

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

**КУРСОВА РОБОТА**

з дисципліни Електронна компонентна база радіоелектронної апаратури  
на тему: Підвищуючий DC-DC перетворювач на 555 таймері

---

Студента 2 курсу групи ДК-92  
Напряму підготовки: Телекомунікації та  
радіотехніка

Загребя А.Я.

(прізвище та ініціали)

Керівник:

доцент, к.т.н. Короткий Є.В.

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

Національна оцінка: \_\_\_\_\_

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

Члени комісії:

\_\_\_\_\_  
(підпис)

доцент, к.т.н. Короткий Є.В.

(вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

(вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Київ - 2021 рік

## ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень .....	3
Вступ .....	3
Розділ 1. Вибір та аналіз принципової схеми приладу .....	4
1.1. Список внесених змін у оригінальну схему .....	4
1.2. Аналіз роботи схеми .....	5
1.2.1. Вхідні конденсатори .....	5
1.2.2. Генерація ШІМ таймером 555 .....	6
1.2.3. Для чого потрібен ШІМ сигнал в цій схемі .....	7
1.2.4. Зворотний зв'язок .....	7
1.2.5. NTC термістор .....	8
1.3. Розрахунок котушки індуктивності .....	8
Розділ 2. Визначення характеристик, необхідних для вибору компонентів схеми .....	9
Розділ 3. Вибір елементної бази .....	10
Розділ 4. Створення 3D моделі компоненту .....	12
Розділ 5. Створення конструкторської документації на друкований вузол .....	13
5.1. Створення бібліотеки .....	13
5.2. Трасування схеми .....	15
Висновок .....	16

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ШИМ-Широтно-імпульсна модуляція  
ЕРС- Електрорушійна сила  
ВОМ- Bill Of Materials  
УГО - Умовно графічне позначення  
КР – Курсова робота  
NTC – Negative temperature coefficient  
DC – Direct current

## ВСТУП

Темою КР було обрано підвищуючий DC-DC перетворювач на 555 таймері, який може перетворювати напругу 9 В у більш високу – 12 В. За основу була взята схема з сайту [1], але довелося замінити індуктивність та зворотний зв'язок, щоб на виході було 12 В замість 19 В.

Метою цієї роботи є: аналіз та виправлення оригінальної схеми, замір струмів та напруг на компонентах, вибір компонентної бази, створення 3D моделі котушки індуктивності, створення бібліотеки та трасировка плати у Altium Designer.

В першому розділі буде проаналізовано роботу схеми та перероблено її на вхідну напругу 9 В та вихідну 12 В. Замість вхідної 12 В та вихідної 19 В.

В другому розділі буде виміряно напруги та струми на компонентах та занесено їх до таблиці.

В третьому розділі буде обрано потрібні компоненти.

В четвертому розділі буде розроблено 3D модель.

В п'ятому розділі буде розроблено бібліотеку для котушки та трасовано плату у Altium Designer.

- 1) Було додано R4 для підтяжки затвору транзистора M1 до землі. Це потрібно для більш швидкого закриття транзистора.
- 2) Додано термістор RT, що обмежує стартовий струм.

3) Змінено зворотний зв'язок, щоб вихідна напруга була 12 В. Для цього було замінено стабілітрон на 12-вольтний та прибрано VD2, оскільки він став не потрібен (цей діод слугував для підвищення вихідної напруги на 0,7 В).

4) Резистори R1 та R2 були замінені на більш ходові. Через це частота ШІМ трохи змінилася, але це не критично (було 50 КГц, стало 63 КГц).

5) Опір резистора R3 було змінено, бо 555 таймер може видати 225 мА, напруга на третьому виводі сягає до 9 В, з резистором 20 Ом струм був би

$$\frac{9}{20} = 0,45 \text{ A} = 450 \text{ mA} > 225 \text{ mA}.$$

А з опором 51 Ом струм буде

$$\frac{9}{51} = 0,18 \text{ A} = 180 \text{ mA},$$

це 80% від максимального струму.

6) Було замінено діод VD1 (D1) на більш потужний аналог, бо не було можливості придбати той, що було використано в оригінальній схемі.

7) Було замінено конденсатори C1 та C3. Причиною заміни C1 стали великі пульсації на вході. C3 було замінено для більш швидкого виходу на робочий режим.

## 1.2. Аналіз роботи схеми

### 1.2.1. Вхідні конденсатори

Вхідні конденсатори C1 та C2 згладжують пульсації на вході схеми. А також дозволяють короткочасно отримувати великий струм. Короткочасний великий струм потрібен для пропускання великого струму через L1 при відкритому M1. Таким чином при закриванні M1 на котушці буде велика зміна струму за малий час. А це є умовою виникнення великого ЕРС самоіндукції.

Після чого 555 таймер генерує ШІМ сигнал з частотою 63 КГц на третьому виводі. Частота та скважність ШІМ задаються резисторами R1, R2 та конденсатором C5.

### 1.2.2. Генерація ШІМ таймером 555

Конденсатор C5 заряджається через резистори R1 та R2 (рис.1.2.2.1).

Поки напруга на C5 менше 1/3 напруги живлення на компараторі R (що підключений до інвертуючого контакту тригера) логічний сигнал 0, на виході компаратора S (що підключений до неінвертуючого контакту тригера) сигнал 1. Отже на інвертуючому виході тригера 0. В наслідок чого на виході схеми напруга живлення (бо після тригера стоїть інвертор).

