

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ

Мікроелектроніка та електронні системи інформаційних систем
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота (проект)

диплом (магістерський)
(рівень вищої освіти)

на тему Дослідження та розробка перетворювача постійної
напруги для локальної енергосистеми потужністю 1кВт

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1719
спеціальності 141 Електроніка
(код і назва спеціальності)

спеціалізації _____
(код і назва спеціалізації)

освітньої програми Електроніка
(назва освітньої програми)

Рослий К. Є.
(ініціали та прізвище)

Керівник доцент, д.т.н., Алексієвський Д.Т.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент заст. дир. ПП, КВКФ, ЕКОТЕХ° Шершов С. А.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя

2020

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерний навчально-науковий інститут _____
Кафедра мікроелектроніки та електронних інформаційних систем
Рівень вищої освіти другий (магістерський)
Спеціальність 171 Електроніка
(код та назва)
Спеціалізація _____
(код та назва)
Освітня програма Електроніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____
« 16. » 12 20 20 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ) СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Росий Кирило Іванович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проекту) Дослідження та розробка функціональної моделі дискретної двохполюсової мережі потужністю 1 кВт

керівник роботи Алексієвський Дмитро Геннадійович д.т.н.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від « ____ » 20 ____ року № ____

2 Строк подання студентом роботи 30.11.2020

3 Вихідні дані до роботи Потужність $P_{out} = 1 \text{ кВт}$, вхідна напруга $E_{min} = 18 \text{ В}$, $E_{nom} = 24 \text{ В}$, $E_{max} = 30 \text{ В}$, вихідна напруга $U_{out} = 311 \text{ В}$

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ, 1 Аналіз проблеми дослідження та розробки ІППИ, 2 створення моделі зворотнокерованого перетворювача 3 Аналіз адекватності моделі ІППИ, 4 Розробка ІППИ, 5 Експлуат.

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Електрична схема і теоретичні часові діаграми роботи, Результати моделювання еталонної моделі, Розробка візуальної блок-схеми моделі, Аналіз функціональності моделі, Аналіз точності моделі, Схема електричної прим'янової, ізданий на зразок: Розрахунок першого виконання проекту

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Алексієвський Д.Т. доц. каф. МБЕІС		
2	Алексієвський Д.Т. доц. каф. МБЕІС		
3	Алексієвський Д.Т. доц. каф. МБЕІС		
4	Алексієвський Д.Т. доц. каф. МБЕІС		
5	Алексієвський Д.Т. доц. каф. МБЕІС		

7 Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
	Розробка розділу 1	21.09	
	Розробка розділу 2	28.09	
	Розробка розділу 3	05.10	
	Розробка розділу 4	13.10	
	Розробка розділу 5	02.11	
	Розробка графічної частини	16.11	
	Передача проекту підготуванню доповіді	30.11	

Студент Росний К.Є.
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту) Д.Т. Алексієвський
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер Григорук О.
(підпис) (ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

99с., 69 рис., 8 табл., 30 джерел

Ціль роботи: Дослідження та розробка перетворювача постійної напруги для локальної енергосистеми потужністю 1 кВт.

Метою роботи є освоєння навиків розробки джерела стабілізованої постійної напруги на базі імпульсного перетворювача постійної напруги зворотногоходового типу.

Синтезована візуально блочна модель імпульсного перетворювача постійної напруги зворотногоходового типу. Проведено аналіз адекватності, працездатності і точності моделі.

Також у дипломному проекті розглянуті питання охорони праці на підприємстві. Розглянуті та проаналізовані імпульсні перетворювачі постійної напруги всіх типів. Спроектована та розрахована схема електрична принципова.

ІМПУЛЬСНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ПОСТІЙНОЇ НАПРУГИ,
ПЕРЕТВОРЮВАЧ НА ЗВОРОТНОХОДОВОМУ ТРАНСФОРМАТОРІ,
ВІЗУАЛЬНО БЛОЧНІ МОДЕЛІ, ШІМ КОНТРОЛЕР, ЕЛЕКТРИЧНА
ПРИНЦИПОВА, ІНЖЕНЕРНИЙ РОЗРАХУНОК, ЗАЗЕМЛЕННЯ, ТЕРМІН
ВИКОНАННЯ, ОХОРОНА ПРАЦІ

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Аналіз проблеми дослідження та розробки іппн	6
1.1 Аналіз технічного завдання.....	6
1.2 Загальний аналіз принципу роботи ІППН	7
1.2.1 Принцип роботи імпульсних перетворювачів	7
1.2.2 Понижуючий перетворювач	11
1.2.3 Підвищуючий перетворювач	12
1.2.4 Інвертуючий та зворотноходовий перетворювач	13
1.3 Особливості моделювання ІППН	15
2 Створення моделі зворотноходового перетворювача	35
2.1 Математична модель.....	35
2.2 Візуально блочна модель.....	39
3 Аналіз адекватності моделі іппн.....	48
3.1 Реалізація еталонної моделі ІППН	48
3.2 Реалізація моделі на ПК.....	51
3.3 Аналіз працездатності моделі	57
3.4 Аналіз точності моделювання.....	59
4 Розробка іппн.....	62
4.1 Розробка схеми електричної принципіальної	62
4.2 Інженерний розрахунок.....	63
4.3 Охорона праці	79
4.3.1 Опис шкідливих факторів і заходів з охорони праці.....	79
4.3.2 Розрахунок пристрою заземлення.....	83
5 Економічна частина	88
Висновок	95
Список використаних джерел	96

ВСТУП

Для перетворення напруги одного рівня в напругу іншого рівня часто застосовують імпульсні перетворювачі напруги з використанням індуктивних накопичувачів енергії. Такі перетворювачі відрізняються високим ККД, іноді досягає 95%, і мають можливість отримання підвищеної, зниженої або інвертованої вихідної напруги.

Відповідно до цього відомо чотири типи схем перетворювачів: понижуючі, підвищуючі, інвертуючі та на зворотногоходовому трансформаторі.

Спільними для всіх цих видів перетворювачів є п'ять елементів:

- джерело живлення,
- ключовий комутуючий елемент,
- індуктивний накопичувач енергії (катушка індуктивності, дросель),
- блокувальний діод,
- конденсатор фільтра, включений паралельно опору навантаження.

Включення цих п'яти елементів в різних поєднаннях дозволяє реалізувати будь-який з трьох типів імпульсних перетворювачів.

Регулювання рівня вихідної напруги перетворювача здійснюється зміною ширини імпульсів, які керують роботою ключового комутуючого елемента, відповідно, що запасається в індуктивному накопичувачі енергії.

Стабілізація вихідної напруги реалізується шляхом використання зворотного зв'язку: при зміні вихідної напруги відбувається автоматичне зміна ширини імпульсів.

Для стабілізації вихідної напруги імпульсних стабілізаторів будь-якого типу можуть бути використані звичайні «лінійні» стабілізатори, але вони мають низький ККД, В зв'язку з цим набагато логічніше для стабілізації вихідної напруги імпульсних перетворювачів використовувати імпульсні ж

стабілізатори напруги, тим більше, що здійснити таку стабілізацію зовсім нескладно.

Імпульсні стабілізатори напруги, в свою чергу, поділяються на стабілізатори з широтно-імпульсною модуляцією і на стабілізатори з частотно-імпульсною модуляцією. У перших з них змінюється тривалість імпульсів при незмінній частоті їх проходження. По-друге, навпаки, змінюється частота імпульсів при їх незмінною тривалості. Зустрічаються імпульсні стабілізатори і зі змішаним регулюванням.

1 АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКИ ІППН

1.1 Аналіз технічного завдання

В якості технічного завдання для дипломної роботи є: дослідження та розробка перетворювача постійної напруги для локальної енергосистеми потужністю 1 кВт. Даний перетворювач може використовуватися для вітроенергетичної установки, озонової станції та для інших об'єктів, потужність яких сягає 1 кВт. Треба розробити надійний перетворювач на сучасній елементній базі. Основними достоїнствами проєктованого перетворювача повинні бути:

- високі масо-габаритні показники;
- наявність гальванічної розв'язки між його вхідними і вихідними силовими ланцюгами;
- можливість безаварійної роботи при значних перевантаженнях по струму і можливих коротких замикань у навантаженні (замикання гальванічних елементів акумулятора, перевантаження або аварійні процеси в енергосистемі і т.д.).

При створенні імпульсного перетворювача постійної напруги підвищуючого типу з трансформаторним виходом для локальної енергосистеми потужністю 1 кВт, який розробляється на кафедрі мікроелектронних та електронних інформаційних систем, необхідно мати імітаційну модель для перевірки правильності функціонування цієї схеми.

1.2 Загальний аналіз принципу роботи ІППН

Для вирішення поставленої задачі буде використовуватися зворотноходовий перетворювач, але для загального розуміння буде розглянуто чотири найбільш прості та найбільш популярні імпульсні перетворювачі постійної напруги.

1.2.1 Принцип роботи імпульсних перетворювачів

На сьогоднішній день існує безліч імпульсних перетворювачів постійної напруги, що відрізняються кількістю і типом реактивних компонентів, алгоритмами перетворення і іншими характеристиками. Однак найбільш простими, а отже, і найбільш популярними є всього чотири схеми: понижуюча, підвищуюча, інвертуюча та зворотноходова (рис. 1.1). Ці перетворювачі використовують однаковий принцип роботи, мають ідентичну кількість компонентів і відрізняються лише способом комутації накопичувального дроселя $L1$, від режиму роботи якого і залежать всі характеристики схеми.

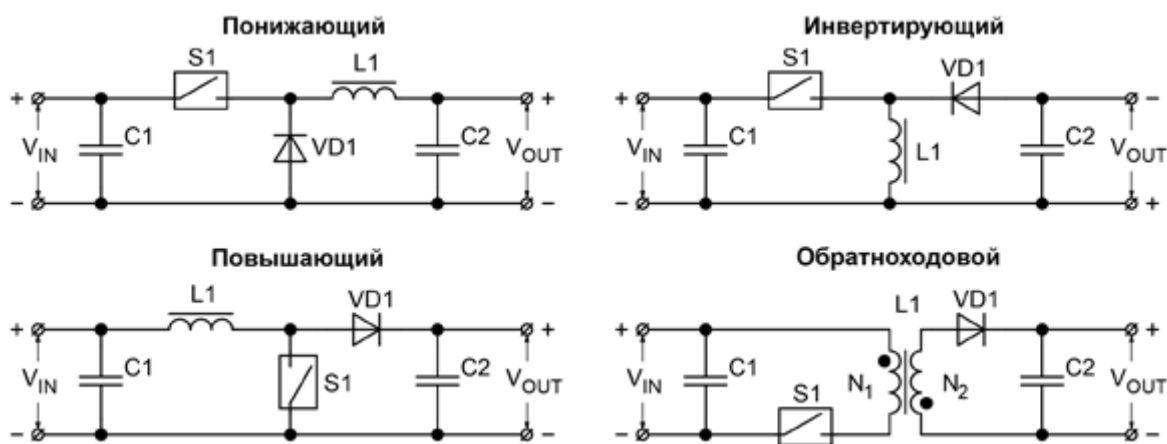


Рисунок 1.1 – Схеми найбільш популярних перетворювачів

Перетворення електричної енергії відбувається в два етапи. На першому етапі ключ S1 замикається, і до дроселя L1 прикладається деяка напруга V_{L1} , під дією якого за час t_{ON} його струм зростає на величину dl_1 (рис 1.2):

$$dl_1 = \frac{V_{L1}}{L_1} \cdot t_{ON}$$

де L_1 – індуктивність обмотки, активної на першому етапі.

При цьому до діода VD1 прикладена напруга зворотної полярності, тому струм через нього не протікає. В кінці цього інтервалу струм дроселя досягає максимального значення I_{MAX1} , а це значить, що в його магнітопроводі накопичується енергія E :

$$E = \frac{I_{MAX1}^2 \cdot L_1}{2}$$

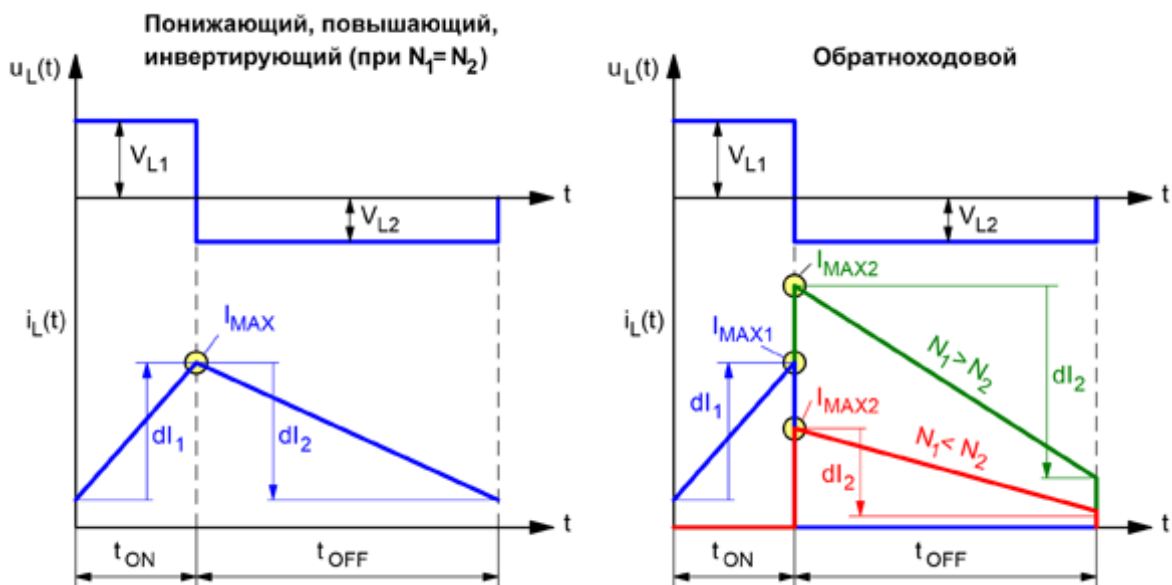


Рисунок 1.2 – Діаграми напруги та струму дроселя різних перетворювачів

Оскільки на першому етапі енергія в дроселі збільшується, то його дуже часто називають етапом накопичення або заряду дроселя.

Після розмикання ключа S1 на висновках всіх обмоток дроселя формується ЕРС самоіндукції, полярність якої протилежна полярності, яка була присутня на першому етапі, це означає, що дросель L1 тепер стає не споживачем, а джерелом електричної енергії. Зміна полярності напруги на обмотках призводить до відкриття діода VD1, який і забезпечує шлях протікання струму на другому етапі, званому етапом повернення, або розряду дроселя.

Оскільки кількість енергії в дроселі в момент комутації ключів не змінюється, то струм в його активної обмотці відразу після розмикання ключа S1 також буде максимальним, проте його величина I_{MAX2} може змінитися, адже він тепер може протікати вже по іншій кількості витків:

$$E = \frac{I_{MAX2}^2 \cdot L2}{2}$$

де L2 – індуктивність обмотки, активної на другому етапі.

Дросель понижуючої, підвищуючої та інвертуючої схем зазвичай містить лише одну обмотку, тому $L1 = L2$, а значить і $I_{MAX1} = I_{MAX2} = I_{MAX}$. А ось для зворотноходової схеми індуктивності L1 і L2 найчастіше відрізняються, тому струм I_{MAX2} можна визначити за наступною формулою:

$$I_{MAX2} = I_{MAX1} \cdot \sqrt{\frac{L1}{L2}} = I_{MAX1} \cdot \frac{N1}{N2}$$

де N1 і N2 – кількість витків, відповідно, первинної і вторинної обмоток.

Другу частину формули можна легко отримати, згадавши, що індуктивність обмотки пропорційна квадрату числа обертів:

$$L_{1,2} = N_{1,2}^2 \cdot A_L$$

де A_L – конструктивний параметр магнітопроводу.

Після відкриття діода напруга на обмотці дроселя фіксується на рівні V_{L2} , під дією якого струм дроселя за час t_{OFF} зменшиться на величину $dI2$:

$$dI2 = \frac{V_{L2}}{L2} \cdot t_{OFF}$$

У квазіустановившемся режимі, коли відсутні будь-які перехідні процеси як в ланцюгах живлення, так і в ланцюгах навантаження, дросель на другому етапі перетворення повинен віддати всю енергію, накопичену на першому інтервалі. Це означає, що до моменту початку наступного циклу його струм повинен бути таким же, як і на початку попереднього. Для схем з однообмоточним дроселем $dI1 = -dI2$, але в загальному випадку (для зворотногоходового перетворювача) зміни струмів обмоток визначаються Законом повного струму:

$$dI1 \cdot N1 = -dI2 \cdot N2$$

Можна отримати основне рівняння, що зв'язує величини напруги на вивід обмоток дроселя зі ставленням тривалості основних етапів перетворення:

$$\frac{V_{L1}}{N1} \cdot t_{ON} = -\frac{V_{L2}}{N2} \cdot t_{OFF}$$

Формула є основою для отримання регульовальної характеристики перетворювача – залежності вихідної напруги від відносної тривалості першого етапу перетворення $D=t_{ON}/(t_{ON}+t_{OFF})$. Однак для того щоб отримати ці залежності, далі необхідно розглядати кожну схему окремо.

1.2.2 Понижуючий перетворювач

Понижуючий перетворювач (Step-Down Converter, Buck Converter) зазвичай має тільки одну обмотку, тому $N1 = N2$. На першому етапі перетворення до дроселя прикладена різниця вхідної та вихідної напруги ($V_{L1} = V_{IN} - V_{OUT}$), а на другому – тільки вихідна напруга ($V_{L2} = V_{OUT}$), як показано на рисунку 1.3. Підставляючи ці значення в формулу, отримаємо наступне:

$$(V_{IN} - V_{OUT}) \cdot t_{ON} = -V_{OUT} \cdot t_{OFF}$$

Отже:

$$V_{OUT} = V_{IN} \cdot \frac{t_{ON}}{t_{ON} + t_{OFF}} = V_{IN} \cdot D$$

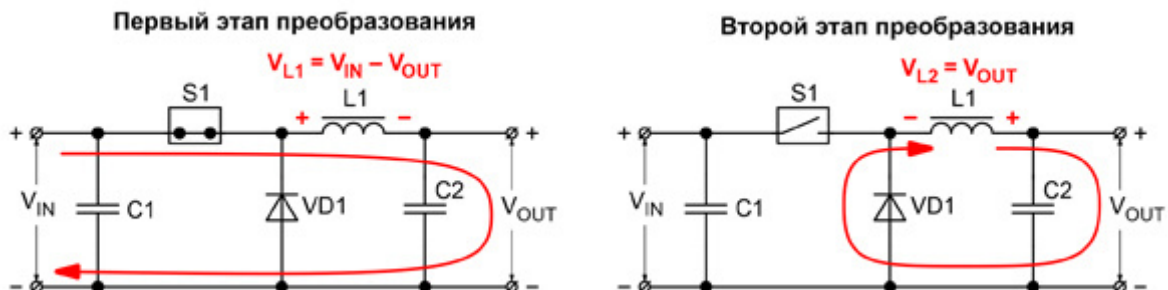


Рисунок 1.3 – Принцип роботи понижуючого перетворювача

З формули видно, що вихідна напруга V_{OUT} понижуючого перетворювача не може перевищувати вхідний V_{IN} , інакше ліва частина рівняння стане негативною, до дроселя на обох етапах перетворення буде докладено однополярну напругу, і схема працювати не буде.

1.2.3 Підвищуючий перетворювач

Підвищуючий перетворювач (Step-Up Converter, Boost Converter) також зазвичай будується на основі однообмоточного дроселя ($N1 = N2$). На першому етапі перетворення, коли ключ $S1$ замкнений, до обмотки дроселя докладена повна напруга живлення ($V_{L1} = V_{IN}$), а ось на другому є різниця між вхідним і вихідним напругами ($V_{L1} = V_{OUT} - V_{IN}$), як показано на малюнку 1.4. Підставляючи ці значення в формулу, отримаємо наступне:

$$V_{IN} \cdot t_{ON} = -(V_{OUT} - V_{IN}) \cdot t_{OFF}$$

З формули тепер можна отримати рівняння для регульовальної характеристики:

$$V_{OUT} = V_{IN} \cdot \frac{t_{ON} + t_{OFF}}{t_{OFF}} = V_{IN} \cdot \frac{1}{1 - D}$$

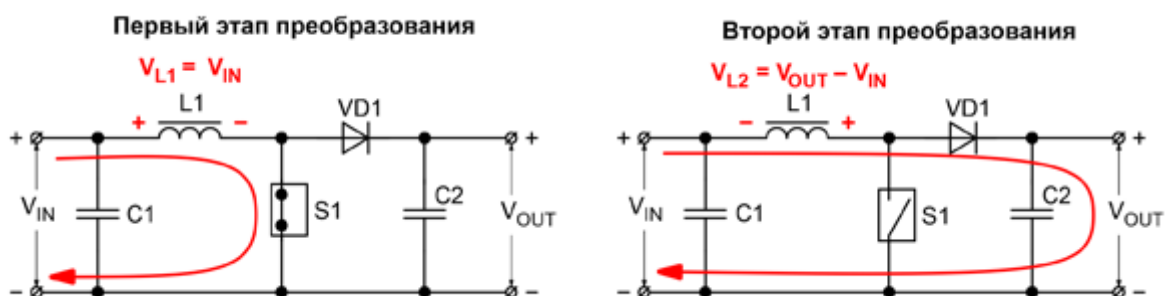


Рисунок 1.4 – Принцип роботи підвищуючого перетворювача

Як і в понижуючому перетворювачі, формула накладає обмеження на співвідношення напруги V_{IN} і V_{OUT} . При $V_{OUT} < V_{IN}$ права частина формули змінить свій знак, і дросель перестане віддавати енергію. Тому підвищуючий перетворювач може тільки збільшувати вхідну напругу.

1.2.4 Інвертуючий та зворотноходовий перетворювач

І в інвертуючому (Inverting Converter), та в зворотноходовому (Flyback Converter) перетворювачах до обмоток дроселя на першому етапі прикладається повна вхідна напруга ($V_{L1} = V_{IN}$), а на другому – повна вихідна напруга ($V_{L2} = V_{OUT}$), як показано на малюнок 1.5. Тому базове рівняння для визначення їх регульовальних характеристик однакове:

$$\frac{V_{IN}}{N1} \cdot t_{ON} = -\frac{V_{OUT}}{N2} \cdot t_{OFF}$$

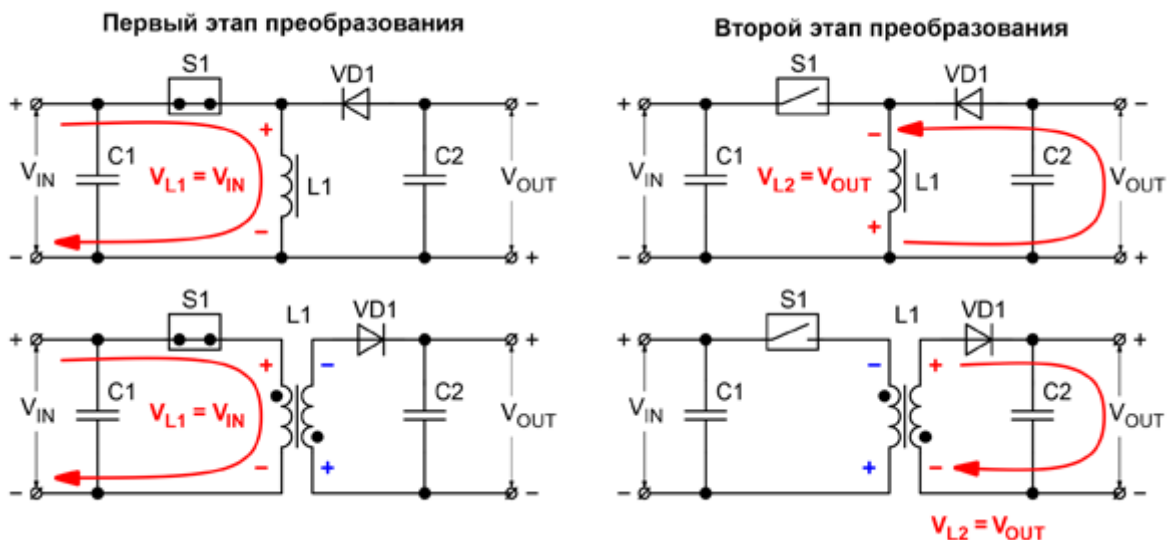


Рисунок 1.5 – Принцип роботи інвертуючого та зворотноходового перетворювача

Але, оскільки інвертуючі перетворювачі зазвичай будуються на основі однообмоточних дроселів, для яких $N1 = N2$, то їх регулювальна характеристика при роботі у всіх режимах, крім розривної, дещо простіше:

$$V_{OUT} = -V_{IN} \cdot \frac{t_{ON}}{t_{OFF}} = -V_{IN} \cdot \frac{D}{1-D}$$

Ключовою особливістю зворотного перетворювача є можливість забезпечення гальванічної розв'язки між входом і виходом. В цьому випадку обмотки дроселя можуть мати різну кількість витків:

$$V_{OUT} = V_{IN} \cdot \frac{t_{ON} + t_{OFF}}{t_{OFF}} \cdot \frac{N2}{N1} = V_{IN} \cdot \frac{1}{1-D} \cdot \frac{N2}{N1}$$

Для інвертуючого перетворювача, вхід і вихід якого мають один загальний провід, вихідна напруга V_{OUT} за абсолютним значенням може бути як більше, так і менше вхідного V_{IN} . Однак воно обов'язково повинно мати зворотну полярність, адже ні тривалість першого t_{ON} , ні другого t_{OFF} етапів перетворення не можуть бути негативними. Для зворотного перетворювача забезпечення двополярної напруги на обмотці здійснюється правильною фазировкою обмоток і включенням діода VD1. Якщо це правило буде порушено, то зворотного перетворювач працювати не буде (фактично він перетвориться в прямоходовий, який має дещо інший принцип роботи).

При використанні в понижувальних, підвищувальних і інвертуючих схемах дроселя з однією обмоткою найбільша ефективність перетворювача буде в діапазоні $0,1 \leq V_{IN} \dots V_{OUT} \leq 10$. Якщо ж вхідна напруга відрізняється від вихідної більше ніж в 10 разів, тоді, відповідно до формул, тривалість одного з етапів перетворення (t_{ON} або t_{OFF}) буде значно менше іншого (рис. 1.6).

