

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІНЖЕНЕРНИЙ ІНСТИТУТ

Факультет енергетики, електроніки та інформаційних технологій

Кафедра «Електронні системи»

Кваліфікаційна робота / проект

магістр

(рівень вищої освіти)

на тему Використання сучасних джерел живлення в антенах

Виконав: студент II курсу, групи ЕА-18-1мд  
напряму підготовки (спеціальності)

171 Електроніка

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Кабанчук А. С.

(прізвище та ініціали)

Керівник доц. проф. Е. С. доц. к.т.н. Шершов С. І.  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент Шершов С. І.

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

м. Запоріжжя – 2020 року

ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ ІНСТИТУТ

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет

ЕЕІТ

Кафедра

ЕС

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр

Напрямок підготовки 171 Електроніка

(шифр і назва)

Спеціальність

171 Електроніка

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕС

М.Ф. Крижан Т.О.  
«   »     20    року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ/ПРОЕКТ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Кабарчук Андрій Сергійович  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Використання електронних джерел живлення в аналізаторах

керівник проекту (роботи) доц. к.т.н. Шмалій С.А.  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від «   »     20    року №   

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 08.01.2020

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Вхідна напруга  $U_{вх} = 220-380В$ ,  
Вихідна напруга  $U_{вих} = 12В$ ,  $P_{вт} = 7Вт$

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ, дослідження та аналіз електронної бази джерел живлення, дослідження та керівництво перетворювачів на базі ШІМ-контролерів, моделювання АС/ДС перетворювача на базі ШІМ-контролеру ALTAIRE04-900, Технічне виконання друкованої плати, Техніко-економічне обґрунтування

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Типи перетворювачів, Структурна схема перетворювачів, Схема електрична структурна, Схема електрична принципова, Діаграми ККД, Плата друкована, Схемотипне креслення, Таблиці креслення, Економічні показники, Задавальницький проект

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	доц., к.т.н. Шмагій С.І.	<i>Шмагій</i>	<i>Шмагій</i>
2	доц., к.т.н. Шмагій С.І.	<i>Шмагій</i>	<i>Шмагій</i>
3	доц., к.т.н. Шмагій С.І.	<i>Шмагій</i>	<i>Шмагій</i>
4	доц., к.т.н. Шмагій С.І.	<i>Шмагій</i>	<i>Шмагій</i>
5	доц., к.т.н. Шмагій С.І.	<i>Шмагій</i>	<i>Шмагій</i>
		<i>Шмагій</i>	

7. Дата видачі завдання 2.10.19

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Літературний огляд	16.10.19	
2	Розробка розділу 1	30.10	
3	Розробка розділу 2	13.11	
4	Розробка розділу 3	27.11	
5	Розробка розділу 4	11.12	
6	Розробка розділу 5	25.12	
7	Розробка графічної частини	08.01.20	

Студент *Шмагій* (підпис) Шмагій С.І. (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи) *Шмагій* (підпис) Шмагій С.І. (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер *Кисельов* (підпис) Кисельов Є.М. (прізвище та ініціали)



## АНОТАЦІЯ

Кабарчук А.С. Використання сучасних джерел живлення в анемометрах.

Кваліфікаційна випускна робота для магістра за спеціальністю 171 - Електроніка, науковий керівник С.Л. Шмалій. Інженерний інститут Запорізького національного університету. Факультет енергетики, електроніки та інформаційних технологій, кафедра електронних систем, 2020.

У даному дипломному проєкті буде досліджено і проаналізовано ринок радіоелектронних компонентів та підбір оптимального і сучасного схемотехнічного рішення для малопотужного блоку живлення для кранового анемометру.

Ключові слова: БЕЗПЕРЕБІЙНЕ ДЖЕРЕЛО ЖИВЛЕННЯ, СТАБІЛІЗАТОР НАПРУГИ, БЛОК ЖИВЛЕННЯ, ПОТУЖНІСТЬ БЛОКУ ЖИВЛЕННЯ, КОЕФІЦІЄНТ КОРИСНОЇ ДІЇ, ВИПРЯМЛЯЧ, ЗГЛАДЖУВАЛЬНИЙ ФІЛЬТР, ІМПУЛЬСНИЙ ТРАНСФОРМАТОР, ЗВОРОТНИЙ ЗВ'ЯЗОК, ШІМ, ШІМ-КОНТРОЛЕР.

## ABSTRACT

Kabarchuk AS Use of modern power sources in anemometers.

Qualifying Graduation Work for the Master in Specialty 171 - Electronics, supervisor C.L. Shmaliy. Engineering Institute of Zaporizhzhya National University. Faculty of Energy, Electronics and Information Technology, Department of Electronic Systems, 2020.

In this diploma project the market of radioelectronic components will be researched and analyzed, as well as the selection of the optimal and modern circuit-technical solution for a low-power power supply unit for a crane anemometer.

Keywords: UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLIES, VOLTAGE STABILIZERS, POWER SUPPLY, POWER SUPPLY POWER, EFFICIENCY, RECTIFIERS, SMOOTHING FILTERS IMPUSNYI TRANSFORMER, FEEDBACK, PWM, PWM CONTROLLERS.

## АННОТАЦИЯ

Кабарчук А.С. Использование современных источников питания в анемометр.

Квалификационная выпускная работа для магистра по специальности 171 - Электроника, научный руководитель С.Л. Шмалий. Инженерный институт Запорожского национального университета. Факультет энергетики, электроники и информационных технологий, кафедра электронных систем, 2020.

В данном дипломном проекте будут исследованы и проанализированы рынок радиоэлектронных компонентов и подбор оптимального и современные схемотехнического решения для маломощного блока питания для кранового анемометра.

Ключевые слова: БЕСПЕРЕБОЙНЫЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ, СТАБИЛИЗАТОРЫ НАПРЯЖЕНИЯ, БЛОК ПИТАНИЯ, МОЩНОСТЬ БЛОКА ПИТАНИЯ, КПД, ВЫПРЯМИТЕЛИ, СГЛАЖИВАЮЩИЕ ФИЛЬТР, ИМПУЛЬСНИЙ ТРАНСФОРМАТОР, ОБРАТНАЯ СВЯЗЬ, ШИМ, ШИМ-КОНТРОЛЛЕР.

## РЕФЕРАТ

103 с., 69 рис., 14 табл., 18 джерел

У даному дипломному проєкті буде досліджено і проаналізовано ринок радіоелектронних компонентів та підбір оптимального і сучасного схематехнічного рішення для малопотужного блоку живлення для кранового анемометру.

