

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»  
Кафедра конструювання електронно-обчислювальної апаратури

**КУРСОВА РОБОТА**

з дисципліни Аналогова електроніка - 2  
на тему: Світлодіодний драйвер з ШІМ входом

Студента 2 курсу групи ДК-82

Напряму підготовки: Радіоелектронні апарати

Спеціальності: Телекомунікація та радіотехніка

Рудюка Б.Б.

Керівник:

\_\_\_\_\_доцент, к.т.н. Короткий Є.В.\_\_\_\_\_

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Національна оцінка: \_\_\_\_\_

Кількість балів: \_\_\_\_\_ Оцінка: ECTS \_\_\_\_\_

Члени комісії: \_\_\_\_\_доцент, к.т.н. Короткий Є.В.\_\_\_\_\_

(підпис)

(вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

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

Київ - 2020

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	3
СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ .....	4
РОЗДІЛ 1 – Дослідження принципової схеми приладу .....	5
1.1. Опис використаних мікросхем наведений у таблиці 1.1 .....	5
1.2. Пояснення принципу роботи компаратора у даному проекті .....	5
1.3. Пояснення взаємодії компаратора з MOSFET транзистором .....	8
1.4. ШІМ вхід другого компаратора LM393 .....	12
РОЗДІЛ 2 – Математичне обґрунтування деяких вузлів схеми .....	14
2.1. Опис завдання .....	14
2.2. Виведення формули для обрахунку значення струму світлодіода від положення ручки змінного резистора .....	15
2.3. Обрахування значення струму у залежності від положення ручки змінного резистора ...	18
РОЗДІЛ 3 – Моделювання роботи приладу .....	20
3.1. Опис програми, що використовувалася для симуляції .....	20
3.2. Опис схеми симуляції .....	20
3.3. Порівняння отриманих теоретичних значень струму світлодіода, обрахованих у другому розділі, з результатами симуляції .....	22
РОЗДІЛ 4 – Створення моделі друкованої плати .....	24
4.1. Опис програми, що використовувалась при створенні моделі друкованої плати .....	24
4.2. Процес створення моделі друкованої плати .....	24
ВИСНОВКИ .....	28
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	29

## ВСТУП

Світлодіод – це яскравий приклад розвитку технологій, який дуже швидко поширився, як на великих виробництвах, так і в побуті. Ми кожний день стикаємося з приладами, в яких наявний цей компонент. Потужні світлодіоди витіснили з ринку звичайні лампи розжарювання, маючи велику перевагу над ними. Вони у декілька разів більш ефективні ніж стандартні лампи, мають менше споживання напруги і більший час роботи. Але у них також наявні певні мінуси, підтримка їхньої стабільної роботи, не таке просте діло і вимагає спеціальних драйверів. Існує дуже велика кількість, різних готових драйверів, але вони не мають можливості регулювання струму на світлодіоді, або часто їх можливості зайві.

Тому до свого світлодіодного драйвера я пред'явив ряд вимог, які він має задовольняти для нормальної роботи. Він повинен мати широкий діапазон напруг на виході 5÷24В. Досить важлива функція, можливість регулювання струму світлодіода, за допомогою змінного резистора. Драйвер повинен мати невеликі розміри, для зручної роботи і легкого транспортування. Також досить важливим пунктом є можливість додаткового контролювання струму, на світлодіоді, за допомогою Arduino або мікроконтролера.

Для досягнення поставлених цілей необхідно:

1. Дослідити принципову схему пристрою.
2. Провести математичне обґрунтування окремих вузлів схеми.
3. Провести моделювання роботи пристрою у SPICE-системі.
4. Створити модель друкованої плати.

## СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ШИМ

Широтно-імпульсна модуляція

ФВЧ

Фільтр високих частот

## РОЗДІЛ 1

### Дослідження принципової схеми приладу

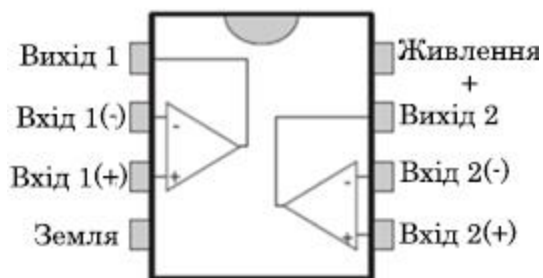
#### 1.1. Опис використаних мікросхем наведений у таблиці 1.1

*Таблиця 1.1. Перелік використаних мікросхем*

№ п. п.	Назва	Опис
1	LM393	<p>Подвійний диференціальний компаратор.</p> <p>Тип виходу: відкритий колектор.</p> <p>Основні технічні характеристики:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Широкий діапазон живлення: <math>2 \div 36\text{В}</math></li> <li>• Струм споживання: <math>0.45\text{ мА}</math></li> <li>• Час відгуку: <math>1.3\text{ мкс}</math></li> <li>• Напруга логічного «0»: <math>250 \div 400\text{ мВ}</math></li> </ul>

#### 1.2. Пояснення принципу роботи компаратора у даному проекті

В якості компаратора, у світлодіодному драйвері, використовується простий і дешевий LM393.



*Рис. 1.1: Виводи мікросхеми LM393.*

В його корпусі наявні два компаратора: перший ми використовуємо, щоб керувати MOSFET транзистором, другий слугує для додаткового керування за допомогою ШІМ сигналу. Компаратор порівнює напруги на інвертуючому та неінвертуючому входах і змінює опір свого виходу. Принцип його роботи зображено на рис. 1.2. LM393 має на виході відкритий колектор. Якщо на неінвертуючому вході напруга менше ніж на інвертуючому, то п-р-п біполярний транзистор, який знаходиться на виході компаратора, буде працювати у режимі насичення, на виході ми будемо мати незначний струм (компаратор малопотужний елемент) і низьку напругу. Для LM393 – ця напруга буде знаходитися у межах  $250 \div 400$  мВ. І навпаки, при ситуації, коли напруга на неінвертуючому вході буде більше ніж на інвертуючому, то п-р-п біполярний транзистор, буде працювати у режимі відсічки, на виході ми будемо мати нульовий струм і високу напругу (напруга джерела живлення). На вихід нашого компаратора ставимо підтягуючий резистор, на який подаємо напругу джерела живлення схеми (наприклад 15В), за допомогою нього напруга на виході буде переключатися з рівня +15В до рівня потенціала землі, коли напруга на вході стає від'ємною.

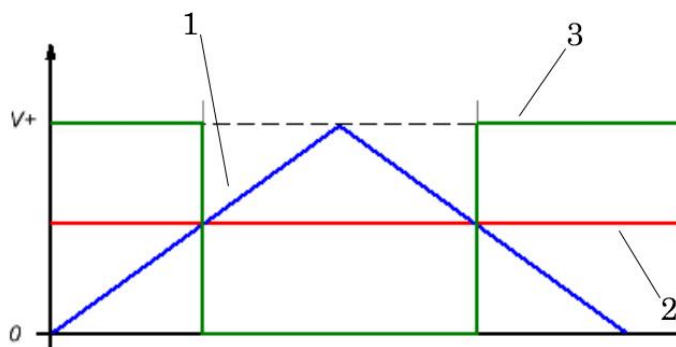


Рис. 1.2: Принцип роботи компаратора:

- 1 – напруга на неінвертуючому вході;
- 2 – напруга на інвертуючому вході;
- 3 – напруга на виході;

Підключення LM393, у схемі світлодіодного драйвера, зображено на рис. 1.3. На вході схеми стоїть резистор  $R_1$ , він задає струм на діоді  $D_1$ , що в свою чергу впливає на напругу цього діода. Даний діод слугує джерелом опорної напруги, для дільника напруги, який складається з: змінного резистора  $VR_1$  і  $R_2$ ,  $R_3$  (вони створюють захист від перекруту ручки змінного резистора). Напруга, що подається на інвертуючий вхід першого компаратора, знімається зі змінного резистора  $VR_1$ .

На неінвертуючий вхід, цього ж самого компаратора, подається напруга пропорційна струму на вимірювальних резисторах  $R_{10}$  і  $R_{11}$ , опором 1 Ом. Ці резистори підключені паралельно і утворюють подільник струму. Так як цей подільник підключений послідовно до світлодіода, струм на кожному з них, буде рівний половині струму світлодіода.