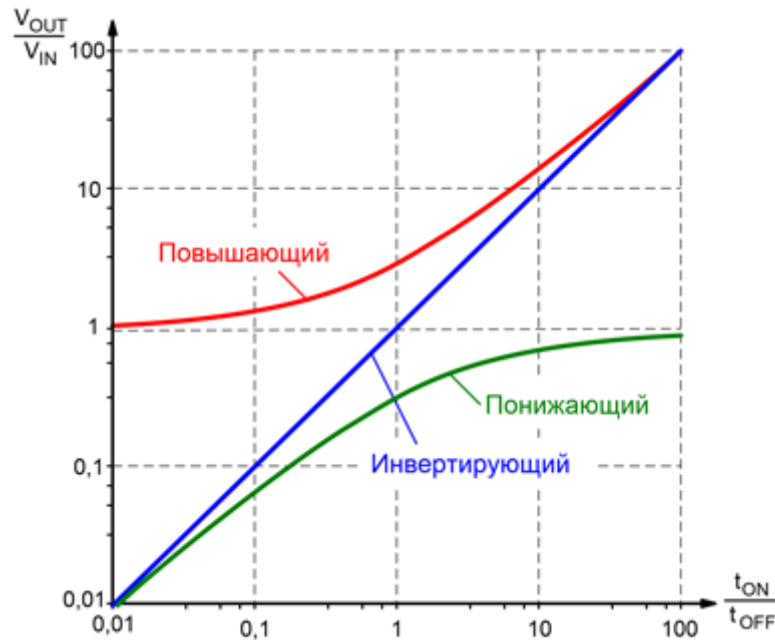


Рисунок 1.6 – Залежності співвідношення напруги на вході і виході перетворювачів (V_{OUT} / V_{IN}) від співвідношення тривалості першого і другого етапів (t_{ON} / t_{OFF})

1.3 Особливості моделювання ІППН

В роботі розглядається підхід до декомпозиції, в якому імпульсний перетворювач постійної напруги на зворотноходовому трансформаторі представляється як структура енергетичного тракту. У загальному випадку структура енергетичного тракту може бути розгалуженою. Для приладу використовується енергетичний підхід, який представлений в електротехнічному комплексі. Цей принцип декомпозиції передбачає виділення замкнутої сукупності з шести елементів, з яких складаються схеми енергетичних трактів.

В основі методики синтезу математичної моделі ІППН з зворотноходовим трансформатором, покладений принцип декомпозиції, що

відображає усі можливі аспекти існування енергетичних потоків у системі (таблиця 1.1):

- вхід енергії з несистеми,
- перетворення форми та параметрів енергетичного потоку,
- накопичення,
- перерозподіл,
- вихід енергії за межі системи (у несистему).

Для зручності всередину структурного елемента розміщується мнемонічний символ, який вказує на фізичну природу цього елемента. Електротехнічний комплекс представляється, як енергетичний об'єкт, через який проходить потік енергії. Джерело енергії – це елемент енергетичного тракту, який перетворює потік енергії, що приходить з несистеми, тобто з зовнішнього середовища, в потік енергії всередині системи. Аналогічно, приймач енергії перетворює потоки енергії всередині електротехнічного комплексу в потоки енергії, що належать несистемі, ці обидва елементи виступають в ролі посередників, між електротехнічним комплексом і зовнішнім середовищем. А інші елементи, можуть, як входити в систему, так і бути відсутніми. Елемент перетворення відображає функцію зміни форми енергетичного потоку, при цьому, в ньому не відбувається розгалуження потоку енергії. Накопичувальний елемент відображає функцію накопичення енергії. Для електротехнічного комплексу цей елемент може бути пов'язаний з: індуктивним накопичувачем, електричною ємністю, для електромагнітних процесів, інерційною масою, що обертається, пружним зв'язком на скручування, для обертового руху, інерційною масою та пружним зв'язком, при поступальному русі і т.д.

Потрібно відзначити, що функція елемента встановлюється відповідно до його основного функціонального призначення. При цьому в ньому можуть бути присутніми процеси, що не відносяться до даної функції. Прикладом цього може бути те, що в індуктивному накопичувачі можуть відбуватися втрати потужності не пов'язані з функцією перетворення.


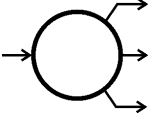
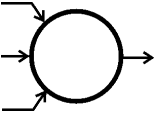
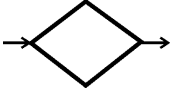
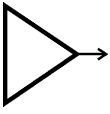
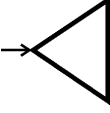
Також в елементі може бути присутнім функція розгалуження, так як відбувається поділ потоків енергії на потік, що рухається далі по енергетичному тракту та потік у вигляді втрат, з наступним виходом в несистему. При необхідності розгалуження може бути відображено в структурі тракту, однак, з точки зору зворотної концепції, це є зовсім не доцільним. Доцільним же є відображення в структурі тільки енергетичних функцій, які стосуються основного призначення елементів електротехнічного комплексу, а от другорядні функції (паразитні ємності і індуктивності, втрати і т.д.), в цьому випадку, необхідно включати всередину елемента структури. Розподільний і консолідуєчий вузли допомагають описувати багатоканальні структури у формі енергетичного тракту, але при цьому слід звернути увагу на особливості структури причинно-наслідкових зв'язків даних елементів. В результаті проведеного аналізу різних схем електротехнічних комплексів була виявлена принципова закономірність, яка може виражатися у вигляді наступних дуальних правил:

1) У розподільному вузлі, як елементі структури причинно-наслідкових зв'язків, прямий причинно-наслідковий зв'язок транслюється на виходи вузла, а зворотний зв'язок проходить через операцію підсумовування.

2) В консолідуєчому вузлі, як елементі структури причинно-наслідкових зв'язків, навпаки, прямий причинно-наслідковий зв'язок проходить через операцію підсумовування, а зворотний зв'язок транслюється на входи вузла.

Тому, відповідно до запропонованого принципу декомпозиції сформована система позначень структурних схем, що наведена у таблиці 1.1. Вона є завершеною, включає шість елементів, і не передбачає розширення.

Таблиця 1.1. Система позначень структурних елементів

Найменування структурного елемента	Позначення структурного елемента	Призначення структурного елемента
Перетворювач		Здійснює перетворення енергії зі змінною форми чи параметрів
Розподільчий вузол		Розподіляє потоки енергії по окремим каналам (розподіл потоків енергії може відбуватися як зі зміною форми та параметрів енергетичного потоку, так і без зміни)
Консолідуєчий вузол		З'єднує окремі потоки енергії в один загальний потік (консолідація потоків енергії може відбуватися як зі зміною форми та параметрів енергетичного потоку, так і без зміни)
Накопичувач енергії		Позначає елемент накопичення енергії у електромагнітній чи механічній формі
Джерело енергії		Позначає первинне джерело енергії (для вітрогенеруючих систем відповідає потоку кінетичної енергії вітру)
Приймач енергії		Для вітрогенеруючих систем, в більшості випадків, відповідає електричній мережі

Напроти, система позначень функціонального рівня, що наведена у таблиці 2.1, є відкритою і незавершеною. У даній специфікації вона включає тільки ті функціональні елементи, котрі мають відношення до відомих систем. Тому, при введенні нових окремих елементів, можливе доповнення даного

переліку. Можливе також введення додаткового ускладнення окремого функціонального позначення, у випадку введення додаткових пояснень щодо конструкції чи схеми функціонального елемента.

Таблиця 1.2. Система позначень функціонального рівня

Найменування функціонального елемента	Позначення функціонального елемента
Інерційний накопичувач енергії	
Індуктивний накопичувач енергії	
Електрична мережа	
Повітряний потік	
Тиристорний випрямляч	
Тиристорний інвертор	
Некерований випрямляч	
Імпульсний перетворювач постійної напруги	
Ємнісний накопичувач енергії	
Трифазний генератор	
Асинхронний генератор з фазовим ротором	
Проста (без зміни форми енергії) консолідація енергетичних потоків	
Простий (без зміни форми енергії) розподіл енергетичних потоків	
Трифазний трансформатор	

Перетворення кутової швидкості у лінійну швидкість	
Механічна передача	
Безпосереднє перетворення частоти струму	
Векторна сума повітряних потоків	
Аеродинамічне перетворення	

Розповсюдженим засобом створення моделі є реалізація моделі на схемо-технічному рівні. Однак, такі моделі вимагають значних обчислювальних ресурсів саме при моделюванні складних електротехнічних комплексів. Для вирішення цієї проблеми можна використовувати усереднення моделей напівпровідникових перетворювачів постійної напруги у складі електротехнічного комплексу.

Розглянемо для початку класичну схему ІППН понижуючого типу. При цьому при розгляданні моделі ІППН, в якості параметрів стану моделі, взяті усереднені значення електричних величин за період комутації силових ключів.

Значення вхідного струму через – $I_1(t)$ може бути визначено через струм вихідної індуктивності – $I_2(t)$ з урахуванням коефіцієнта заповнення відкритого стану транзистора – $\gamma_{VT}(t)$:

$$I_1(t) = \gamma_{VT}(t) \cdot I_2(t)$$

Коефіцієнт заповнення відкритого стану діода визначається, в режимі безперервного і переривчастого струму, за допомогою наступного виразу:

$$\gamma_{VD}(t) = \begin{cases} \frac{(U_1(t) - U_n(t)) \cdot \gamma_{VT}(t)}{U_n(t)}, & \text{при } I_2(t) < \frac{(U_1(t) - U_n(t)) \cdot \gamma_{VT}(t) \cdot T}{2 \cdot L} \\ 1 - \gamma_{VT}(t), & \text{при } \frac{(U_1(t) - U_n(t)) \cdot \gamma_{VT}(t) \cdot T}{2 \cdot L} \leq I_2(t) \end{cases}$$

де T – період комутації транзистора;

L – значення вхідної індуктивності;

γ_{VT} – коефіцієнт заповнення відкритого стану транзисторного ключа;

$U_1(t)$ – напруга на вході ІППН;

$U_n(t)$ – напруга на навантаженні ІППН.

При формуванні $\gamma_{VD}(t)$ також необхідно виконання наступної умови:

$$0 < \gamma_{VD}(t) \leq (1 - \gamma_{VT}(t))$$

Напруга на діоді визначається за допомогою закону Кірхгофа з урахуванням втрат в ключових елементах:

$$U_2(t) = U_1(t) \cdot \gamma_{VT}(t) - U_{on_VT} \cdot \gamma_{VT}(t) + U_{on_VD} \cdot \gamma_{VD}(t) - R_{on_VD} \cdot I_2(t) \\ \cdot \gamma_{VD}(t) - R_{on_VT} \cdot I_1(t) + U_n(t) \cdot (1 - \gamma_{VD}(t) - \gamma_{VT}(t))$$

де U_{on_VD} – пряма напруга діода;

U_{on_VT} – пряма напруга ключового транзистора;

R_{on_VD} – прямий опір діода;

R_{on_VT} – прямий опір ключового транзистора.

При формуванні елементу візуально-блочної моделі приведемо у відповідність прийнятій уніфікованій системі позначень вхідні та вихідні змінні:

$$I_2 \rightarrow I-;$$

$$I_1 \rightarrow I+;$$

$$\gamma_{VT} \rightarrow \gamma;$$

$$U_1 \rightarrow U+;$$

$$U_n \rightarrow U_n;$$

$$U_2 \rightarrow U-.$$

Візуальна модель ІППН понижуючого типу наведена на рис. 1.7.

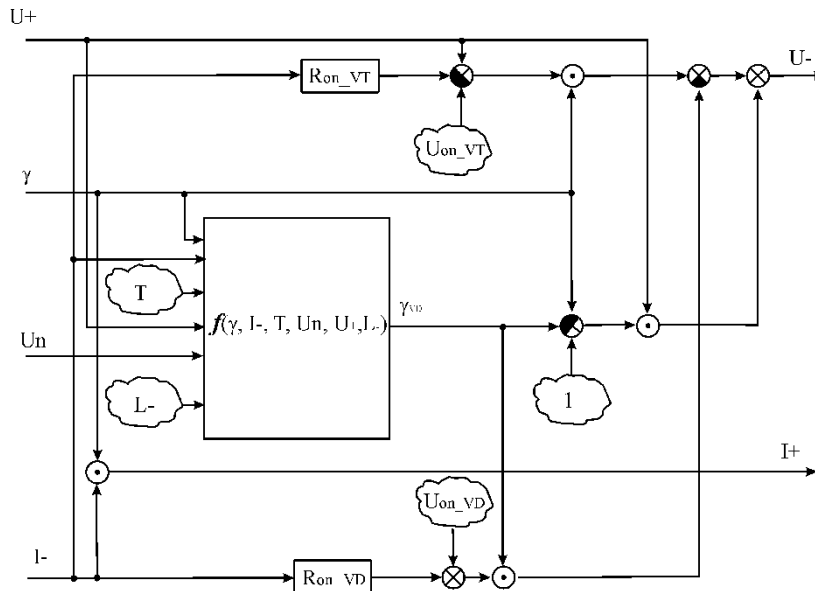


Рисунок 1.7 – Візуальна модель ІППН понижуючого типу

Позначення елемента візуально-блочної моделі для ІППН понижуючого типу, що відповідає моделі на рисунку 1.7 наведена на рисунку 1.8.

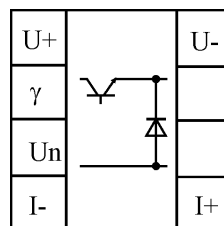


Рисунок 1.8 – Позначення елемента візуально-блочної моделі для ІППН понижуючого типу

Тепер розглянемо класичну схему ПППН підвищувального типу. При даному розгляді моделі ПППН в якості параметрів стану моделі взяті усереднені значення електричних величин за період комутації силових ключів.

Значення струму через діод – $I_2(t)$ може бути визначено через струм індуктивності – $I_1(t)$ з урахуванням коефіцієнта заповнення відкритого стану діода – $\gamma_{VD}(t)$:

$$I_2(t) = \gamma_{VD}(t) \cdot I_1(t)$$

Коефіцієнт заповнення відкритого стану діода визначається, в режимі безперервного і переривчастого струму за допомогою наступної формули:

$$\gamma_{VD}(t) = \begin{cases} \frac{U_1(t) \cdot \gamma_{VT}(t)}{U_n(t) - U_1(t)}, & \text{при } I_1(t) < \frac{U_1(t) \cdot \gamma_{VT}(t) \cdot T}{2 \cdot L} \\ 1 - \gamma_{VT}(t), & \text{при } \frac{U_1(t) \cdot \gamma_{VT}(t) \cdot T}{2 \cdot L} \leq I_1(t) \end{cases}$$

де T – період комутації транзистора;

L – значення вхідної індуктивності;

γ_{VT} – коефіцієнт заповнення відкритого стану транзисторного ключа;

$U_1(t)$ – напруга на вході ПППН;

$U_n(t)$ – напруга на навантаженні ПППН.

При формуванні $\gamma_{VD}(t)$ використовується наступна умова:

$$0 < \gamma_{VD}(t) \leq (1 - \gamma_{VT}(t))$$

Напруга на транзисторному ключі визначається за допомогою закону Кірхгофа з урахуванням втрат в ключових елементах:

$$U_2(t) = U_n(t) \cdot \gamma_{VD}(t) + U_{on_VD} \cdot \gamma_{VD}(t) + R_{on_VD} \cdot I_2(t) + U_{on_VT} \cdot \gamma_{VT}(t) + R_{on_VT} \cdot I_1(t) \cdot \gamma_{VT}(t)$$

де U_{on_VD} – пряма напруга діода;

U_{on_VT} – пряма напруга ключового транзистора;

R_{on_VD} – прямий опір діода;

R_{on_VT} – прямий опір ключового транзистора.

При формуванні елементу візуально-блочної моделі приведемо у відповідність прийнятій уніфікованій системі позначень вхідні та вихідні змінні:

$$I_2 \rightarrow I-;$$

$$I_1 \rightarrow I+;$$

$$\gamma_{VT} \rightarrow \gamma;$$

$$U_2 \rightarrow U+;$$

$$U_n \rightarrow U-;$$

$$U_1 \rightarrow E.$$

Візуальна модель ІППН підвищувального типу можна побачити на рисунку 1.9.

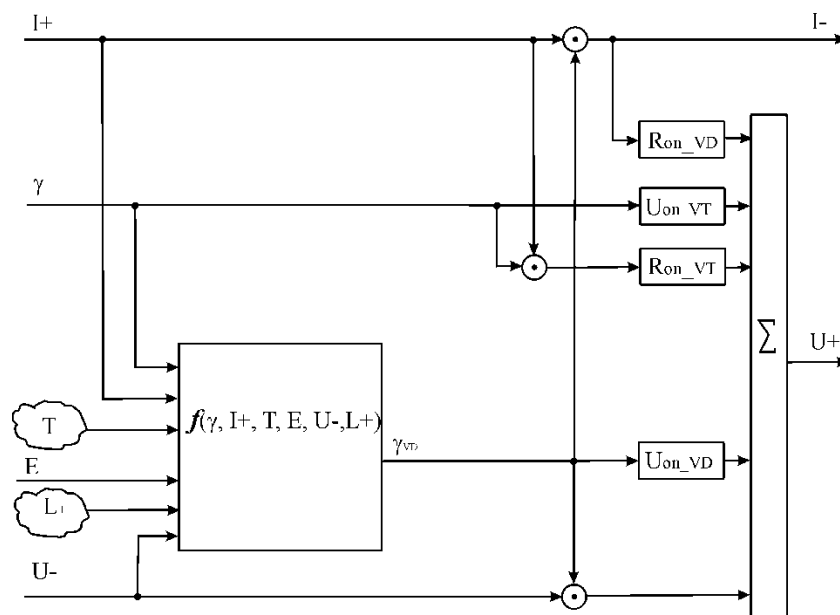


Рисунок 1.9 – Візуальна модель ІППН підвищувального типу

Позначення елемента візуально-блочної моделі для ІППН підвищувального типу, яке відповідає моделі на рисунку 1.9 наведена на рисунку 1.10.

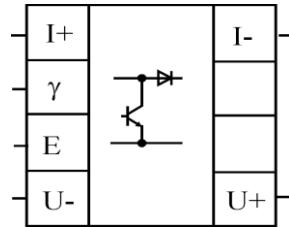


Рисунок 1.10 – Позначення елемента візуально-блочної моделі для ІППН підвищувального типу

Для перевірки адекватності запропонованої моделі було проведено порівняльне моделювання за допомогою моделі джерела живлення на схемотехнічному рівні та за допомогою візуально-блочної моделі, з використанням запропонованого елемента.

Часові залежності напруги конденсатора зображені на рисунку 1.11, а часові залежності струму котушки на рисунку 1.12, імпульсного перетворювача. Пілоподібна крива відповідає схемотехнічній моделі, а гладка крива відповідає усередненій моделі. Зіставлення результатів моделювання на схемотехнічному і на структурному рівні показують високий ступінь адекватності запропонованої моделі. Реалізація представленої моделі дозволяє значно (більш ніж на три порядки) знизити час моделювання.

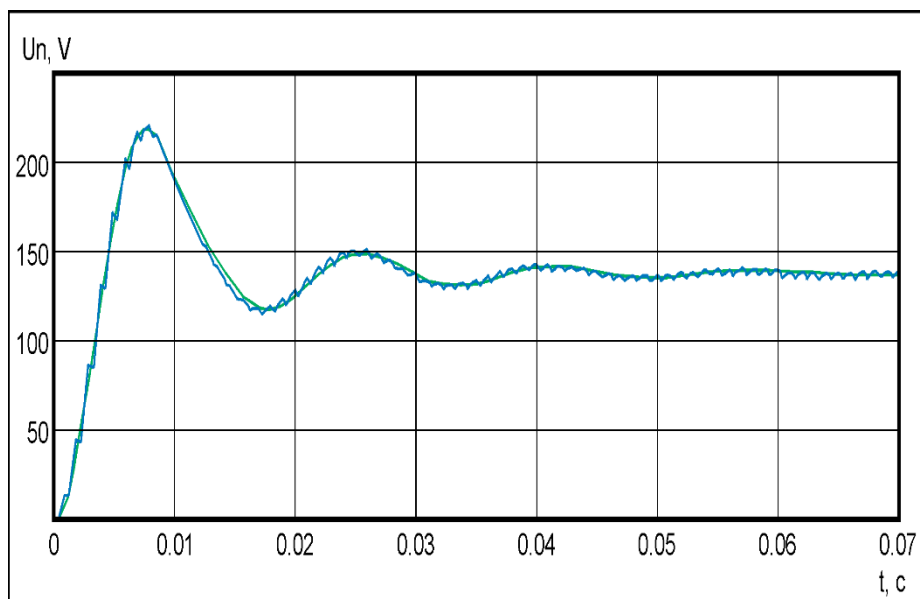


Рисунок 1.11 – Результати порівняльного моделювання джерела живлення на базі імпульсного перетворювача постійної напруги підвищуючого типу (напруга на вихідному конденсаторі)

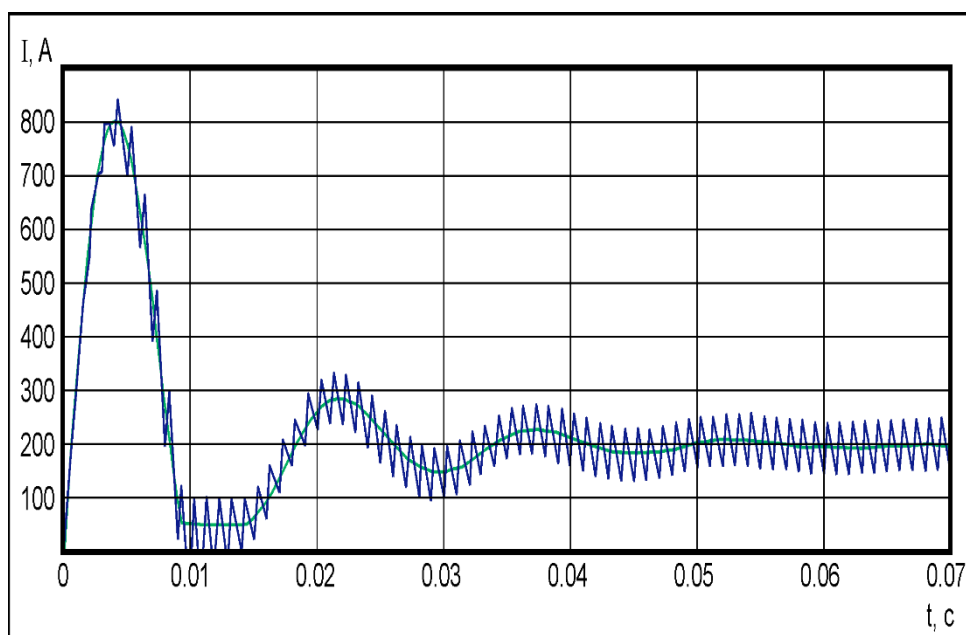


Рисунок 1.12 – Результати порівняльного моделювання джерела живлення на базі імпульсного перетворювача постійної напруги підвищуючого типу (струм котушки індуктивності)

Засобами імітаційного моделювання проведена оцінка точності отриманої математичної моделі. Порівняльний аналіз був проведений зіставленням результатів застосування схмотехнічної і усередненої моделей на виході за допомогою ідентичних фільтрів низьких частот.

Для запропонованої моделі на рисунку 1.13 представлені результати модельного експерименту по визначенню значень відносної помилки. Для зіставлення моментів перехідного процесу на рисунку 1.14 наводиться згладжена часова характеристика струму в індуктивності на ділянці переривчастого струму.

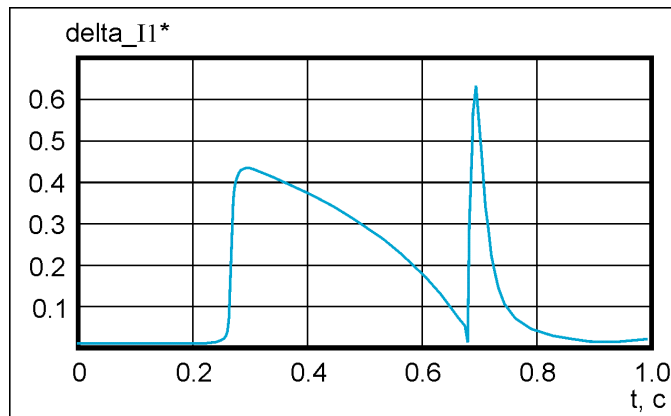


Рисунок 1.13 – Результати модельного експерименту по визначенню значень відносної помилки моделювання

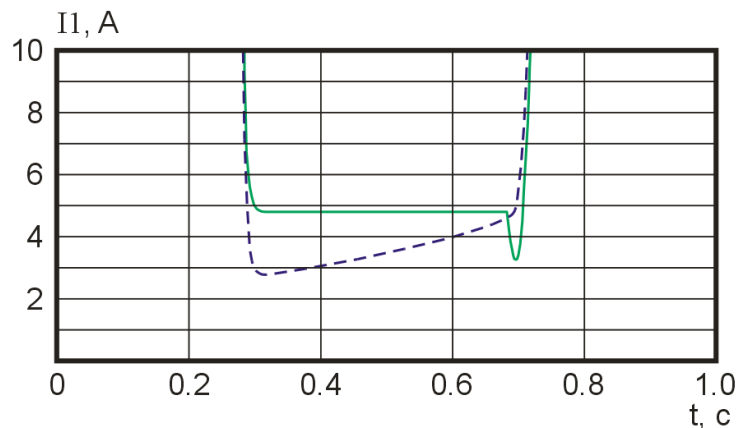


Рисунок 1.14 – Згладжена часова характеристика струму в індуктивності на ділянці переривчастого струму

З аналізу графіків видно, що найбільша помилка моделювання припадає на режим переривчастого струму, причому пікові значення відповідають моментам переходу з режиму безперервного струму в режим переривчастого і назад.

Проведений в даній роботі аналіз структури причинно-наслідкових зв'язків виявив наявність досить жорсткого негативного зворотного зв'язку по струму індуктивності. Він виникає природним чином при застосуванні процедури визначення режиму "переривчастий-безперервний струм"

Дана процедура досить адекватно відтворює моменти переходу, проте після досягнення моделлю режиму переривчастого струму (суцільна лінія), обчислювальний алгоритм починає стабілізувати значення струму дроселя на рівні порогового значення (рис. 1.14). У той же час в еталонній моделі (переривчаста лінія) струм індуктивності змінюється в часі, внаслідок зміни напруги на ємності. Напруга на ємності, таким чином, визначає величину помилки в режимі переривчастого струму.

Максимальні значення помилки і характер її змінення у часі на ділянках переривчастого струму залежать від параметрів схеми перетворювача. Потрібно відзначити, що, хоча вона досить велика в відносних значеннях, в абсолютних значеннях вона не перевищує 1-2% від номіналу, що, в більшості випадків, є прийнятним для практичних завдань. У режимі ж безперервного струму відносна помилка складає в середньому всього 0.6%. У зв'язку з вищезазначеним, запропоновану модель можна вважати досить адекватною по відношенню до основних завдань проектування систем управління електротехнічними комплексами, до складу яких входить ІППН підвищуючого типу.

Імпульсний перетворювач постійної напруги інвертуючого типу, у рамках запропонованого принципу декомпозиції, має деякі відмінності від ІППН понижуючого та підвищуючого типу. Для порівняння розглянемо СЕТ для цих трьох типів перетворювачів при їх включенні на постійне активне навантаження з вихідним ємнісним фільтром.

З точки зору структури енергетичного тракту ключові елементи ІППН інвертуючого типу не зосереджені в одному елементі, як у попередніх схемах, а структурно розділені індуктивним накопичувачем енергії.