БЕЗПЕРЕБІЙНЕ ДЖЕРЕЛО ЖИВЛЕННЯ, СТАБІЛІЗАТОР НАПРУГИ, БЛОК ЖИВЛЕННЯ, ПОТУЖНІСТЬ БЛОКУ ЖИВЛЕННЯ, КОЕФІЦІЄНТ КОРИСНОЇ ДІЇ, ВИПРЯМЛЯЧ, ЗГЛАДЖУВАЛЬНИЙ ФІЛЬТР, ІМПУЛЬСНИЙ ТРАНСФОРМАТОР, ЗВОРОТНІЙ ЗВ'ЯЗОК, ШІМ, ШІМ-КОНТРОЛЕР

## ЗМІСТ

Вступ.....	6
1 Дослідження та аналіз елементної бази джерел живлення.....	7
1.1 Введення.....	7
1.2 Найпростіший імпульсний БЖ.....	7
1.3 ШІМ-контролер та принцип роботи .....	11
1.4 Блоки живлення форм-фактору АТХ без корекції коефіцієнта потужності .....	16
1.5 Вимоги до однофазного джерела живлення.....	17
1.6 Вимоги до трифазного джерела живлення.....	19
2 Дослідження та порівняння перетворювачів на базі ШІМ контролерів .....	22
2.1 Блок живлення на мікросхемі 2001 року TNY255.....	22
2.2 Джерело живлення на мікросхемах Altair.....	24
2.3 Переваги мікросхеми ALTAIR04-900.....	26
2.4 Розгляд мікросхеми з ALTAIR04-900.....	27
2.5 Основні характеристики мікросхеми ALTAIR04-900 з технічної документації .....	30
3 Моделювання ac/dc перетворювача на базі ШІМ-контролеру ALTAIR04-900 .....	36
3.1 Опис роботи з програмним забезпеченням eDesignSuite.....	36
4 Технологія виготовлення друкованої плати та проектування.....	48
4.1 Проектування друкованої плати у програмному середовищі DipTrace. 48	
4.2 Технологія виготовлення друкованої плати.....	50
4.3 Технологія поверхневого монтажу SMD компонентів .....	56
5 Техніко-економічне обґрунтування.....	67

	5
5.1 Суми витрат по статтям кошторису.....	67
5.2 Розрахунок терміну окупності розробки.....	73
6 Техніка безпеки на підприємстві.....	76
6.1 Заходи безпеки на робочому місці та в електроустановках.....	76
6.2 Охорона праці.....	85
6.3 Електробезпека.....	91
6.4 Протипожежні заходи.....	92
6.5 Заземлення і занулення.....	92
6.6 Розрахунок заземлення.....	93
6.7 Рекомендації з монтажу заземлення.....	95
Висновки.....	957
Перелік посилань.....	98
Додаток А.....	100
Додаток Б.....	101
Додаток В.....	103

## ВСТУП

Одним з найважливіших напрямків розвитку науково-технічного прогресу в даний час є розвиток електроніки. Досягнення електроніки впливають на розвиток суспільства.

Сучасна електроніка характеризується складністю і різноманітним вирішуваним завданням, високою швидкістю і надійністю.

Електронні пристрої застосовуються в багатьох галузях промисловості, транспорту, зв'язку, а також в побуті. Найбільш часто вживаними електронними пристроями є такі, як автоматичне технологічне обладнання, радіо- і TV апаратура, персональний комп'ютер, мікропроцесори, підсилювачі сигналів, лічильники, інтегральні мікросхеми і т.д.

Для живлення більшості радіотехнічних та електронних пристроїв потрібно випрямлена напруга з заданими параметрами. Для того, щоб отримати необхідну напругу на навантаженні, його спочатку треба перетворити за допомогою трансформатора. Далі перетворене напруга необхідно випрямити за допомогою випрямляча зібраного на вентилях. Для випрямлячів, призначених для живлення різних радіотехнічних та електронних пристроїв, допустимий коефіцієнт пульсації напруги на навантаженні не повинен перевищувати певну величину. Наявність пульсацій випрямленої напруги погіршує роботу споживачів, що живляться випрямленою напругою, тому в більшості випадків випрямлячі містять згладжують фільтри.

У даному дипломному проекті буде досліджено і проаналізовано ринок радіоелектронних компонентів та підбір оптимального і сучасного схематичного рішення для реалізації і подальшої інтеграції малопотужного блоку живлення для кранового анемометру з діапазоном вхідних напруг від 220 В до 380 В та вихідної напруги 12 В, з потужністю приблизно у 7 Вт.



# 1 ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ

## 1.1 Введення

Невід'ємною частиною практично кожного пристрою є блок живлення. Він важливий так само, як і інші частини пристрою. При цьому покупка блоку живлення здійснюється досить рідко, тому що гарний БЖ може забезпечити живленням кілька поколінь систем. Враховуючи все це, до придбання блоку живлення необхідно віднестися дуже серйозно.

Основне призначення блоку живлення - формування напруги живлення, яка необхідна для функціонування всіх блоків пристроїв. Основна напруга живлення компонентів це: +12В, +5В, +3,3В. Існує також додаткова напруга: -12В та -5В. Ще блок живлення здійснює гальванічну розв'язку між мережею 220В та компонентами пристроїв. Це необхідно для усунення струмів витоків, наприклад щоб корпус пристрою не бився струмом, а також перешкоджає виникненню паразитних струмів при сполученні пристроїв.

Для здійснення гальванічної розв'язки достатньо виготовити трансформатор з необхідними обмотками. Але для живлення багатьох пристроїв потрібна чимала потужність. Для живлення довелося б виготовляти трансформатор, що мав би не тільки великий розмір, але і був би досить важким. Однак зі збільшенням частоти струму трансформатора для створення того ж магнітного потоку необхідно менше витків і менше перетин магнітопроводу. У блоках живленнях, побудованих на основі перетворювача, частота живлячої напруги трансформатора в 1000 і більше раз вище. Це дозволяє створювати компактні та легкі блоки живлення [1].

## 1.2 Найпростіший імпульсний БЖ

Розглянемо блок-схему простого імпульсного блоку живлення, що лежить в основі всіх імпульсних блоків живлення рисунок 1.1.