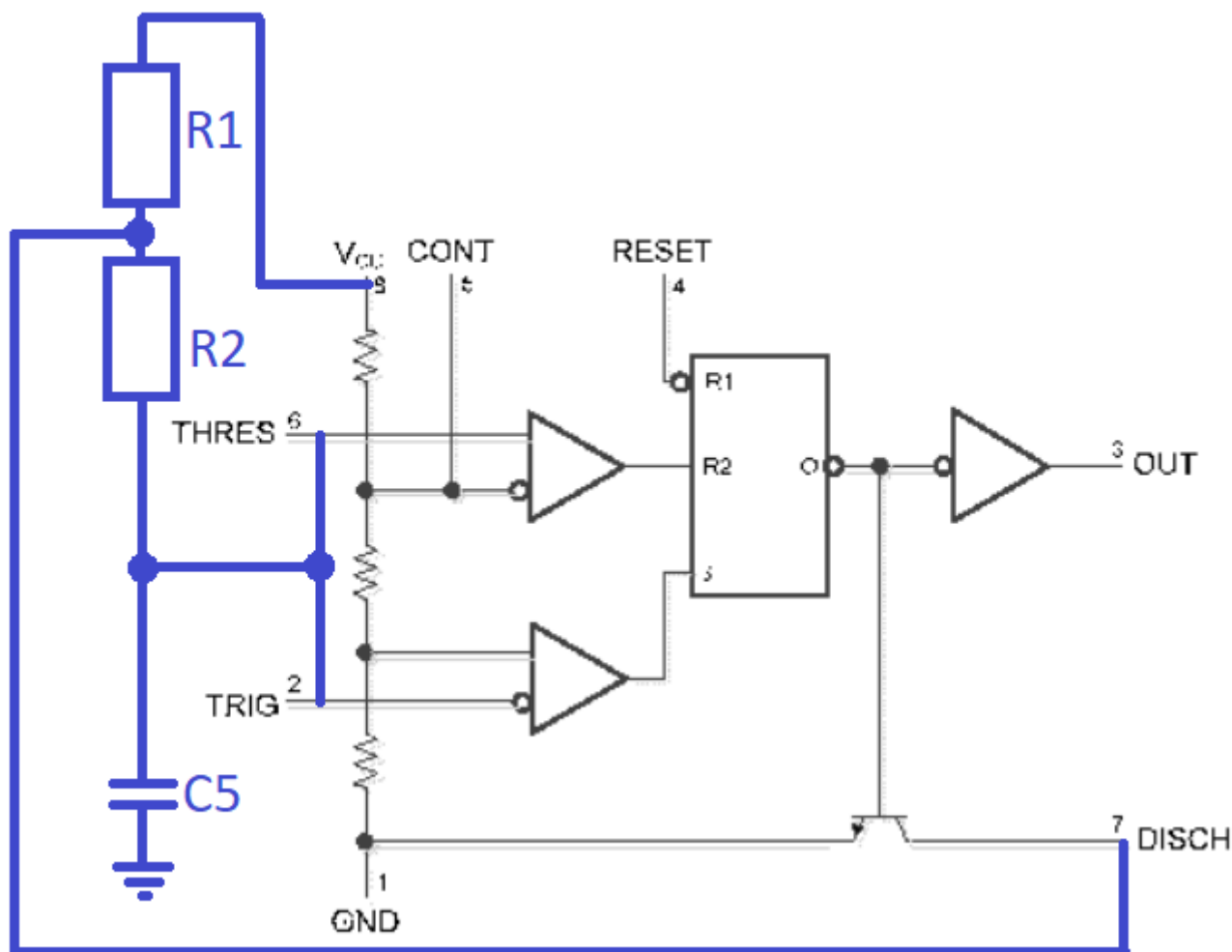


Рис.1.2.2.1 Схема 555 таймеру:

- 1) чорним представлена спрощена внутрішня схема 555 таймеру;
- 2) синім – його обв'язка у схемі.

Коли напруга на C5 більше  $1/3$  напруги живлення, але менше  $2/3$  напруги живлення, на виході обох компараторів 0, на виході тригера все ще 0. На виході схеми буде напруга живлення.

Коли напруга на C5 більше  $2/3$  напруги живлення, у компаратора R на виході 1, на виході компаратора S – 0, одже на виході тригера 1. Через це відкривається вбудований транзистор, конденсатор починає розряджатися через резистор R2. На виході схеми – 0 В.

Коли напруга на C5 більше  $1/3$  напруги живлення, але менше  $2/3$  напруги живлення, на виході обох компараторів 0, на виході тригера все ще 1. На виході схеми все ще 0 В.

Коли напруга на C5 стане менше  $1/3$  напруги живлення, на компараторі R логічний сигнал 0, а на виході компаратора S сигнал 1. Одже, на виході тригера 0. Транзистор закривається, цикл повторюється. На виході схеми напруга живлення.

Якщо вихід CONT (5 контакт) підтягнути до землі, опорна напруга компараторів зменшиться, скважність сигналу – зменшиться, частота – виросте.

### 1.2.3. Для чого потрібен ШІМ сигнал в цій схемі

ШІМ керує транзистором M1, коли транзистор відкрито – через індуктивність L1 тече струм.

В момент, коли транзистор закривається, на котушці індуктивності з'являється ЕРС самоіндукції, через різке припинення протікання струму. (Чим більше зміна струму за менший час, тим більше ЕРС самоіндукції). ЕРС самоіндукції завжди направлено так, що воно протидіє зміні струму.

В нашому випадку, напрям ЕРС самоіндукції направлено вздовж стрілки (рис.1.2.2.2).