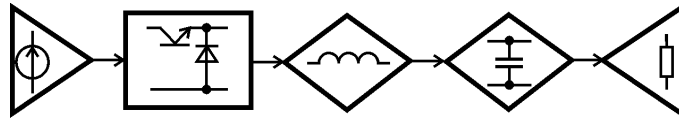


Рисунок 1.15 – СЕТ ІППН понижуючого типу

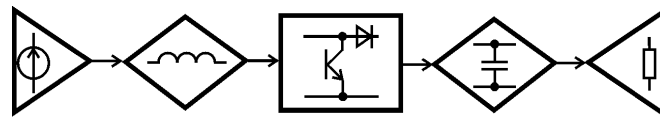


Рисунок 1.16 – СЕТ ІППН підвищуючого типу

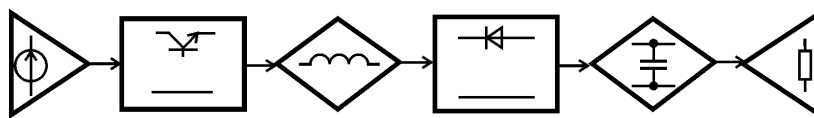


Рисунок 1.17 – СЕТ ІППН інвертуючого типу

Тому, для включення ІППН інвертуючого типу в загальну модель, потрібне введення опису ще двох блоків: блоку транзисторного ключового елемента і блоку діодного ключового елемента.

Візуальна модель і позначення транзисторного ключового блоку наведена на рисунку 1.18.

Транзисторний ключовий елемент здійснює перетворення вхідної напруги ІППН (для даного блоку – “ U_+ ”) в напругу на вході індуктивного накопичувача з боку вхідного джерела енергії (для даного блоку – “ U_- ”), відповідно до коефіцієнта заповнення відкритого стану транзистора γ_{VT} . Дане перетворення здійснюється в напрямку – “прямий” причинно-наслідковий зв'язок.

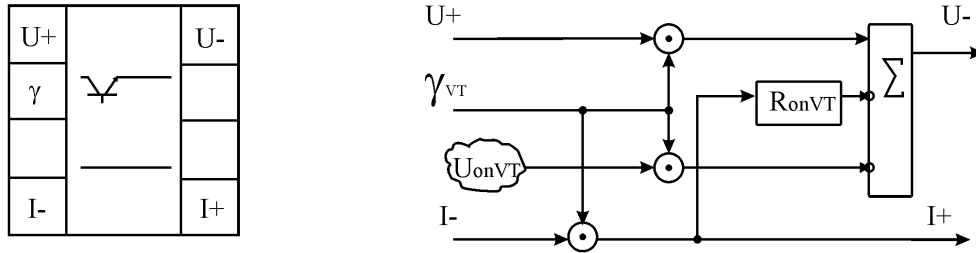


Рисунок 1.18 – Візуальна модель і позначення транзисторного ключового елемента ВБМ

Для зворотного причинно-наслідкового зв'язку даний блок перетворює струм індуктивного накопичувача (для даного блоку – “ I_- ”) у вхідний струм перетворювача (для даного блоку – “ I_+ ”).

Вихідна напруга визначається з урахуванням прямого падіння напруги на транзисторі:

$$U_- = U_+ \cdot \gamma_{VT} - U_{on_VT} \cdot \gamma_{VT} - R_{on_VT} \cdot I_+$$

де U_{on_VT} – пряме порогове падіння напруги на транзисторі;

R_{on_VT} – прямий диференціальний опір транзистора.

Вхідний струм блоку визначається з виразу:

$$I_+ = I_- \cdot \gamma_{VT}$$

Візуальна модель і позначення діодного ключового блоку наведена на рисунку 1.19. Доданий ключовий елемент здійснює перетворення струму індуктивного накопичувача (для даного блоку – “ I_+ ”) в вихідний струм ІППН (для даного блоку – “ I_- ”), відповідно до коефіцієнта заповнення відкритого стану діода γ_{VD} . Дане перетворення здійснюється в напрямку – «прямий причинно-наслідковий зв'язок». Для зворотного причинно-наслідкового зв'язку даний блок перетворює напругу на виході ІППН (для даного блоку –

“ U_- ”) в напругу, що прикладена до індуктивного накопичувача з боку виходу ІППН (для даного блоку – “ U_+ ”).

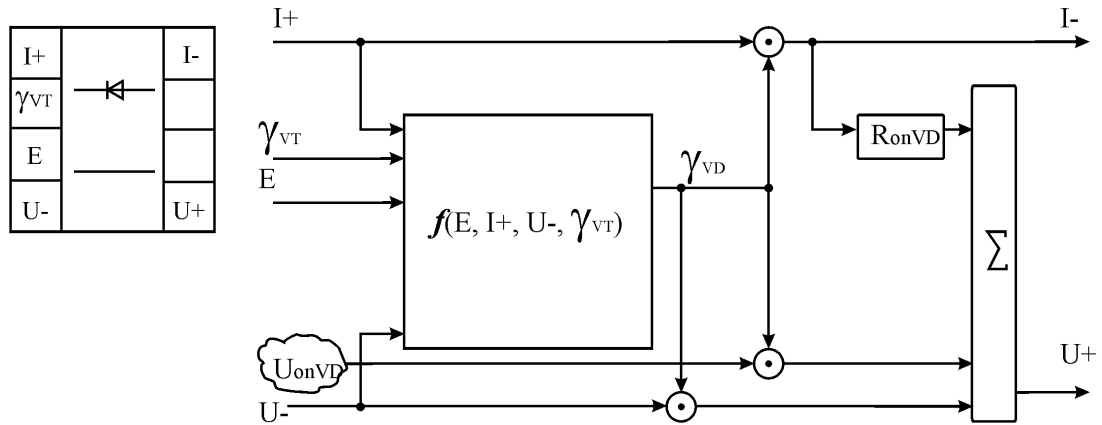


Рисунок 1.19 – Візуальна модель і позначення діодного ключового елемента ВБМ

Вихідний струм блоку визначається з наступного виразу:

$$I_- = I_+ \cdot \gamma_{VD}$$

Вхідна напруга визначається з урахуванням прямого падіння напруги на діоді:

$$U_+ = U_- \cdot \gamma_{VD} + U_{on_VD} \cdot \gamma_{VD} + R_{on_VD} \cdot I_-$$

де U_{on_VD} – пряме падіння напруги на діоді;

R_{on_VD} – прямий опір діода.

Коефіцієнт заповнення відкритого стану діода визначається для режиму безперервного і переривчастого струму за допомогою виразів двох наступних виразів:

$$\gamma_{VD} = \begin{cases} \frac{-\tau_2}{T} \ln \left[1 - \frac{(E - U_{on_VT}) \cdot R_2}{(U_- + U_{on_VD}) \cdot R_1} \cdot \left(1 - e^{-\frac{T \cdot \gamma_{VT}}{\tau_1}} \right) \right], & \text{при } I_+ < \frac{E \cdot \gamma_{VT} \cdot T}{2 \cdot L} \\ 1 - \gamma_{VT}, & \text{при } \frac{E \cdot \gamma_{VT} \cdot T}{2 \cdot L} \leq I_+ \end{cases}$$

де L – індуктивність накопичувача;

E – напруга джерела живлення;

T – тривалість такту роботи ШПН.

$$\tau_1 = \frac{L}{R_1}, \quad R_1 = R_L + R_{on_VT}$$

$$\tau_2 = \frac{L}{R_2}, \quad R_2 = R_L + R_{on_VD}$$

де R_L – активний опір індуктивного накопичувача.

Візуально-блокова модель перетворювача постійної напруги інвертуючого типу, що відповідає структурі енергетичного тракту (рис. 1.17), наведена на рисунку 1.20.

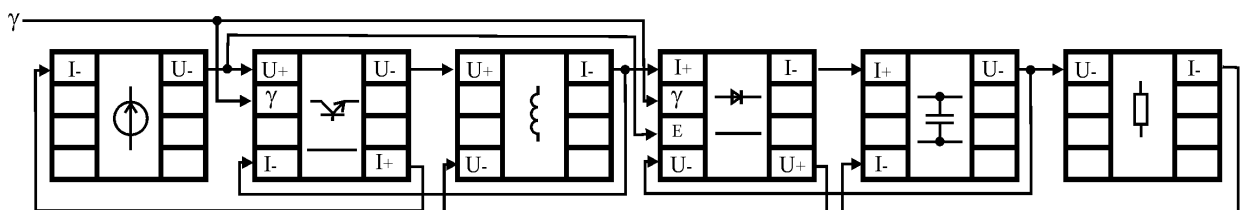


Рисунок 1.20 – Візуально-блокова модель перетворювача постійної напруги інвертуючого типу

Часові діаграми струму через індуктивність, отримані за допомогою ВБМ, наведені на рисунку 1.21.

На діаграмі пилоподібній кривій відповідає результат, отриманий за допомогою схемної моделі. Гладка лінія відповідає ВБМ.

На початковому етапі перехідного процесу спостерігається режим безперервного струму.

Далі, після досягнення усередненим струмом критичного значення, перетворювач переходить в режим переривчастого струму.

Отримані діаграми показують прийнятну, з точки зору використання на практиці, точність ВБМ.

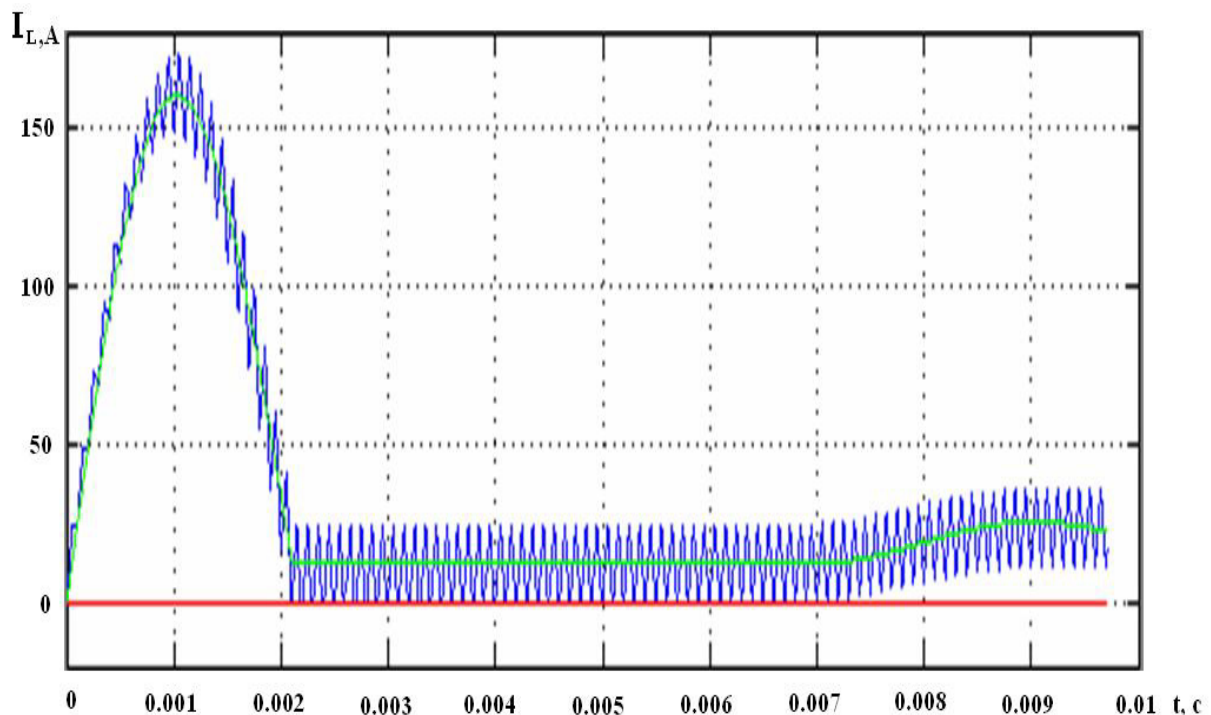


Рисунок 1.21 – Результати моделювання струму індуктивності, отримані для ВБМ і схемної моделі ІППН інвертуючого типу

Слід зазначити, що описана вище модель була побудована при припущенні про стабільність вихідної напруги протягом робочого такту.

Однак при зменшенні постійної часу вихідного кола відносно тривалості такту роботи перетворювача спостерігається зростання помилки моделювання, внаслідок мінливості напруги на вихідному конденсаторі протягом такту роботи ІППН.

Дослідження впливу відносної постійної часу вихідного кола на величину відносної помилки моделювання в усталеному режимі безперервного струму показані на рис. 1.22.

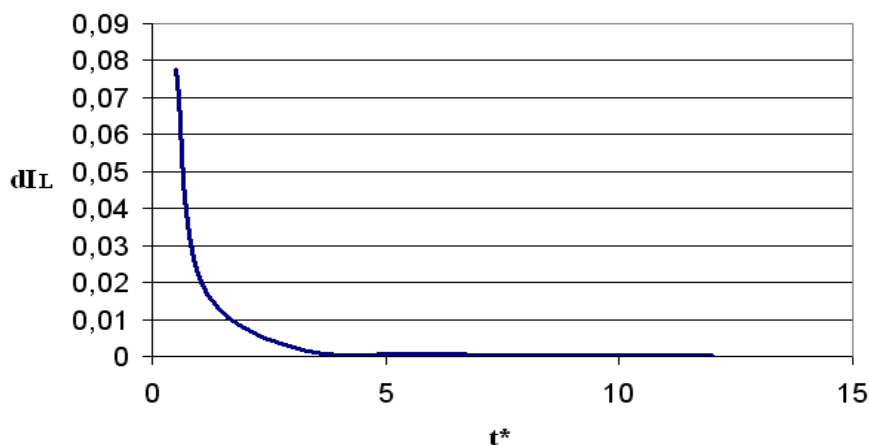


Рисунок 1.22 – Залежність величини відносної помилки моделювання від відносної постійної часу вихідного кола

Результати моделювання, отримані за допомогою запропонованої візуально-блокової моделі, свідчать про її адекватність. Однак при її застосуванні слід враховувати появу помилки в режимах роботи перетворювача, при яких спостерігається суттєва зміна напруги на виході перетворювача.

Розглянувши моделі імпульсних перетворювачів постійної напруги, можна побачити, що моделі для зворотногоходового перетворювача ще немає. Тому на кафедрі мікроелектронних та електронних інформаційних систем, розробляється ця модель. Та для перевірки правильності моделі необхідно мати імітаційну модель для перевірки правильності функціонування її схеми. Також потрібно мати еталону модель, завдяки якій можна провести порівняння моделей, та перевірити її адекватність та працездатність. Також окремою проблемою є точність моделі, яку теж потрібно перевірити та навести результати.

2 СТВОРЕННЯ МОДЕЛІ ЗВОРотноХОДОВОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА

Для створення моделі для імпульсного перетворювача постійної напруги на зворотноходовому трансформаторі, необхідно для початку отримати математичку модель, після чого можна переходити до синтезу елементів моделі за допомогою блох-схеми, структурі енергетичного тракту та позначення візуально блочної моделі. Після того як всі елементи системи перетворювача будуть розглянуті можна переходити до формування енергетичного тракту та сформувати візуально блочної модель зворотноходового перетворювача.

Зворотноходовий трансформатор в даній системі виконує функції накопичувального дроселя та трансформатора, тому як він не зовсім являє собою класичний трансформатор, через який постійно проходить синусоїдальна напруга. А в даній схемі, в першу частину періоду в трансформатор входить енергія, а у другій частині періоду енергія з нього виходить. Але для зручності далі буде писатися “трансформатор” або “індуктивний накопичувач”.

2.1 Математична модель

Схема зворотноходового перетворювача містить 6 елементів: джерело постійної напруги, транзистор, трансформатор, діод, конденсатор та резистор навантаження. Математичні моделі елементів будуть представленні нижче.

В математички моделях не будуть враховуватися внутрішні опір та втрати в елементах, тому що вони суттєво не впливають на результат, винятком є постійне джерело живлення та трансформар.

Для початку розглянемо математичну модель джерела постійної напруги. Для зворотного причинно-наслідкового зв'язку даний блок перетворює вхідний струм перетворювача (I_-) в напругу на вході ключового елемента (U_-).

$$U_- = E + R_d \cdot I_-$$

де, E – постійна напруга джерела живлення;

R_d – внутрішній опір джерела живлення.

Транзисторний ключовий елемент здійснює перетворення вхідної напруги ІППН (для даного блоку – “ U_+ ”) в напругу на вході індуктивного накопичувача з боку вхідного джерела енергії (для даного блоку – “ U_- ”), відповідно до коефіцієнта заповнення відкритого стану транзистора γ . Дане перетворення здійснюється в напрямку – “прямий” причинно-наслідковий зв'язок.

Для зворотного причинно-наслідкового зв'язку даний блок перетворює струм індуктивного накопичувача (для даного блоку – “ I_- ”) у вхідний струм перетворювача (для даного блоку – “ I_+ ”).

Вихідна напруга визначається з урахуванням прямого падіння напруги на транзисторі:

$$U_- = U_+ \cdot \gamma$$

Вхідний струм блоку визначається з виразу:

$$I_+ = I_- \cdot \gamma \cdot k_T$$

де, k_T – коефіцієнт трансформації.

Наступним є зворотноходовий трансформатор. Цей елемент накопичує енергію за допомогою напруги на вході індуктивного накопичувача з боку транзисторного ключа (U_+), та видає струм індуктивного накопичувача в ключову модель діода (I_-). Дане накопичування здійснюється в напрямку – «прямий причинно-наслідковий зв'язок». Для зворотного причинно-наслідкового зв'язку даний блок використовує напругу (U_-).

$$U_{RL} = R_L \cdot \frac{1}{L} \cdot \int \left(U_+ - \frac{U_-}{k_T} - U_{RL} \right) dt$$

де, U_{RL} – внутрішні втрати по напрузі;

R_L – внутрішній опір;

L – індуктивність первинної обмотки трансформатора;

k_T – коефіцієнт трансформації;

$$I_- = \frac{\frac{1}{L} \cdot \int \left(U_+ - \frac{U_-}{k_T} - U_{RL} \right) dt + I_0}{k_T}$$

де, I_0 – початковий струм обмотки.

Далі йде діод. Даний ключовий елемент здійснює перетворення струму індуктивного накопичувача (для даного блоку – “ I_+ ”) в струм на вході конденсатора (для даного блоку – “ I_- ”), відповідно до коефіцієнта заповнення γ . Дане перетворення здійснюється в напрямку – «прямий причинно-наслідковий зв'язок». Для зворотного причинно-наслідкового зв'язку даний блок перетворює напругу на виході ІППН (для даного блоку – “ U_- ”) в напругу, що прикладена до індуктивного накопичувача з боку виходу ІППН (для даного блоку – “ U_+ ”).

Вихідний струм блоку визначається з виразу

$$I_- = I_+ \cdot (1 - \gamma)$$

Вхідна напруга визначається:

$$U_+ = U_- \cdot (1 - \gamma)$$

Наступним є конденсатор. Цей елемент накопичує енергію за допомогою струму на своєму вході з боку діода (I_+), та видає напругу ні виході ІППН (U_-). Дане накопичування здійснюється в напрямку – «прямий причинно-наслідковий зв'язок». Для зворотного причинно-наслідкового зв'язку даний блок використовує вихідний струм ІППН (I_-).

Вихідна напруга визначається за наступним виразом:

$$U_- = \frac{1}{C} \int (I_+ - I_-) dt + U_0$$

де, C – ємність конденсатора;

U_0 – початкова напруга на конденсаторі.

Останній елемент являє собою резистор навантаження. Цей елемент виступає в якості навантаження для ІППН, видає струм ІППН на конденсатор для зворотного причинно-наслідкового зв'язку (I_-), за допомогою напруги на виході ІППН (U_-).

Струм перетворювача визначається за наступною формулою:

$$I_- = \frac{U_-}{R}$$

де, R – опір навантаження перетворювача.

2.2 Візуально блочна модель

За допомогою математичних моделей, які були синтезовані в попередньому розділі, можливе створення візуально блочної моделі для зворотного перетворювача. Нижче розглянуті

Блок-схема для джерела постійної напруги зображена на рисунку 2.1. Умовне позначення для структури енергетичного тракту та візуально блочна модель зображені на рисунку 2.2 та рисунку 2.3, відповідно.

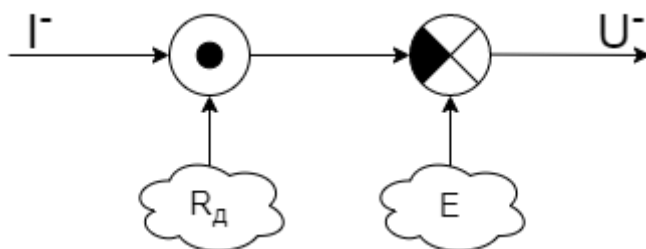


Рисунок 2.1 – Блок-схема для джерела постійної напруги

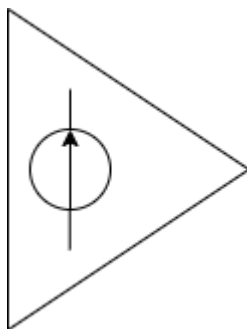


Рисунок 2.2 – Умовне позначення джерела постійної напруги

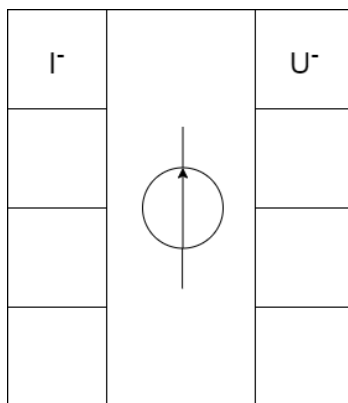


Рисунок 2.3 – ВБМ джерела постійної напруги

Блок-схема для транзистора зображена на рисунку 2.4. Умовне позначення для структури енергетичного тракту та візуально блочна модель зображені на рисунку 2.5 та рисунку 2.6, відповідно.

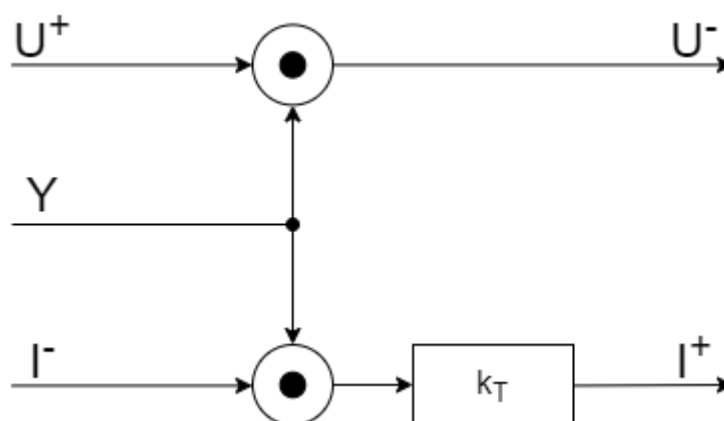


Рисунок 2.4 – Блок-схема для транзистора

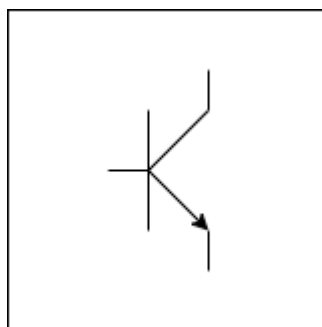


Рисунок 2.5 – Умовне позначення транзистора

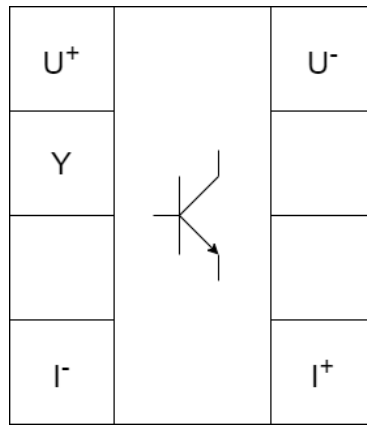


Рисунок 2.6 – ВБМ транзистора

Блок-схема для трансформатора зображена на рисунку 2.7. Умовне позначення для структури енергетичного тракту та візуально блочна модель зображені на рисунку 2.8 та рисунку 2.9, відповідно.

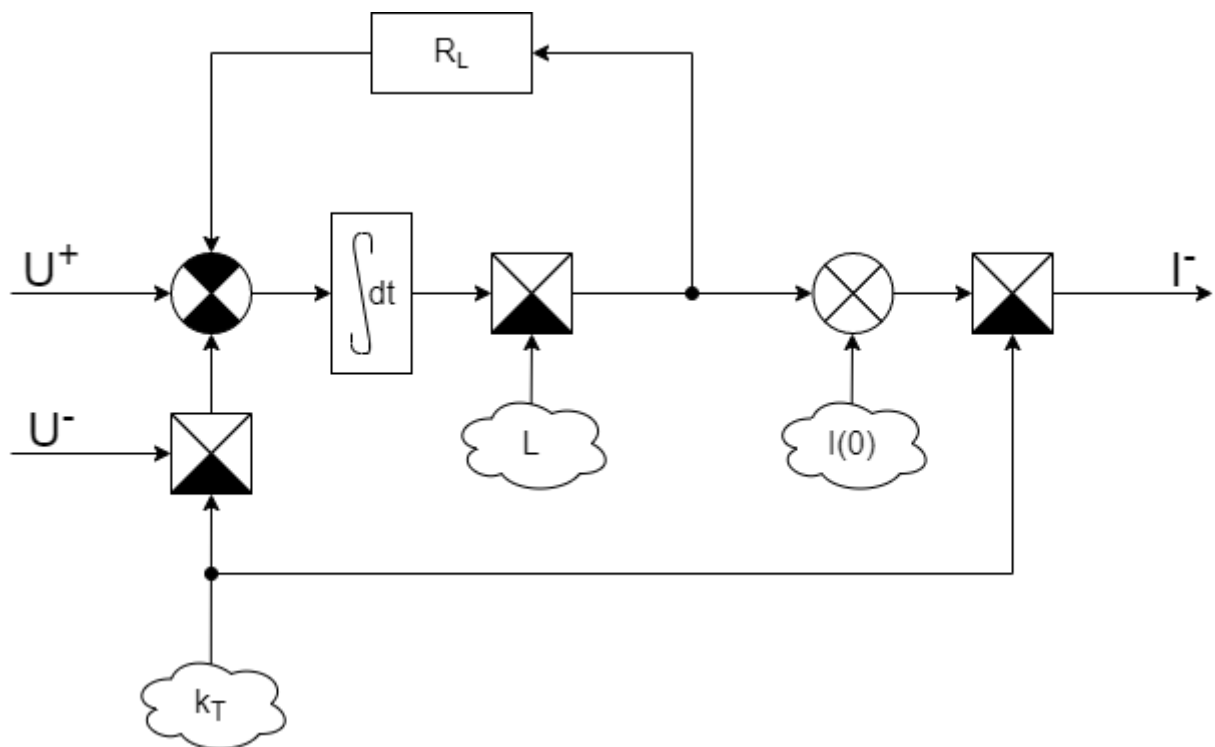


Рисунок 2.7 – Блок-схема для трансформатора

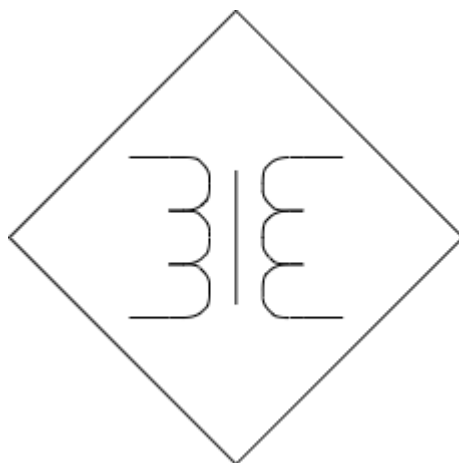


Рисунок 2.8 – Умовне позначення трансформатора

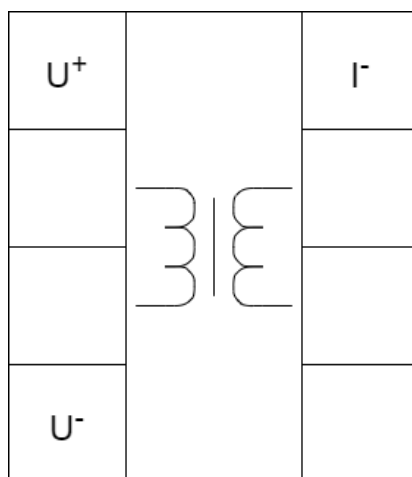


Рисунок 2.9 – ВБМ трансформатора

Блок-схема для діода зображена на рисунку 2.10. Умовне позначення для структури енергетичного тракту та візуально блочна модель зображені на рисунку 2.11 та рисунку 2.12, відповідно.

