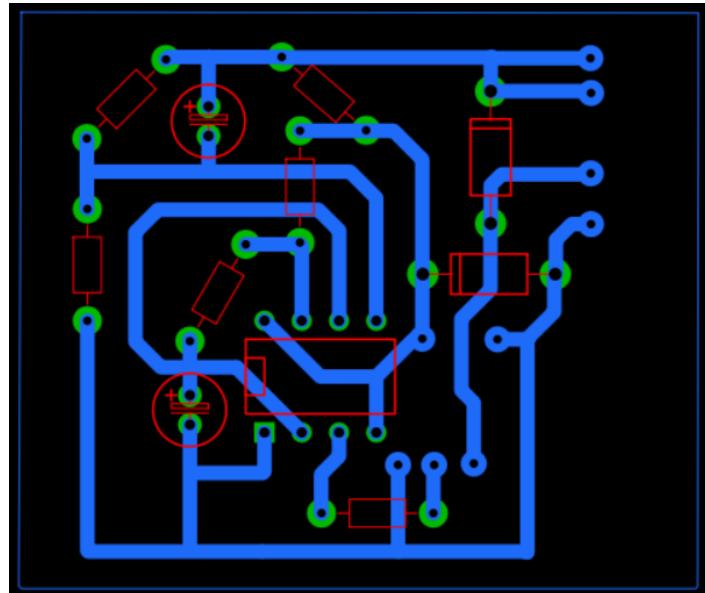
З результату видно що коефіцієнт заповнення дорівнює 100%. І це відповідає вимірюванням на прототипі.

## РОЗДІЛ 4

### Створення та дослідження готового прототипу

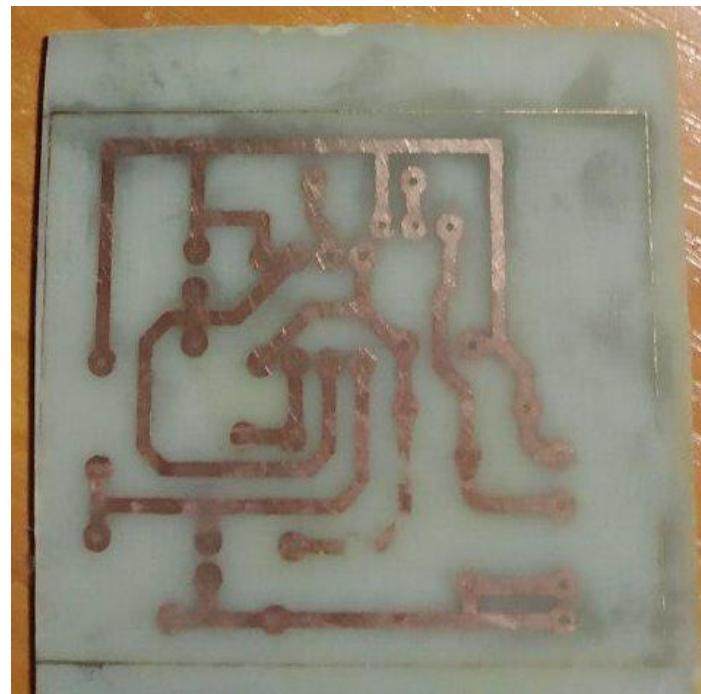
#### 4.1 Створення готово прототипу

Після моделювання схеми в LTSpice[5] було прийнято рішення перейти до створення друкованого вузла. Його розробка пройшла в програмі Sprint Layout[7], і кінцевий результат мав такий вигляд:



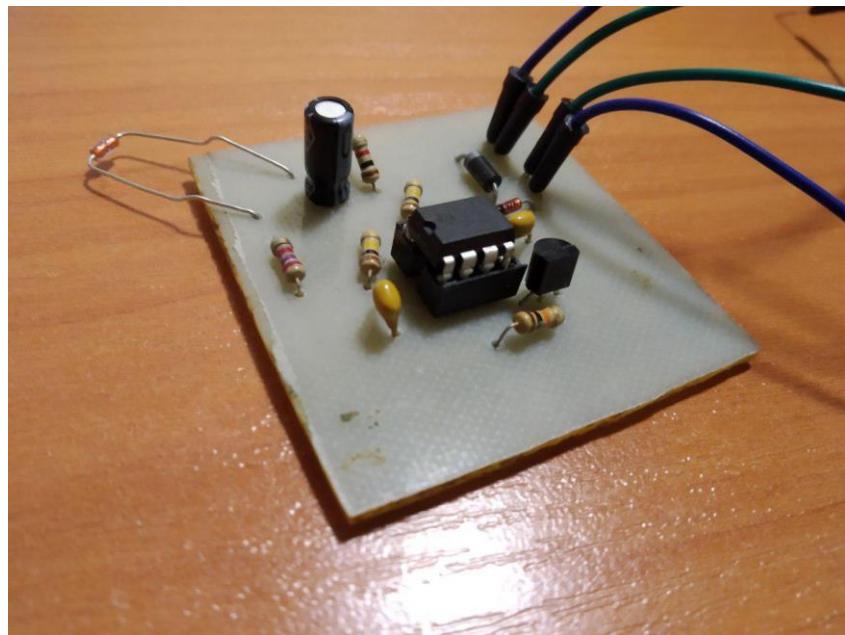
*Рисунок 4.1 (Шаблон друкованого вузла. Виконаний в SprintLayout)*