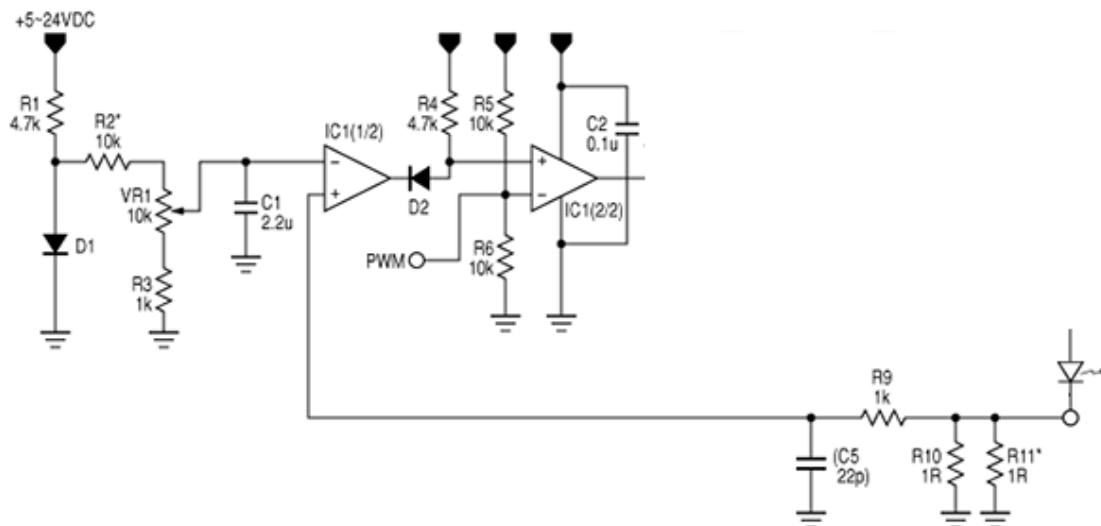
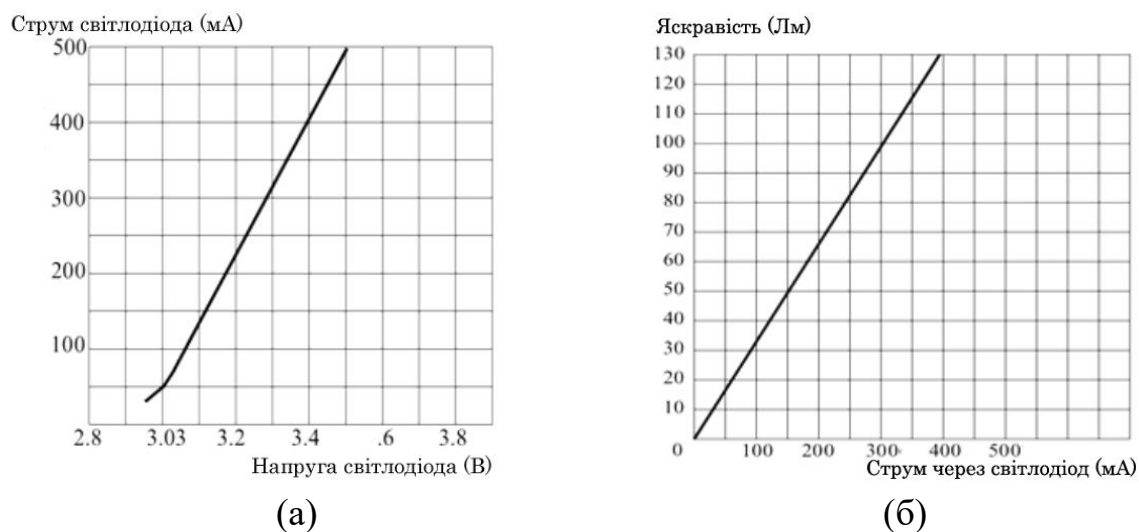


Рис. 1.3: Схема підключення LM393 у драйвері.

Виходячи з вище сказаного, бачимо, що струм на світлодіоді залежить від рівня встановленого на інвертуючому вході компаратора. Крутіння ручки змінного резистора, буде призводити до зростання або падіння рівня опорної напруги компаратора, що в свою чергу буде впливати на напругу світлодіода, відповідно збільшуючи чи зменшуючи її. Невеликим змінам напруги на світлодіоді відповідають

великі зміни струму (властивість звичайного діода), дана залежність продемонстрована на рис. 1.4(а). Так як струм на світлодіоді, пов'язаний з яскравістю його світіння, зображено на рис. 1.4(б), використовуючи цю залежність, зможемо реалізувати регулювання яскравості нашого світлодіода за допомогою змінного резистора.



*Рис. 1.4: Залежність струму світлодіода від напруги прикладеної до нього (а) та залежність яскравості світіння від струму на світлодіоді (б). Дані характеристики представлені для світлодіода потужністю 1 Вт.*

### 1.3. Пояснення взаємодії компаратора з MOSFET транзистором

MOSFET транзистори мають певну ємність між затвором і витоком, її величина залежить від габаритів транзистора. У даній схемі польовий транзистор працює в ключовому режимі, а для того щоб він коректно функціонував і не перегрівався, його ємність повинна швидко заряджатися і розряджатися. Для отримання даної умови на затвор транзистора потрібно подавати значний струм (сотні мА). Так як струм, який має на виході компаратор (декілька мА), недостатньо для нормальної роботи MOSFET транзистора, тому для підсилення цього струму використовуємо двохтактний підсилювач потужності на біполярному транзисторі. Даний підсилювач складається з



двох послідовно включених біполярних транзисторів  $Q_1$  і  $Q_2$ , їхнє підключення, у схемі, зображено на рис 1.5. Так як вони з загальним колектором, напруга, через них, буде проходити без змін, не враховуючи втрати на відкриття транзисторів  $\approx 0.65\text{V}$ , а струм навпаки буде у рази підсилюватися.

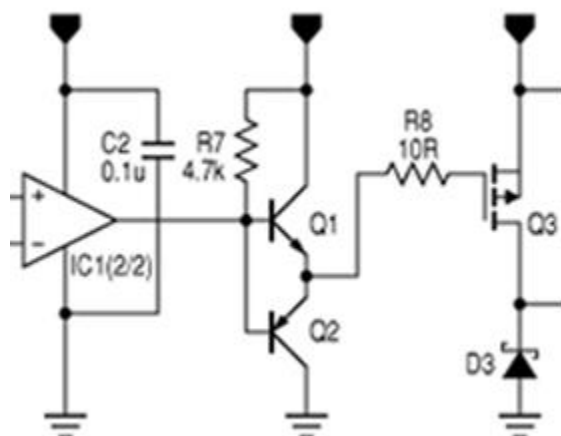


Рис. 1.5: Схема підключення двохтактного підсилювача потужності у драйвері.

Транзистор  $Q_1$  і  $Q_2$  мають різні типи провідності: п-р-п і р-п-р, відповідно. На виході компаратора будемо мати імпульсний сигнал, який буде керувати цими транзисторами, відкриваючи і закриваючи їх по черзі. Коли імпульс зростає з низького рівня до високого, відкривається транзистор  $Q_1$  і підсилює струм (підсилений струм знімається з його емітера). Потім, як сигнал став високого рівня,  $Q_1$  закривається. Після певного часу імпульс починає спадати, коли сигнал переходить з високого рівня у низький, відкривається  $Q_2$  і також підсилює струм, який знімається з емітера. Як тільки сигнал стає нульового рівня,  $Q_2$  закривається і весь цикл повторюється знову. Отриманий підсилений струм, з двохтактного підсилювача потужності, направляється на затвор MOSFET транзистора  $Q_3$ , на вході якого стоїть резистор  $R_8$ , який обмежує струм затвору.

У даному проекті використовується р-канальний MOSFET транзистор NTD2955. На рисунку 1.6 зображено графічне позначення цього транзистора.

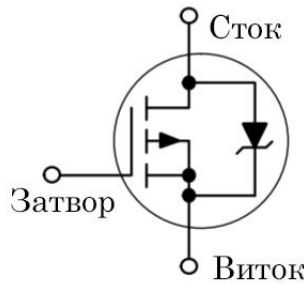


Рис. 1.6: Графічне позначення NTD2955.