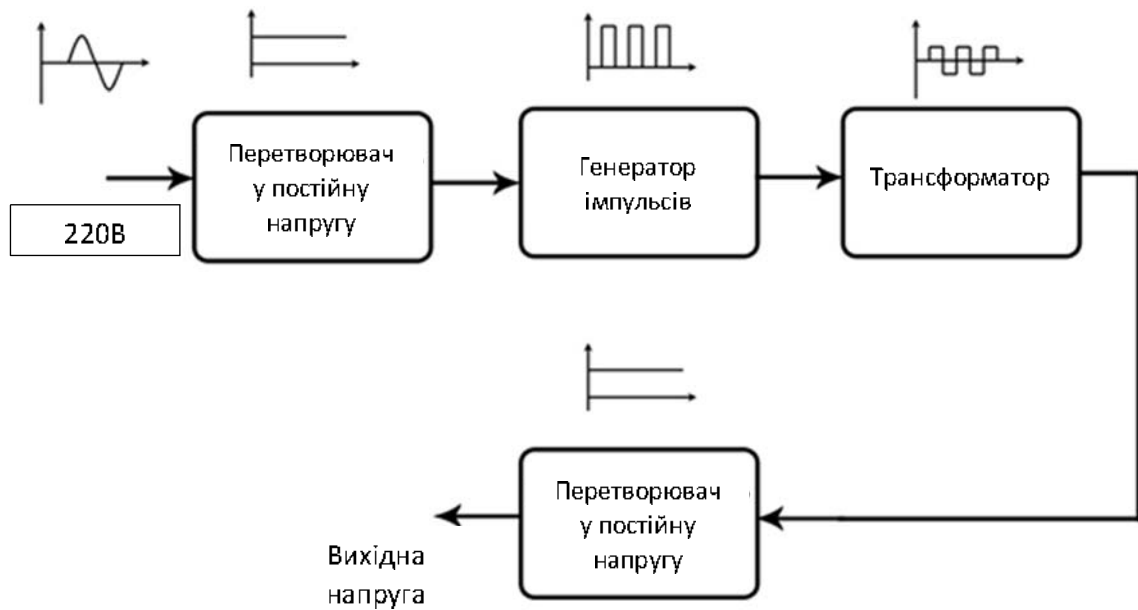


Рисунок 1.1 – Структурна схема найпростішого імпульсного блоку живлення

Перший блок здійснює перетворення змінної напруги мережі в постійну. Такий перетворювач складається з діодного мосту, що випрямляє змінну напругу, і конденсатора, що згладжує пульсації випрямленої напруги. У цьому боці також знаходяться додаткові елементи: фільтри мережної напруги від пульсацій генератора імпульсів і термістори для згладжування стрибка струму в момент включення. Однак цих елементів може не бути з метою заощадження на собівартості.

Наступний блок - генератор імпульсів, який генерує з певною частотою імпульси, що живлять первинну обмотку трансформатора. Частота генерації імпульсів різних блоків живлення різна та знаходиться в межах 30 - 200 кГц. Трансформатор здійснює головні функції блоку живлення: гальванічну розв'язку з мережею і зниження напруги до необхідних значень.

Змінну напругу, отриману від трансформатора, наступний блок перетворює у постійну напругу. Блок складається з діодів, що випрямляють напругу, та фільтра пульсацій. У цьому блоці фільтр пульсацій набагато складніше, ніж у першому блоці та складається з групи конденсаторів і дроселя. З метою заощадження виробники можуть встановлювати конденсатори малої ємності, а також дроселі з малою індуктивністю.

Перший імпульсний блок живлення являв собою двотактний або однотоктний перетворювач. Двотактний означає, що процес генерації складається з двох частин. У такому перетворювачі по черзі відкриваються та закриваються два транзистори. Відповідно в однотоктному перетворювачі один транзистор відкривається і закривається. Схеми двотактного та однотоктного перетворювачів представлені нижче на рисунку 1.2.

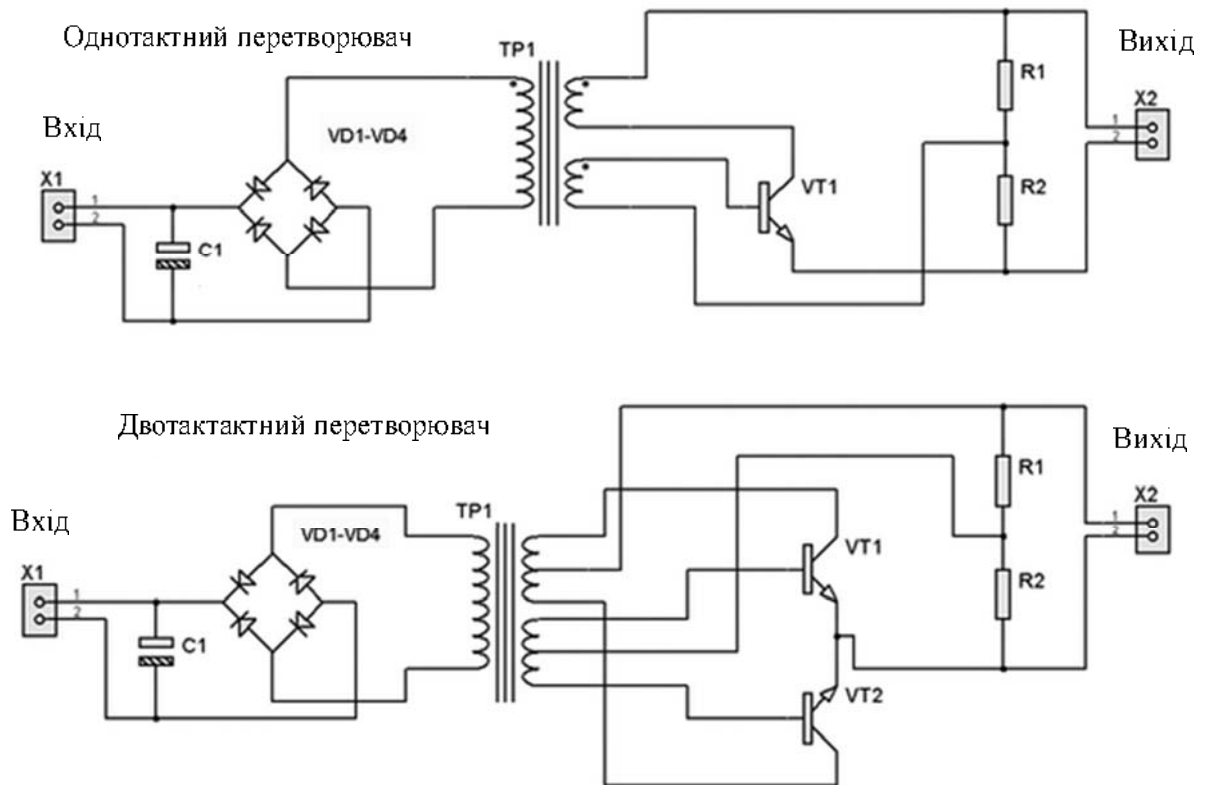


Рисунок 1.2 – Принципові схеми двотактного та однотоктного перетворювачів

Розглянемо елементи схеми докладніше:

- X2 - роз'єм джерело живлення схеми.
- X1 - роз'єм з якого знімається вихідна напруга.
- R1 - опір, що задає початковий невеликий зсув на витках. Він необхідний для більш стабільного запуску процесу коливань у перетворювачі.
- R2 - опір, що обмежує струм бази на транзисторах, це необхідно для захисту транзисторів від згоряння.

– ТР1 - Трансформатор має три групи обмоток. Перша вихідна обмотка формує вихідну напругу. Друга обмотка слугує навантаженням для транзисторів. Третя формує керуючу напругу для транзисторів.