Для реалізації цього вузла, я використав метод ЛУТ[6]. Після створення друкованої плати та її лудіння сплавом отримав такий результат:



*Рисунок 4.2 (Створення друкованої плати ЛУТ методом)*

Потім на друковану плату були припаяні всі елементи, отримали такий результат (Рис. 4.3):



*Рисунок 4.3 (Готовий прототип)*

#### 4.2 Дослідження готового прототипу

Дослідження прототипу почалося з вимірювання тривалості імпульса та періоду. При підключені осцилографа до схеми я отримав такий результат (Рис. 4.4, Рис. 4.5) :



*Рисунок 4.4 (Тривалість імпульса)*

Отже при температурі 25°C тривалість імпульса дорівнює 14.31 мс.



*Рисунок 4.5 (Тривалість відсутності імульсу)*

Тривалість відсутносі імульсу дорівнює 14.55 мс.

Коефіцієнт заповнення при температурі 25°C дорівнює:

$$D = \frac{P}{T} * 100\% = \frac{14.31}{14.55 + 14.31} * 100\% = 49.5\%$$

Далі я почав нагрівати термістор термофеном і зробив ще декілька вимірюв:

При температурі 100°C я отримав такі результати (Рис. 4.6 , Рис. 4.7) :

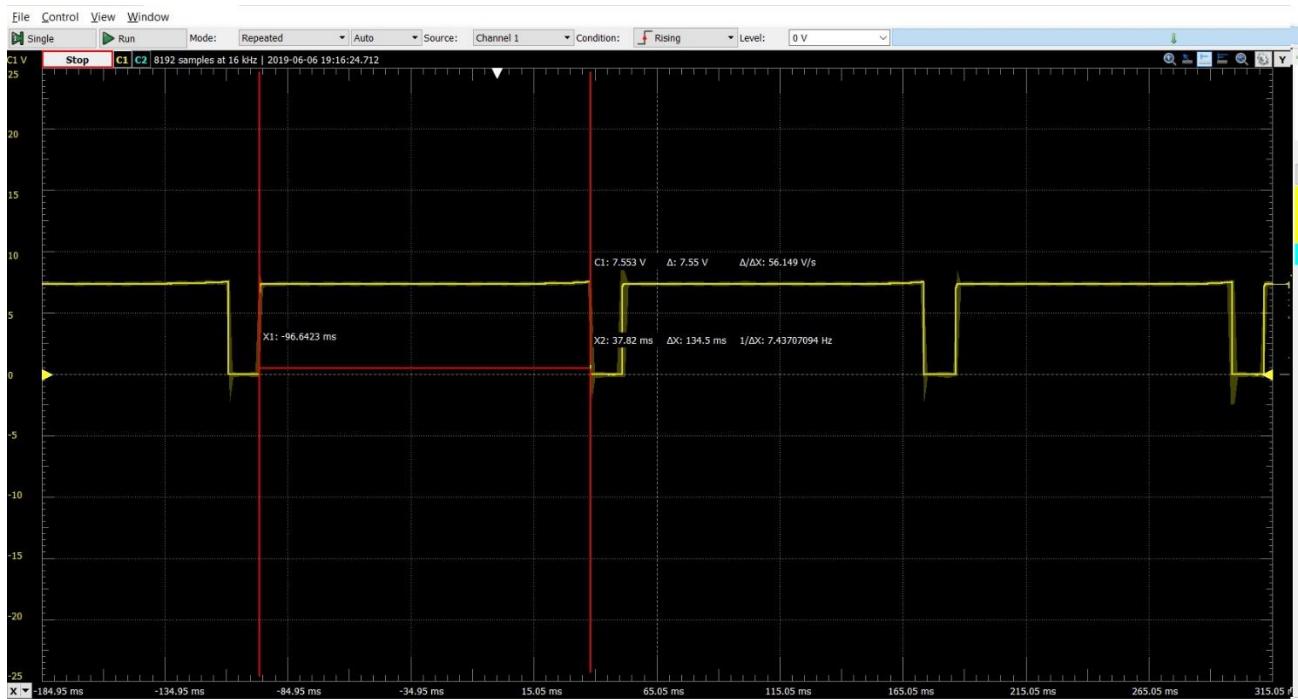


Рисунок 4.6 (Тривалість імпульсів)