Як вже говорилося раніше цей польовий транзистор, працює як ключ. На його вхід подається імпульсний сигнал, який приходить з компаратора і в залежності від рівня сигналу, транзистор буде працювати у двох режимах:

- Режим відсічки

Коли на затвор приходить сигнал високого рівня, різниця напруг між затвором і витком буде мала, транзистор буде працювати у режимі відсічки, опір його каналу стає дуже великим і напруга між витком і стоком буде рівна напрузі живлення, а струм стоку буде нульовий.

- Тріодний режим

Коли на затвор приходить сигнал низького рівня, різниця напруг між затвором і витком буде досить значна, транзистор буде працювати у тріодному режимі, опір каналу буде дуже малий і струм стоку стане максимальним, а напруга між витком і стоком буде майже нульовою.

У схемі даного драйвера до витока транзистора  $Q_3$  підключена напруга джерела живлення, а сток слугує виходом, який підключений до понижуючого перетворювача напруги, що складається з котушки  $L_1$ , діода Шоттки  $D_3$  і опора навантаження, яким є світлодіод (продемонстровано на рис 1.7).

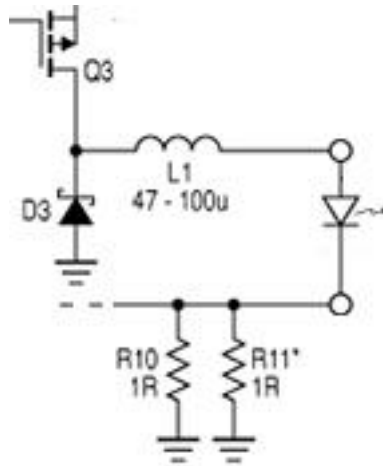


Рис. 1.7: Схема підключення понижуючого перетворювача напруги у драйвері.

Як ми вже знаємо, з попередніх пунктів, що напруга на  $R_{10}$  і  $R_{11}$  пропорційна напрузі на неінвертуючому вході компаратора і дорівнює половині струму на світлодіоді. Тому коли напруга на резисторах  $R_{10}$ ,  $R_{11}$  менша напруги на інвертуючому вході компаратора, то він на виході буде мати низький рівень сигналу, який подається на затвор польового транзистора. Маючи на вході сигнал низького рівня, NTD2955 буде відчинений і тому він буде мати значно менший опір, ніж діод який зворотно зміщений. Що у свою чергу призведе до того, що на цьому транзисторі буде виділятися майже нульова напруга, а на діоді Шоттки буде напруга живлення. Котушка  $L_1$  почне заряджатися, а світлодіод відкриється і через нього потече струм, що призведе до його світіння. Через певний час напруга на неінвертуючому вході стане більшою ніж на інвертуючому, компаратор видасть високий рівень сигналу, що призведе до того, що транзистор зачинеться і його опір стане дуже великим, у порівнянні з діодом  $D_3$ . Тому напруга живлення вже буде виділятися саме на транзисторі, а на діоді матимемо майже нульову напругу. Котушка  $L_1$  перестане заряджатися і стане джерелом струму, змінить свою полярність і тому діод  $D_3$  відкриється, забезпечуючи тим самим шлях протікання струму. За допомогою цього буде підтримуватися світіння світлодіоду, але струм на ньому буде потроху падати, так як котушка буде розряджуватися. Напруга на резисторах

$R_{10}$ ,  $R_{11}$  почне також зменшуватися, що призведе до того, що компаратор знову закриється і весь цикл почнеться заново. Даний процес має велику частоту перемикання і тому людське око не може фіксувати зміни яскравості світіння світлодіода, при перемиканні транзистора у різні режими роботи.

#### 1.4. ШІМ вхід другого компаратора LM393

Даний драйвер може повністю функціонувати без ШІМ сигналу. Але так як одна з поставлених задач даної роботи це можливість додаткового контролювання струму, на світлодіоді, за допомогою Arduino або мікроконтролера, тому другий компаратор LM393 використовується саме для цієї мети. Замість мікроконтролерів можна також використовувати фоторезистори, таймери або логічні мікросхеми. ШІМ буде працювати в межах встановленими змінним резистором, тому у залежності від коефіцієнта заповнення ( $0 \div 100\%$ ) ШІМ сигналу, світлодіод буде змінювати свою яскравість тільки у сторону загасання. Бажано не ставити коефіцієнт заповнення менше 20%, так як світлодіод, на певних проміжках часу, буде гаснути повністю. Напруга сигналу повинна бути  $0 \div 5\text{В}$ , з частотою не більше 2кГц.

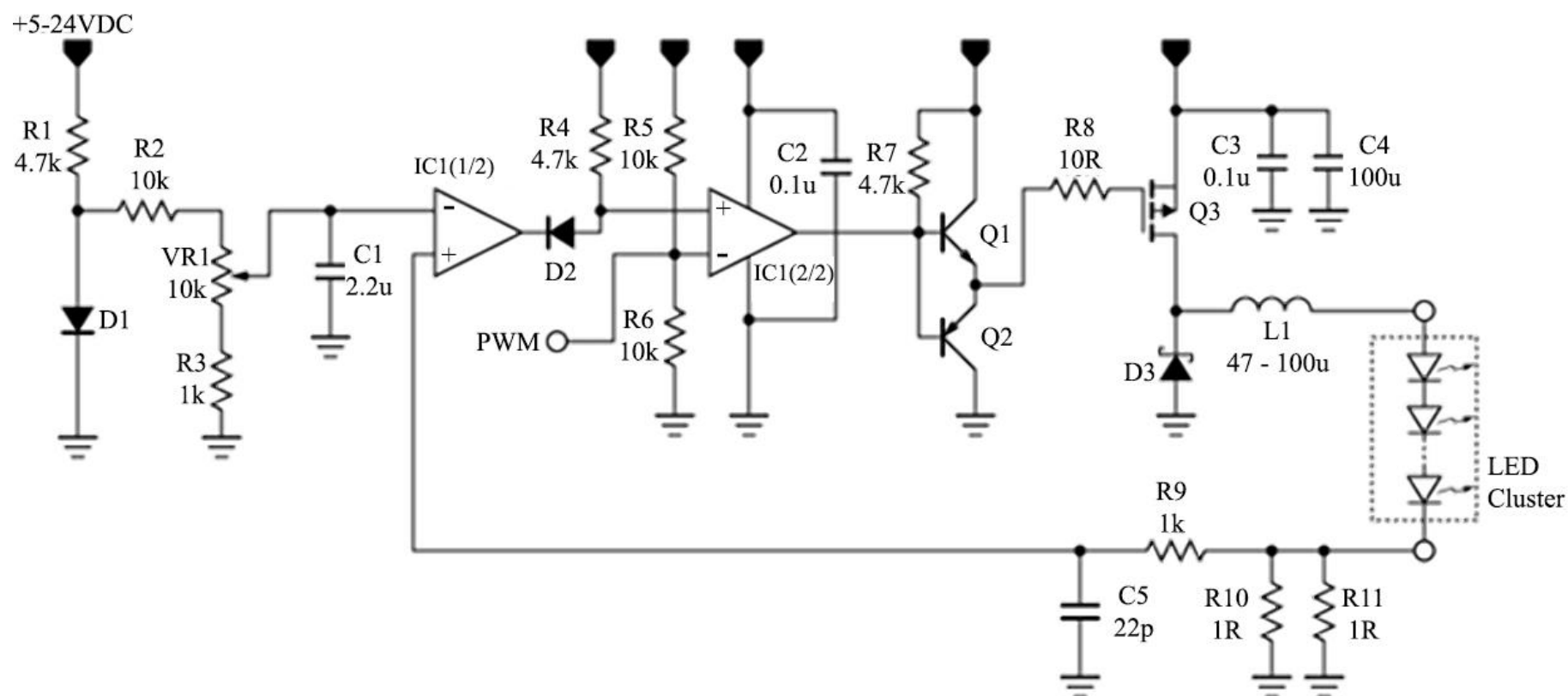


Рис. 1.6: Світлодіодний драйвер з ШІМ входом. Схема електрична принципова.