У початковий момент включення першої схеми транзистор трохи відкритий, тому що до бази через резистор R1 прикладена позитивна напруга. Через відкритий транзистор протікає струм, що також протікає і через II обмотку трансформатора. Струм, що протікає через обмотку, створює магнітне поле. Магнітне поле створює напругу в інших обмотках трансформатора. В наслідок на обмотці III створюється позитивна напруга, що ще більше відкриває транзистор. Процес відбувається доти, доки транзистор не потрапить у режим насичення. Режим насичення характеризується тим, що при збільшенні прикладеного керуючого струму до транзистора вихідний струм залишається незмінним.

Оскільки напруга в обмотках генерується тільки у випадку зміни магнітного поля, його зростання або падіння, то відсутність збільшення струму на виході транзистора, отже, обумовить зникнення ЕДС в обмотках II і III. Зникнення напруги в обмотці III призведе до зменшення ступеня відкриття транзистора. І вихідний струм транзистора зменшиться, отже, і магнітне поле буде зменшуватися. Зменшення магнітного поля обумовить створення напруги протилежної полярності. Негативна напруга в обмотці III почне ще більше закривати транзистор. Процес буде тривати доти, доки магнітне поле повністю не зникне. Коли магнітне поле зникне, негативна напруга в обмотці III теж зникне. Процес знову почне повторюватися.

Двотактний перетворювач працює по такому ж принципі, але відмінність в тому, що транзисторів два, і вони по черзі відкриваються та закриваються. Тобто коли один відкритий - інший закритий. Схема двотактного перетворювача має більшу перевагу, тому що використовує всю петлю гістерезису магнітного провідника трансформатора. Використання тільки однієї ділянки петлі гістерезису або намагнічування тільки в одному напрямку приводить до виникнення багатьох небажаних ефектів, які

знижують ККД перетворювача та погіршують його характеристики. Тому в основному скрізь застосовується двотактна схема перетворювача з фазозмінюючим трансформатором. В схемах, де потрібна простота, малі габарити, і мала потужність все-таки використовується однотактна схема [2].

### 1.3 ШІМ-контролер та принцип роботи

Раніше для живлення пристроїв використовували схему із знижуючим трансформатором, діодним мостом, фільтром для згладжування пульсацій. Для стабілізації використовувалися лінійні схеми на параметричних або інтегральних стабілізаторах. Головним недоліком був низький ККД і велика вага і габарити потужних блоків живлення.

У всіх сучасних побутових електроприладах використовуються імпульсні блоки живлення (ІБП, ШІП). У більшості таких блоків живлення в якості основного керуючого елемента використовують ШІМ-контролер.

ШІМ-контролер - це пристрій, який містить в собі ряд схемотехнічних рішень для управління силовими ключами. При цьому управління відбувається на підставі інформації отриманої по колу зворотнього зв'язку по струму або напрузі - це потрібно для стабілізації вихідних параметрів.

Іноді, ШІМ-контролерами називаються генератори ШІМ-імпульсів, але в них немає можливості підключити ланцюга зворотного зв'язку, і вони підходять скоріше для регуляторів напруги, ніж для забезпечення стабільного живлення приладів. Однак в літературі та інтернет-порталах часто можна зустріти назви типу «ШІМ-контролер, на NE555» або «... на Ардуіно» - це не зовсім вірно з вищезгаданих причин, вони можуть використовуватися тільки для регулювання вихідних параметрів, але не для їх стабілізації.

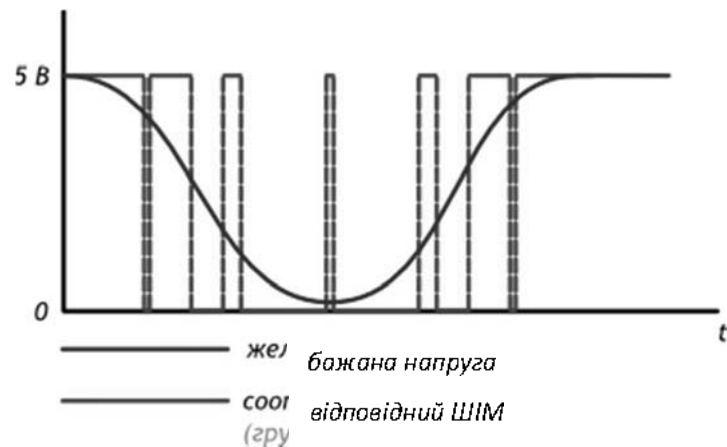


Рисунок 1.3 – Графік роботи ШІМ

Абревіатура «ШІМ» розшифровується, як широтна-імпульсна модуляція - це один з методів модуляції сигналу не за рахунок величини вихідної напруги, а саме за рахунок зміни ширини імпульсів. В результаті формується модельований сигнал за рахунок інтегрування імпульсів за допомогою С- або LC-ланцюгів, іншими словами - за рахунок згладжування [3].

### 1.3.1 Основні характеристики

Для ШІМ-сигналу можна виділити дві основні характеристики:

1. Частота імпульсів - від цього залежить робоча частота перетворювача. Типовими є частоти вище 20 кГц, фактично 40-100 кГц.

2. Коефіцієнт заповнення і скважність. Це дві суміжних величини характеризують одне й те саме. Коефіцієнт заповнення може позначатися літерою S, а скважність D.

$$S=1/T,$$

де T - це період сигналу,

$$T = 1 / f$$

$$D = T / 1 = 1 / S$$

Коефіцієнт заповнення - частина часу від періоду, коли на виході контролера формується керуючий сигнал, завжди менше 1. Скважність завжди більше 1. При частоті 100 кГц період сигналу дорівнює 10 мкс, а ключ



відкритий протягом 2.5 мкс, то коефіцієнт заповнення - 0.25, в відсотках - 25%, а скважність дорівнює 4.

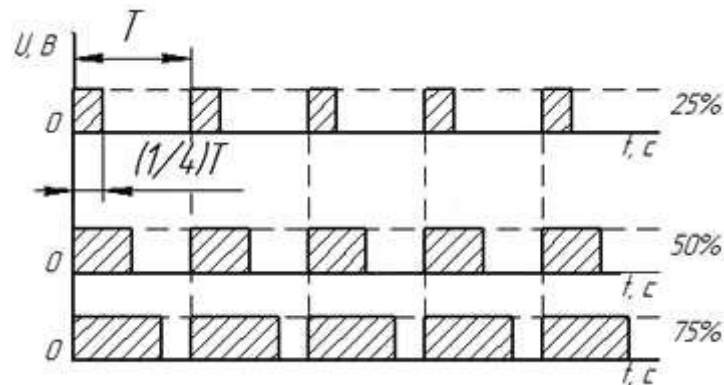


Рисунок 1.4 – Графік з різним коефіцієнтом заповнення

Також важливо враховувати внутрішню конструкцію і призначення за кількістю керованих ключів.