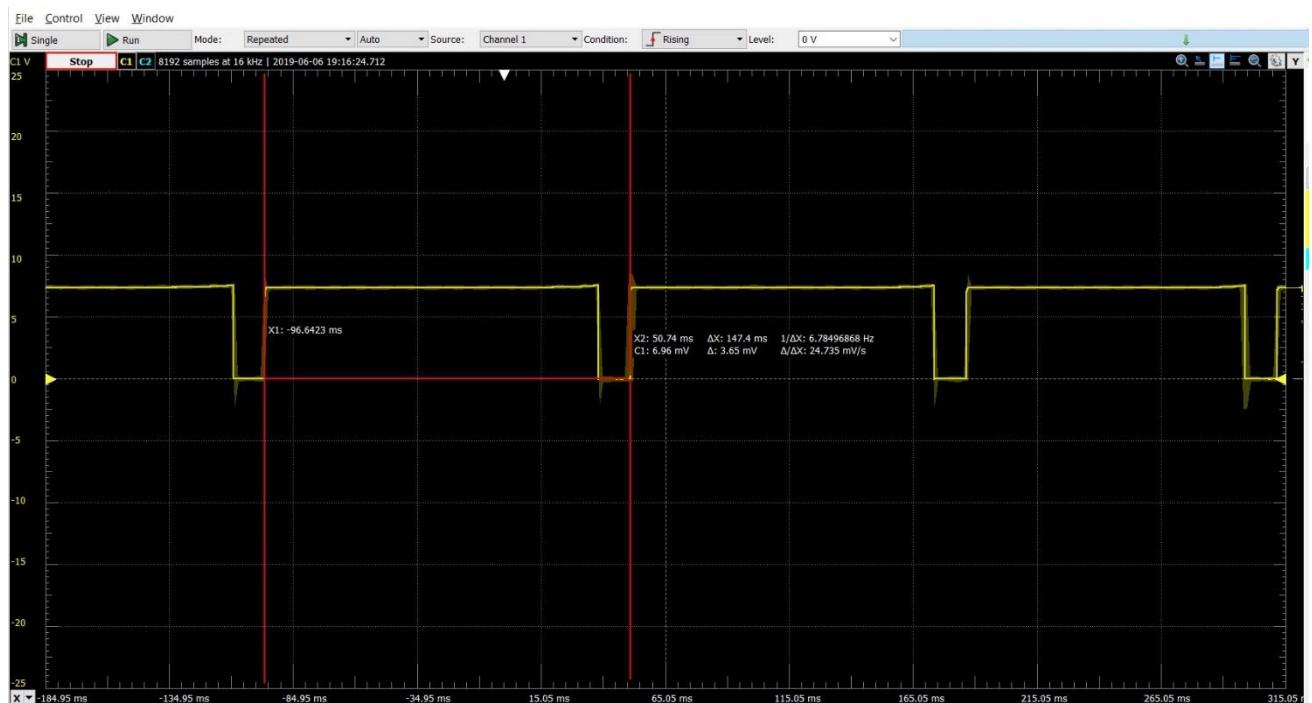


Рисунок 4.7 (Період)

Коефіцієнт заповнення при 100°C дорівнює:

$$D = \frac{P}{T} * 100\% = \frac{134.5}{147.4} * 100\% = 91.2\%$$

При температурі 120°C я отримав такі результати (Рис. 4.8) :