## РОЗДІЛ 2

### Математичне обґрунтування деяких вузлів схеми

#### 2.1. Опис завдання

Згідно із завданням, даним мені викладачем, мені необхідно розрахувати залежність струму через світлодіод, від положення ручки керування змінного резистора. Число 0 задає положення ручки керування, цього резистора, в одному крайньому положенні, число 1 задає положення ручки керування резистора в іншому крайньому положенні. При підстановці у формулу положення ручки керування змінного резистора (число від 0 до 1), отримувати струм через світлодіод.

Так як струм на діоді  $D_1$  задається за допомогою послідовно включеного резистора  $R_1$ , ми будемо мати різні значення напруги на цьому діоді, при різних значеннях напруги джерела. Проекспериментувавши з різними значеннями напруги живлення схеми, я дійшов висновку, що при великих змінах значення джерела напруги, напруга на діоді  $D_1$  змінюється в малому діапазоні, тому я округлюю це значення, до напруги відкриття кремнієвого діода, а саме 0.65V. Розташування елементів, що використовуються при обрахунках, зображено на рис 2.1.

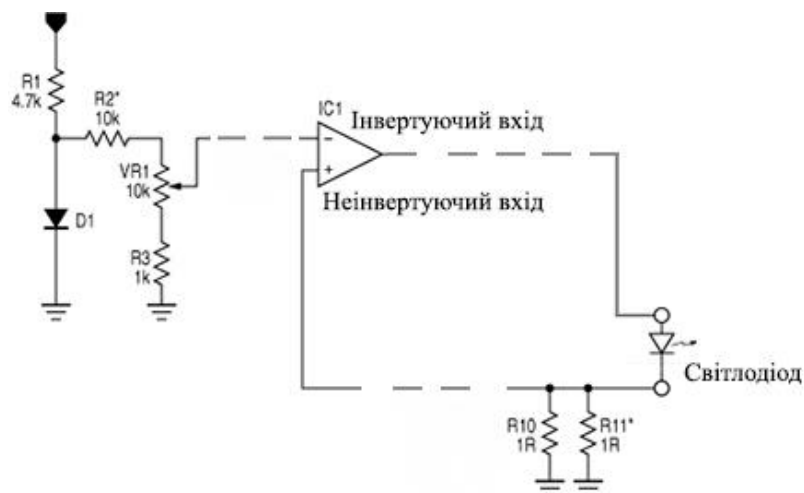


Рис. 2.1: Схема світлодіодного драйвера спрощена для розрахунків.

## 2.2. Виведення формули для обрахунку значення струму світлодіода від положення ручки змінного резистора

Як вже було раніше сказано, у попередньому розділі, резистори  $R_{10}$  і  $R_{11}$  використовуються як вимірювальні, з опором 1 Ом. Їхнє паралельне включення, створює подільник струму і так як світлодіод, підключений до них послідовно, він буде слугувати для них джерелом струму. Струм резистора  $R_{10}$  тоді можна записати як:

$$I_{R_{10}} = \frac{I_{CB} * G_{10}}{G_{10} + G_{11}} \quad (1)$$

де  $I_{R_{10}}$  – струм резистора  $R_{10}$ ;

$I_{CB}$  – струм світлодіода;

$G_{10}$  – провідність резистора  $R_{10}$ ;

$G_{11}$  – провідність резистора  $R_{11}$ ;

Так, як провідність це обернена величина до опору, а за умовою опір наших резисторів  $R_{10} = R_{11} = 1$  Ом, тоді маємо що провідність  $G_{10} = G_{11} = 1 \text{ Ом}^{-1} = 1 \text{ См}$  (сіменс). Значення  $G_{10}$  і  $G_{11}$  підставляємо у формулу (1), отримуємо:

$$I_{R_{10}} = \frac{I_{CB}}{2}$$

Струм на резисторі  $R_{10}$ , розписуємо за стандартним законом Ома:  $I_{R_{10}} = \frac{U_{R_{10}}}{R_{10}}$

Тепер виражаємо напругу на резисторі  $U_{R_{10}}$ , прирівнюємо формули струма на резисторі  $R_{10}$ , отриманих у попередніх виразах і маємо:

$$\frac{I_{CB}}{2} = \frac{U_{R_{10}}}{R_{10}}$$

Тоді при  $R_{10} = 1 \text{ Ом}$ ,  $U_{R_{10}}$  рівна:

$$U_{R_{10}} = \frac{I_{CB}}{2}$$

Напруга  $U_{R_{10}}$  подається на неінвертуючий вхід першого компаратора, з деякою незначною затримкою, обумовленою ФВЧ. Так як ця напруга, змінюється у дуже малому діапазоні і приблизно рівна напрузі на інвертуючому вході  $U_{інв}$ , то ми можемо їх прирівняти:

$$U_{інв} = U_{R_{10}} = \frac{I_{CB}}{2} \quad (2)$$

Змінний резистор  $VR_1$  замінюється як два послідовно включені резистори:  $R_{4\_1}$  та  $R_{4\_2}$ . (як виглядає заміна, зображено на рис. 2.2). Так як наш змінний резистор має загальний опір 10 кОм, при положенні ручки в 0, будемо вважати, що значення  $R_{4\_1} = 10 \text{ кОм}$ , а  $R_{4\_2} = 0 \text{ Ом}$ . І навпаки, при положенні ручки в 1, значення  $R_{4\_1} = 0 \text{ Ом}$ , а  $R_{4\_2} = 10 \text{ кОм}$ . Дані значення ручки 0 та 1 застосовуються тільки для ідеального змінного резистора, насправді реальний змінний резистор, з опором 10 кОм, не може мати на виході опір 0 Ом або 10 кОм, але тими значеннями, при обрахунках, ми можемо знехтувати.

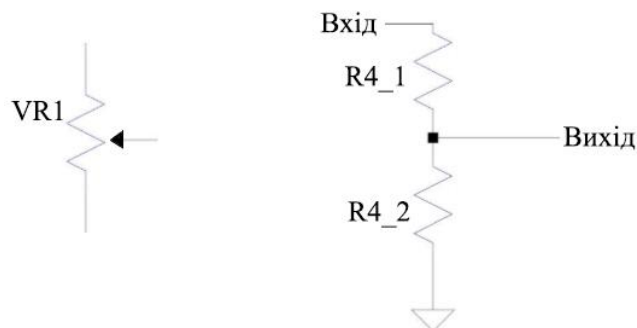


Рис. 2.2: Заміна змінного резистора двома послідовно включеними резисторами.



Виводимо формулу залежності опорів резисторів  $R_{4\_1}$  та  $R_{4\_2}$  від положення ручки змінного резистора. Приймаємо положення ручки, за коефіцієнт  $K$  (число від 0 до 1). Тоді опір на резисторі  $R_{4\_2}$  записуємо як:

$$R_{4\_2} = R_{VR_1} * K \quad (3)$$

Так як  $R_{4\_1}$  і  $R_{4\_2}$ , за умовою послідовно включені резистори, які замінюють змінний резистор  $VR_1$ , тоді його опір можна представити як:  $R_{VR_1} = R_{4\_1} + R_{4\_2}$ . В отриманому рівнянні замість  $R_{4\_2}$  підставляємо вираз (3) і виражаємо  $R_{4\_1}$ , тоді маємо:

$$\begin{aligned} R_{VR_1} &= R_{4\_1} + R_{VR_1} * K \\ R_{4\_1} &= R_{VR_1} * (1 - K) \end{aligned} \quad (4)$$

Напруга на інвертуючому вході компаратора  $U_{інв}$  знімається з змінного резистора, а саме з частини  $R_{4\_2}$ . Цей змінний резистор входить до подільника напруги, який складається з:  $R_2$ ,  $R_3$  (захист від перекруту ручки змінного резистора),  $R_{4\_1}$ ,  $R_{4\_2}$ . Джерелом напруги для даного подільника, буде слугувати діод  $D_1$ . Записуємо рівняння цього подільника напруги, для резистора  $R_{4\_2}$ , враховуючи захист від перекруту і отримуємо:

$$U_{інв} = \frac{U_{D_1} * (R_{4_2} + R_3)}{R_2 + R_{4\_1} + R_{4\_2} + R_3}$$

Тоді в отримане рівняння подільника напруги замість  $U_{D_1}$  підставляємо 0.65В (за умовою), а опори  $R_{4\_1}$  і  $R_{4\_2}$  записуємо як (4) і (3), відповідно:

$$U_{\text{інв}} = \frac{0.65 * ((R_{VR_1} * K) + R_3)}{R_2 + R_{VR_1} * (1 - K) + R_{VR_1} * K + R_3} \quad (5)$$

Отриманий вираз (5) ми прирівнюємо до виразу (2) і виражаємо значення струму на світлодіоді  $I_{\text{св}}$ :

$$\begin{aligned} \frac{I_{\text{св}}}{2} &= \frac{0.65 * ((R_{VR_1} * K) + R_3)}{R_2 + R_{VR_1} * (1 - K) + R_{VR_1} * K + R_3} \\ I_{\text{св}} &= \frac{2 * 0.65 * ((R_{VR_1} * K) + R_3)}{R_2 + R_{VR_1} * (1 - K) + R_{VR_1} * K + R_3} \end{aligned} \quad (6)$$

Вираз (6) є фінальним. Саме за допомогою нього ми можемо обраховувати значення струму на світлодіоді при певному положенні ручки змінного резистора.