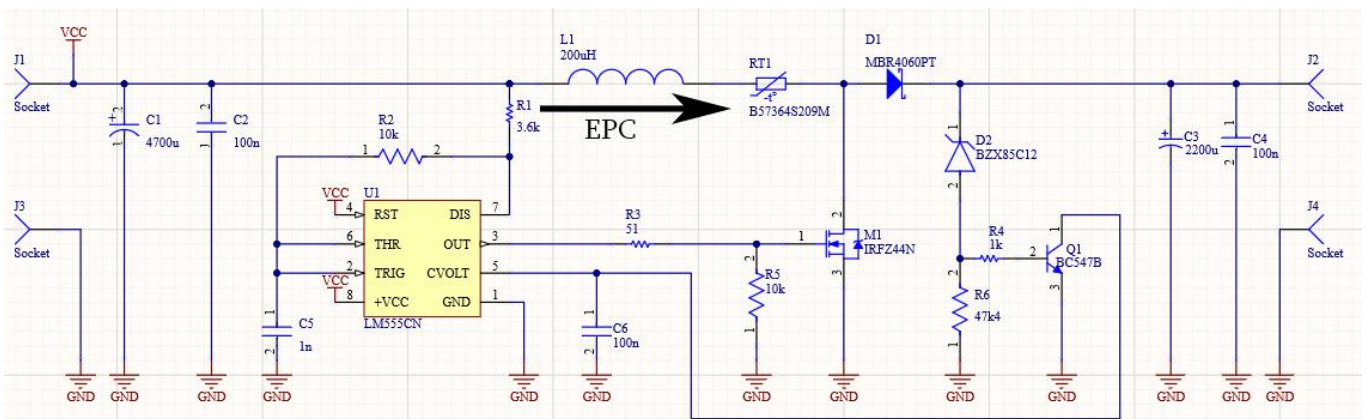


Рис.1.2.3.2 Схема з позначенням напрямку ЕРС.

Коли ЕРС перевищує напругу на вихідних конденсаторах на 0,7 В, діод D1 відкривається, вихідні конденсатори заряджаються.

### 1.2.4. Зворотний зв'язок

Якщо напруга на вихідних конденсаторах перевищує 12 В, стабілітрон D2 пробивається. Через нього починає текти струм, що відкриває транзистор Q1, який підтягує п'ятий вивід 555 таймеру до землі. Чим більший струм пропускає через себе стабілітрон, тим більше відкривається транзистор, тим сильніше він підтягує п'ятий вивід до землі, тим менше скважність ШІМ. Одже менше магнітної енергії накопичує котушка, через це менше ЕРС самоіндукції. Скважність може зменшуватись до повного відключення генерації, в такому випадку навантаження живиться від вихідних конденсаторів.

Коли напруга падає нижче 12 В, стабілітрон D2 закривається, транзистор Q1, закривається. В наслідок чого перестає підтягувати п'ятий вивід 555 таймеру до землі, таймер збільшує скважність ШІМ. І так по колу.

### 1.2.5. NTC термістор

NTC термістор потрібен, щоб при підключенні схеми вона не потребувала великого струму, з часом він розігрівається, його опір падає, і термістор майже не впливає на роботу схеми.

Термістор стоїть саме в цьому місті, оскільки, поки він не розігрівся, він визиває просадки напруги (оскільки обмежує струм). Якби він стояв до 555, могли б бути збої в роботі. А до чи після котушки – не суттєво, бо тут послідовне підключення.

### 1.3. Розрахунок котушки індуктивності

Тепер, оскільки було змінено вихідну та вхідну напруги, перерахуємо значення індуктивності котушки L1.

$U_{in}=9V$  (напруга входу),

$U_{out}=12V$  (напруга виходу),

$I_{out}=0,5A$  (струм виходу),

$f=63kГц=63\ 000Гц$  (частота ШІМ).

$$L_{min} = \frac{0.063 * U_{out}}{I_{out} * f} = \frac{0.063 * 12}{0.5 * 63000} = 0.000024Г = 24mkГ. \quad (1.1)$$

$$L_{min} = \frac{0.25 * U_{out}}{I_{maxVT} * f} = \frac{0.25 * 12}{48 * 63000} = 0.000017Г = 17mkГ. \quad (1.2)$$

Формули (1.1) і (1.2) було взято з [2], там це формули (10.16) і (10.17) відповідно.

Для надійної роботи краще взяти разів в 10 більше, отже візьмемо 200mkГ.



## РОЗДІЛ 2

### Визначення характеристик, необхідних для вибору компонентів схеми

Струми та напруги були виміряні у LTspice. Виміри були проведені до розігріву термістора та після розігріву (замість термістора було використано резистор з еквівалентним опором). Всі значення було занесено у таблицю 2.1.

Потужність резисторів визначалася за формулою  $P=UI$ .

Таблиця 2.1

#### Струми та напруги на компонентах схеми

Позначен	НапругаНорм	ТокиНорм	ПотужНорм	НапругаСтарт	ТокиСтарт	ПотужСтарт	Номінал
	В	А	Вт	В	А	Вт	Ом
R1	9	0,025	0,225	9	0,0025	0,0225	3,6k
R2	6	0,0007	0,0042	6	0,0009	0,0054	10k
R3	6	0,115	0,69	6	0,12	0,72	51
R4	8	0,0008	0,0064	8	0,0008	0,0064	10k
R5	0,12	0,057	0,00684	0,00001	0	0	1k
R6	0,7	0,015	0,0105	0,0045	0	0	47k
RT	1,14	3,26	3,7164	8,7	0,9	7,83	10
							Ф
C1	9	-	-	9	-	-	4700uf
C2	9	-	-	9	-	-	100n
C3	13	-	-	6,6	-	-	2200uf
C4	13	-	-	6,6	-	-	100n
C5	5	-	-	9	-	-	1p
C6	5	-	-	6	-	-	100n
							Гн
L1	10	3,26		4	0,9	3,6	200mk
NE555	-	-	-	-	-	-	
M1	13	3,3	42,9	6,6	0,9	5,94	
Q1	5	0,011	0,055	6	0	0	
D1	13	3,11	40,43	6	0,93	5,58	
D2	12	0,073	0,876	6	0	0	

Норм – після розігріву термістора.