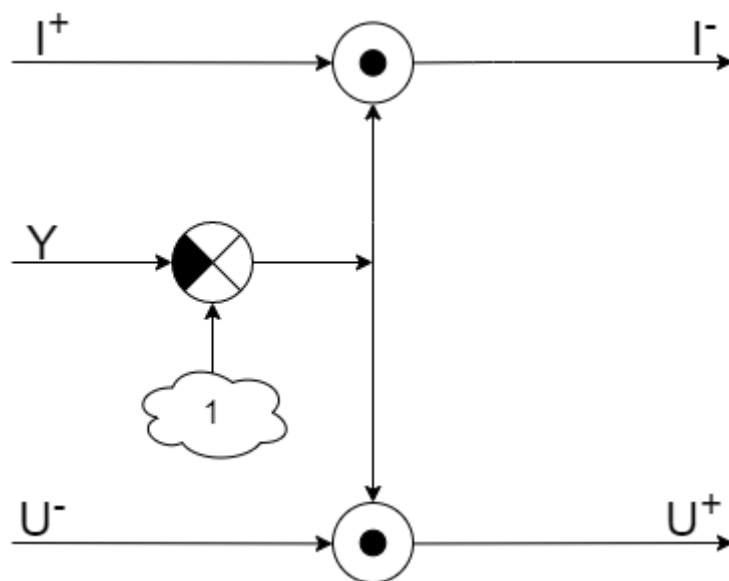


Рисунок 2.10 – Блок-схема для діода

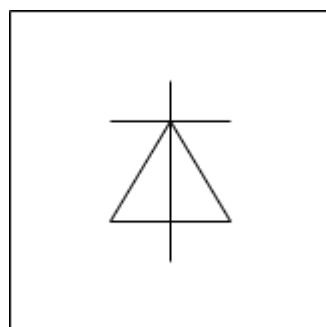


Рисунок 2.11 – Умовне позначення діода

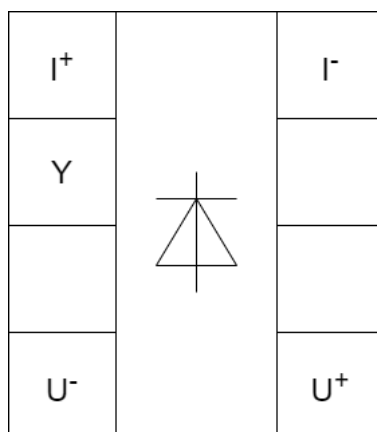


Рисунок 2.12 – ВБМ діода

Блок-схема для конденсатора зображена на рисунку 2.13. Умовне позначення для структури енергетичного тракту та візуально блочна модель зображені на рисунку 2.14 та рисунку 2.15, відповідно.

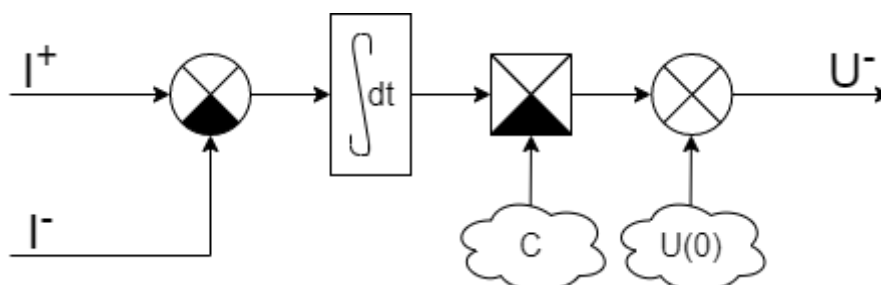


Рисунок 2.13 – Блок-схема для конденсатора

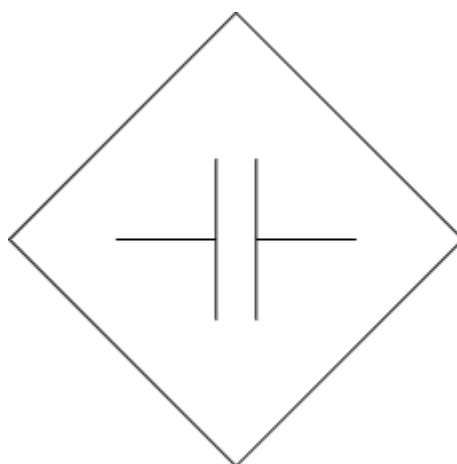


Рисунок 2.14 – Умовне позначення конденсатора

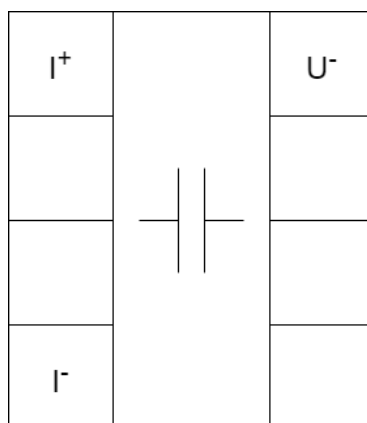


Рисунок 2.15 – ВБМ конденсатора

Блок-схема для резистора зображена на рисунку 2.16. Умовне позначення для структури енергетичного тракту та візуально блочна модель зображені на рисунку 2.17 та рисунку 2.18, відповідно.

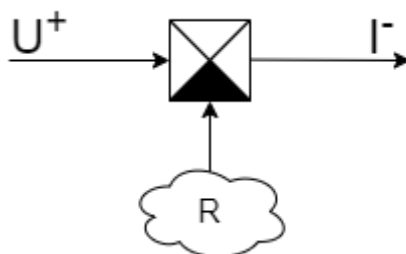


Рисунок 2.16 – Блок-схема для резистора

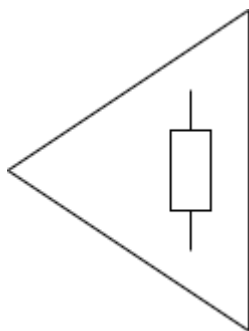


Рисунок 2.17 – Умовне позначення резистора

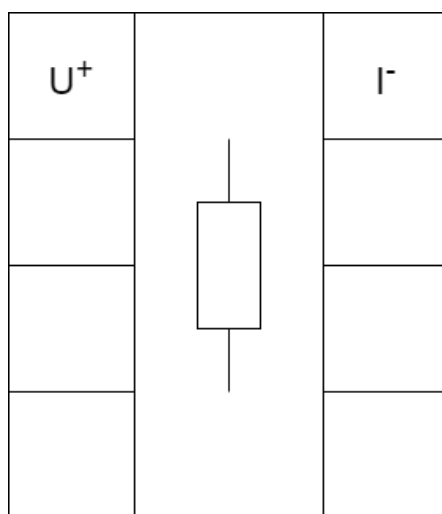


Рисунок 2.18 – ВБМ резистора

З точки зору структури енергетичного тракту ключові елементи ІППН на зворотноходовому трансформаторі не зосереджені в одному елементі, як у ІППН підвищуючого або понижуючого типів, а структурно розділені індуктивним накопичувачем енергії, тому ця структура більш схожа на ІППН інвертуючого типу.

На рисунку 2.19 зображена структура енергетичного тракту імпульсного перетворювача постійної напруги на зворотноходовому трансформаторі, яка була зібрана з елементів, які були описані раніше.

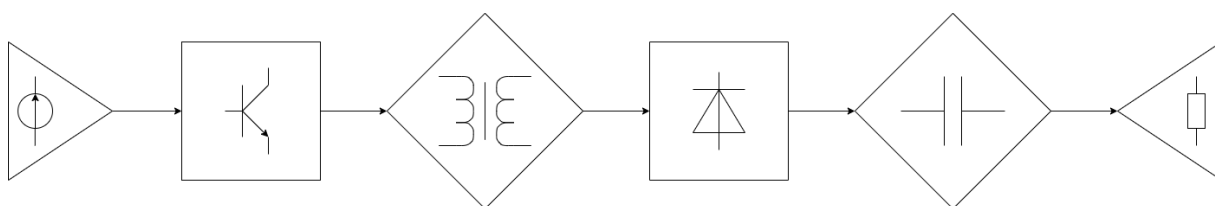


Рисунок 2.19 – СЕТ ІППН на зворотноходовому трансформаторі

Так як, входи і виходи блоків відповідають причинно-наслідковій моделі, і не ототожнюються зі входами та виходами пристроїв. Входи завжди розташовуються зліва, а виходи – справа.

При з'єднанні блоків у структуру, напрям ліній - "зліва направо" відповідає прямим зв'язкам, а напрямки - "справа наліво" - зворотним зв'язкам. Цей візуальний аспект структурної схеми є важливим для розуміння принципу роботи системи на рівні причин-наслідків.

Побудова візуальної моделі починається з того, що залучаються блоки, які відповідають елементам структури енергетичних трактів. Причому блоки розміщуються в тій же послідовності що й в структурі енергетичного тракту.

Візуальна модель виходить шляхом стикування відповідних входів і виходів блоків за допомогою прямих і зворотних спрямованих ліній. Коли всі входи блоків підключені, тоді модель вважається завершеною.

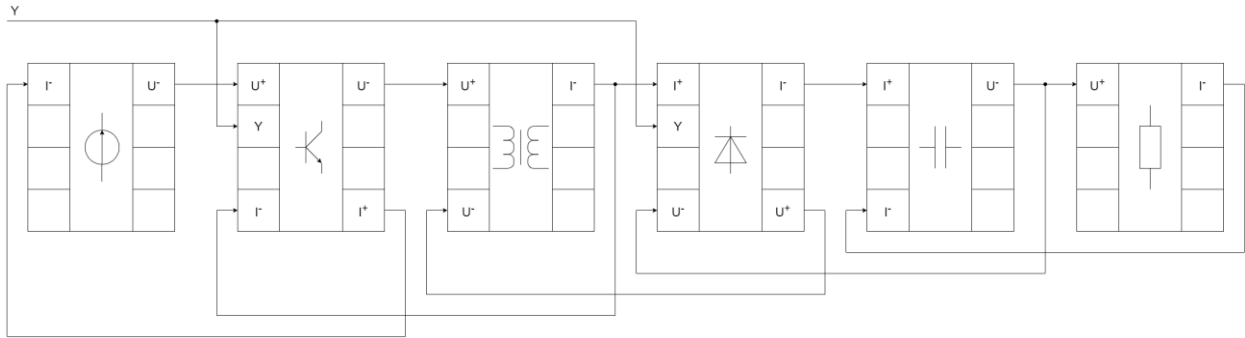


Рисунок 2.20 – Візуально блокова модель перетворювача постійної напруги на зворотногоходовому трансформаторі

Саме за допомогою синтезу який було описано вище, на рисунку 2.20 можна побачити завершену візуально блокову модель перетворювача. Так як всі входи блоків підключені, тому модель вважається завершеною.

3 АНАЛІЗ АДЕКВАТНОСТІ МОДЕЛІ ІППН

Для аналізу адекватності моделі ІППН зворотноходового типу яку було синтезовано в попередньому розділі, необхідно мати еталону модель які можна отримати за допомогою компонентів Simscape Power System в програмному з забезпеченні Matlab and Simulink. Після цього цьому ж програмному забезпеченні побудувати візуальну блочну модель. Після отримання еталонної моделі та візуально блочної потрібно порівняти їх вихідні характеристики дослідівши динаміку та статику, з'ясувати чи працездатна модель та дослідити точність моделювання.

3.1 Реалізація еталонної моделі ІППН

В програмному забезпеченні Matlab and Simulink була промодельована прощена схема та електромагнітні процеси ІППН зворотноходового типу.

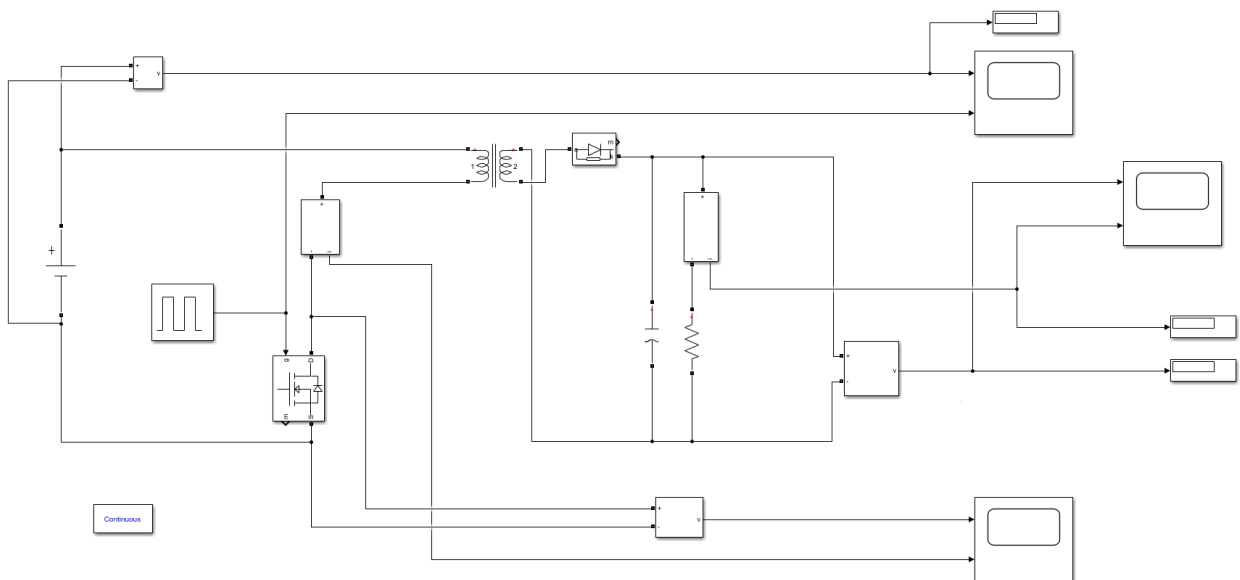


Рисунок 3.1 – Спрощена схема ІППН зворотноходового типу в Matlab

На рисунках нижче зображено електромагнітні процеси, починаючи згори на часових діаграмах можемо побачити, вхідну напругу, ширину керуючого імпульсу, вихідну напругу та вихідний струм. Графіки представлені при трьох різних γ з умовою номінальної напруги на джерелі живлення.

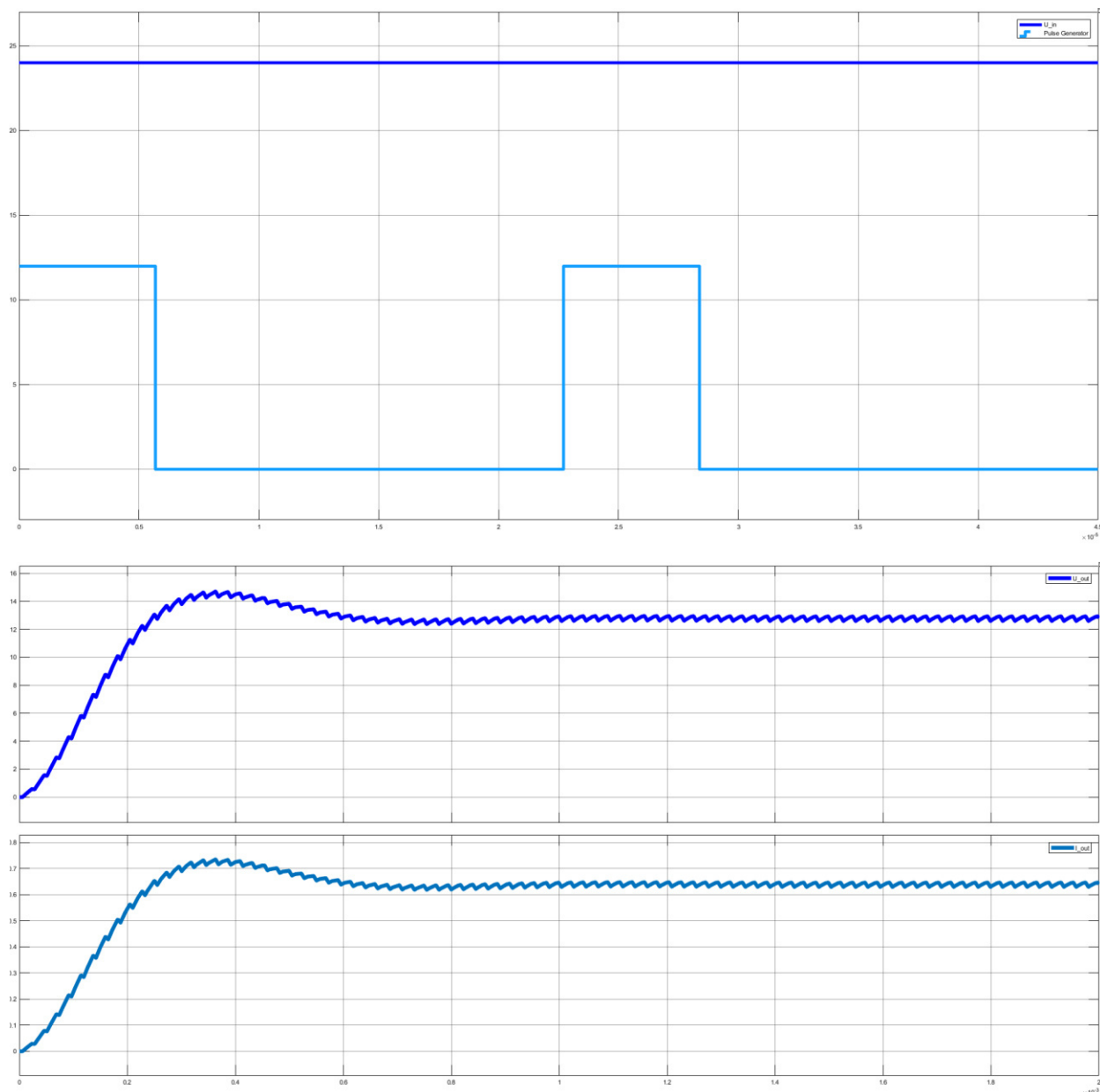
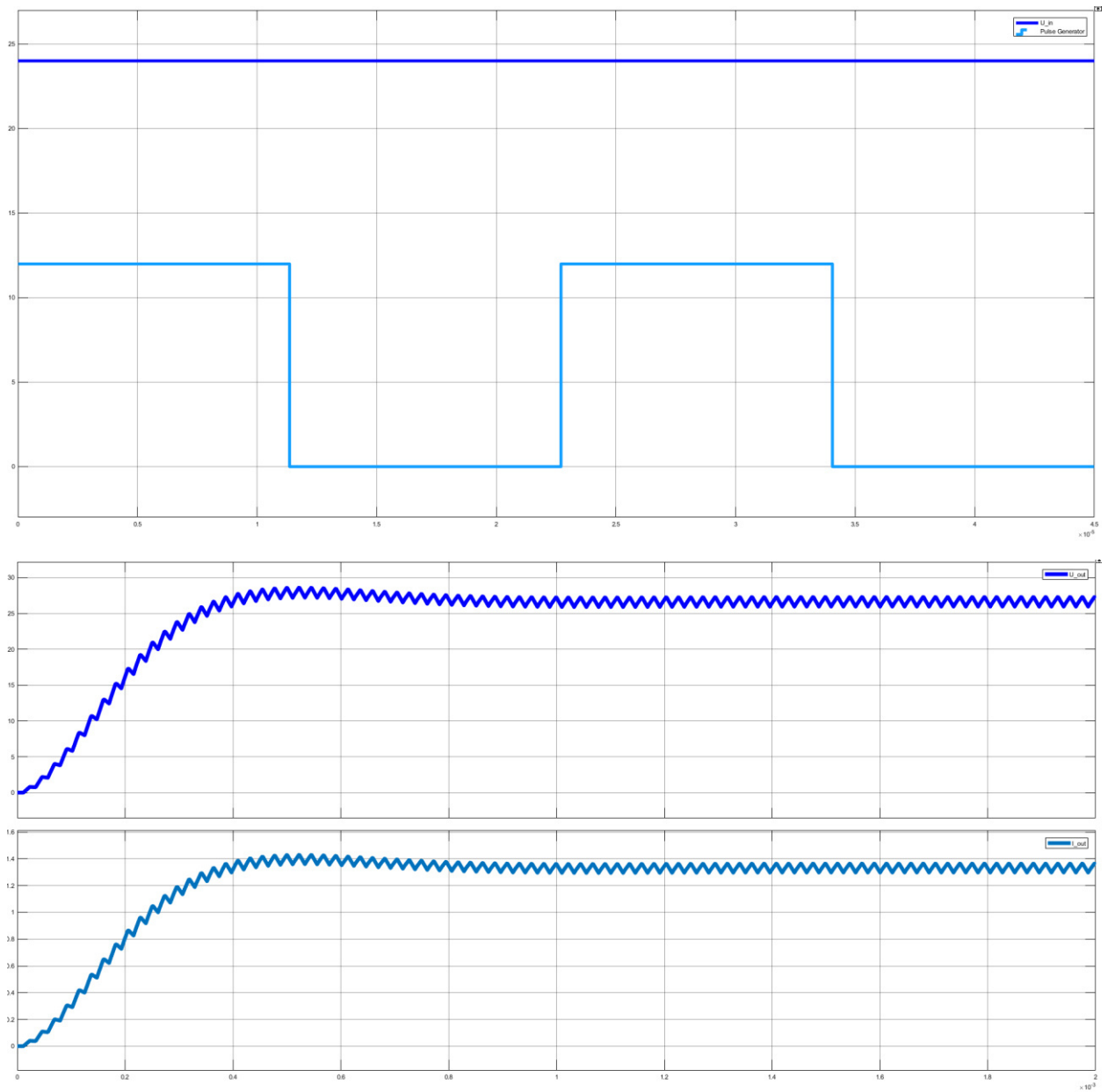


Рисунок 3.2 – Часова діаграма з $\gamma = 0.25$

Рисунок 3.3 – Часова діаграма з $\gamma = 0.5$

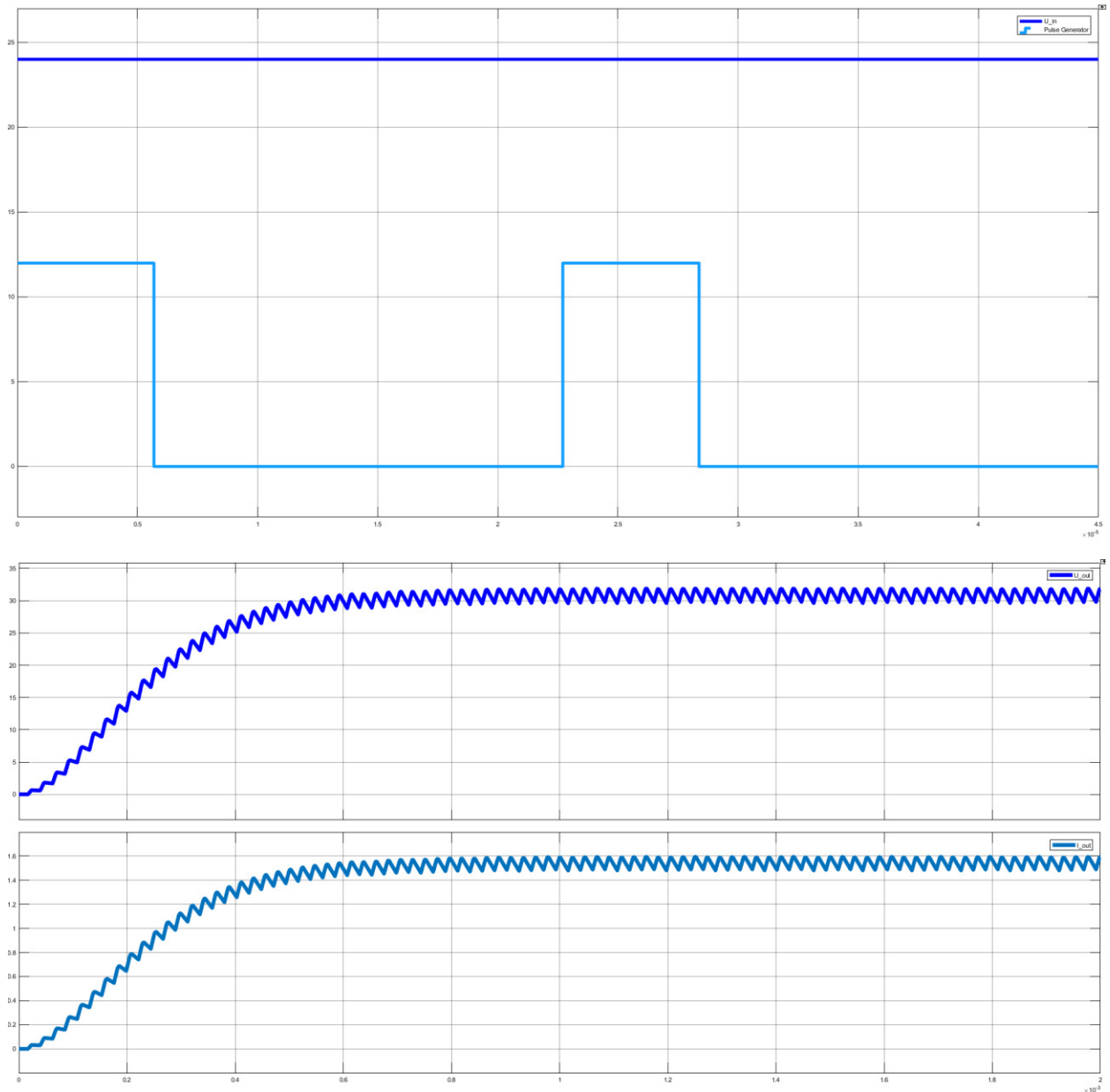


Рисунок 3.4 – Часова діаграма з $\gamma = 0.75$

3.2 Реалізація моделі на ПК

Візуально блочна модель розробляється за допомогою даних отриманих при в розділі 2. Реалізація кожного з елементів бібліотеки візуально-блочного моделювання на основі математичних моделей наведені нижче:

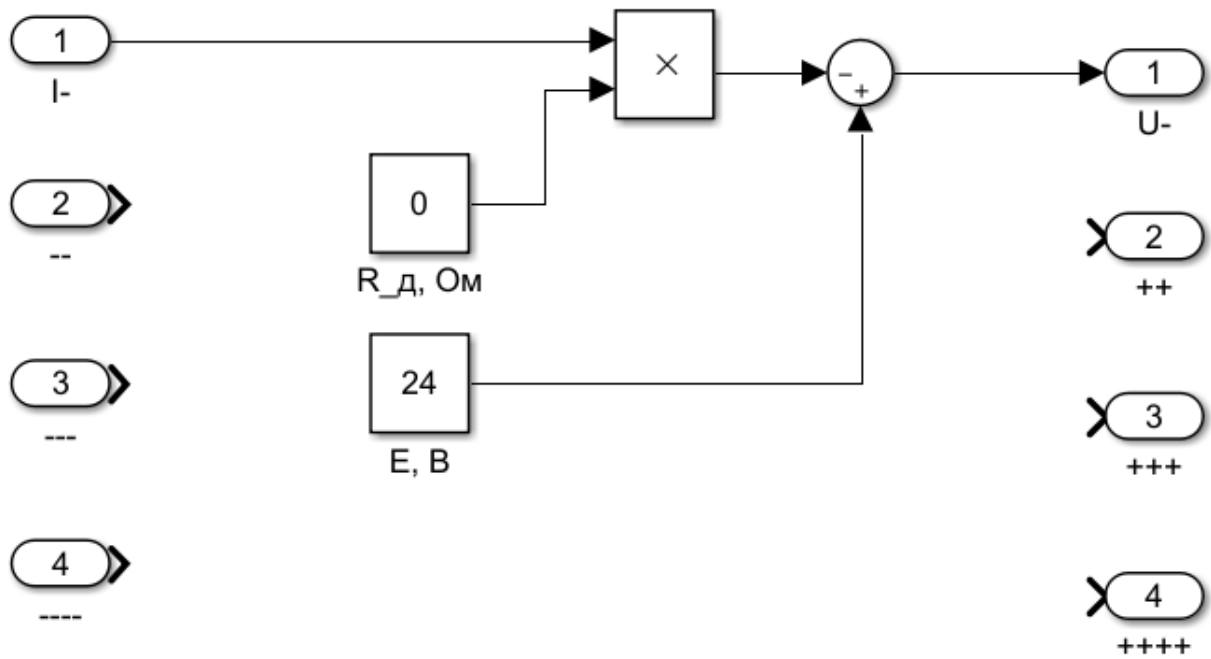


Рисунок 3.5 – Модель джерела постійної напруги в Matlab

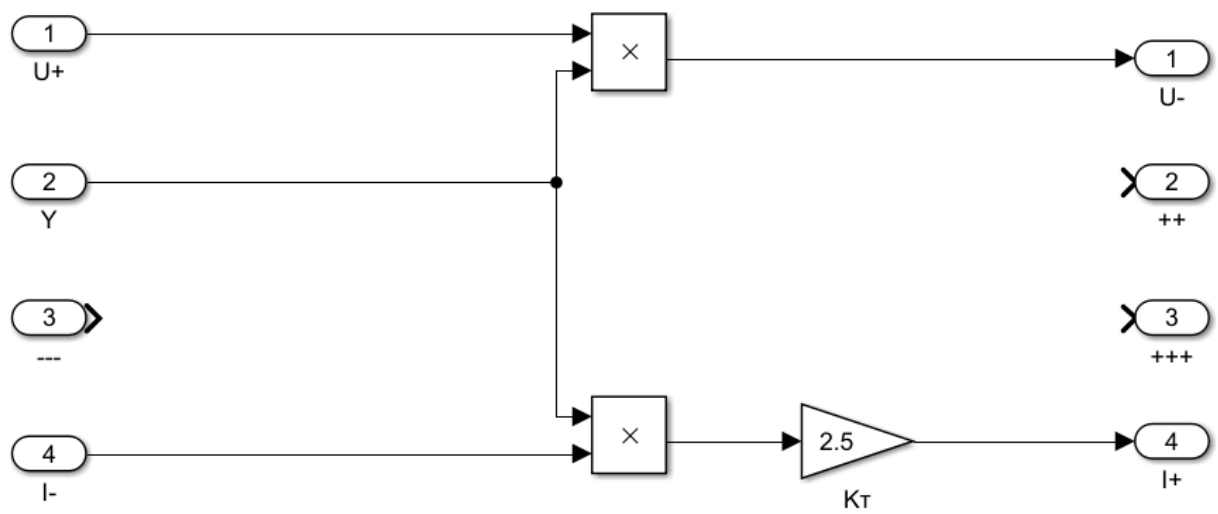


Рисунок 3.6 – Модель транзистора в Matlab

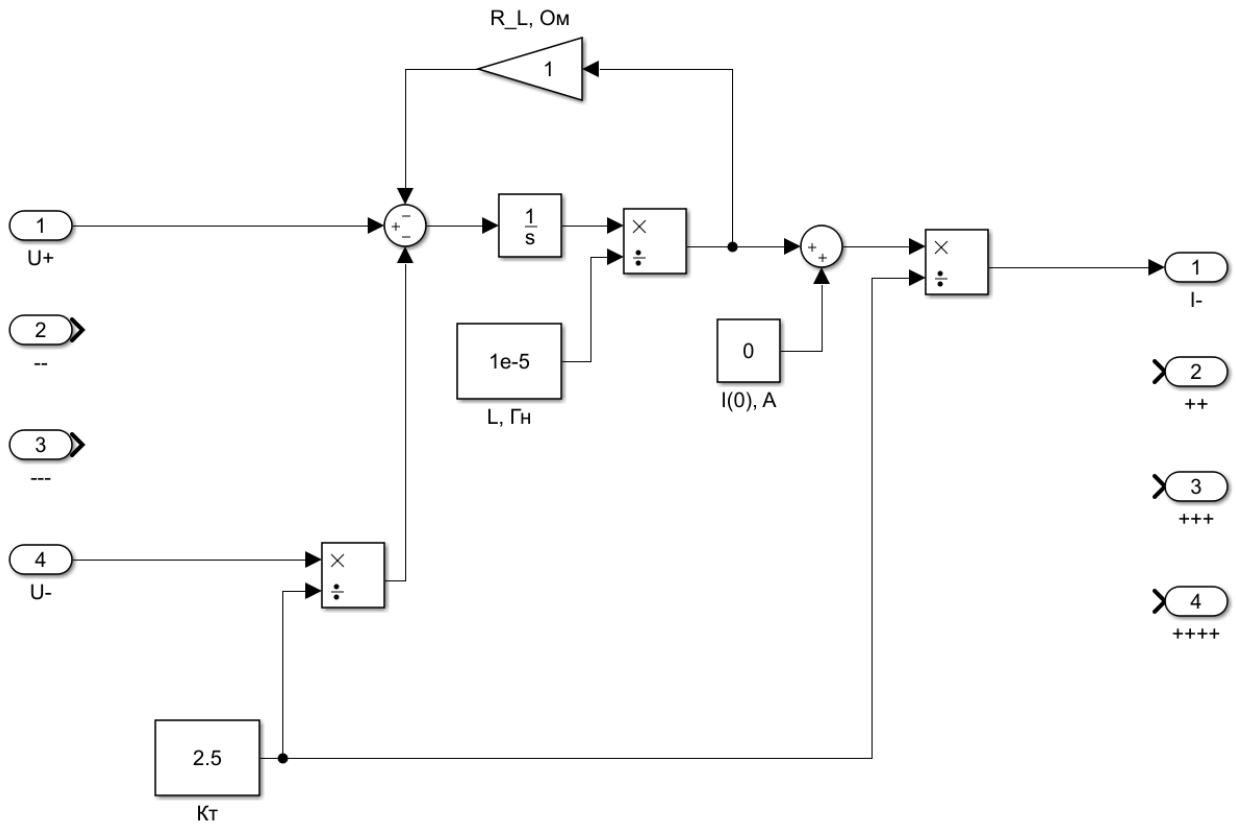


Рисунок 3.7 – Модель трансформатора (транздроселя) в Matlab

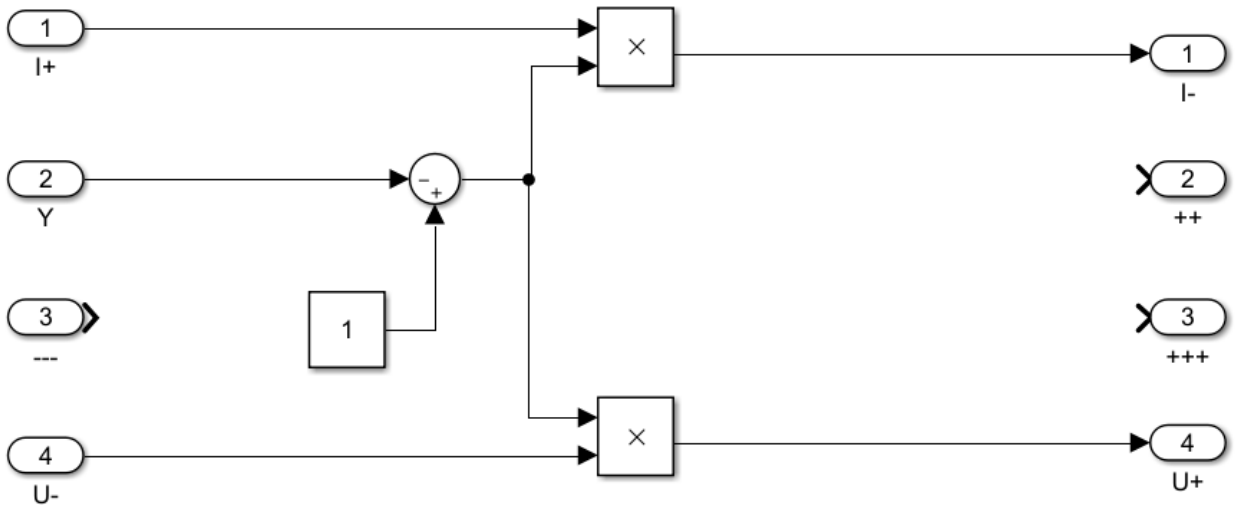


Рисунок 3.8 – Модель диода в Matlab

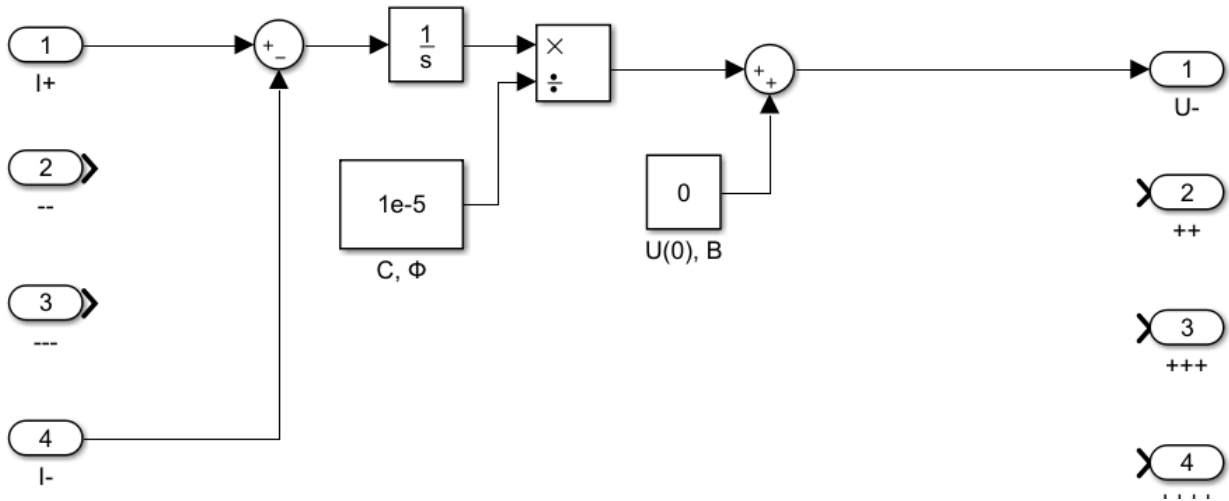


Рисунок 3.9 – Модель конденсатора в Matlab

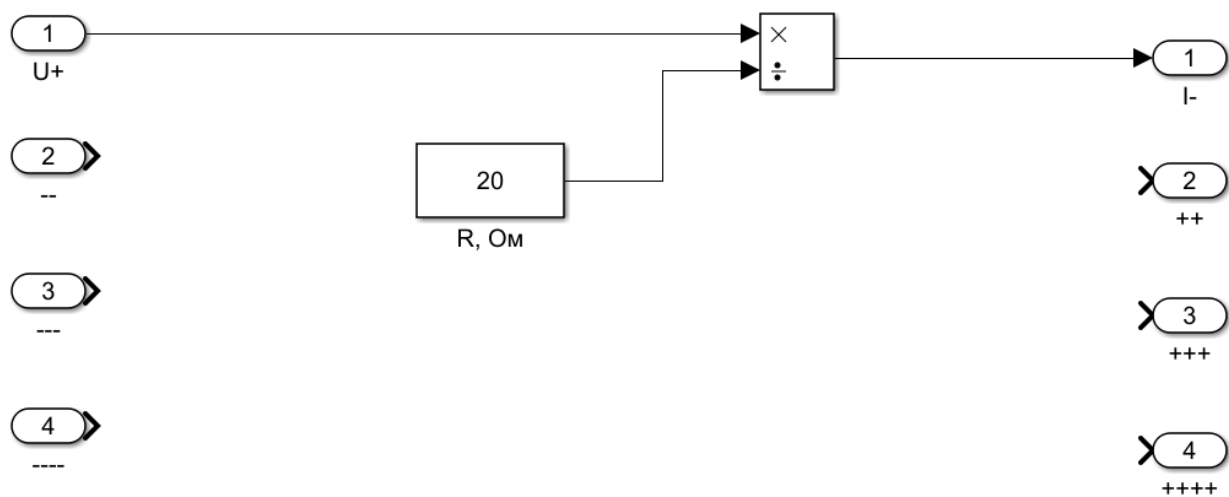


Рисунок 3.10 – Модель резистора в Matlab

Схема зображена на рисунку 3.10 та містить в собі такі елементи: джерело постійної напруги, транзистор, трансформатор, діод, конденсатор та резистор навантаження, вузол завдання коефіцієнту передачі та дисплей відображення вихідних електричних параметрів схеми. Параметри електротехнічних компонентів збігаються з параметрами еталонної моделі.

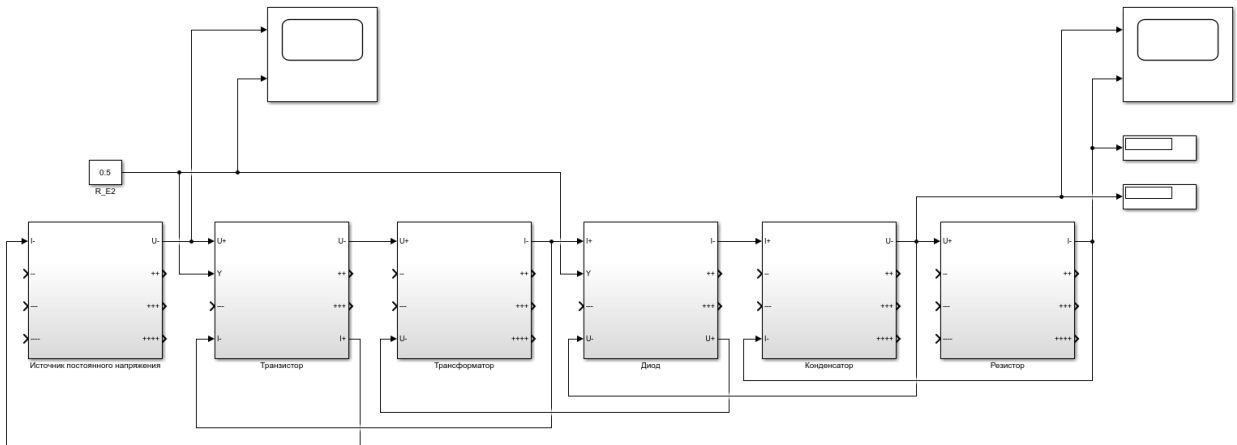


Рисунок 3.10 – Аналітична схема візуально-блочної моделі ІППН зворотного типу в Matlab

На рисунках нижче зображено часові діаграми, на яких можемо побачити вихідну напругу та вихідний струм. Графіки представлені при трьох різних γ з умовою номінальної напруги на джерелі живлення.

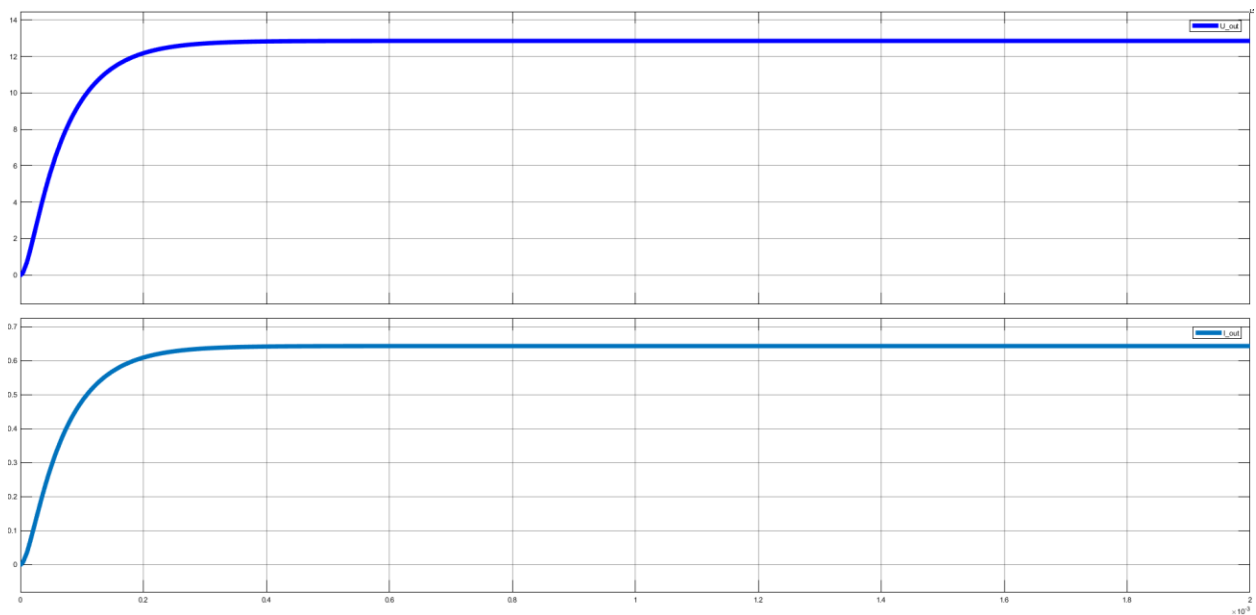
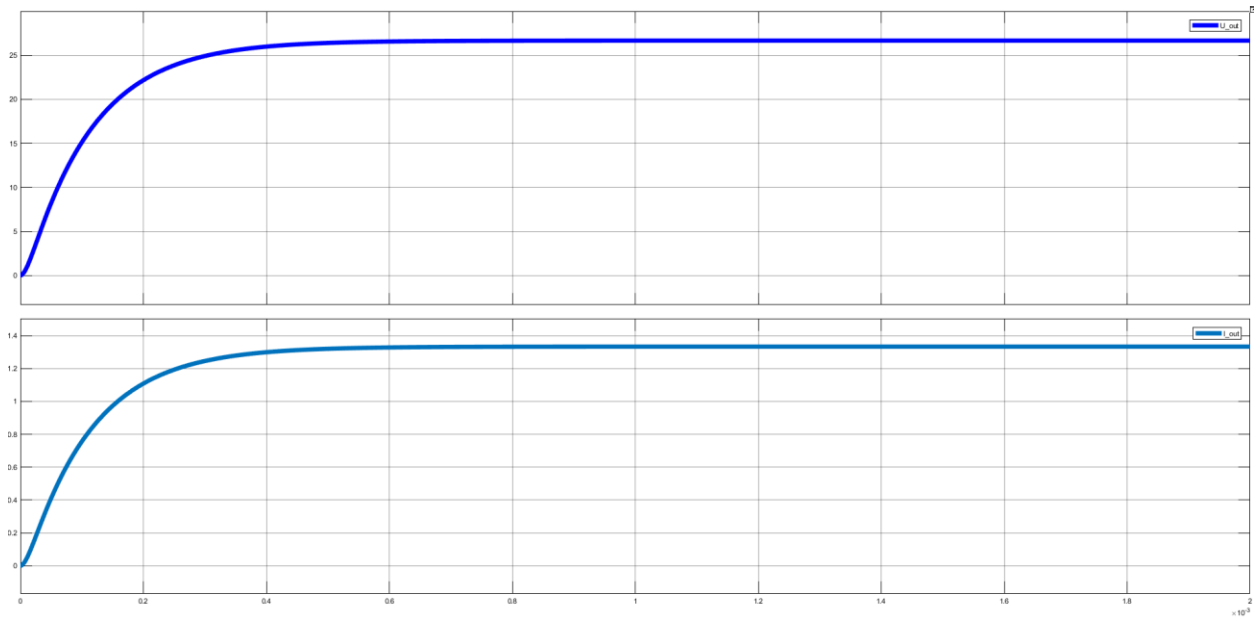
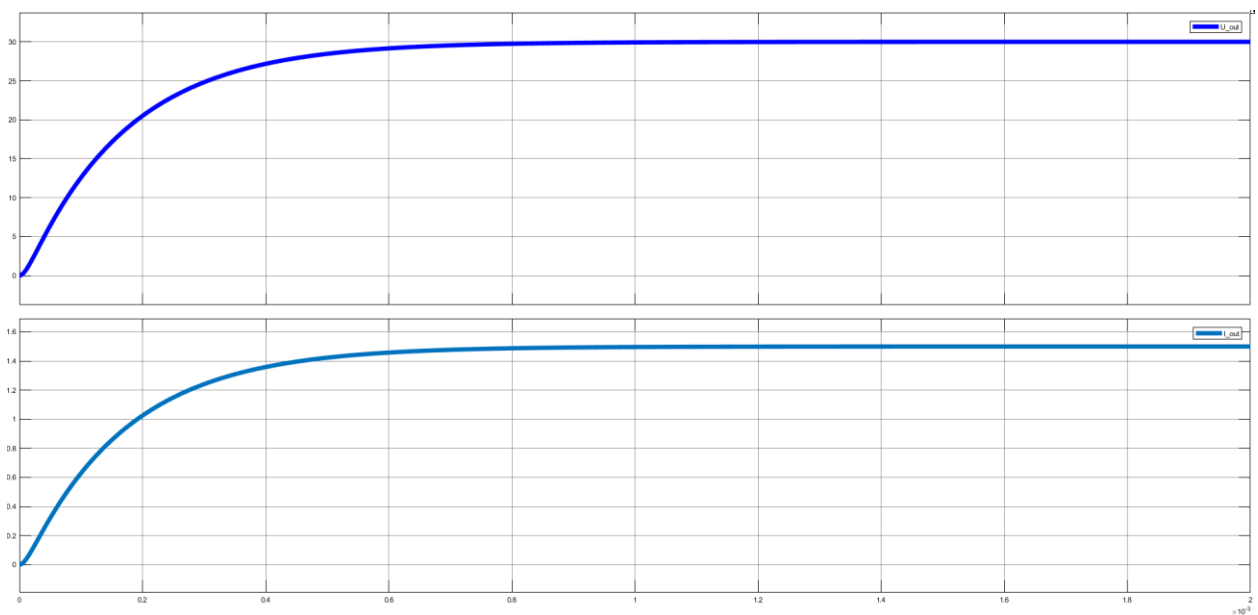


Рисунок 3.11 – Часова діаграма з $\gamma = 0.25$

Рисунок 3.12 – Часова діаграма з $\gamma = 0.5$ Рисунок 3.13 – Часова діаграма з $\gamma = 0.75$

3.3 Аналіз працездатності моделі

Для аналізу працездатності отриманої моделі подаються різні завдання з певним періодом. Як можна побачити на рисунку 3.14 модель справляється з поставленою задачею.

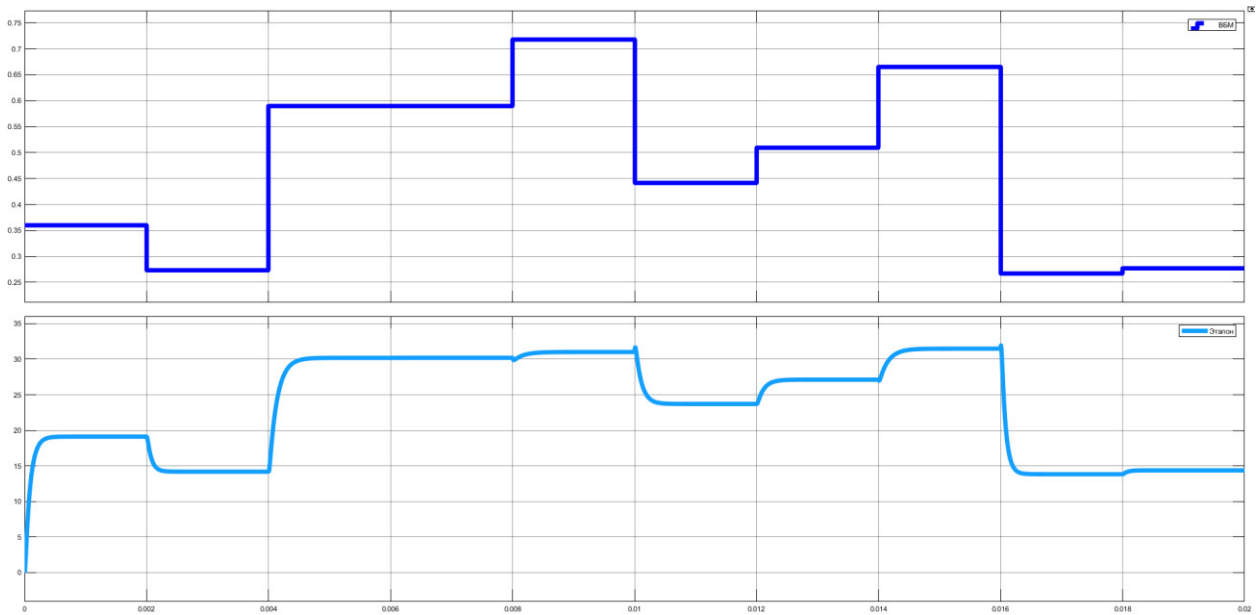


Рисунок 3.14 – Вихідна напруга при зміні завдання

Далі порівнюється динаміка еталонної моделі та ВБМ, для різних гамма. Як можна на рисунках нижче перехідний процес відрізняється, але у сталому режимі дані моделей з невеликим відхиленням співпадають.