### 2.3. Обрахування значення струму у залежності від положення ручки змінного резистора

Використовуючи вираз (6), з попереднього пункту, розглянемо 3 випадки положення ручки змінного резистора і знайдемо струм світлодіода для кожного з них. За схемою значення опорів резисторів  $R_2 = 10 \text{ кОм}$ ,  $R_3 = 1 \text{ кОм}$ . Опір змінного резистора  $R_{VR_1} = 10 \text{ кОм}$ .

- Перший випадок (ручка у положенні 0,  $K = 0$ )

Підставляємо значення у формулу (6):

$$\begin{aligned} I_{\text{св}} &= \frac{2 * 0.65 * ((R_{VR_1} * K) + R_3)}{R_2 + R_{VR_1} * (1 - K) + R_{VR_1} * K + R_3} = \frac{2 * 0.65 * ((10 * 10^3 * 0) + 10^3)}{10 * 10^3 + 10 * 10^3 * 1 + 0 + 10^3} = \\ &= 61.9 \text{ мА} \end{aligned}$$

- Другий випадок (ручка у положенні 0.5,  $K = 0.5$ )

Підставляємо значення у формулу (6):

$$I_{св} = \frac{2 * 0.65 * ((10 * 10^3 * 0.5) + 10^3)}{10 * 10^3 + 10 * 10^3 * 0.5 + 10 * 10^3 * 0.5 + 10^3} = 371.43 \text{ мА}$$

- Третій випадок (ручка у положенні 1,  $K = 1$ )

Підставляємо значення у формулу (6):

$$I_{св} = \frac{2 * 0.65 * ((10 * 10^3 * 1) + 10^3)}{10 * 10^3 + 10 * 10^3 * 0 + 10 * 10^3 * 1 + 10^3} = 680.95 \text{ мА}$$

У наступному розділі буде представлена таблиця, зі всіма варіантами положення ручки змінного резистора (від 0 до 1), де можна у зручній формі оцінити отримані результати при обрахунках та порівняти їх з отриманими у симуляторі LTSpice.

## РОЗДІЛ 3

### Моделювання роботи приладу

#### 3.1. Опис програми, що використовувалася для симуляції

Для симуляції моєї схеми я використовував програму LTSpice. Це універсальний софт для створення і проектування електричних схем. Ця програма має великий вибір елементів, простий і зрозумілий інтерфейс. Так як більшість моїх елементів наявні у даній програмі і я маю певний досвід її використання, тому вибір припав саме на неї.

#### 3.2. Опис схеми симуляції

Симуляція даної схеми проводилася у режимі Transient Analysis протягом 300 мкс, з максимальним часовим кроком 50 нс. Цього часу достатньо для встановлення звичайного режиму роботи схеми. Нажаль, у бібліотеці LTSpice, був відсутній транзистор NTD2955, тому я замінив його схожим по характеристикам IRFR9024. Така ж сама ситуація і з діодом Шоттки, модель SB140 була відсутня і тому замінена на SS14. Котушку  $L_1$  можна взяти з діапазону  $47 \div 100$  мкГн, що впливає на її частоту заряду і розряду. Великий плюс є те, що у бібліотеці наявний змінний резистор (pot) і тому не прийшлося замість нього ставити два послідовно включених резистора. В прикладі на рис. 3.1, його ручка знаходиться у положенні 1, тому через світлодіод буде протікати максимальний струм. У симуляції стоїть тільки один світлодіод потужністю 3Вт і максимальним струмом 700 мА, але без проблем можна додати ще. Головне не забувати при цьому подавати достатню напругу живлення і контролювати чи не перевищує струм, який протікає через світлодіод, максимально допустиме для нього значення.

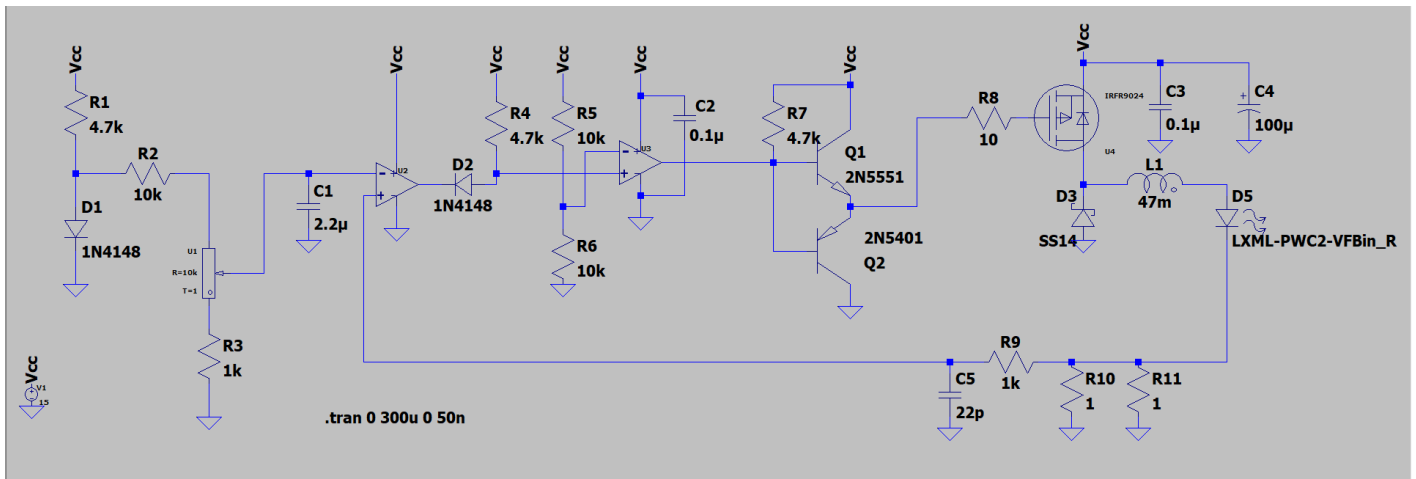


Рис. 3.1: Схема симуляції у програмі LTSpice.

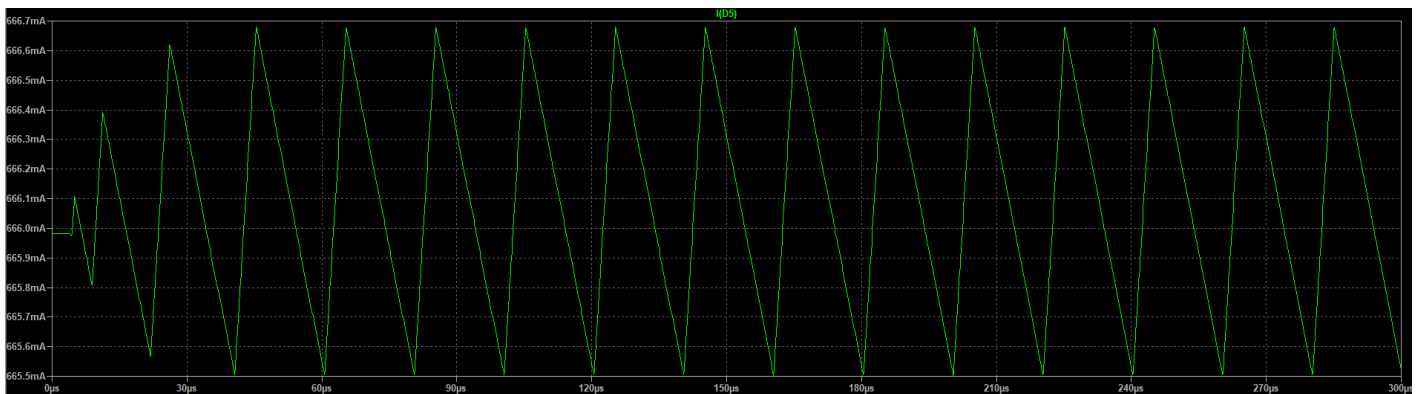


Рис. 3.2: Струм на світлодіоді при симуляції.