Старт – до розігріву термістора.

Посилання на схему, створену у Altium Designer [4]

## РОЗДІЛ 3

### Вибір елементної бази

В якості резистора R1 було обрано ERJ-P14J362U, оскільки його потужність 0,5 Вт, це більше за 0,24 Вт. (Якщо взяти резистор з потужністю 0,25 Вт, то буде замалий запас.) Номінал відповідає потрібному. Оскільки в схемі присутній зворотний зв'язок, то можна взяти резистор з невеликою точністю, отже 5% достатньо.

В якості резисторів R2, R5 (у LTspice це R2 та R4) було вибрано RN73C2A10KBTG. Номінал відповідає потрібному. Потужність 0,1 Вт значно більше тої, що виділяється на цих резисторах.

Для R3 було вибрано ERJ-1TNF51R0U, номінал відповідає потрібному. Потужність в 1 Вт перевищує 0,72 Вт на 38,9%. При опорі 51 Ом, струм через нього становить 180 мА, це 80% від максимального струму 555 таймеру. Цей резистор має точність 1%, таким чином струм точно не перевищить 225 мА.

R4 (у LTspice R5) це RK73H2ATTE1001F, номінал відповідає, номінальна потужність значно більше розсіювальної. Формфактор 0805 дозволяє зібрати схему вручну.

R6 – CRGP0805F47K. Номінал відповідає потрібному. Потужність більше розсіювальної.

C1 – MALREKA00FG447DG0K. Ємність відповідає потрібній. А напруга – був вибір або 16 В, або 9 В, оскільки напруга на ньому 9 В, то було вибрано 16 В, щоб був запас.

C2, C4, C6 - номінал відповідає, напруга 25 В, це більше 9 В та 12 В. Формфактор 0805, як було написано вище, менше брати не має сенсу.

C3 – 16ZLQ2200MEFC10X25. Номінал відповідає, напруга 16 В більше максимальної 13 В.

C5 – GMC21CG1R0C200NT, номінал відповідає, напруга значно більше максимальної, формфактор 0805. Точність – достатня.

RT1 – B57364S209M. Оскільки його задача обмежити стартовий струм, тут не потрібна велика точність, тому 20% точності достатньо. Він має пропускати не маленький струм (3,26 А), цей термістор розраховано на 12 А. Також можна використати його аналог, MF72-010D20, його максимальний струм 6 А, але цього все одно достатньо.

M1 – IRFZ44N, максимальна розсіювальна потужність 110 Вт. Він в схемі не буде розсіювати більше 41 Вт, порогова напруга затвора 4 В, 555 таймер видає 9 В (у цій схемі).

Q1 – BC547B було використано в оригінальній схемі, але можна використати його аналог S9014.

U1 – LM555CN, оскільки використання приладу планується тільки у жилому приміщенні, то робоча температура 0–70 °C підходить. Напруга живлення 4–16 В, в схемі буде живитися від 9 В.

L1 – зроблена вручну. Діаметр дроту має бути не менше 0,66 мм. Індуктивність (як написано у розділі 1) 200 мкГн.

BOM експортований з Altium Designer (таблиця 3.1) [5].

Таблиця 3.1

BOM з Altium Designer

Comment	Description	Designator	Footprint	LibRef	Quantity
MALREKA00FG447DG0K	Cap Alum 4700UF 20% 16V Radial	C1	FP-ECA-1HM102-MFG	MALREKA00FG447DG0K	1
C0805C104K3RA CAUTO	CAP CER 0.1UF 25V X7R 0805	C2, C4, C6	FP-C0805C-DN-IPC_A	CMP-2007-01164-2	3
16ZLQ2200MEFC 10X25	Cap Aluminum Lytic 2200uF 16V 20% (10 X 25mm) Radial 5mm 2500mA 5000h 105C	C3	PNSC-EEUFM1H221-2	16ZLQ2200MEFC10X25	1
GMC21CG1R0C2 00NT	CAP0805 COG 1PF .25PF 200V	C5	FP-C0805C-DN-IPC_A	CMP-2007-00243-2	1
MBR4060PT	Schottky Diodes & Rectifiers 43 amp Rectifiers Schottky Barrier	D1	FP-340BZ-MFG	MBR4060PT	1
BZX85C12	DIODE ZENER 12V 1W DO41	D2	FP-017AH-MFG	CMP-07164-000008-1	1

Socket	Socket	J1, J2, J3, J4	PIN1	Socket	4
IRFZ44N	MOSFET, Power; N-Ch; VDSS 55V; RDS(ON) 17.5 Milliohms; ID 49A; TO- 220AB; PD 94W; -55deg	M1	INF-PG-TO220- 3-1	IRFZ44N	1
BC547B	Amplifier Transistor, NPN Silicon, 3-Pin TO-92, Bulk Box	Q1	ONSC-TO-92-3- 29-11	CMP-1048-01467- 1	1
ERJ-P14J362U		R1	RESC3225X70X 50ML20T20	CMP-2005-03719- 1	1
RN73C2A10KBT G	SMD Chip Resistor, Thin Film, 10KΩ, 100 V, 0805 [2012 Metric], 100 mW, 0.1%, RN73 Series	R2, R5	FP-RN732A- IPC_A	CMP-03211- 001029-1	2
51R 1% 2512(6432)	51R 1W 1% 2512 (6432 Metric) SMD	R3	RESC2512(6432) _M	CMP-1018-00364- 1	1
RK73H2ATTE100 1F		R4	RESC2013X60X 30ML20T20	CMP-2001-01881- 1	1
CRGP0805F47K	CRGP0805 47KΩ 0.33W ±100ppm/°C 1% 150V	R6	FP-CRGP0805- IPC_A	CMP-03211- 006358-1	1
B57364S209M	Inrush Current Limiter, 2 Ohm, -55 to 170 degC, 2- Pin THD, RoHS, Bulk	RT1	TDK-B57364	CMP-2000-05907- 1	1
LM555CN	Timer, 8-pin MDIP	U1	N08E	CMP-0056-00017- 2	1