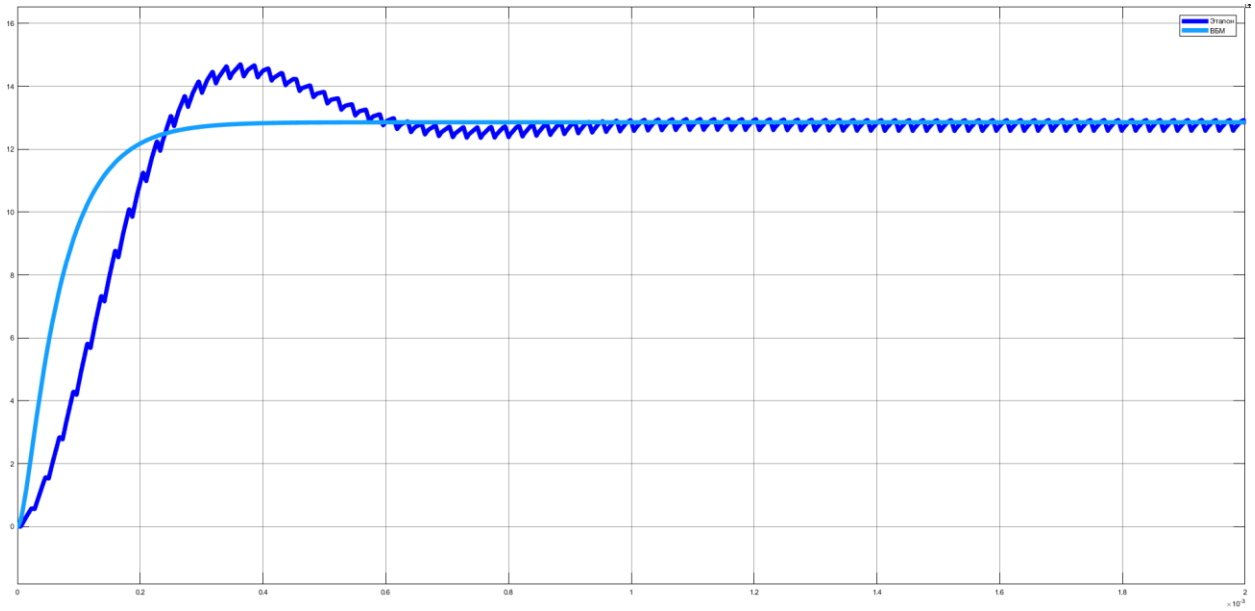


Рисунок 3.15 – Часова діаграма порівняння динаміки еталонної моделі та ВБМ при $\gamma = 0.25$

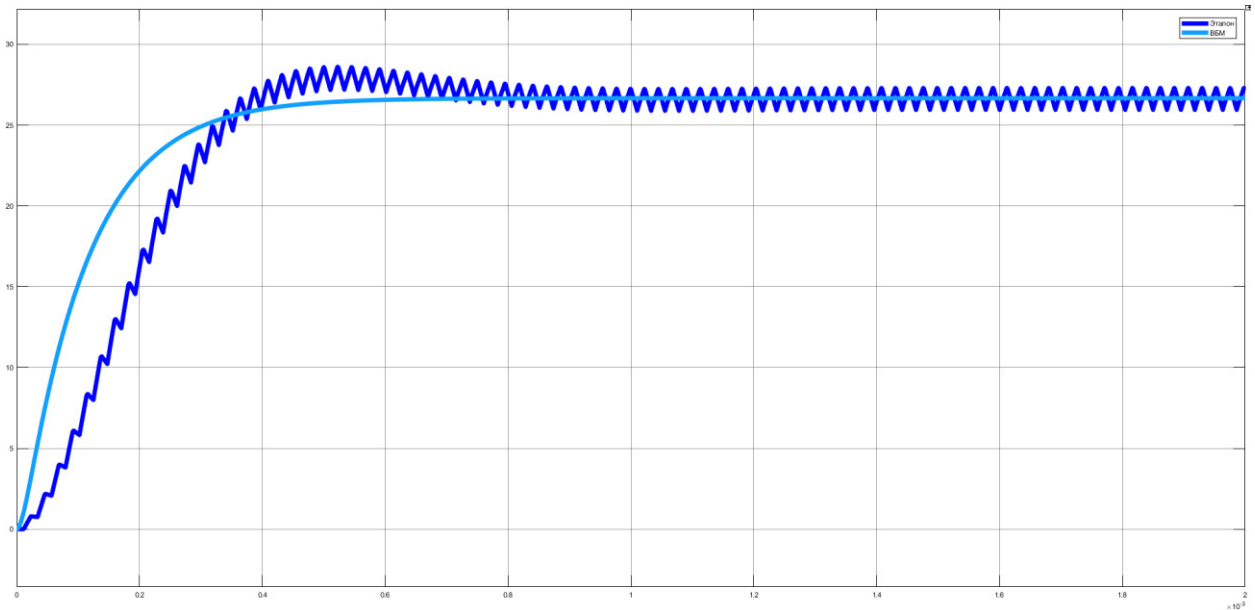


Рисунок 3.16 – Часова діаграма порівняння динаміки еталонної моделі та ВБМ при $\gamma = 0.5$

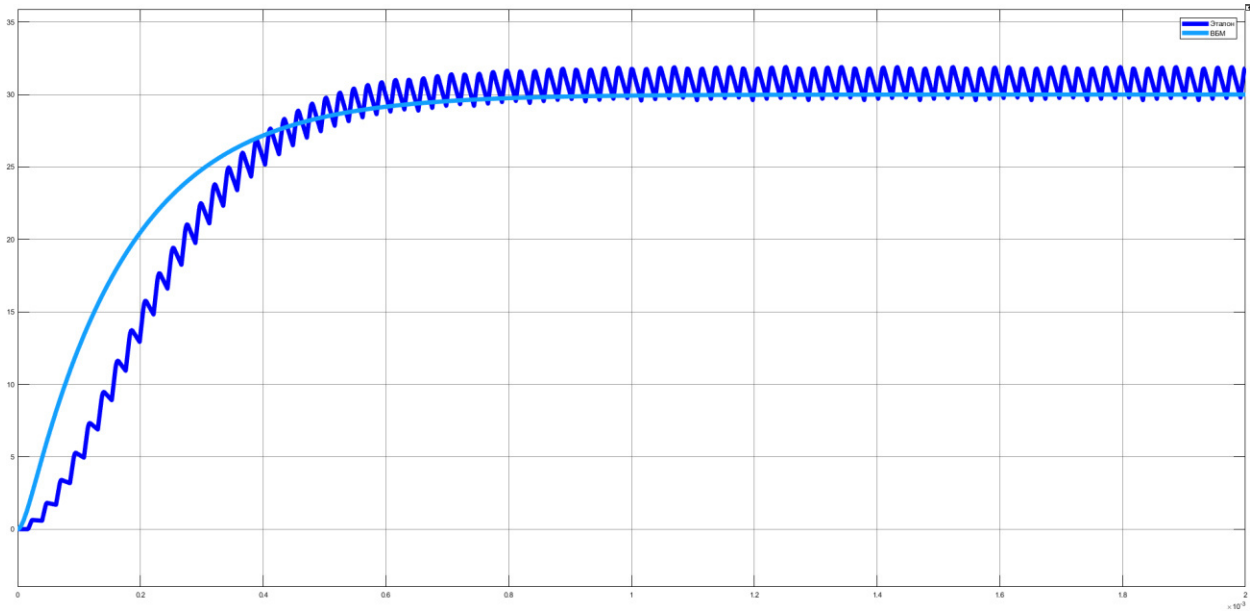


Рисунок 3.17 – Часова діаграма порівняння динаміки еталонної моделі та ВБМ при $\gamma = 0.75$

3.4 Аналіз точності моделювання

Для визначення точності моделювання потрібно за допомогою дослідів знайти декілька значень напруги від гамма, в нашому випадку взято 11 значень при γ від 0.25 до 0.75.

Таблиця 3.1. Розрахунок відхилення

U, B		γ	Відхилення, %
Еталон	ВБМ		
12,79	12,86	0,25	-0,5
12,76	12,7	0,3	0,5
18,76	18,57	0,35	1,0
21,69	21,41	0,4	1,3
24,52	24,15	0,45	1,5
27,13	26,67	0,5	1,7

29,11	28,83	0,55	1,0
31,29	30,48	0,6	2,7
32,44	31,38	0,65	3,4
32,51	31,3	0,7	3,9
31,74	30	0,75	5,8

За допомогою цієї таблиці можемо порівняти моделі (рис. 3.18) побудувавши графік та побудувати графік відхилення (рис. 3.19)

На обидвох графіках можна побачити що при збільшенні гамма збільшується й відхилення сталого режиму ВБМ від еталонної моделі. Але навіть при цьому максимальне відхилення при $\gamma \leq 0.5$ не перевищує 2%, що вже вважається прийнятним.

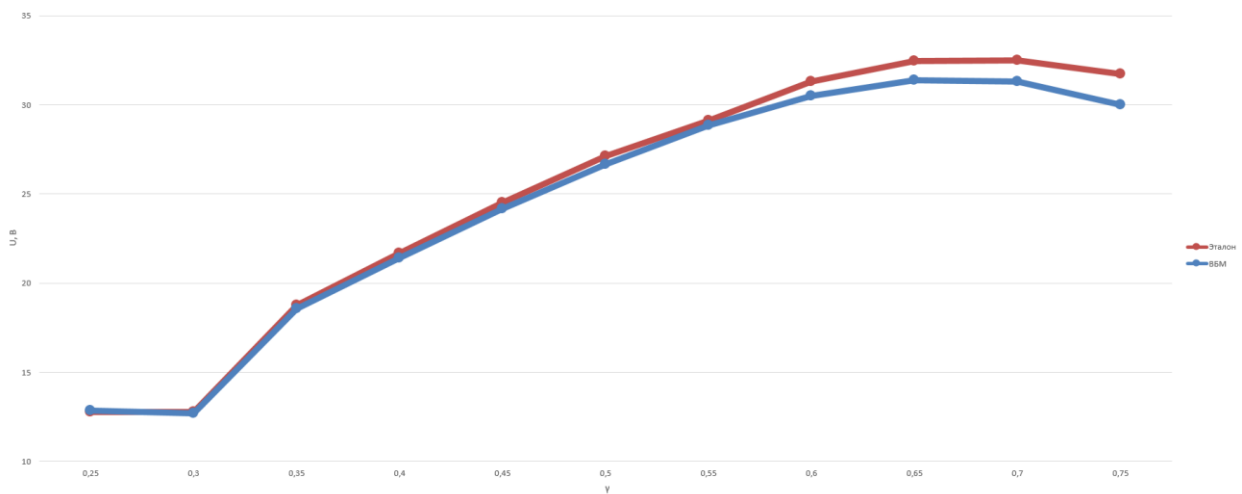


Рисунок 3.18 – Порівняння залежності напруги від гамма

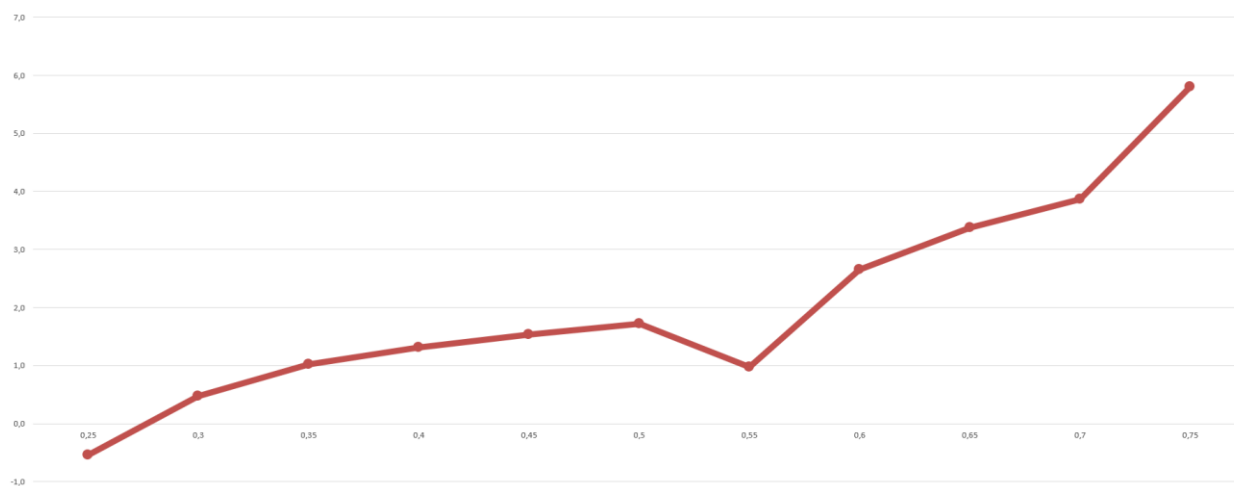


Рисунок 3.19 – Графік відхилення при різних гамма

4 РОЗРОБКА ІППН

Після досліджень та моделюванні, в попередньому розділі, можна приступити до розробки ІППН зворотного типу. Для цього потрібно розробити схему електричну принципову та зробити інженерний розрахунок.

4.1 Розробка схеми електричної принципової

Завдяки розробці та моделюванні, набагато легше схему електричну принципову, на якій вже є усі компоненти, та більш детально розглянуть, раніше зазначені, блоки. На рисунку 4.1 зображена схема електрична принципова.

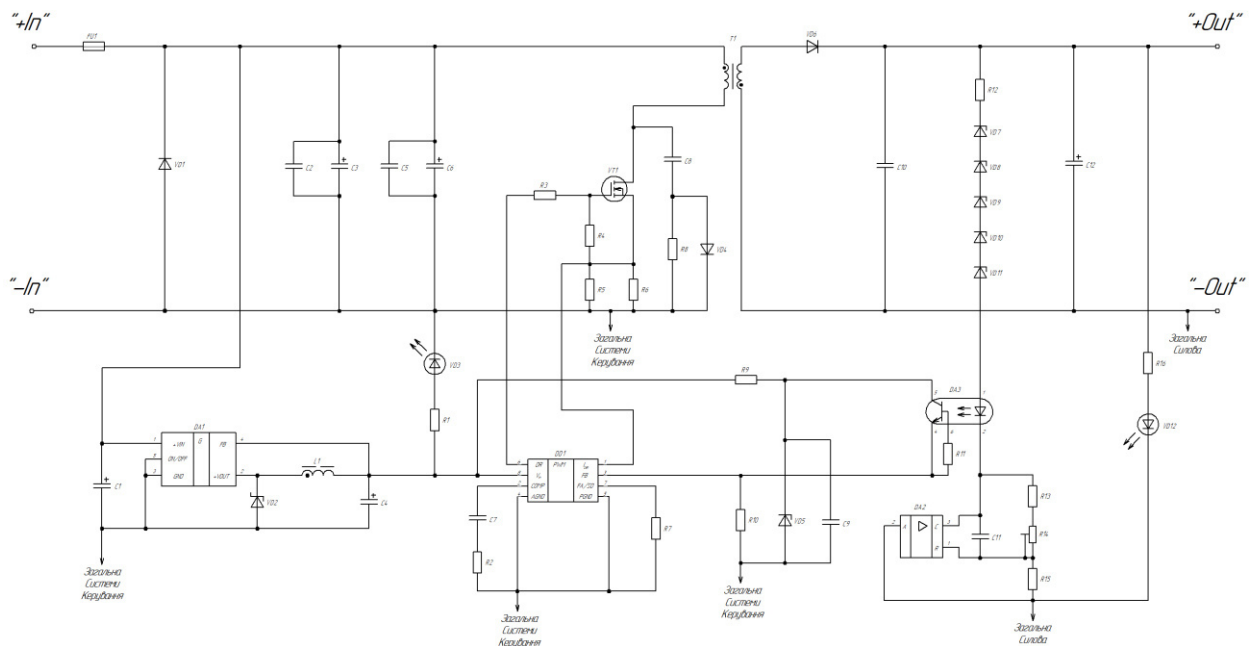


Рисунок 4.1 – Схема електрична принципова

На рисунку можемо побачити, що схема вже набула робочого стану, на ній зображені усі потрібні компоненти. На фільтрах були встановлені

додаткові конденсатори на $1\mu\text{F}$, для придушення високочастотних складових струму.

На схемі також бачимо стабілізатор на 12V , для стабілізації напруги живлення ШІМ контролера, на датчику напруги був встановлений підстрочний резистор, призначений для точного налаштування заданих параметрів нашого пристрою.

4.2 Інженерний розрахунок

Так як в майбутньому перетворювач планується використовувати також в якості джерела змінної напруги. Як відомо діюча напруга мережі 220V , а амплітуда 311 , тому за номінальну вихідну напругу для перетворювача беремо 311V .

Розрахунок імпульсного перетворювача постійної напруги з підвищенням напруги, буде проводитися без врахування втрат. Маємо наступні вихідні дані:

$$\text{Вхідна напруга (номінальна)} E_{nom} = 24$$

$$\text{Вхідна напруга (мінімальна)} E_{min} = 18$$

$$\text{Вхідна напруга (максимальна)} E_{max} = 30$$

$$\text{Вихідна напруга (номінальна)} U_{out} = 311$$

$$\text{Робоча частота } f = 44000$$

$$\text{Вихідна потужність } P_{out} = 1000$$

$$\text{Коефіцієнт запасу по струму } K_{res} = 1.5$$

Коефіцієнт пульсації вхідного струму при максимальному вхідному струмі $K_{puls_in} = 0.1$

$$\text{Магнітна проникність вакууму } \mu_0 = 1.25 \cdot 0.000001 = 1.25 \cdot 10^{-6}$$

$$\text{Допустима щільність струму, (вказано в чисельнику А/мм}^2\text{)} J_{max} = \frac{4}{0.000001} = 4 \cdot 10^6$$

Коефіцієнт пульсації вихідної напруги при максимальному вихідному струмі $K_{puls_out} = 0.005$

Внутрішній опір генератора $R_{gen} = 0.001$

Коефіцієнт корисної дії $\eta = 0.9$

Тепер можемо перейти до самого розрахунку.

Відсоток запасу з урахуванням ККД:

$$k_{zap} = 1 - \eta = 10\%$$

З урахуванням ККД, вираховується максимальний середній струм джерела живлення:

$$I_{ist_max} = \frac{P_{out} + 10\%}{E_{min}} = 61.11$$

Вихідний струм перетворювача дорівнює вихідній потужності поділену на вихідну напругу:

$$I_{out} = \frac{P_{out}}{U_{out}} = \frac{1000}{311} = 3.215$$

Вибір силового діода.

Рекомендований середній струм силового діода VD:

$$I_{vd_rec} = K_{res} \cdot I_{out} = 1.5 \cdot 3.215 = 4.822$$

Рекомендований час виключення силового діода VD:

$$t_{rr_vd_rec} = 0.001 \cdot \frac{1}{f} = 22.727 \cdot 10^{-9}$$

Рекомендоване зворотне напруга силового діода VD:

$$U_{rr_vd_rec} = K_{res} \cdot U_{out} = 1.5 \cdot 311 = 466.5$$

З отриманих параметрів, обираємо більш бюджетний варіант Діод SF58 з часом виключення 35 ns та ціною 3.25 грн (фірми “Taiwan Semiconductor”):

Обраний середній струм силового діода VD

$$I_{o_vd} = 5$$

Обраний час вимикання силового діода VD (В чисельнику значення вказано в [нс])

$$t_{rr_vd} = \frac{35}{1000000000} = 3.5 \cdot 10^{-8}$$

Обрана зворотна напруга силового діода VD

$$U_{rr_vd} = 500$$

Пряма напруга силового діода VD

$$U_{f_vd} = 1.7$$

Порогова напруга силового діода VD

$$U_{f0_vd} = 0.7$$

Імпульсний допустимий струм силового діода VD

$$I_{fs_vd} = 150$$

Швидкість наростання зворотного струму силового діода VD (в чисельнику значення вказано в [A/мкс])

$$dI_{dt_{vd}} = \frac{50}{0.000001} = 5 \cdot 10^7$$

Максимальна температура силового діода VD (для $I_{o_vd} = 5$)

$$T_{j_vd} = 100$$

Так як, при коефіцієнті заповнення більше 0.5 трансформатор не буде встигати повністю віддавати енергію в навантаження, прийнято рішення використовувати максимальний коефіцієнт заповнення 0.45.

З формули вихідної напруги визначаємо коефіцієнт трансформації:

$$U_{out} = E_{out} \cdot \frac{1}{1 - \gamma} \cdot k_T$$

Знаходимо коефіцієнт трансформації при мінімальній напрузі джерела живлення, та при максимальній γ .

$$k_T = \frac{U_{out} \cdot (1 - \gamma_{max})}{E_{min}} = 9.5$$

Перевіряємо значення коефіцієнта заповнення при мінімальній напрузі на джерелі живлення:

$$\gamma_{max} = 1 - \frac{E_{min} \cdot k_T}{U_{out}} = 0.45$$

Значення коефіцієнта заповнення при номінальній напрузі на джерелі живлення:

$$\gamma_{nom} = 1 - \frac{E_{nom} \cdot k_T}{U_{out}} = 0.267$$

Значення коефіцієнта заповнення при максимальній напрузі на джерелі живлення:

$$\gamma_{min} = 1 - \frac{E_{max} \cdot k_T}{U_{out}} = 0.084$$

Період проходження імпульсів управління:

$$T_i = \frac{1}{f} = 22.727 \cdot 10^{-6}$$

Тривалість імпульсу управління:

$$t_i = \gamma_{max} \cdot T_i = 10.227 \cdot 10^{-6}$$

Тривалість паузи імпульсу управління:

$$t_p = (1 - \gamma_{max}) \cdot T_i = 12.5 \cdot 10^{-6}$$

Мінімальний час включення транзистора VT [с]

$$t_{vkl_VT_min} = 0.01 \cdot \frac{\gamma_{min}}{f} = 19 \cdot 10^{-9}$$

В наносекундах:

$$t_{vkl_VT_min_nc} = t_{vkl_VT_min} \cdot 1000000000 = 19$$

Мінімальний час вимикання транзистора VT [с]

$$t_{vyk_VT_min} = 0.01 \cdot \frac{1 - \gamma_{max}}{f} = 208 \cdot 10^{-9}$$

В наносекундах:

$$t_{vyk_VT_min_nc} = t_{vyk_VT_min} \cdot 1000000000 = 208$$

Порція енергії за період роботи перетворювача максимальна

$$W_{qvant_max} = \frac{P_{out}}{f} = 22.727 \cdot 10^{-3}$$

Порція енергії за період роботи перетворювача мінімальна

$$W_{qvant_min} = \frac{P_{out}}{f} = 22.727 \cdot 10^{-3}$$

Максимальний середній вхідний струм

$$I_{in_sr_max} = I_{out} \cdot \left(\frac{1}{1 - \gamma_{max}} \right) = 5.845$$

Мінімальний середній вхідний струм

$$I_{in_sr_min} = I_{out} \cdot \left(\frac{1}{1 - \gamma_{min}} \right) = 3.51$$

Коефіцієнт перевантаження джерела (повинен бути менше або дорівнює одиниці)

$$K_{per_ist} = \frac{I_{in_sr_max}}{I_{ist_max}} = 0.096$$

Середнє значення струму первинної обмотки трансформатора дорівнює значенню середнього струму споживання силової частини:

$$I_{wl_med} = I_{ist_max} = 61.11$$

Приріст струму первинної обмотки трансформатора T1 за час включеного стану транзистора VT1 відповідає амплітудному значенням струму стоку транзистора VT1 $\Delta I_{wl} = I_{DS_max}$. При $\gamma = 0.45$.

$$\Delta I_{wl} = \frac{I_{wl_med}}{\gamma_{max}} = 135.8$$

$$I_{DS_max} = \Delta I_{wl} = 135.8$$

Діюче значення струму первинної обмотки трансформатора:

$$I_{wl} = \frac{I_{wl_med}}{\sqrt{\gamma_{max}}} = 91.097$$

Рекомендований час включення транзистора (вибрати менше) [нс]

$$t_{d_on_vt_rec} = t_{vkl_VT_min_nc} = 19$$

Рекомендований час вимикання транзистора (вибрати менше) [нс]

$$t_{d_of_vt_rec} = t_{vyk_VT_min_nc} = 208$$

Рекомендоване напруга закритого транзистора

$$V_{DSS_vt_rec} = \frac{U_{out}}{k_T} = 32.737$$

Розрахувавши рекомендовані параметри для транзистора VT1, обираємо більш підходящий варіант, Транзистор IRFB3306PBF (фірми “International Rectifier”), з наступними параметрами:

Обраний максимальний середній струм транзистора

$$I_{D_vt} = 160$$

Вибраний час включення транзистора (Вказати в чисельнику значення в [нс])

$$t_{d_on_vt} = \frac{15}{1000000000} = 15 \cdot 10^{-9}$$

Вибраний час вимикання транзистора (Вказати в чисельнику значення в [нс])

$$t_{d_of_vt} = \frac{40}{1000000000} = 40 \cdot 10^{-9}$$

Обрана напруга закритого транзистора

$$V_{DSS_vt} = 60$$

Опір каналу у відкритому стані (Вказати в чисельнику значення в [МОм])

$$R_{DS_on_vt} = \frac{3.3}{1000} = 3.3 \cdot 10^{-3}$$

Імпульсний струм допустимий транзистора

$$I_{DM_vt} = 620$$

Напруга сигналу управління

$$V_{gs_vt} = 20$$

Вхідна ємкість транзистора

$$C_{iss} = 4520 \cdot 10^{-12}$$

Розрахуємо заряд затвору

$$Q_{iss} = C_{iss} \cdot V_{gs_vt} = 90.4 \cdot 10^{-9}$$

Розрахуємо максимальний струм через затвор

$$I_{G_max} = \frac{Q_{iss}}{t_{d_of_vt}} = 2.26$$

Розрахуємо резистор затвору та його потужність

$$R_G = \frac{V_{gs_vt}}{I_{G_max}} = 8.85$$

$$P_{R_G} = V_{gs_vt} \cdot I_{G_max} \cdot \frac{RC}{T_i} = 0.124 \text{ Вт}$$

Обираємо резистор R3 – 9,1 Ohm 5% 0,25W Hitano.

Резистор затвор-витік візьмемо в 10 разів більше

$$R_{GS} = 91$$

Обираємо резистор R4 – 91 Ohm 5% 0,25W Hitano.