Щоб додати ШІМ сигнал, у симуляції, потрібно створити джерело напруги (компонент voltage з бібліотеки ) і вибрати у розділі "Funcrions" імпульсний сигнал "PULSE". Ставимо такі налаштування: Vinitial (початкове значення напруги) – 0В, Von (максимальне значення напруги) – 5В, Tdelay (час затримки) – 0 с, Trise (тривалість переднього фронту) і Tfall (тривалість заднього фронту) – 0.00001m (ставимо дуже мале значення, щоб сигнал швидко спадав), Ton (тривалість імпульсу) – 0.5 мс, тобто коефіцієнт заповнення буде дорівнювати 50% при значенні Tperiods (період імпульсних сигналів) – 1 мс. Даний ШІМ сигнал називається меандром, тому що тривалість імпульсу рівна половині періоду імпульсних сигналів. Також потрібно змінити час симуляції даної схеми, для того щоб встановився звичайний режим роботи. Тому симуляція даної

схеми буде проводитися у режимі Transient Analysis протягом 15 мс, з максимальним часовим кроком 50 нс. Отриманий результат зображено на рис. 3.3.

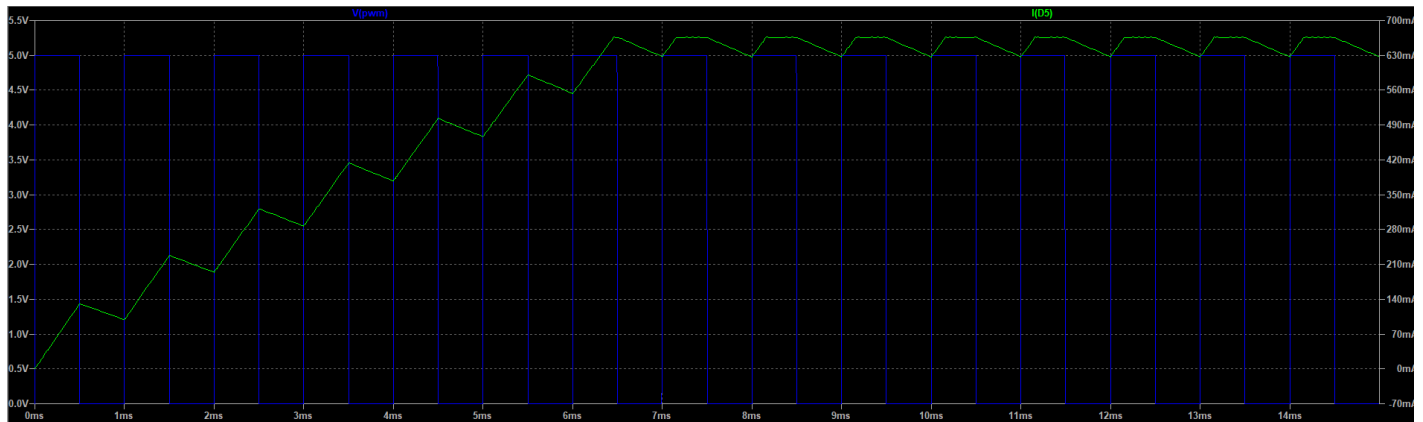


Рис. 3.3: Струм на світлодіоді з ШІМ сигналом при симуляції.

### 3.3. Порівняння отриманих теоретичних значень струму світлодіода, обрахованих у другому розділі, з результатами симуляції

У другому розділі було виведено формулу для обрахунку струму на світлодіоді  $I_{св}$  від положення ручки змінного резистора. В даному пункті приведена таблиця 3.1, у якій наявні, теоретичні значеннями струму світлодіода ( $I_{св}$  теоретичний), обрахованих при положенні ручки від 0 до 1 (коефіцієнт  $K$ ), значення отримані при симуляції ( $I_{св}$  з симуляції), а також обрахована абсолютна похибка.

Таблиця 3.1

$K$	$I_{св}$ теоретичний, мА	$I_{св}$ з симуляції, мА	Абсолютна похибка, мА
0	61.9	61.2	0.7
0.1	123.81	121.22	2.59
0.2	185.71	181.83	3.88
0.3	247.62	242.44	5.18

*Продовж. табл. 3.1*

0.4	309.52	303.04	6.48
0.5	371.43	363.65	7.78
0.6	433.33	424.25	9.08
0.7	495.24	484.83	10.41
0.8	557.14	545.42	11.72
0.9	619.05	606	13.05
1	680.95	665.98	14.97

Отримані похибки незначні. Пов'язані вони з тим, що було округлено напругу відкривання діода до 0.65В, якщо врахувати залежність напруги, що виділяється на діоді від напруги живлення схеми, то похибка буде приблизно рівна 0.

## РОЗДІЛ 4

### Створення моделі друкованої плати

#### 4.1. Опис програми, що використовувалась при створенні моделі друкованої плати

Для моделювання плати я використав програму EasyEDA. Вона підходить як для звичайних студентів, так і для інженерів. В її функціонал входять: редактор принципів схем і друкованих плат, хмарне сховище даних, а також можливість замовити виготовлення друкованої плати. Програма має досить зрозумілий інтерфейс і тому не потрібно витрачати багато часу на ознайомлення. Дуже великим плюсом є наявність величезної бібліотеки компонентів.

#### 4.2. Процес створення моделі друкованої плати

Початковим етапом створення моделі друкованої плати є створення принципової схеми. Пошук компонентів, у програмі EasyEDA, виконується за допомогою розділу Libraries (зображено на рис. 4.1).

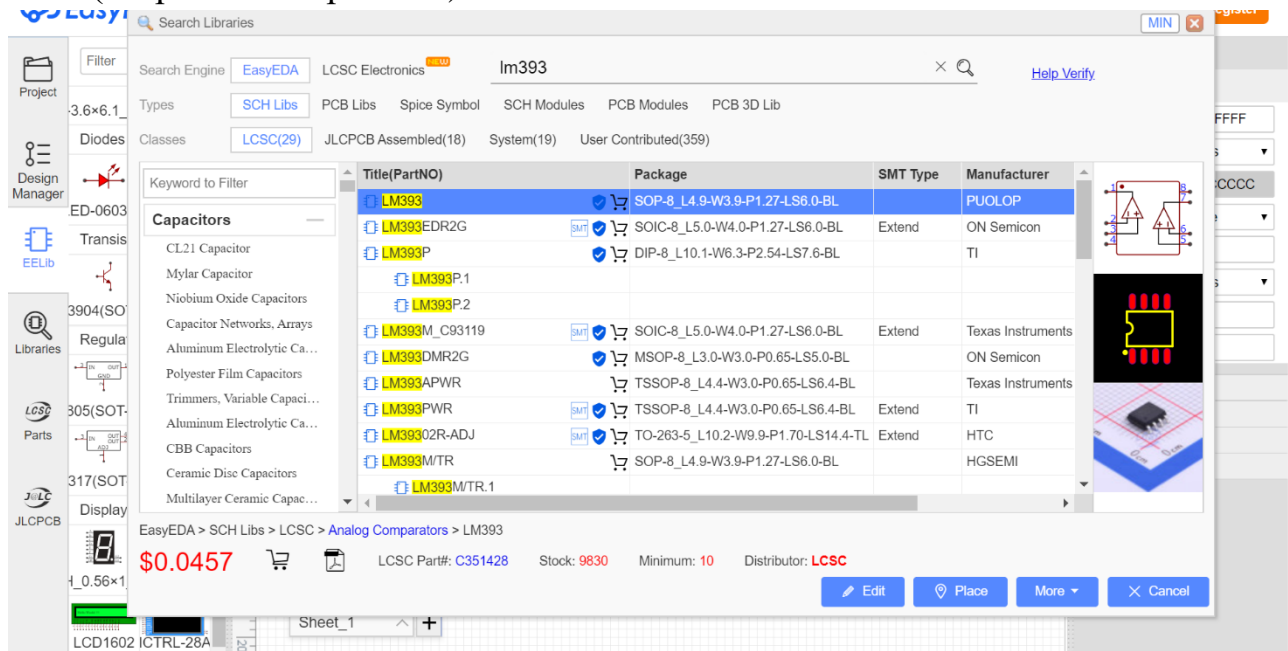


Рис. 4.1: Розділ Libraries у програмі EasyEDA.