## РОЗДІЛ 4

### Створення 3D моделі компоненту

- 1) Було накреслено 2 кола: зовнішнім діаметром 27 мм, внутрішнім діаметром 14 мм.
- 2) Потім було витягнуто їх у циліндр, з висотою 11 мм.
- 3) Зрізано края.
- 4) Накреслено 1 виток дроту, після чого за допомогою інструмента “pipe” було зроблено його 3D об'єктом.
- 5) Після чого було зроблено 35 його копій навколо сердечника.
- 6) Ніжки було зроблено так само, як і перший виток дроту (рис. 4.1 – рис. 4.3).

Посилання на 3D модель [3]

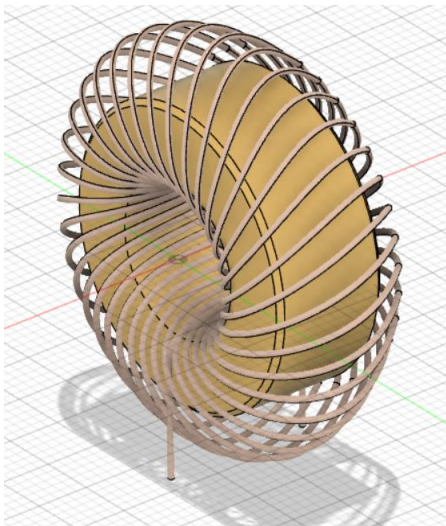


Рис.4.1

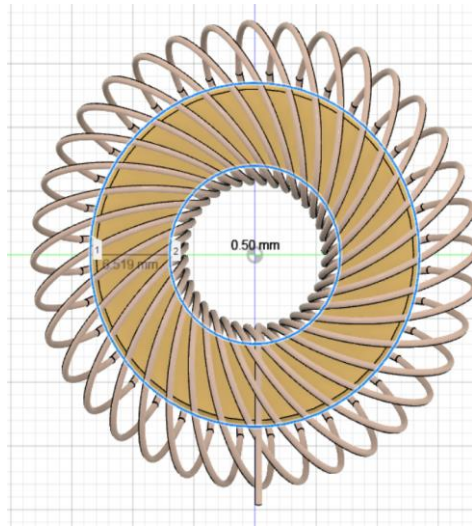


Рис.4.2

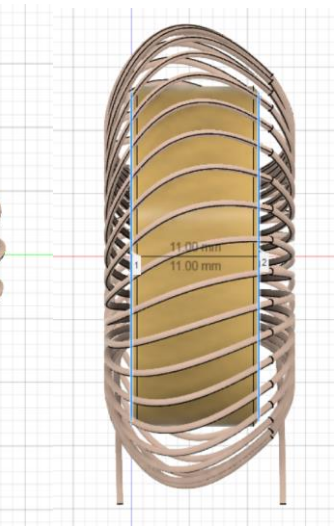


Рис.4.3

## РОЗДІЛ 5

### Створення конструкторської документації на друкований вузол

#### 5.1. Створення бібліотеки

Спочатку було накреслено УГО для котушки (рис. 5.1).

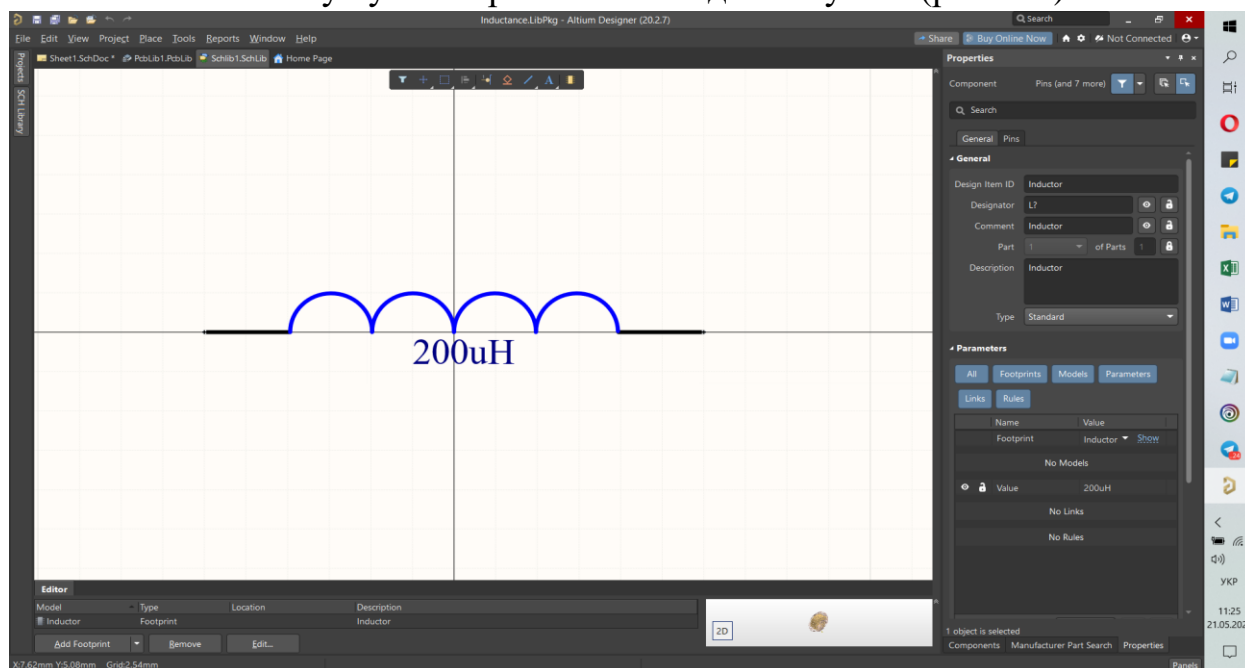


Рис.5.1 УГО котушки

Потім було заповнено потрібні параметри (значення індуктивності, опис, назва...)