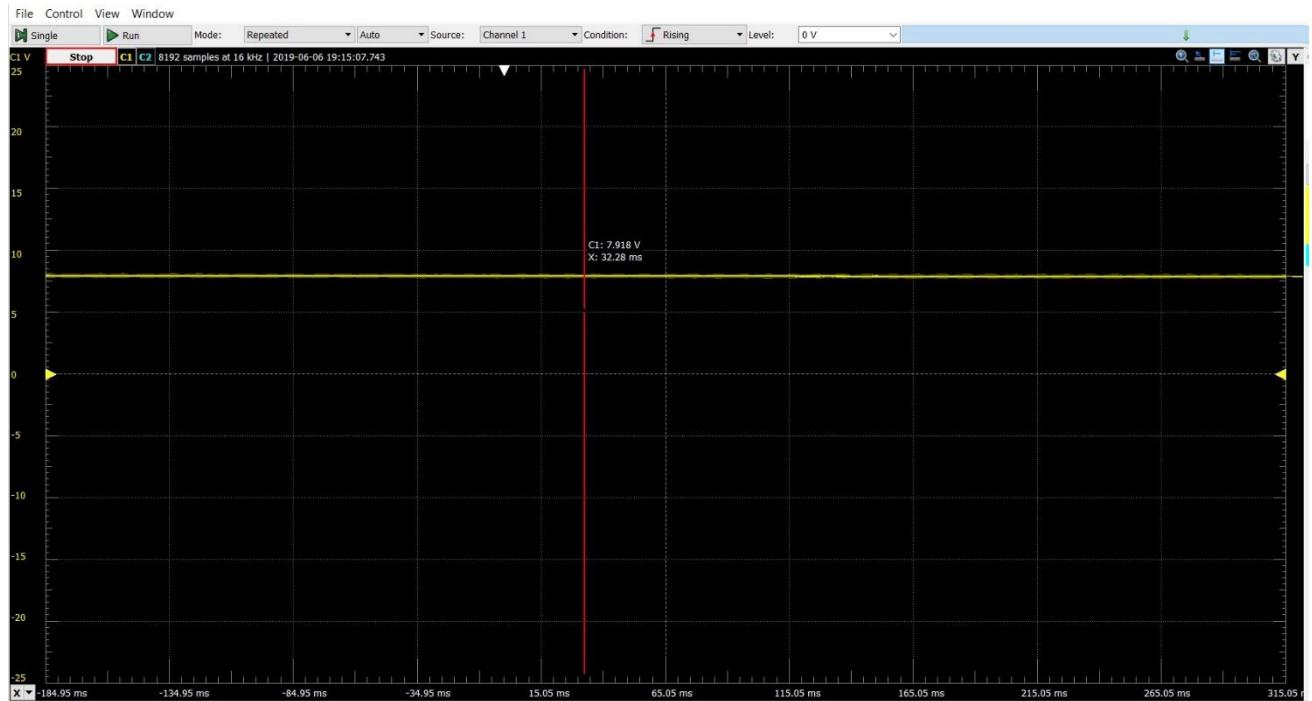


Рисунок 4.8 (Тривалість імпульса)

З рисунку 4.8 видно що коефіцієнт заповнення при 120°C дорівнює 100%.

## Висновки

Підсумуємо зроблену роботу.

В першому розділі я повністю розібрався з обраною схемою, навів умови його роботи та принцип роботи.

У другому розділі я теоретично розрахував коефіцієнт заповнення.

У третьому розділі я провів дослідження схеми в симулаторі LTspice з трьома різними опорами.

У четвертому розділі я розробив і зібрав робочий прототип на друкованій платі, та перевірив його працездатність. Прототип виявився повністю робочим. За допомогою осцилографу я вимірював вихідний сигнал і виявилося, що значення співпадають з результатами симуляції.

Загалом я отримав повністю робочий прототип регулятора швидкості кулера на таймері 555.

Ця схема має мало елементів, всі вони дуже розповсюджені і достатньо дешеві, тому цю схему може повторити кожен початківців електронної апаратури.

### Посилання

1. Даташит на мікросхему NE555 / [Електронний ресурс] –  
<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ne555.pdf>
2. Схема приладу / [Електронний ресурс] – <http://radiopolyus.ru/ne555/183-termorezistor-upravlyaet-skorostyu-vrashheniya-ventilyatora>
3. Інформація та формула опору термістора / [Електронний ресурс] –  
<http://aterlux.ru/article/ntcresistor>
4. Формула розрахунку коефіцієнта заповнення / [Електронний ресурс] –  
<https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BA%D0%B2%D0%B0%D0%B6%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C>
- 5 LTspice XVIII / Linear Technology/Analog Devices / [Електронний ресурс] –  
<http://www.linear.com/designtools/software/#LTspice>
6. Технологія ЛУТ / [Електронний ресурс] – <http://cxem.net/master/45.php>
7. Sprint Layout / [Електронний ресурс] - <http://radiostorage.net/3279-sprint-layout-6-proektirovaniye-pechatnyh-plat-dlya-ehlektronnyh-ustrojstv.html>