Елементи знаходяться дуже швидко, наявний великий вибір різних виробників. Кінцевий результат, який я отримав при побудові принципової схеми, зображено на рис. 4.2.

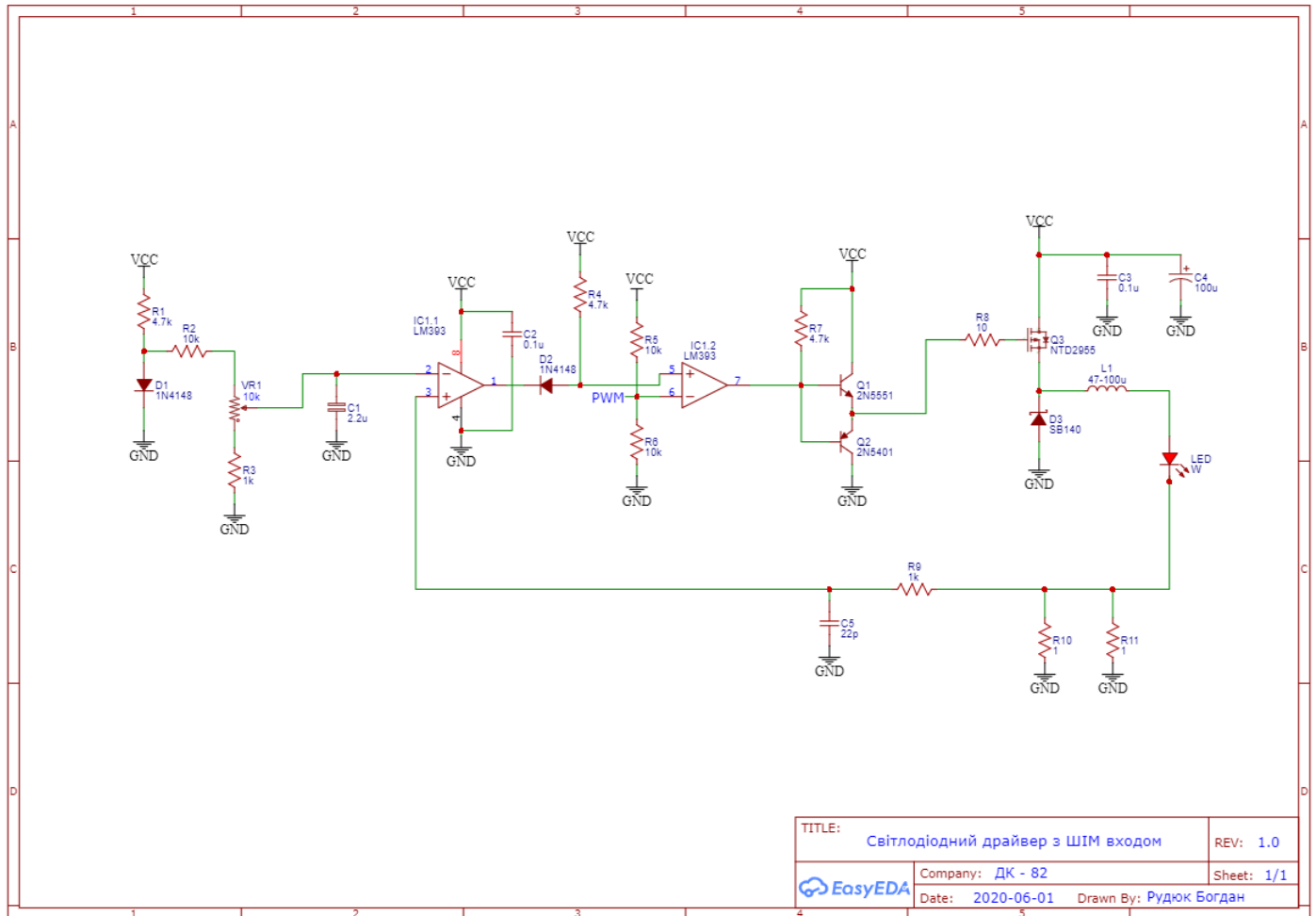


Рис. 4.2: Принципова схема приладу зроблена в EasyEDA.

Після цього, коли було створено принципову схему, потрібно її конвертувати у певний формат, щоб перейти до етапу розміщення елементів на моделі друкованої плати. За допомогою команди Convert to PCB, виконуємо дану операцію. Отриманий результат цієї команди продемонстровано на рис. 4.3.

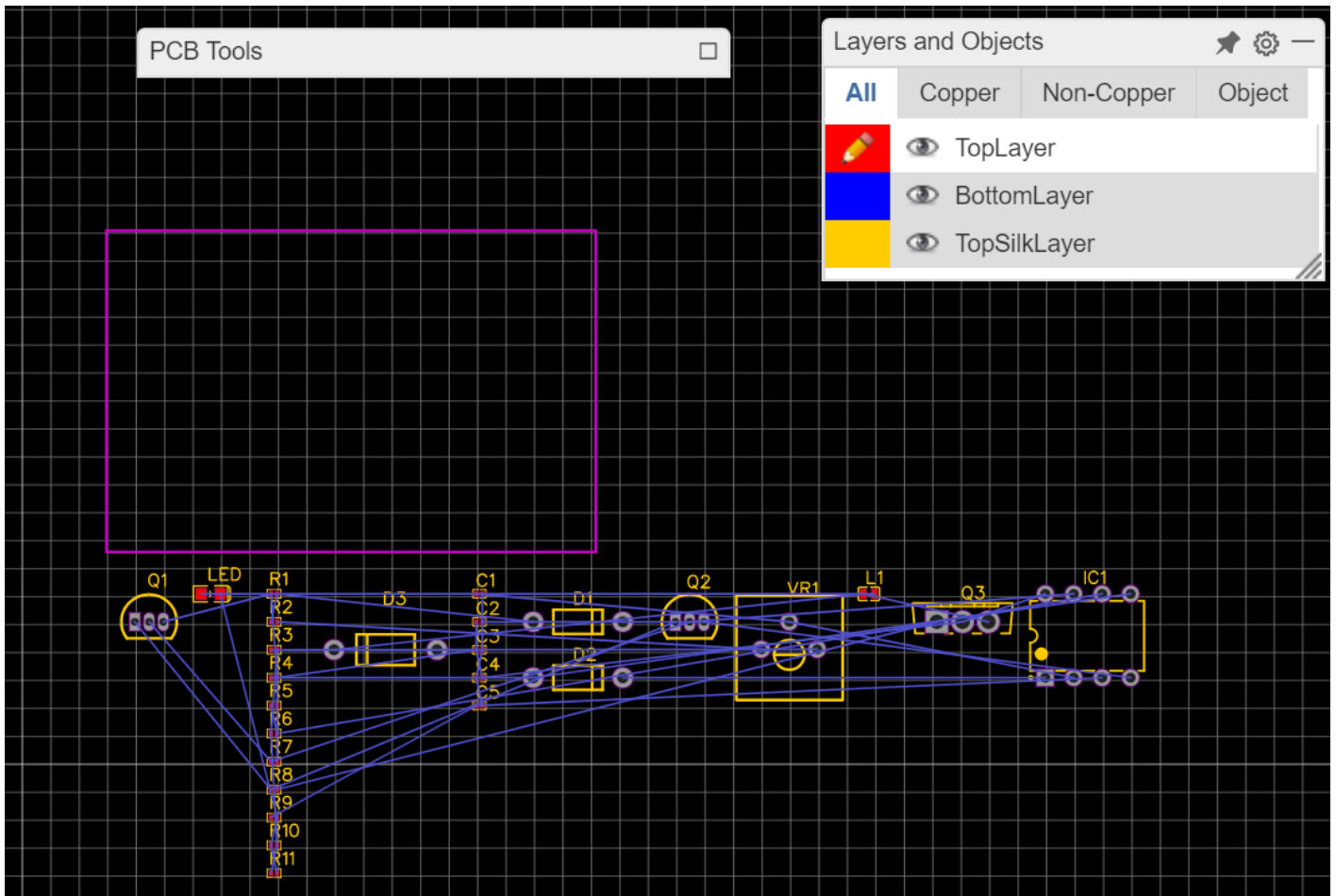


Рис. 4.3: Редактор розміщення елементів на моделі друкованої плати в EasyEDA.