Після чого було додано та настроєно контакти, нанесено шовкографію (рис.5.2).

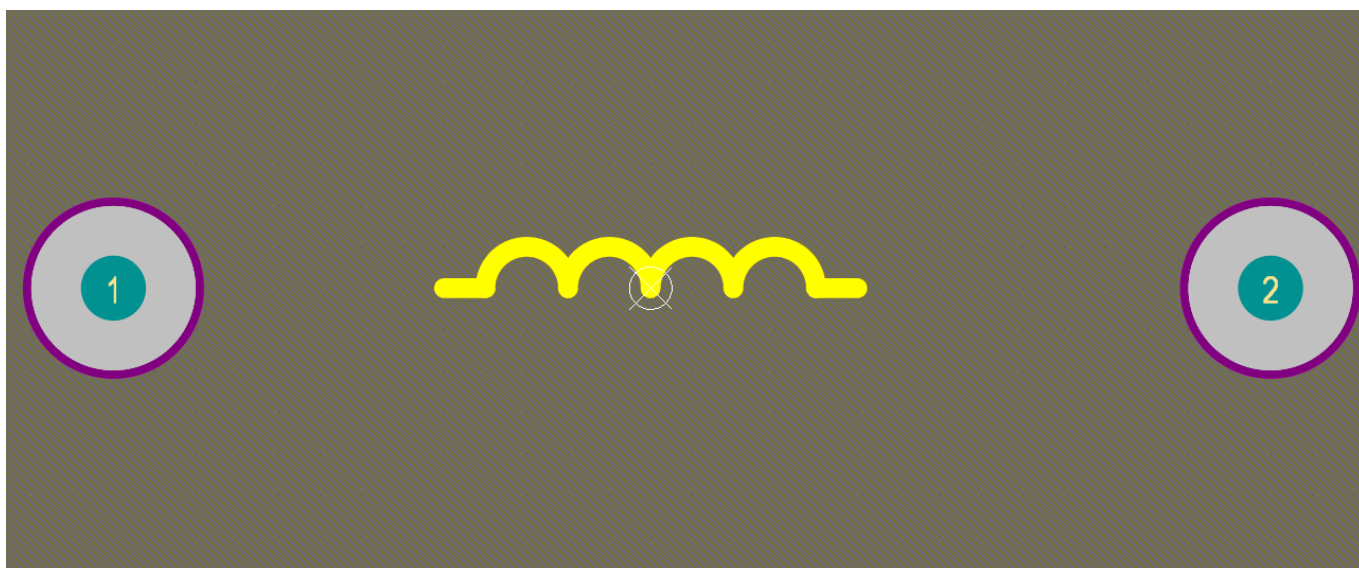


Рис.5.2 Шовкографія та контакти котушки

Потім було додано створену в чвертому розділі 3D модель (рис.5.3).

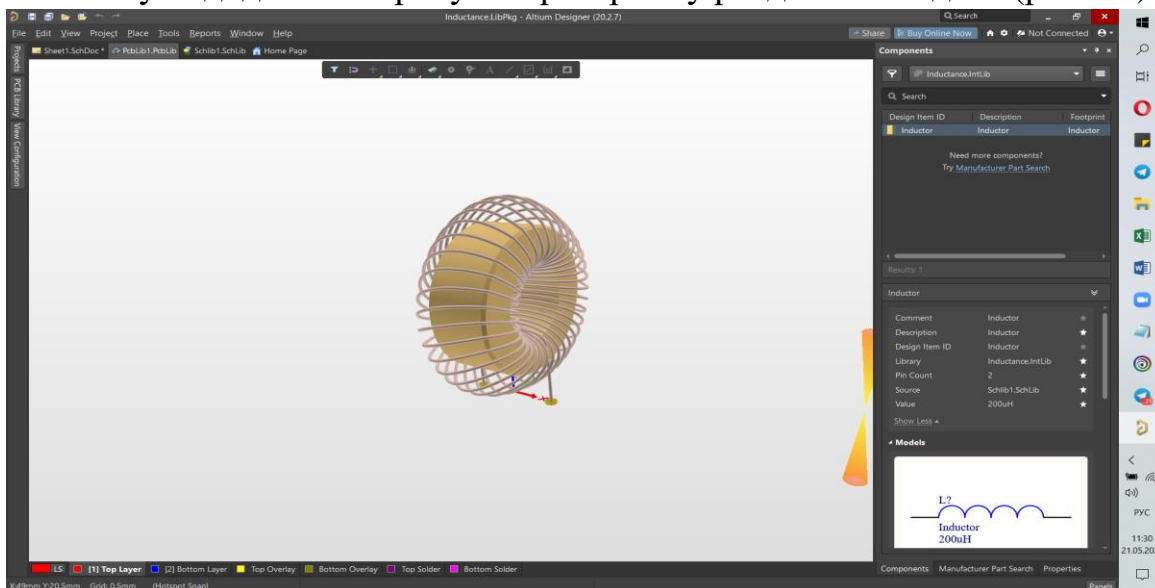


Рис.5.3 3D модель

## 5.2. Трасування схеми

Після завершення створення бібліотеки, вона була додана до проекту.