Середнє значення падіння напруги на транзисторі VT і на діоді VD при протіканні прямого струму, відповідно рівні:

$$U_{DS_on_med} = R_{DS_on_vt} \cdot \frac{I_{DS_max}}{2} = 0.224$$

$$U_{f_med} = \frac{U_{f0_vd} + U_f}{2} = 1.2$$

Розрахунок індуктивності обмоток високовольтного трансформатора і вибір його магнітного сердечника

Згідно електричної принципової схеми стенда, індуктивність первинної обмотки трансформатора T1 дорівнює

$$L_{\mu 1} = \frac{(E_{min} - U_{DS_on_med} - U_{f_med}) \cdot t_i}{\Delta I_{wl}} = 1.248 \cdot 10^{-6}$$

На основі експертних оцінок та на основі досвіду розробки перетворювачів беремо наступні параметри:

$$\text{Довжина середньої лінії } l_{fer} = 320 \cdot 10^{-3}$$

$$\text{Індукція намагнічування сердечника } B_s = 0.1$$

$$\text{Проникність сердечника } \mu_{fer} = 100$$

Ширина немагнітного зазору розраховється наступним чином:

$$g_{wor} = \frac{l_{fer}}{\mu_{fer}} = 3.2 \cdot 10^{-3}$$

Потужність магнітопроводу з урахуванням відсотком запасу:

$$P_{\mu} = P + 10\% = 1100$$

Наступним кроком знаходиться площа перерізу, формулу якої можна вивести з формули потужності магнітопроводу:

$$P_{\mu} = \frac{S_{fer} \cdot B_s^2 \cdot l_{fer} \cdot f}{2 \cdot \mu_{fer} \cdot \mu_0}$$

Розрахунок площі перерізу зображено нижче:

$$S_{fer} = \frac{2 \cdot \mu_{fer} \cdot \mu_0 \cdot P_{\mu}}{B_s^2 \cdot l_{fer} \cdot f} = \frac{2 \cdot 100 \cdot 1.25 \cdot 10^{-6} \cdot 1100}{0.1^2 \cdot 320 \cdot 10^{-3} \cdot 44000} = 1964 \cdot 10^{-6}$$

Магнітна проникність магнітопроводу з намагнічуванням зазором μ_{fer} дорівнює відношенню довжини середньої лінії магнітопроводу l_{fer} до ширини

зазору g_{wor} , кількість витків первинної обмотки трансформатора W_{win} дорівнюватиме:

$$W_{win_1} = \sqrt{\frac{L_{\mu 1} \cdot g_{wor}}{\mu_0 \cdot S_{fer}}} = 1.272$$

Приймаємо кількість витків первинної обмотки трансформатора Т1 – $W_{win_1} = 2$ витка. При значенні коефіцієнта трансформації $k_t = 9.5$, кількість витків вторинної обмотки W_{win_2} і її індуктивність намагнічування $L_{\mu 2}$ складуть:

$$W_{win_1} = 2$$

$$W_{win_2} = k_T \cdot W_{win_1} = 19$$

$$L_{\mu 2} = \frac{\mu_0 \cdot W_{win_2}^2 \cdot S_{fer}}{g_{wor}} = 278.506 \cdot 10^{-6}$$

Індуктивність вторинної обмотки трансформатора, при $W_{win_2} = 19$ витків, становить $L_{\mu 2} = 891.218 \mu\text{Гн}$

Вибір проводів обмоток високовольтного трансформатора.

Робоча частота коливальної системи "трансформатор Т1 – f_{osc} дорівнює:

$$f_{osc} = \frac{1}{t_p} = 80000$$

Технологічне обладнання, задіяне при виготовленні височастотних імпульсних трансформаторів, не дозволяє використовувати, як обмотувальних проводів, мідний емальований провід діаметром менше $d = 0,1$ мм. Згідно з

результатами експериментальної експлуатації трансформаторів, вибираємо емальований провід ПЕТВ-0,224 з діаметром мідної жили $d_2 = 0,224$ мм.

Первинну обмотку трансформатора Т1 необхідно виконати літцендратом, виготовленим з проводів діаметром, не більше $d = 0,324$ мм. В наявності є обмотувальний провід ПЕТВ-0,224 (діаметр мідної жили $d_1 = 0,224$ мм) з якого можна виконати потрібний літцендрата.

Приймаємо щільність струму в проводах обмоток трансформатора $\rho_{cu} = 5$ А / мм².

Діаметр мідної жили для первинної та вторинної обмотки однаковий.

Діаметр мідної жили $d = 0.224$

Щільність струму в проводах обмоток трансформатора $\rho_{cu} = 5$

Площа перетину проводів ПЕТВ-0,224 – S_{dw} (одиниця виміру – мм²)

$$S_{wd} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 0.039$$

Величина допустимого тривалого струму жив проводів первинної та вторинної обмоток рівні:

$$I_{w_for} = \rho_{cu} \cdot S_{wd} = 0.197$$

Площа перетину дроту первинної обмотки – S_{w1} (одиниця виміру - мм²)
і кількість жив літцендрата – n , виготовленого з дроту ПЕТВ-0,224:

$$S_w = \frac{I_{w1}}{\rho_{cu}} = 18.219$$

$$n = \frac{S_w}{S_{wd}} = 462.328$$

Приймаємо кількість жил літцендрата $n = 462$ шт.

Тепер розраховується снабер.

Задається відносний коефіцієнт перенапруження на транзисторі

$$K_{res_VT} = 3$$

Розрахунок конденсатора снабера

$$C8 = \frac{\Delta I_{wl} \cdot t_{d_of_vt}}{V_{DSS_vt_rec}} = 90.533 \cdot 10^{-9}$$

Обираємо конденсатор KFKP 100pF 63V (KFKP 0.10/ 63f7-ARCOTRONIC)

Розрахунок резистора снабера

$$R8 = \frac{1 - \gamma_{max}}{4 \cdot C8 \cdot f} = 34.518$$

Розрядний струм снаберного конденсатора, А

$$I_{Csnab_max} = \frac{V_{DSS_vt_rec}}{R8} = 0.948$$

Середня потужність снаберного резистора

$$P_{R8_sr} = I_{Csnab_max} \cdot V_{DSS_vt_rec} = 31.048$$

Обираємо резистор 33 Ohm 50W 5% 200ppm TO-220 Hitano.

Діод снабера обираємо з тим ж параметрами що і основний діод, а саме бюджетний варіант Діод SF58 з часом виключення 35 ns та ціною 3.25 грн (фірми “Taiwan Semiconductor”).

Розрахунок вихідного фільтра

$$C_{vyh} = \frac{I_{out}}{f \cdot K_{puls_out} \cdot U_{out}} = 46.989 \cdot 10^{-6}$$

Обираємо вихідні фільтри конденсатори C12 – HL 47uF 450V 16*25 105C 10000Hr [Long Life], та ставимо паралельно ще два не полярні конденсатор C10 – Конденсатор 1206 1uF 100V X7R (CL31B105KCHNNNE), для придушення високочастотних складових струму.

На вхід приладу ставимо запобіжник AGU100A Phantom, з параметрами:

Максимальний робочий струм – 100А

Також ставимо діод Д142-80-1 виробник “Елемент перетворювач” з розрахунку половинного максимального вхідного струму, для захисту пристрою, щоб у разі неправильного підключення, він не вийшов з ладу.

Максимальний прямиий струм – 127А

Максимальна постійна зворотна напруга – 100В

Розрахунок вхідного фільтру:

Максимальний час заряду конденсатора

$$t_{cvh_zar_max} = \gamma_{max} \cdot \frac{1}{f} = 10.227 \cdot 10^{-6}$$

Ємкість конденсатора

$$C_{vh} = \frac{I_{ist_max} \cdot t_{cvh_zar_max}}{E_{min} \cdot K_{puls_in}} = 347.21 \cdot 10^{-6}$$

Обираємо вхідні фільтри конденсатор C3 – TE 22uF 63V 6.3*11 105C 3000Hr [Low ESR] та конденсатор C6 – TR 330uF 63V 13*21 105C виробник яких Нао Yin Electronic Technology Co., Ltd., та також ставимо паралельно кожному з них не полярні конденсатори CT4 1uF 50V X7R ±10%.

В якості ШІМ контролеру було обрано LM3478.

В системі індикації будемо використовувати червоні світлодіоди, які мають пряму напругу 2 В при струмі в 20 мА

$$U_{vd_svet} = 2$$

$$I_{vd_svet} = 20 \cdot 10^{-3}$$

Так як в нас встановлений стабілізатор напруги, який стабілізує вхідну напругу на 12 В

$$U_{in_stab} = 12$$

Розрахуємо резистор R1 для системи індикації на вході

$$R1 = \frac{U_{in_stab} - U_{vd_svet}}{I_{vd_svet}} = 0.5 \cdot 10^3$$

$$P_{R1} = (U_{in_stab} - U_{vd_svet}) \cdot I_{vd_svet} = 0.2$$

Обираємо резистор R1 – 510R 0.5W CFR 5%

Розрахуємо резистор R16 для системи індикації на виході

$$R16 = \frac{U_{out} - U_{vd_svet}}{I_{vd_svet}} = 2.9 \cdot 10^3$$

$$P_{R16} = (U_{out} - U_{vd_svet}) \cdot I_{vd_svet} = 1.16$$

Обираємо резистор R16 – 3К 2W CFR 5%

Конденсатори C1, C2, діод VD2 та силовий дросель L1, обираємо згідно з технічними даними стабілізатора напруги LM2596-12.

Конденсатор C7 та резистори R2, R7, обираємо згідно з технічними даними ШІМ контролера LM3478.

4.3 Охорона праці

4.3.1 Опис шкідливих факторів і заходів з охорони праці

Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини у процесі трудової діяльності.

4.3.1.1 Галузь застосування

Правила безпечної експлуатації електроустановок (далі - Правила) поширюються на працівників, які виконують роботи в електроустановках Міністерства енергетики України (далі - Міненерго України).

Дотримання вимог цих Правил є обов'язковим у разі виконання робіт з монтажу, налагодження, ремонту, реконструкції та експлуатації електроустановок електричних станцій, електричних і теплових мереж, електричної частини пристроїв ТАВ, ЗДТК, районних котелень, енергоремонтних та інших підприємств.

Вимоги цих Правил слід враховувати під час проектування та обслуговування електроустановок.

Під час виконання робіт в електроустановках поряд з цими Правилами слід керуватись також державними і галузевими нормативними актами з охорони праці, стандартами безпеки праці, нормами та інструкціями заводів-виробників обладнання.

Засоби захисту повинні відповідати вимогам державних стандартів, а також НАОП 1.1.10-1.07-82 "Правила применения и испытания средств защиты, используемых в электроустановках".

Ці Правила можуть бути змінені та доповнені тільки органом, що їх затвердив. Керівництво підприємства, залежно від місцевих умов, може вживати додаткових заходів, що підвищують безпеку робіт. Такі заходи не повинні суперечити цим Правилам.

Із набуттям чинності цими Правилами вважати такими, що не застосовуються на території України "Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок" (видання 2-е, перероблене і доповнене), затверджені Міненерго СРСР 10.09.85 та Президією ЦК галузевої профспілки 21.08.85 (НАОП 1.1.10-1.01-85).

4.3.1.2 Вимоги до працівників

1. Посадові особи і працівники, які виконують роботи в електроустановках Міністерства енергетики України, проходять навчання та перевірку знань цих Правил.

2. Медичний огляд працівників слід здійснювати відповідно до вимог ДНАОП 0.03-4.02-94 "Положення про медичний огляд працівників певних категорій".

3. Працівники, які обслуговують електроустановки, повинні вивчити ці Правила відповідно до вимог своєї посади або роботи, яку вони виконують, пройти навчання безпечним прийомам праці на робочому місці під керівництвом досвідченого працівника, перевірку знань та присвоєння групи

з електробезпеки (далі - групи) відповідно до додатка 1 до цих Правил. Працівнику, який пройшов перевірку знань цих Правил, видається посвідчення встановленої форми, яке він повинен мати при собі під час виконання робіт.

Кожний працівник повинен знати, розуміти і дотримуватись вимог цих Правил. Забороняється допуск до роботи працівників, які не пройшли навчання та перевірку знань з питань охорони праці.

4. Працівники, які виконують роботи, зазначені у ДНАОП 0.00-8.02-93 "Перелік робіт з підвищеною безпекою", повинні мати відповідний запис у посвідченні про перевірку знань.

5. Забороняється допуск працівників, молодших 18 років, до робіт, зазначених у ДНАОП 0.03-8.07-94 "Перелік важких робіт і робіт із шкідливими і небезпечними умовами праці, на яких забороняється застосування праці неповнолітніх".

6. Забороняється допуск до роботи працівників з ознаками алкогольного або наркотичного сп'яніння.

Кожний працівник, якщо він не може вжити заходів щодо усунення порушень цих Правил, зобов'язаний негайно повідомити безпосереднього керівника про всі помічені порушення, а також про небезпечні для людей несправності електроустановок та машин, механізмів, пристроїв, інструменту та засобів захисту, що застосовуються під час виконання робіт.

Забороняється виконувати розпорядження та завдання, що суперечать вимогам цих Правил.

7. Керівники, спеціалісти, які безпосередньо організують роботу, зобов'язані забезпечити виконання її відповідно до вимог цих Правил.

8. Працівники, винні у порушенні цих Правил, несуть дисциплінарну, адміністративну, матеріальну або кримінальну відповідальність згідно з чинним законодавством.

4.3.1.3 Роботи з імпульсним вимірником ліній

1. Приєднувати імпульсний вимірник допускається лише до вимкненої та заземленої ПЛ. Приєднання необхідно виконувати в такій послідовності:

- з'єднувальний провід спочатку приєднати до заземленої проводки імпульсного вимірника (що йде від захисного пристрою), а потім за допомогою ізолювальних штанг - до проводу ПЛ. Штанги, якими з'єднувальний провід приєднується до ПЛ, під час вимірювання повинні залишатись на проводі лінії. Під час виконання роботи зі штангами необхідно користуватись діелектричними рукавичками;

- зняти заземлення з ПЛ на тому кінці, де приєднано імпульсний вимірник. За необхідності допускається знімати заземлення і на інших кінцях ПЛ, що перевіряється. Після того, як заземлення знято з ПЛ, з'єднувальний провід, захисний пристрій та проводку до нього слід вважати такими, що перебувають під напругою, і доторкатись до них забороняється;

- зняти заземлення з проводки імпульсного вимірника і почати вимірювання.

2. Приєднання проводки імпульсного вимірника до ПЛ за допомогою ізолювальних штанг повинен виконувати оперативний працівник з групою IV або працівник електролабораторії під наглядом оперативного працівника.

Підімкнення імпульсного вимірника через стаціонарну комутаційну апаратуру до вже приєднаної до ПЛ стаціонарної проводки і вимірювання можуть проводити одноособово черговий або, за розпорядженням, працівник з групою IV зі складу працівників електролабораторії.

3. Після закінчення вимірювань ПЛ знову слід заземлити і тільки після цього зняти вимірювальні штанги зі з'єднувальним проводом спочатку з ПЛ, а потім з проводки імпульсного вимірника.

4. Вимірювання імпульсним вимірником, який не має генератора імпульсів високої напруги, допускається проводити без виведення з ПЛ бригад, які працюють.

4.3.2 Розрахунок пристрою заземлення

Розрахунок заземлюючого пристрою зводиться до розрахунку заземлювача, так як заземлюючі провідники в більшості випадків приймають за умовами механічної міцності і стійкості до корозії.

Нормований опір відповідно до ПУЕ становить 4.00 Ом. Контур заземлення передбачається спорудити з зовнішньої сторони з розташуванням вертикальних електродів по контуру. В якості вертикальних заземлювачів приймаємо електроди з розміром 18.00 мм і довжиною 3.00 м, які занурюються в ґрунт. Верхні кінці електродів маємо на глибині 0.50 м від поверхні землі. До них приварюються горизонтальні електроди з тієї ж сталі, що і вертикальні електроди.

Попередньо з урахуванням площі (20x15 м), займаної об'єктом, намічаємо розташування заземлювачів по периметру довжиною 70 м.

Параметри двошарового ґрунту в місці спорудження, кліматичні коефіцієнти та інші вихідні дані для розрахунку зведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1. Вихідні дані

Позначення	Найменування	Од. вим.	Значе- ння
R_f	Нормований опір розтікання струму в землю	Ом	4.00
ρ_1	Питомий опір верхнього слою ґрунту	Ом*м	50.00
ρ_2	Питомий опір нижнього слою ґрунту	Ом*м	60.00
d	Діаметр стержня	мм	18.00
L	Довжина вертикального заземлювача	м	3.00
H	Товщина верхнього слою ґрунту	м	1.00
$t_{гннн}$	Глибина закладення горизонтального заземлювача	м	0.50
t	Відстань від поверхні землі до середини заземлювача	м	2.00
k_1	Кліматичний коефіцієнт для вертикальних електродів	—	1.90

k_2	Кліматичний коефіцієнт для горизонтальних електродів	–	5.75
b	Ширина сталевієї полоси	мм	50.00
$l_{\bar{a}}$	Довжина горизонтального заземлювача	м	70.00

Питома розрахунковий коефіцієнт опору двошарового ґрунту визначаємо за формулою:

$$\rho = \frac{(\rho_1 \cdot \rho_2 \cdot L)}{(\rho_1 \cdot (L - H + t_{\text{полосы}}) + \rho_2 \cdot (H - t_{\text{полосы}}))}, \text{ Ом} \cdot \text{ м}$$

$$\rho = \frac{(50.00 \cdot 60.00 \cdot 3.00)}{(50.00 \cdot (3.00 - 1.00 + 0.50) + 60.00 \cdot (1.00 - 0.50))} = 58.06 \text{ Ом} \cdot \text{ м.}$$

Опір розтіканню одного вертикального електрода визначаємо за формулою:

$$r_{\bar{e}} = \frac{0,366 \cdot k_1 \cdot \rho}{L} \cdot \left(\lg \left(\frac{2 \cdot L}{0,95 \cdot d} \right) + \frac{1}{2} \cdot \lg \left(\frac{4 \cdot t + L}{4 \cdot t - L} \right) \right), \text{ Ом}$$

$$r_{\bar{a}} = \frac{0.366 \cdot 1.90 \cdot 58.06}{3.00} \cdot \left(\lg \left(\frac{2 \cdot 3.00 \cdot 1000}{0.95 \cdot 18.00} \right) + \frac{1}{2} \cdot \lg \left(\frac{4 \cdot 2.00 + 3.00}{4 \cdot 2.00 - 3.00} \right) \right) = 36.56 \text{ Ом.}$$

Передбачувана кількість вертикальних заземлювачів визначаємо за формулою:

$$n_{i\bar{\partial}} = \frac{r_{\bar{a}}}{R_i \cdot \eta_{\bar{a}}}$$

де $\eta_{\bar{a}}$ - коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів.

$$n_{\text{вд}} = \frac{36.56}{4.00 \cdot 0.66} = 16 \text{ шт.}$$

Таблиця 4.2. Параметри вертикальних і горизонтальних заземлювачів

Позначення	Найменування	Од. вим.	Значення
$\eta_{\text{в}}$	коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів	–	0.66
$\eta_{\text{г}}$	коефіцієнт використання горизонтальних заземлювачів	–	0.36
h	Відстань між заземлювачами	м	5.83

Опір горизонтального заземлювача визначимо за формулою:

$$r_{\text{г}} = \frac{0,366 \cdot k_2 \cdot \rho}{l_{\text{г}} \cdot \eta_{\text{г}}} \cdot \lg \left(\frac{2l_{\text{г}}^2}{b \cdot t_{\text{норм}}} \right) \cdot \hat{h}$$

$$r_{\text{г}} = \frac{0.366 \cdot 5.75 \cdot 58.06}{70.00 \cdot 0.36} \cdot \lg \left(\frac{2 \cdot 70.00^2 \cdot 1000}{50.00 \cdot 0.50} \right) = 26.87 \text{ Ом}$$

Опір вертикальних заземлювачів R не повинно перевищувати значення визначається за формулою:

$$R = \frac{R_i \cdot r_{\text{г}}}{r_{\text{г}} - R_i} \cdot \hat{h}$$

$$R = \frac{26.87 \cdot 4.00}{26.87 - 4.00} = 4.70 \text{ Ом.}$$

З урахуванням повного опору вертикальних заземлювачів уточнене кількість вертикальних заземлювачів з урахуванням сполучної смуги визначається за формулою:

$$n = \frac{r_{\dot{a}}}{R \cdot \eta_{\dot{a}}}, \phi \delta$$

$$n = \frac{36.56}{4.70 \cdot 0.66} = 12 \text{ шт.}$$

Приймаються до установки 12 вертикальних заземлювачів, загальна довжина горизонтального заземлювача 70.00 м при середній відстані між вертикальними заземлювачами 5.83 м. Остаточне відстань між вертикальними заземлювачами уздовж сполучної смуги вказується на плані заземлювального пристрою.

Монтажні параметри одиночного заземлювача в двошаровому ґрунті вказані на рисунку 4.1, а конструкція заземлюючого пристрою на рисунку 4.2.

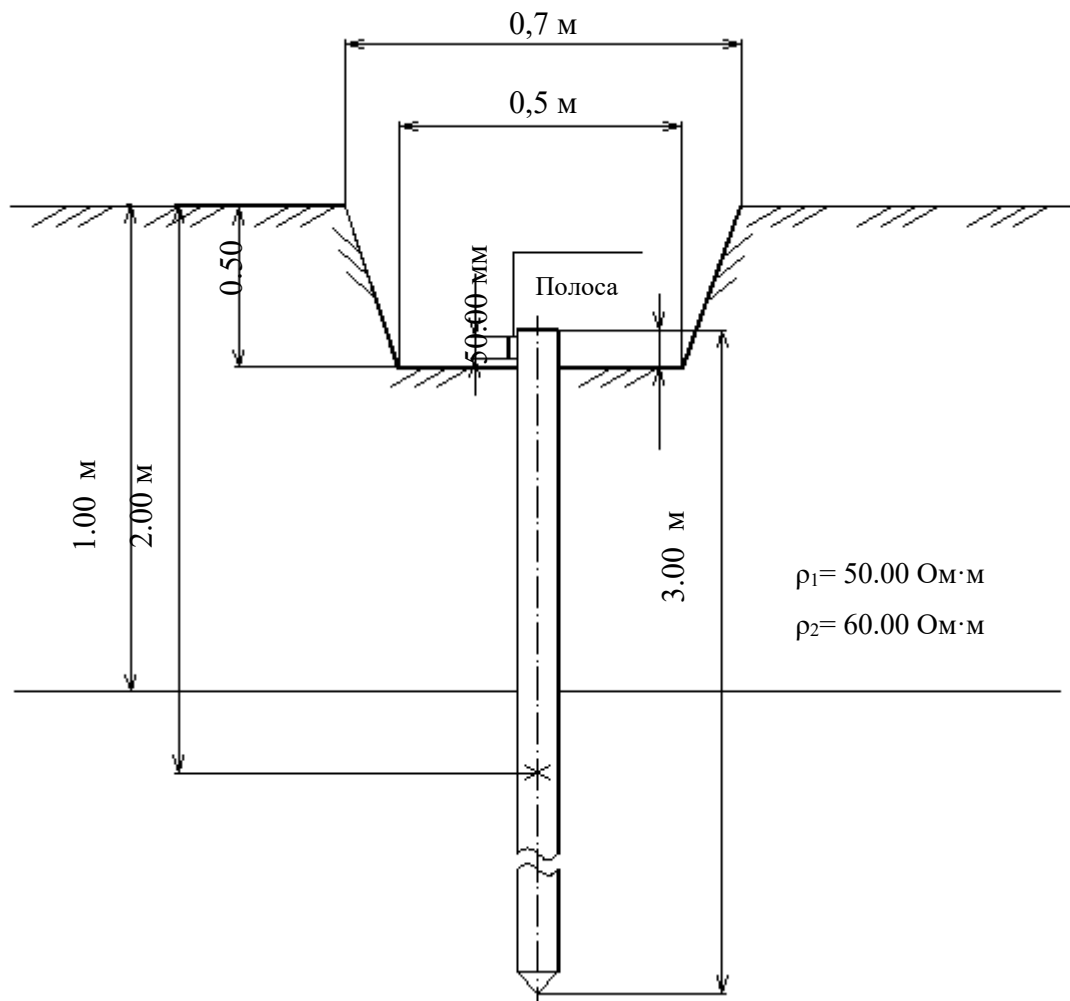


Рисунок 4.2 – Установка одиночного заземлителя в двоярловому ґрунті

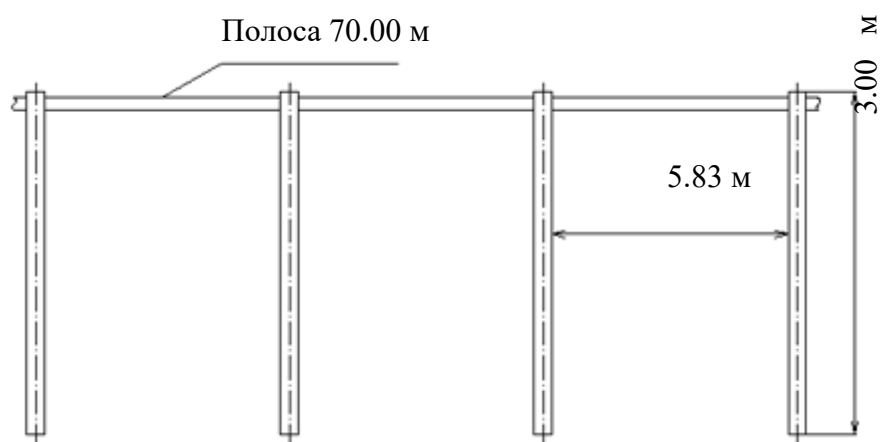


Рисунок 4.3 – Конструкція заземлювального пристрою

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

За допомогою викладача визначити тему проекту та його основні характеристики.