Відмінності від лінійних схем

Як вже було сказано, перевагою перед лінійними схемами у імпульсних джерел живлення є високий ККД (більше 80, а в даний час і 90%). Це пов'язано з наступним:

Припустимо згладжена напруга після діодного моста 15В, струм навантаження 1А. Вам потрібно отримати стабілізоване живлення напругою 12В. Фактично лінійний стабілізатор представляє собою опір, яке змінює свою величину залежно від величини вхідної напруги для отримання номінального вихідного - з невеликими відхиленнями (частки вольт) при змінах вхідного (одиниці і десятки вольт).

На резисторах, як відомо, при протіканні через них електричного струму виділяється теплова енергія. На лінійних стабілізаторах відбувається такий же процес. Виділена потужність буде дорівнює:

$$P_{\text{втрат}} = (U_{\text{вх}} - U_{\text{вих}}) \cdot I$$

Так як в розглянутому прикладі струм навантаження 1А, вхідна напруга 15В, а вихідний - 12В, то розрахуємо втрати і ККД лінійного стабілізатора (стабілізаторі типу L7812):

$$P_{\text{втрат}} = (15\text{В} - 12\text{В}) * 1\text{А} = 3\text{В} * 1\text{А} = 3\text{Вт}$$

Тоді ККД дорівнює:

$$\eta = P_{\text{корис}} / P_{\text{п}}$$

$$\eta = ((12\text{В} * 1\text{А}) / (15\text{В} * 1\text{А})) * 100\% = (12\text{Вт} / 15\text{Вт}) * 100\% = 80\%$$

Якщо ж вхідна напруга виросте до 20В, наприклад, то ККД знизиться:

$$\eta = 12 / 20 * 100 = 60\%$$

І так далі.

Основною особливістю ШІМ є те, що силовий елемент, нехай це буде MOSFET, або відкритий повністю, або повністю закритий і струм через нього не протікає. Тому втрати ККД обумовлені тільки втратами провідності

$$(P = I^2 * R_{\text{dson}})$$

Також втрати блоку живлення виникають в випрямних діодах (вхідних і вихідних, якщо блок живлення мережевий), а також на провідниках, пасивних елементах фільтра та інше.

Загальна структура

Розглянемо загальну структуру абстрактного ШІМ-контролера. Я вжив слово "абстрактного" тому що, в загальному, всі вони схожі, але їх функціонал все ж може відрізнятися в певних межах, відповідно буде відрізнятися структура і висновки.

Усередині ШІМ-контролера, як і в будь-якій іншій ІМС знаходиться напівпровідниковий кристал, на якому розташована складна схема. До складу контролера входять наступні функціональні вузли:

1. Генератор імпульсів.
2. Джерело опорної напруги. (ДОН)
3. Ланцюги для обробки сигналу зворотного зв'язку (ОС): підсилювач, компаратор.

4. Генератор імпульсів керує вбудованими транзисторами, які призначені для управління силовим ключем або ключами.

Кількість силових ключів, якими може керувати ШІМ-контролер, залежить від його призначення. Найпростіші зворотньооходові перетворювачі в своїй схемі містять 1 силовий ключ, напівмостової схеми (push-pull) - 2 ключа(рис.1.5), мостові - 4.

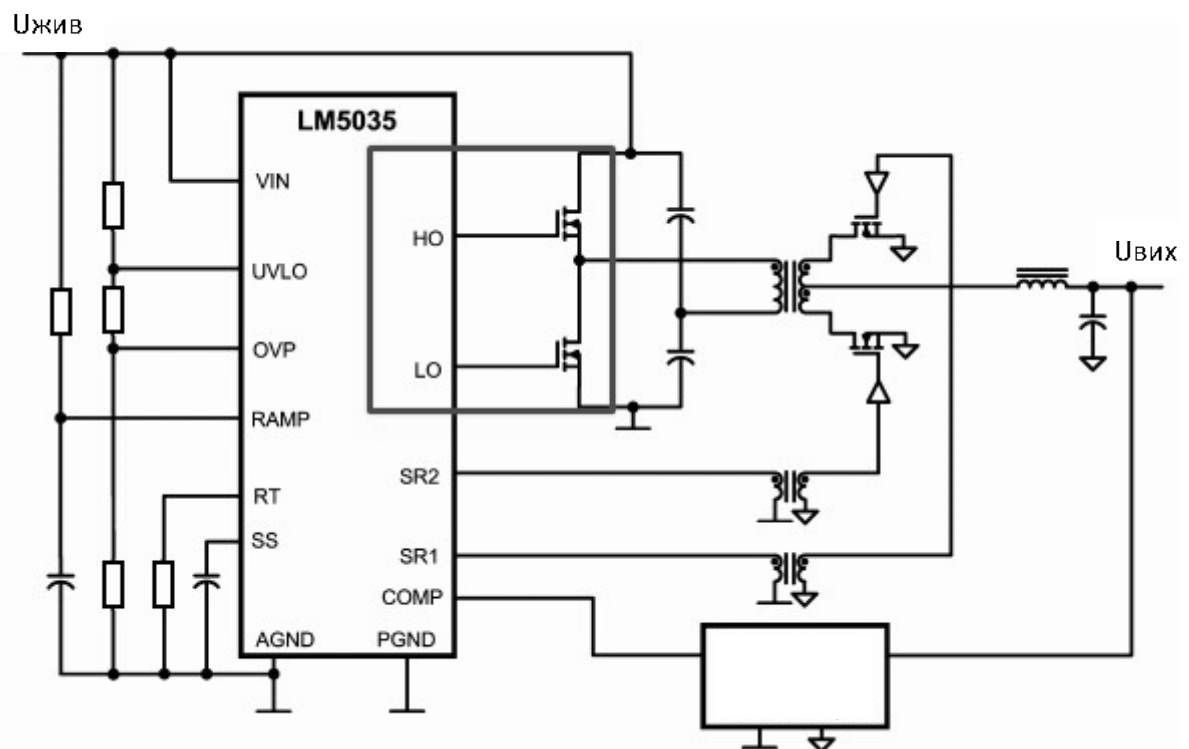


Рисунок 1.5 – Схема напівмостового перетворювача

Від типу ключа також залежить вибір ШІМ-контролера. Для управління біполярним транзистором основною вимогою є, щоб вихідний струм управління ШІМ-контролера був не нижче, ніж струм транзистора поділений на 2, щоб його ввімкнути або вимкнути досить просто подавати імпульси на базу. У цьому випадку підійде більшість контролерів.