При створенні друкованої плати спочатку було нанесено усі компоненти на схему (рис.5.4). Для тих компонентів, у яких не було моделей, було додано елементи у тих самих корпусах, після чого використано “Add Supplier Link And Parameters To Part”

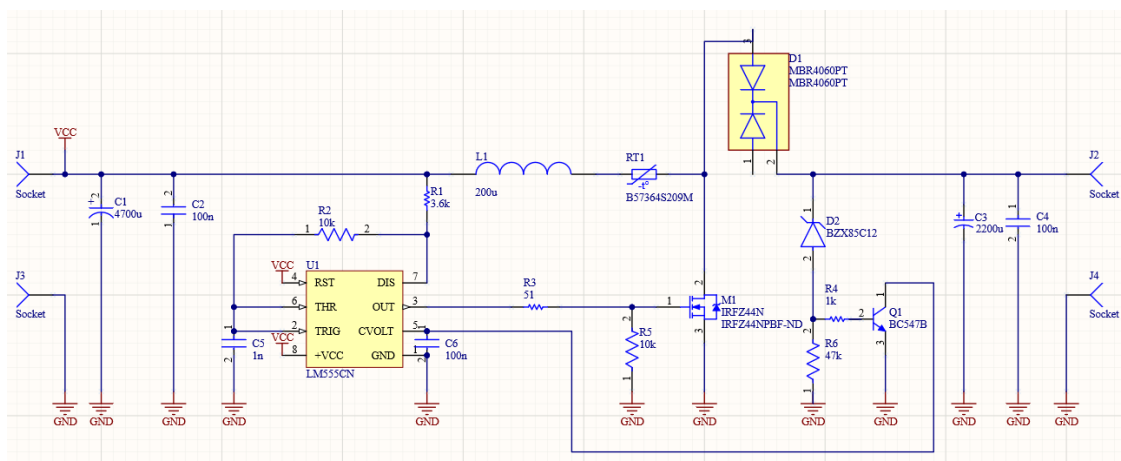


Рис.5.4 Схема створена у Altium Designer

Коли схема створена, вона була експортована у PsbDoc.

При трасировці схеми вдалося провести всі потрібні з'єднання на одній стороні, використавши лише одну перемичку. Результат наведено на рис. 5.5.



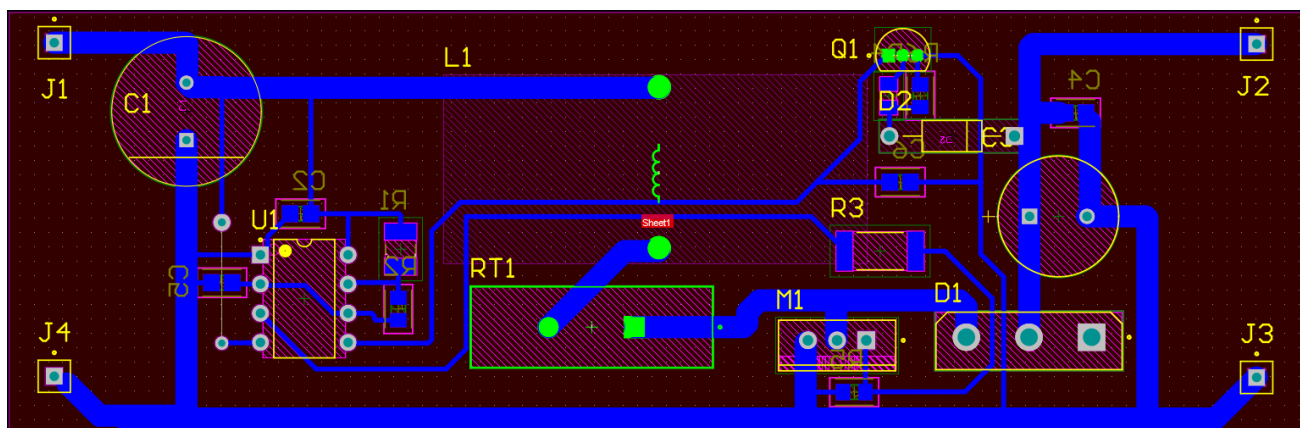


Рис. 5.5 Трасировка плати – зроблена у Altium Designer

Силкові доріжки мають ширину 2 мм, сигнальні – 0,5 мм.