1. Формуляр проекту

Формуляр проекту	
Завдання	№ проекту <u> 1 </u> Дата замовлення <u> 05.09.2019 </u> Назва проекту <u> Дослідження та розробка перетворювача постійної напруги для локальної енергосистеми потужністю 1 кВт </u> Замовник ППП <u> Туришев Костянтин Олегович </u> Адреса <u> м. Запоріжжя, пр. Леніна 229 </u> Контактна особа ППП <u> Туришев Костянтин Олегович </u> Тел. і факс <u> 222-22-22 </u>
Договірна ціна	Усього <u> 2700 </u> грн. План оплати <u> попередня оплата - 50% </u> Додаткові умови <u> - </u>
Строки	Початок <u> 06.09.2019 </u> кінець <u> 18.12.2020 </u> Проміжні строки <u> - </u>
Партнери	Кооперація <u> - </u> Субпідрядники _____ Завдання _____
Персонал	Керівник <u> Іванов І.І. </u> Заступник <u> Петров П.І. </u> Співробітники <u> Сидоров І.П., Сидоров В.П., </u>
Проект	Скорочена назва <u> "Конкорд" </u> Цілі <u> Розробка перетворювача </u> Критичні строки 1. <u> 17.12.2019 </u> (завершення дослідної експлуатації АСУ) 2. <u> 18.12.2019 </u> (завершення проекту) 3. _____ Особливості та проблеми <u> Проблеми адаптації персоналу до нового перетворювача </u>

2. Таблиця – характеристика робіт за проектом

Таблиця 5.1. Характеристика робіт за проектом

Характеристика робіт за проектом			
Код роботи	Назва чи зміст роботи	Безпосередньо попередня робота	Тривалість, діб
1.1.1	Дослідження характеристик та функцій об'єкту	-	15
1.2.1	Розробка схеми	1.1.1	20
1.2.2	Розрахунок схеми	1.2.1	10
1.2.3	Корегування схеми	1.2.2	3
1.2.4	Розробка конструкції виробу	1.2.3	10
1.2.5	Розробка плат	1.2.3	10
1.3.1	Монтаж плат	1.2.4, 1.2.5	1
1.3.2	Зборка виробу	1.3.1	1
1.3.3	Наладка	1.3.2	1
1.4.1	Комерційна експлуатація	1.3.3	10

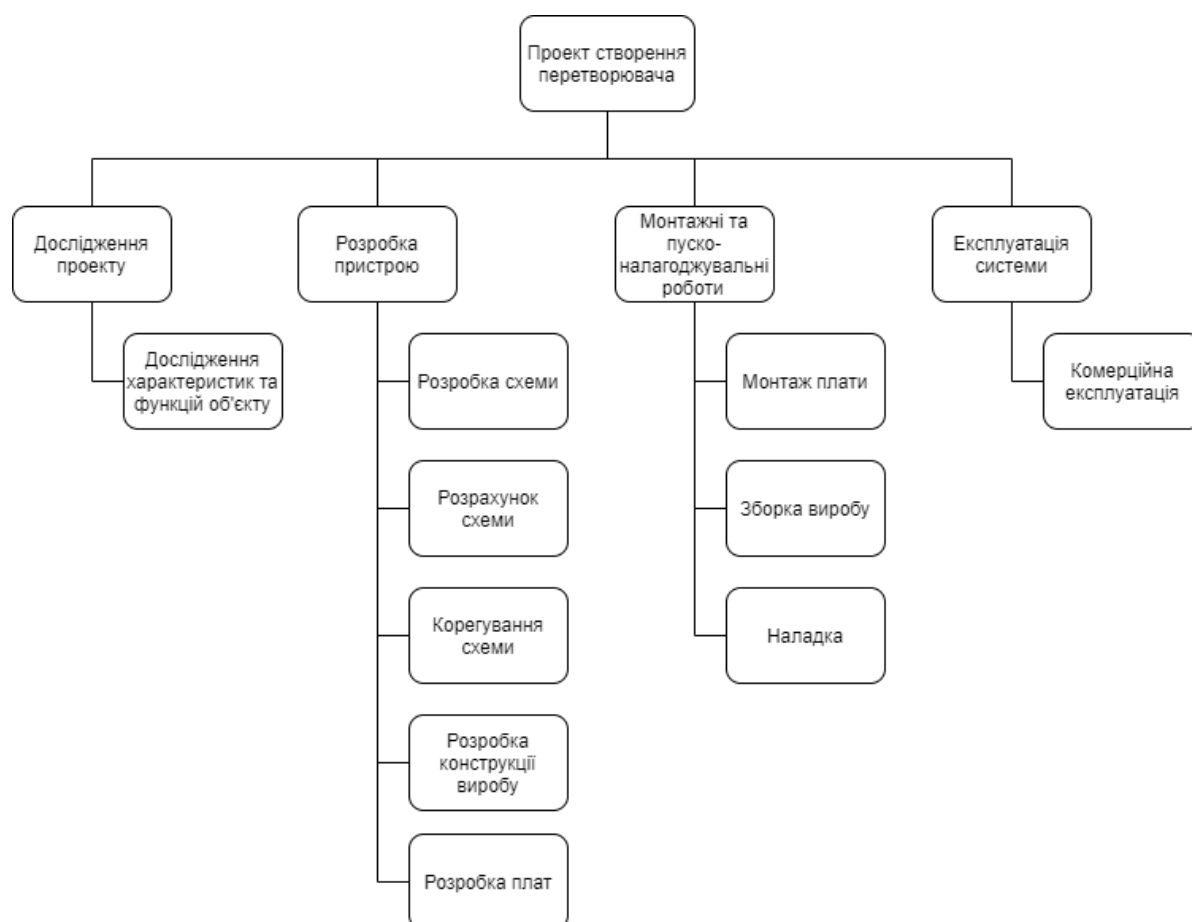


Рисунок 5.1 – Робоча структура проекту - WBS

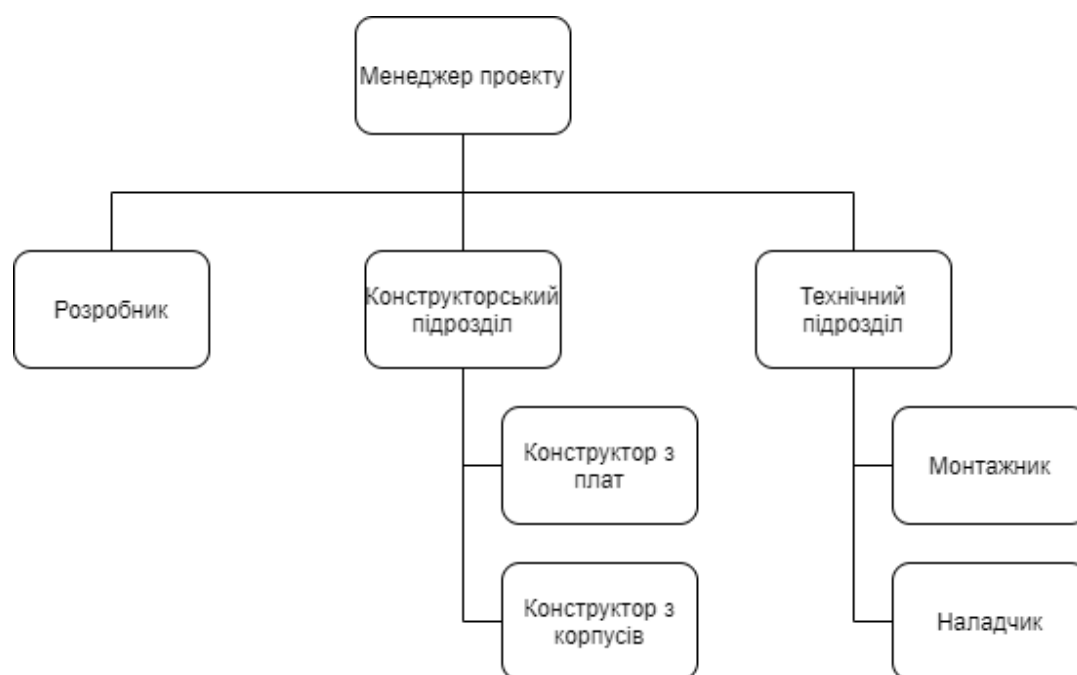


Рисунок 5.2 – Організаційна структура проекту - OBS



Рисунок 5.3 – Структура затрат проекту - CBS

Таблиця 5.2. Матриця відповідальності

Виконавці	Дослідження характеристик та функцій об'єкту	Розробка схеми	Розрахунок схеми	Корегування схеми	Розробка конструкції виробу	Розробка плат	Монтаж плати	Зборка виробу	Наладка	Комерційна експлуатація
Менеджер проекту	р	р	р	р						р
Розробник	+	+	+	+	р	р	р	р	р	+
Конструктор з плат						+				
Конструктор з корпусів					+					
Монтажник							+	+		
Наладчик									+	
р – первинна відповідальність, s – вторинна відповідальність, + - виконавець										

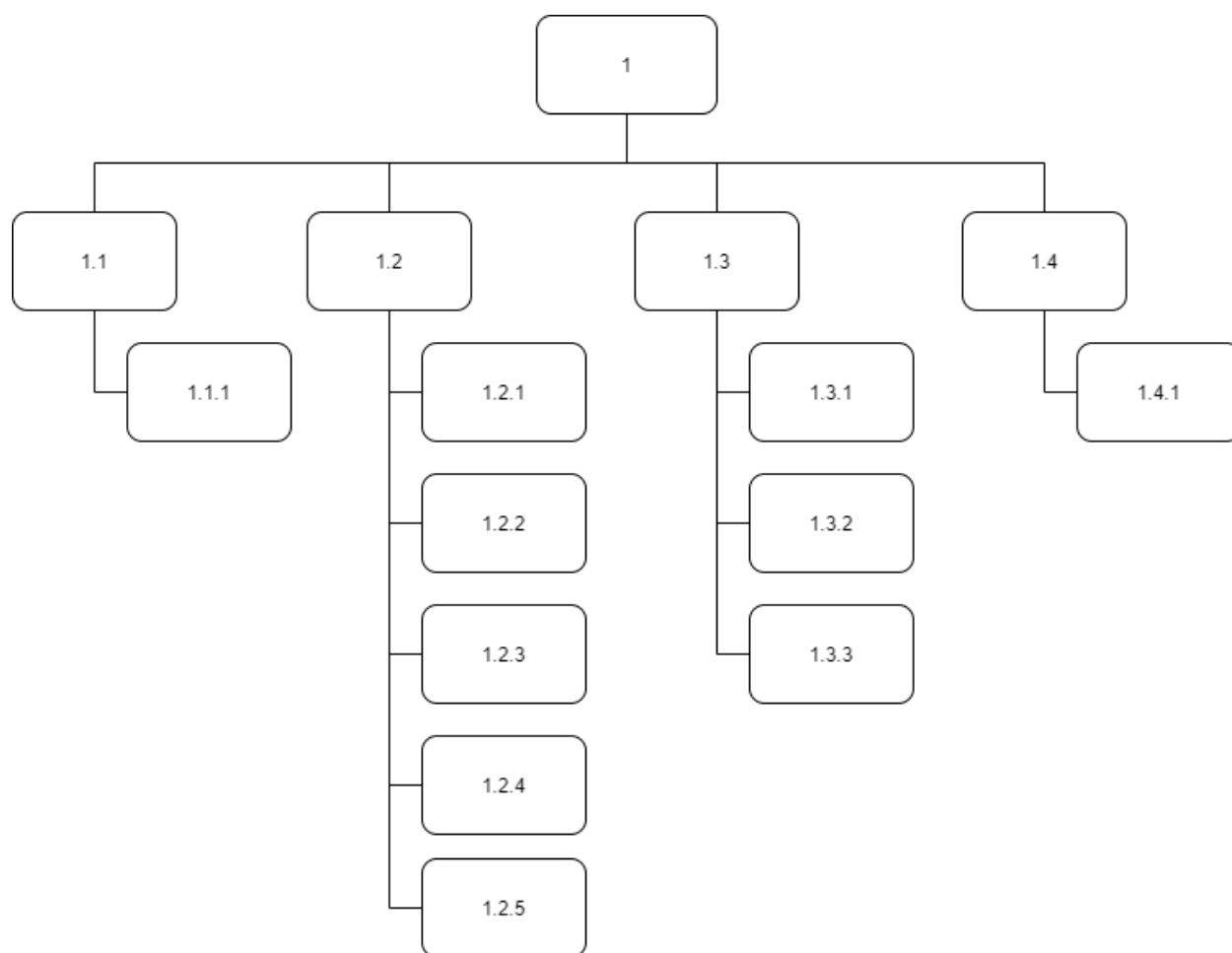


Рисунок 5.4 – Робоча структура проекту з номерами - WBS

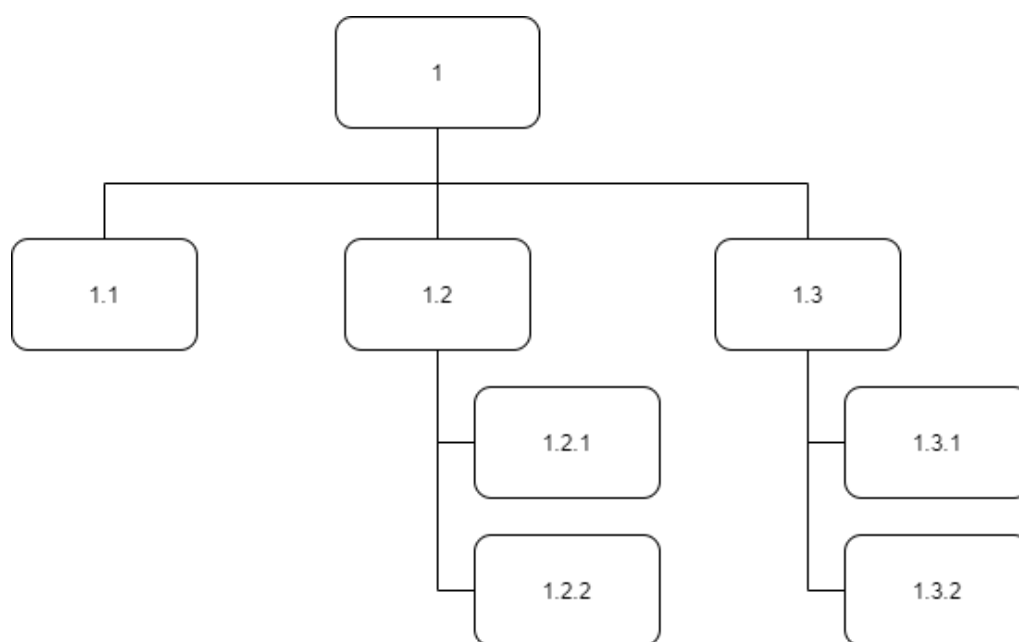


Рисунок 5.5 – Організаційна структура проекту з номерами - OBS

Таблиця 5.2. CTR - каталог

Номер	Код роботи	Назва чи зміст роботи	Затрати, грн	Тривалість, діб
1	1.1.1	Дослідження характеристик та функцій об'єкту	500	15
2	1.2.1	Розробка схеми	500	20
3	1.2.2	Розрахунок схеми	250	10
4	1.2.3	Корегування схеми	100	3
5	1.2.4	Розробка конструкції виробу	300	10
6	1.2.5	Розробка плат	300	10
7	1.3.1	Монтаж плат	100	1
8	1.3.2	Зборка виробу	100	1
9	1.3.3	Наладка	150	1
10	1.4.1	Комерційна експлуатація	400	10

Таблиця 5.3. CTR - Розрахунок тривалості проекту з урахуванням запасів часу

Код	a_i	m_i	b_i	σ_i^2	t_i
1.1.1	10	15	30	11.11	16.67
1.2.1	12	20	30	16	21.33
1.2.2	6	10	19	4.69	10.83
1.2.3	1	3	6	0.69	3.17
1.2.4	4	10	15	3.36	9.83
1.2.5	4	10	15	3.36	9.83
1.3.1	1	1	3	0.11	1.33
1.3.2	1	1	3	0.11	1.33
1.3.3	1	1	3	0.11	1.33

1.4.1	3	10	16	4.69	9.83
				σ	t
				6.65	85.5

Термін проекту ($z = 1.29$)

$$\hat{O} = z \cdot \sigma + t = 1.29 \cdot 6.65 + 85.5 = 95$$

Термін виконання проекту 95 діб.

ВИСНОВОК

В дипломному проєкті було проведено розробку та розрахунок імпульсного перетворювача постійної напруги для локальної енергосистеми.

Даний перетворювач може використовуватися для вітроенергетичної установки, озонної станції та для інших об'єктів, потужність яких сягає 1 кВт. Було розроблено надійний перетворювач на сучасній елементній базі. Основними достоїнствами проєктованого перетворювача є:

- високі масо-габаритні показники;
- наявність гальванічної розв'язки між його вхідними і вихідними силовими ланцюгами;
- можливість безаварійної роботи при значних перевантаженнях по струму і можливих коротких замикань у навантаженні (замикання гальванічних елементів акумулятора, перевантаження або аварійні процеси в енергосистемі і т.д.).

При створенні імпульсного перетворювача постійної напруги підвищуючого типу з трансформаторним виходом для локальної енергосистеми потужністю 1 кВт, який розробляється на кафедрі мікроелектронних та електронних інформаційних систем, розробили імітаційну модель для перевірки правильності функціонування цієї схеми.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1) О нас | INFOCOM Ltd – [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<https://ia.ua/ru/about-us-ru/>
- 2) Команда | INFOCOM Ltd – [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<https://ia.ua/ru/nasha-komanda/>
- 3) Послуги | INFOCOM Ltd – [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<https://ia.ua/ru/services-ru/>
- 4) МТ3608 Підвищуючий DC/DC перетворювач – [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<http://greenchip.com.ua/0-0-186-0.html>
- 5) Підвищуючий перетворювач DC-DC XL6009E1 – [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<https://www.olx.ua/obyavlenie/povyshayuschiy-preobrazovatel-dc-dc-xl6009e1-4a-stabilizator-IDAFtK0.html#acf5f2044d>
- 6) DKP6012 12A 720W 60V CNC регульований блок живлення DC-DC – [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<https://prom.ua/p815504600-dkp6012-12a-720w.html>
- 7) ZXY6005S блок живлення лабораторний DC-DC – [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<https://besplatka.ua/obyavlenie/blok-pitaniya--konverter-toka-dc-dc--60v-5a-300vt-6ce279>
- 8) Джерело блок живлення Resheto понижуючий DC-DC лабораторний 0-50В 20А DPS5020 – [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
https://rozetka.com.ua/70631168/p70631168/?gclid=EAIaIQobChMI592Z45T64QIVhNGyCh12QgKEEAYYASABEgL_U_D_BwE
- 9) Датчики струму і напруги на основі ефекту Холла – [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<http://coretech.com.ua/current-sensor-hall>

10) Що таке ШІМ контролер і як він працює – [Електронний ресурс]. –

Режим доступу:

<https://viktorkorolev.ru/chto-takoe-shim-kontroller-i-kak-on-rabotaet/>

11) ШІМ контролери – [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

http://portal.tpu.ru:7777/SHARED/g/GREBENNIKOVVV/students/Tab4/Tab/ShIM_kontrollery.pdf

12) Правил безпечної експлуатації електроустановок – [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

<http://ohranatruda.in.ua/pages/5083/>

13) Як працюють імпульсні перетворювачі напруги – [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

<http://radiostorage.net/2780-kak-rabotayut-impulsnye-preobrazovateli-napryazheniya-27-skhem.html>

14) Трансформаторні датчики – [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

<https://studfiles.net/preview/2610428/page:27/>

15) Датчики струму і напруги – [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

<https://pp-budpostach.com.ua/a249666-datchiki-strumu-napруги.html>

16) Модуляція – [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

https://ru.wikipedia.org/wiki/Модуляція#Виды_модуляции

17) LM3478 (ACTIVE) 2.97~40V Wide Input Range Boost/SEPIC/Flyback DC-DC Controlle – [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

http://www.ti.com/product/LM3478?HQS=TI-null-null-alldatasheets-df-pf-SEP-ww&DCM=yes&dclid=CjgKEAjwz6PnBRD8gobG47CuowUSJADT4a27flsC84Tm4yugNe6oesRStZCbF4ibfkLUfp1mmU21BPD_BwE#

18) 2.97V to 40V Wide Vin Low-Side N-Channel Controller for Switching Regulators – [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

http://www.ti.com/product/LM3488?HQS=TI-null-null-alldatasheets-df-pf-SEP-wwe&DCM=yes&dclid=CjgKEAjwz6PnBRD8gobG47CuowUSJADT4a27MrvPTIQ3LYbAELj-kvSNceuLYludoLjSrTHUphwMGPD_BwE

19) Current-Mode PWM Controller – [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

http://www.ti.com/product/UC2845?HQS=TI-null-null-alldatasheets-df-pf-SEP-wwe&DCM=yes&gclid=EAIAIQobChMIsa7bt-i24gIViJSyCh07gQL8EAAAYASAAEgJKmPD_BwE

20) UC3842B Datasheet (PDF) - Motorola, Inc – [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

<http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/5795/MOTOROLA/UC3842B.html>

21) Алексеевский. Д.Г. Визуально-блочная модель импульсного преобразователя постоянного напряжения инвертирующего типа/ Д.Г. Алексеевский, О.О. Панкова, К.О. Турышев // Вісник національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". – Харків: НТУ «ХПІ». – 2019. – № 20(1345). – С. 61–66.

22) Алексеевский Д.Г. Визуальное моделирование многоканальных ветроэлектрогенерирующих систем / Д.Г. Алексеевский, // Вісник національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". – 2017. – № 27(1249). - С. 332-336.

23) Алексеевский Д.Г. Определение рабочей области ИППН в составе электромеханической системы ВЭУ с переменной скоростью вращения / Д. Г. Алексеевский, П. Д. Андриенко, К. О. Турышев, О. О. Панкова // Эл.техника и эл.энергетика. – 2017. – №1.– С. 79–85.

24) DC/DC-преобразователи: принципы работы и уникальные решения Maxim Integrated – [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

<https://www.compel.ru/lib/134297>

25) Обобщенная математическая модель импульсного повышающего преобразователя напряжения – [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

<https://cyberleninka.ru/article/n/obobschennaya-matematicheskaya-model-impulsno-povyshayuschego-preobrazovatelya-napryazheniya/viewer>

26) Обобщенная непрерывная модель импульсного понижающего преобразователя – [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

<https://cyberleninka.ru/article/n/obobschennaya-nepreryvnaya-model-impulsno-ponizhayuschego-preobrazovatelya-kak-obekta-upravleniya/viewer>

27) Обратногоходовой преобразователь – [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

<http://power-electronics.info/flyback.html>

28) Устройство для заряда емкостного накопителя – [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

https://dspace.tltsu.ru/bitstream/123456789/5268/1/%D0%9A%D0%B8%D1%81%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%B2%20%D0%95.%D0%90._%D0%AD%D0%9B%D0%B1%D0%B7_1231.pdf

29) RCD-снабер принцип расчета – [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

<http://elektrik.info/main/praktika/1509-rcd-snabber-princip-raboty-i-primer-rascheta.html>

30) Визуально-блочная модель импульсного преобразователя постоянного напряжения инвертирующего типа. Д.Г. Алексеевский, О.О. Панкова, К.О. Турышев – [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-Press/43242/1/vestnik_KhPI_2019_20_Alekseevskiy_Vizualno-blochnaya.pdf

A7	ЕС М.019156.00.00.00.00.Д2	ІППН зворотногоходового типу Імпульсний перетворювач постійної напруги для локальної енергосистеми Результати моделювання еталонної моделі ІППН зворотногоходового типу
A7	ЕС М.019156.00.00.00.00.Д3	Імпульсний перетворювач постійної напруги для локальної енергосистеми Розробка візуально блочної моделі ІППН зворотногоходового типу
A7	ЕС М.019156.00.00.00.00.Д4	Імпульсний перетворювач постійної напруги для локальної енергосистеми Аналіз працездатності моделі ІППН зворотногоходового типу
A7	ЕС М.019156.00.00.00.00.Д5	Імпульсний перетворювач постійної напруги для локальної енергосистеми Аналіз точності моделі ІППН зворотногоходового типу
A7	ЕС М.019156.00.00.00.00.Е3	Імпульсний перетворювач постійної напруги для локальної енергосистеми Схема електрична принципова
44	ЕС М.019156.00.00.00.00.ПЕ3	Імпульсний перетворювач постійної напруги для локальної енергосистеми Перелік елементів
A7	ЕС М.019156.00.00.00.00.Д6	Імпульсний перетворювач постійної напруги для локальної енергосистеми Заземлювальний пристрій
A7	ЕС М.019156.00.00.00.00.Д7	Імпульсний перетворювач постійної напруги для локальної енергосистеми Розрахунок терміну виконання проекту

ЕС М.019156.00.00.00.00

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата
Розроб.		Рослий	Рослий	20.11.20
Перевір.		Алексієвський	Алексієвський	20.11.20
Контр.		Туришев	Туришев	20.11.20
Затверд.		Крытська	Крытська	20.11.20

Імпульсний перетворювач постійної напруги
для локальної енергосистеми

Літ.	Арк.	Арк. усього
		1

ІННІ ЗНУ
8.1719

Копіював

Формат А4

R1	510K 0.25W CFR 5% Yageo	1
R2	4.7K 1W CFR 5% Yageo	1
R3	9.10hm 5% 0.25W Hitano	1
R4	910hm 5% 0.25W Hitano	1
R5,R6	LVR01R0100FE70 Ohmite	2
R7	43K 1W CFR 5% Royal Ohm	1
R8	TR50JBF-0330 Hitano	1
R9	CR100SJTB-910R Hitano	1
R10	CR100SJTB-1KR Hitano	1
R11	CR050SJTB-200R Hitano	1
R12	CR100SJTB-4K3R Hitano	1
R13	270R 1W CF Royal Ohm	1
R14	підстрочний 1K 3296W TRIMMER	1
R15	3K 2W CFR 5% Royal Ohm	1

Трансформатори

T1	L1 = 1.3uHn L2 = 278.5uHn EC Д2.150714.00.00.01.00	1
----	---	---

Діоди

VD1	Д142-80-1 Елемент Перетворювач	1
VD2	1N5824 Yixin	1
VD3,VD12	Світлодіод 3 мм Червоний матовий SRD / 1618 GUANGUE	2
VD4,VD6	SF58 Taiwan Semiconductor	2
VD5	BZV55-C3V3 Nexperia	1
VD7-VD11	1N4757A Taiwan Semiconductor	5

Транзистори

VT1	IRFB3306PBF International Rectifier	1
-----	-------------------------------------	---

Підп. і дата
 Інв. № докл.
 Взам. інв. №
 Підп. і дата
 Інв. № пов.

EC M.019156.00.00.00.00.ПЕЗ

Зм. Арк. № докум. Підп. Дата

Арк. 2

	Hao Yin Electronic Technology Co., Ltd	1
C2, C5	CT4 1uF 50V X7R ±10% Inchina	2
C3	TE 22uF 63V 6.3*11 105C	1
	Hao Yin Electronic Technology Co., Ltd	
C4	TE 220uF 50V 10*13 105C 4000Hr [Low ESR]	1
	Hao Yin Electronic Technology Co., Ltd	
C6	TR 330uF 63V 13*21 105C	1
	Hao Yin Electronic Technology Co., Ltd	
C7	0805 22nF 50V X7R (CL21B223KBCNNNC)	1
	SAMSUNG ELECTRONICS	
C8	KFKP 100pF 63V (KFKP 0.10/63f7) AECOTRONIC	1
C9-C11	1206 1uF 100V X7R (CL31B105KCHNNNE)	3
	SAMSUNG ELECTRONICS	
C12	HE 120uF 450V 22*41 105C 5000Hr [Long Life]	1
	Hao Yin Electronic Technology Co., Ltd	
Мікросхеми		
DA1	LM2596-12 Texas Instruments	1
DA2	TL431 Texas Instruments	1
DA3	AOT128 ETC	1
DD1	LM3478 Texas Instruments	1
Запобіжники		
FU1	AGU100A Phantom	1
Дроселі		
L1	Радіальний 33uH 1.1A (DM0608-330K-S0) Inchina	1

ЕС М.019156.00.00.00.00.ПЕЗ

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата
Розроб.		Рослий	<i>[Signature]</i>	30.11.20
Перевір.		Алексієвський	<i>[Signature]</i>	20.11.20
Т.контр.		Туришев	<i>[Signature]</i>	20.11.20
Інтерв'єд.		Критська	<i>[Signature]</i>	16.11.20

Імпульсний перетворювач постійної напруги
для локальної енергосистеми
Перелік елементів

Літ.	Арк.	Арк.
	1	
ІННІ ЗНУ 8.1719		