## 1.4 Блоки живлення форм-фактору АТХ без корекції коефіцієнта потужності

Частота перетворювача, вихідна напруга і багато інших параметрів «плавають», змінюються залежно від зміни: напруги живлення, навантаженості виходу перетворювача і температури. Але якщо контролером скеровувати витoki, який би міг здійснювати стабілізацію та різні додаткові функції, то можна використати схему для живлення пристроїв. Схема блоку живлення із застосуванням ШІМ-контролера досить проста, і, взагалі, є генератор імпульсів, побудований на ШІМ-контролері.

Раніше для живлення пристроїв використовували схему із понижуючим трансформатором, доданими мостом, фільтром для згладжування пульсацій. Для стабілізації використовувалися лінійні схеми на параметричних або інтегральних стабілізаторах. Головним недоліком був низький ККД і велику вагу і габарити потужних блоків живлення.

ШІМ - широто-імпульсна модуляція. Вона дозволяє регулювати амплітуду сигналу минувшого ФНЧ (фільтр низьких частот) зі зміною тривалості або шпаруватості імпульсу. Головні переваги ШІМ це високе значення ККД підсилювачів потужності і великі можливості у застосуванні.

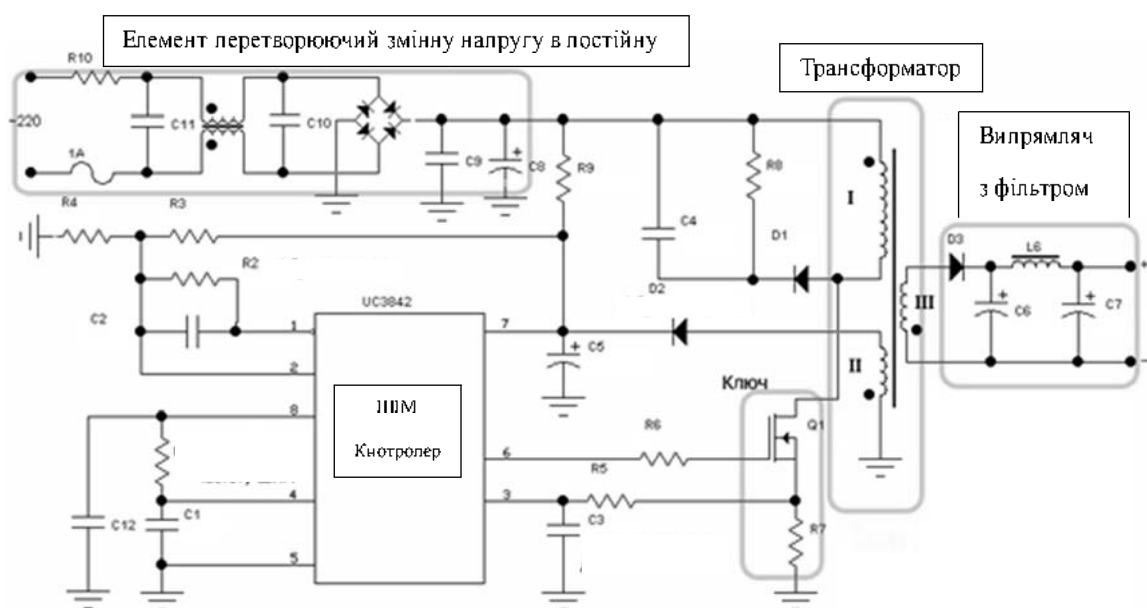


Рисунок 1.6 - Схема простого блоку живлення з ШІМ контролером

Дана схема блоку живлення має невелику потужність і у якості ключа використовує польовий транзистор, що дозволяє спростити схему та позбутися від додаткових елементів, необхідних для керування транзисторних ключів. У блоках живлення великої потужності ШІМ-контролер має елементи керування («Драйвер») вихідним ключем. У якості вихідних ключів в блоках живлення великої потужності використовуються IGBT-транзистори [4].

Сіткова напруга в даній схемі перетвориться в постійну напругу і через ключ надходить на першу обмотку трансформатора. Друга обмотка слугує для живлення мікросхеми та формування напруги зворотного зв'язку. ШІМ-контролер генерує імпульси з частотою, що задана RC-ланцюгом підключеним до ніжки 4. Імпульси подаються на вхід ключа, що їх підсилює. Тривалість імпульсів змінюється залежно від напруги на ніжці 2.

### 1.5 Вимоги до однофазного джерела живлення

При виборі топології перетворювача живлення для однофазної мережі доводиться враховувати наступні фактори:

- відносно широкий діапазон вхідних напруг;
- вихідну потужність  $<10$  Вт;
- низьку вартість;
- малі габарити.

Найбільш оптимальною виявляється однотактна схема перетворювача, для якої потрібно всього один високовольтний ключ, і найчастіше застосовується зворотньоходова топологія (flyback), що дозволяє скоротити номенклатуру моткових виробів [5].

Узагальнена схема джерела живлення для однофазної мережі представлена на рисунку 1.7.

Фазна напруга і нейтраль через ЕМП-фільтр надходять на діодний міст, на виході якого формується постійна напруга, згладжені конденсатором.

Схема управління (СУ), яка може містити в собі генератор частоти перетворення, драйвер силового транзистора, схему обмеження струму силового транзистора, підсилювач сигналу помилки, ШІМ-модулятор і так далі, формує імпульси на затворі ключа, і енергія, за допомогою трансформатора, передається у вторинні кола. Схема зворотного зв'язку (ОЗ) виробляє сигнал неузгодженості, який через гальванічно розв'язаний пристрій (в даному випадку - через оптопару) передається на СУ.