Фіолетовий контур це область в межах якої ми розставляємо свої компоненти (уявна друкована плата). Її форма та розміри редагуються. Компоненти можна також редагувати, повертаючи їх у різні сторони і змінюючи їхнє положення. Після перенесення компонентів на площу фіолетового контура, я використав команду Auto Router, яка автоматично провела мені доріжки. Досить зручна функція, особливо для новачків. Отриманий результат продемонстровано на рис 4.4. Я додав виводи для підключення живлення і світлодіодів, а також ШІМ вхід. Було виконано одну з поставлених задач – це невеликі розміри (4.04 x 3.9 сантиметра), але мені прийшлося зробити доріжки на двох сторонах, що вплине на ціну виготовлення.

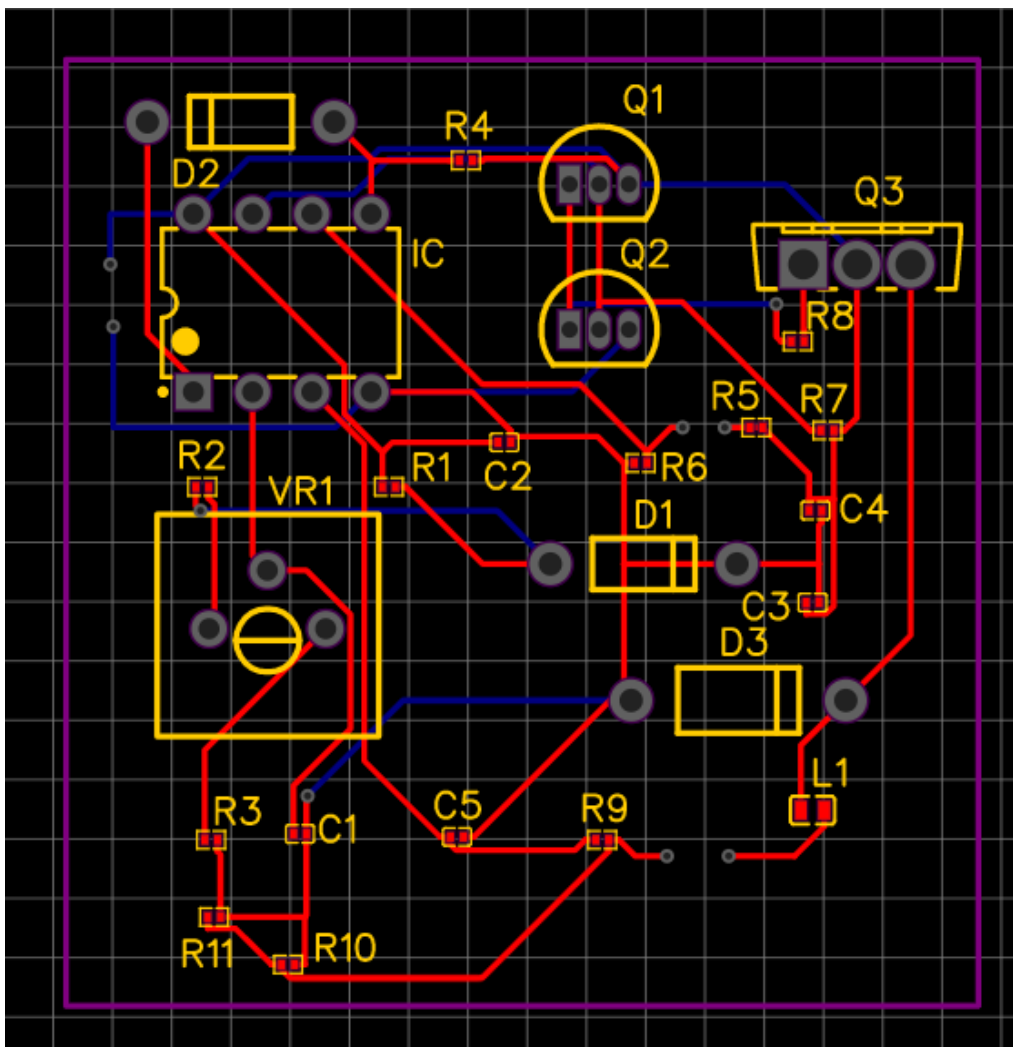


Рис. 4.4: Результат прокладання доріжок за допомогою команди Auto Router.

## ВИСНОВКИ

У першому розділі було досить детально розглянуто роботу основних частин схеми. Описано як працює: компаратор, двохтактний підсилювач потужності на біполярному транзисторі і MOSFET транзистор. Розглянуто як впливає значення змінного резистора на струм світлодіода. З'ясовано як діє ШІМ сигнал на яркість світіння світлодіода.

У другому розділі було проведено розрахунок деяких вузлів схеми, а саме детально розписана і виведена формула, за допомогою якої, обраховується залежність струму на світлодіоді від положення ручки змінного резистора. Також виконаний обрахунок струму на світлодіоді, при декількох випадках положення ручки змінного резистора.

У третьому розділі було проведено моделювання схеми з використанням програми LTSpice, розглянуто як виглядає значення струму на світлодіоді, з ШІМ сигналом і без. Також була виконана перевірка, правильності розрахунків, які були зроблені в другому розділі. Створена таблиця в якій порівнюються, отримане при обрахунках, теоретичне значення та значення отримане при симуляції, була обрахована похибка і зроблені висновки, чого вона з'являється.

У четвертому розділі було проведено створення моделі друкованої плати в програмі EasyEDA. Виконана побудова принципової схеми в даному софті, розглянуто процес автоматичного формування доріжок.

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Схема світлодіодного драйвера, що досліджувалася: <https://cxem.net/pitanie/5-231.php>
2. Теорія про світлодіод: <https://radiodetali.com/article/all/led-faq.htm>
3. Datasheet LM393: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/lm193.pdf>
4. Принцип роботи компаратора: <http://www.joyta.ru/7070-komparator-opisanie-i-primenenie-chast-1/>
5. Принцип роботи двохтактного підсилювача потужності на біполярному транзисторі:  
[https://www.youtube.com/watch?v=53U7cmYOdWY&list=PL4WQQHlheqfxlBAVy\\_BCNDcU\\_HoHczyjk&index=188](https://www.youtube.com/watch?v=53U7cmYOdWY&list=PL4WQQHlheqfxlBAVy_BCNDcU_HoHczyjk&index=188)  
[https://www.youtube.com/watch?v=yeFTB3QFS54&list=PL4WQQHlheqfxlBAVy\\_BCNDcU\\_HoHczyjk&index=189](https://www.youtube.com/watch?v=yeFTB3QFS54&list=PL4WQQHlheqfxlBAVy_BCNDcU_HoHczyjk&index=189)
6. Ключовий режим роботи MOSFET транзистора:  
[https://www.youtube.com/watch?v=4pw5BHdmq0Q&list=PL4WQQHlheqfxlBAVy\\_BCNDcU\\_HoHczyjk&index=136](https://www.youtube.com/watch?v=4pw5BHdmq0Q&list=PL4WQQHlheqfxlBAVy_BCNDcU_HoHczyjk&index=136)  
[https://www.youtube.com/watch?v=wC2z\\_r4KiaA&list=PL4WQQHlheqfxlBAVy\\_BCNDcU\\_HoHczyjk&index=137](https://www.youtube.com/watch?v=wC2z_r4KiaA&list=PL4WQQHlheqfxlBAVy_BCNDcU_HoHczyjk&index=137)