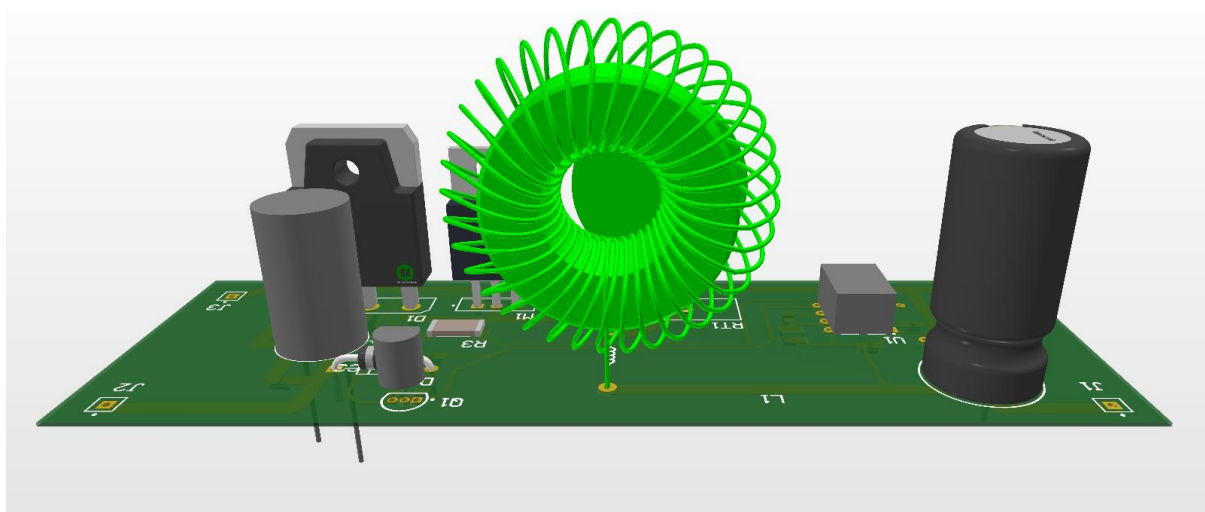


Рис.5.6 3D вигляд схеми. Вид згори.

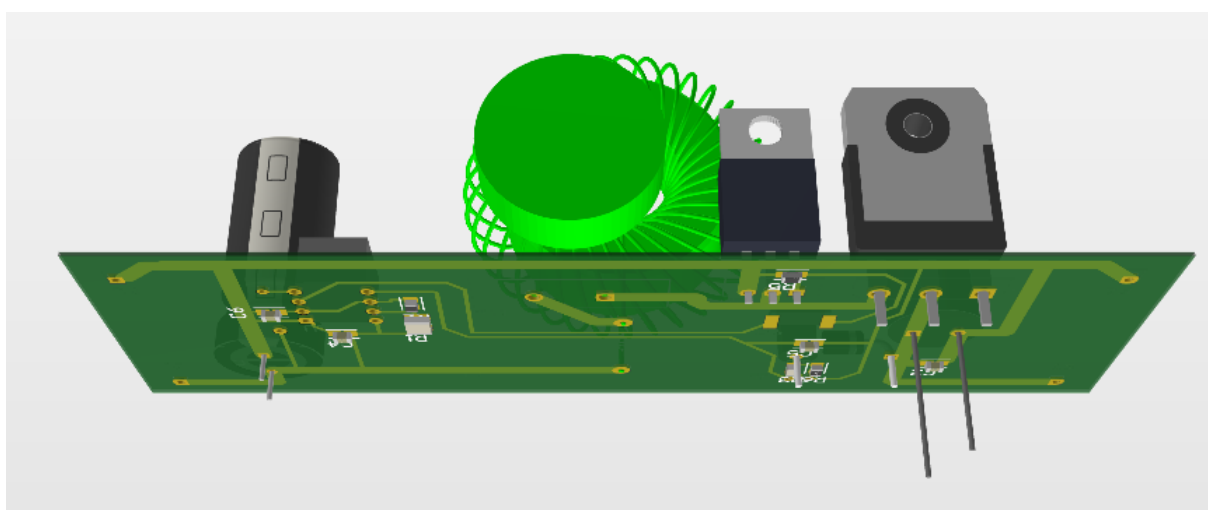


Рис.5.7 3D вигляд схеми. Вид знизу.

Трасировка плати зроблена у Altium Designer [6].



## ВИСНОВОК

В першому розділі було проаналізовано роботу схеми та перероблено її на вхідну напругу 9 В, вихідну – 12 В. Замість вхідної 12 В, а вихідної – 19 В. Було замінено та перераховано котушку індуктивності, а також деякі резистори.

В другому розділі було виміряно напруги та струми на компонентах. Отримані значення були занесені до таблиці 2.1.

В третьому розділі було обрано потрібні компоненти.

В четвертому розділі було розроблено 3D модель.

В п'ятому розділі було зроблено бібліотеку для котушки та трасовано плату у Altium Designer.

При виконанні курсової роботи було використано Altium Designer [7], LTspice [8], Fusion 360 [9].

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Повышающий преобразователь напряжения на ne555 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.drive2.ru/c/469426869825962302>.
2. Семенов. Б.Ю. Силовая электроника: от простого к сложному — М.: СОЛОН-Пресс, 2005. — 416 с.: ил. (Серия «Библиотека инженера»).
3. 3D модель котушки індуктивності [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:  
[https://github.com/TerminatorNemo/kursova\\_2\\_kurs/blob/main/Kursova1%20v12.s tep](https://github.com/TerminatorNemo/kursova_2_kurs/blob/main/Kursova1%20v12.s tep).
4. Схема створена у Altium Designer [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:  
[https://github.com/TerminatorNemo/kursova\\_2\\_kurs/blob/main/Sheet1.SchDoc](https://github.com/TerminatorNemo/kursova_2_kurs/blob/main/Sheet1.SchDoc).
5. BOM експортований з Altium Designer у форматі .xlsx [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:  
[https://github.com/TerminatorNemo/kursova\\_2\\_kurs/blob/main/Free%20Documents.xlsx](https://github.com/TerminatorNemo/kursova_2_kurs/blob/main/Free%20Documents.xlsx).
6. Друкована плата створена у Altium Designer у форматі [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:  
[https://github.com/TerminatorNemo/kursova\\_2\\_kurs/blob/main/PCB1.PcbDoc](https://github.com/TerminatorNemo/kursova_2_kurs/blob/main/PCB1.PcbDoc).
7. Altium Designer [Програма] – Посилання на скачування:  
<https://www.altium.com/ru>.
8. LTspice [Програма] – Посилання на скачування:  
<https://www.analog.com/ru/design-center/design-tools-and-calculators/ltspice-simulator.html>.
9. Fusion 360 [Програма] – Посилання на скачування:  
<https://www.autodesk.com/products/fusion-360>.