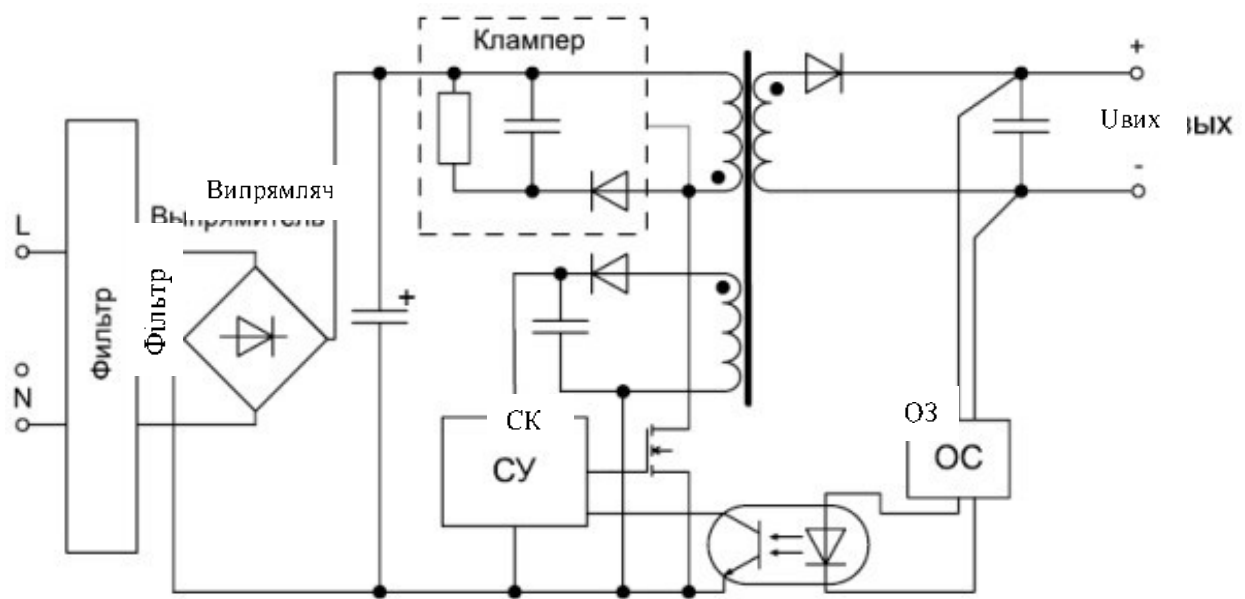


Рисунок 1.7 - Узагальнена схема джерела живлення

Перетворювач побудований за зворотньоходовою схемою, тобто енергія у вторинну обмотку передається, коли транзистор знаходиться в закритому стані, а коли транзистор відкритий - відбувається намагнічування сердечника, і, відповідно, накопичення енергії.

У момент передачі енергії з намагніченого сердечника у вторинну обмотку на комутуючих елементі виникає напруга, пропорційне вихідній напрузі і коефіцієнту трансформації - так звана «відбита» напруга. Крім «відбитої» напруги, на стоці транзистора виникає викид напруги від



індуктивності розсіювання первинної обмотки, обмежити його по амплітуді до безпечного для транзистора значення - завдання кламперной схеми.

До схеми однофазного джерела живлення пред'являється ряд вимог:

– Діапазон вхідних напруг. Оскільки перетворювач працює від постійної напруги, яке виділяється на згладжуючому конденсаторі та діодному мості, необхідно визначити межі, в яких ця напруга може змінюватися [6].

За основу візьмемо однофазну мережу, напруга в якій становить 220 В. В розрахунках потрібно враховувати граничний випадок, коли від згладжує конденсатора струм не відбирається, і він заряджається до амплітудного значення напруги фази.

Для надійної роботи пристрою прийнято вибирати верхнє значення напруги вище, ніж стандартне відхилення в 10%: лічильник електроенергії може використовуватися в мережах з далеко не ідеальними характеристиками.

Виберемо верхнє значення напруги мережі 265 В.

Нескладний розрахунок показує, що постійна напруга на конденсаторі становитиме 373 В.

Мінімальна напруга функціонування пристрою визначається технічним завданням, проте лічильник, особливо якщо він має додаткові функції на кшталт оцінки якості електроенергії, повинен залишатися «в строю» навіть при дуже значних провалах живлення.

Часто нижню межу вхідного діапазону таких пристроїв встановлюють на рівні 80 В AC. Відповідно, випрямлена напруга на вході перетворювача складе 100 В.

В результаті перетворювач напруги повинен забезпечувати гарантоване живлення навантаження в діапазоні 100 ... 373 В DC.

## 1.6 Вимоги до трифазного джерела живлення

Основні вимоги до трифазних джерел живлення схожі на вимоги до джерел однофазним, але є і деякі ключові відмінності. В першу чергу це стосується діапазону вхідних напруг, який виходить значно ширшим, ніж у випадку з однофазним живленням.

Ширина діапазону вхідних напруг обумовлена, з одного боку, досить високою фазною напругою трифазної мережі. В Україні і країнах Європи номінальна фазна напруга становить 0,4 кВ, відповідно, з урахуванням двадцятивідсоткового запасу, випрямлена напруга на згладжуючому конденсаторі може досягати 680 В. З іншого боку, джерело повинно забезпечувати живлення в разі зникнення нейтралі або двох з трьох фаз, а також під час істотних провалів напруги [7]. Типова нижня межа діапазону вхідних напруг для ІІІ даного класу може опускатися до 100 В.

Узагальнена схема джерела живлення трифазного лічильника наведена на рисунку 1.5

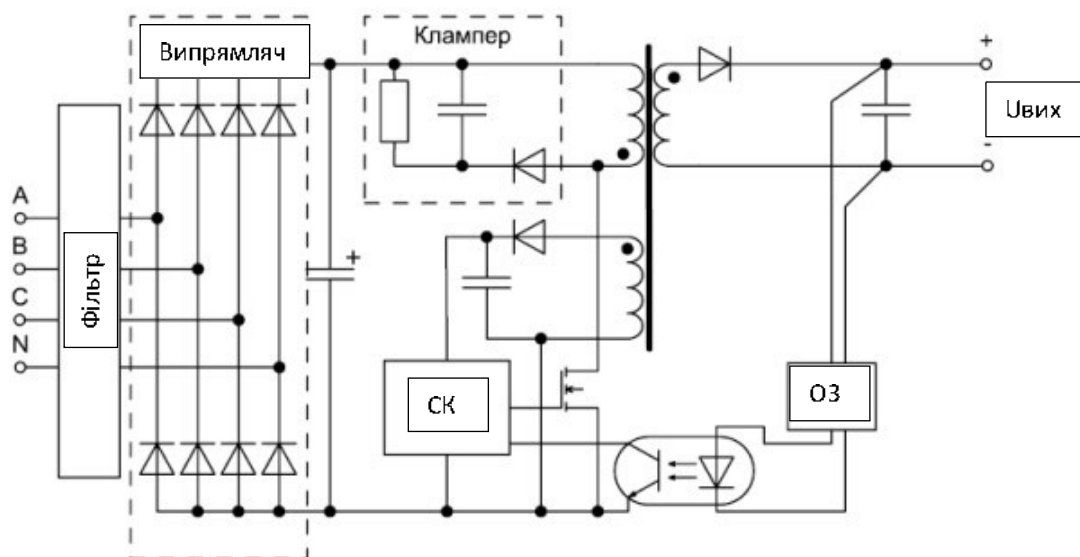


Рисунок 1.8 - Узагальнена схема джерела живлення

Як видно зі схеми, структура джерела практично не змінилася, за винятком вхідних ланцюгів, які тепер містять трифазний діодний міст.

Перерахуємо вимоги до трифазного джерела живлення:

Діапазон вхідних напруг.

За основу візьмемо трифазну мережу, фазна напруга в якій становить 380 В, лінійне (між будь-яким з фаз і нейтраллю) - 220 В.

Постійна напруга на конденсаторі становитиме 537 В, а з урахуванням відхилення 20% в плюс - 645 В.

При пропажі двох фаз або при живленні від однофазного джерела 220 В на конденсаторі виділиться випрямлена напруга 311 В.

Нижню межу вхідного діапазону таких пристроїв також приймемо на рівні 80 В АС, відповідно, випрямлена напруга на вході перетворювача складе 100 В.

В результаті перетворювач напруги в складі трифазного лічильника електроенергії повинен забезпечувати гарантоване живлення навантаження в діапазоні 100 ... 645 В постійного струму [7].

Виходячи з розглянутих прикладів побудови блоків живлення метою дипломного проекту становить дослідження існуючих перетворювачів напруги та розробка оптимального, а також актуального на теперішній час блоку живлення для терміналу анемометра виходячи з вимог які існують на підприємствах.

## 2 ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПОРІВНЯННЯ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ НА БАЗІ ШІМ КОНТРОЛЕРІВ

### 2.1 Блок живлення на мікросхемі 2001 року TNY255

TinySwitch - це сімейство мікросхем для малопотужних джерел живлення.

Назва виводів мікросхем TinySwitch показано на рисунку 2.1

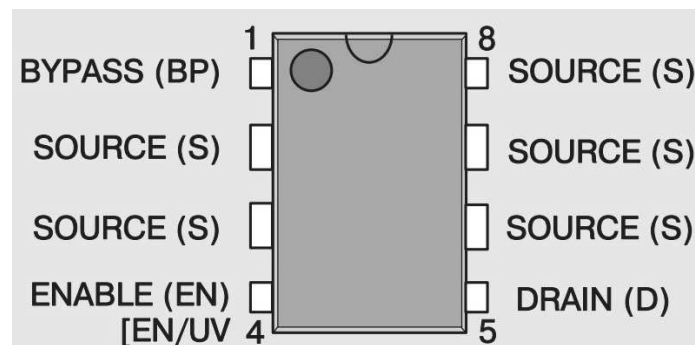


Рисунок 2.1 – Назва виводів мікросхеми TNY255

В таблиці 2.1 указано призначення виводів мікросхеми TNY255.

Таблиця 2.1 – Призначення виводів мікросхеми

Назва	Призначення
D (DRAIN)	Стік МДП транзистора вихідного ключа, через цей вивід здійснюється також запуск мікросхеми при включенні і живленні її в сталому режимі;
S (SOURCE)	Витік МДП транзистора вихідного ключа;
BP (BYPASS)	Вивід підключення зовнішнього розв'язуючого конденсатора для внутрішнього джерела живлення 5.8 В (вивід не призначений для підключення зовнішнього навантаження);
EN (ENABLE)	Вхід дозволу, низький рівень напруги на якому блокує роботу перетворювача ШІМ, за рахунок чого відбувається управління мікросхемою.

В таблиці 2.2 указані основні характеристики мікросхеми TNY255

Таблиця 2.2 – Основні характеристики мікросхеми TNY255

Напруга мережі змінного струму	220±20% В
Частота напруги живлення	40... 400 Гц
Споживана потужність при відсутності навантаження	Не більше 0,31 Вт
Частота перетворення	115... 140 кГц
Номінальна вихідна напруга	9 В
Максимальна вихідна потужність	10 Вт
Максимальний ККД	75 %
Питома потужність	300 Вт/дм <sup>3</sup>
Маса (без корпусу)	Не більше 28 г

Схема імпульсного джерела живлення показана на рисунку 2.2

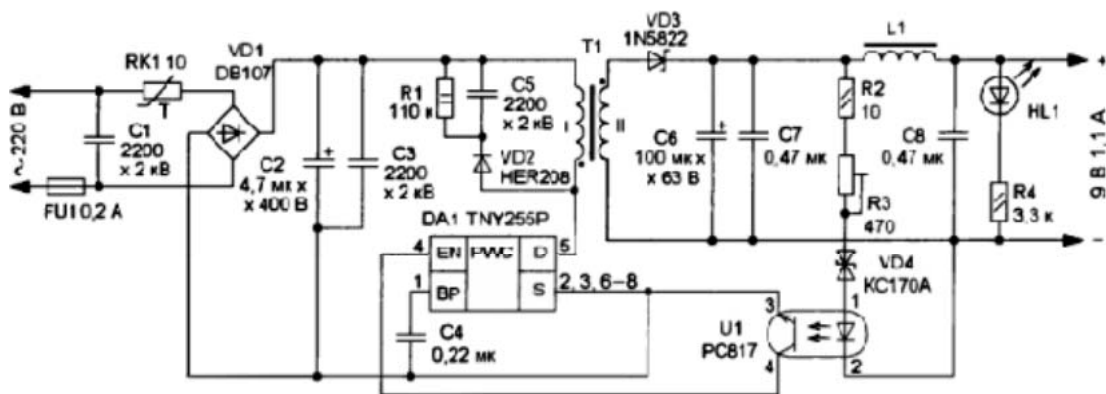


Рисунок 2.2 – Схема імпульсного джерела живлення на TNY255

Запобіжник FU1 захищає елементи від аварійних ситуацій. Терморезистор RK1 обмежує імпульс зарядного струму конденсатора C2 до безпечного для діодного моста VD1 значення, а разом з конденсатором C1 утворює RC-фільтр, службовець для зменшення імпульсних перешкод, що проникають з імпульсного джерела живлення в мережу. Діодний міст VD1 випрямляє мережеву напругу, конденсатор C2 - згладжує. Викиди напруги

первинної обмотки трансформатора T1 зменшує демпфуюче коло R1, C5, VD2. Конденсатор C4 є фільтром живлення, від якого живляться внутрішні елементи мікросхеми DA1, його номінальна ємність може бути в межах 0,1 ... 4,7 мкФ.

Вихідний випрямляч зібраний на діоді Шотки VD3, пульсації вихідної напруги згладжує LC-фільтр C6, C7, L1, C8. Елементи R2, R3, VD4 і U1 забезпечують спільно з мікросхемою DA1 стабілізацію вихідної напруги при зміні струму навантаження і напруги. Ланцюг індикації включення виконана на світлодіоді HL1 і струмообмежуючому резисторі R4 [10].

## 2.2 Джерело живлення на мікросхемах Altair

ALTAIR04-900 - це мікросхема високовольтного імпульсного джерела живлення, в корпусі якої містяться низьковольтний ШІМ-контролер і 900-вольтні лавиностійкі силові транзистори.

ШІМ-контролер спеціально розроблений для обратноходових перетворювачів, що працюють в квазірезонансному режимі.

Одна з ключових особливостей цієї мікросхеми полягає в тому, що стабілізована напруга на вторинній обмотці забезпечується за рахунок інформації, яку контролер отримує з первинної сторони, що дозволяє виключити зі схеми оптопару, джерело опорної напруги на вторинній стороні і датчик струму. Точність підтримки вихідної напруги в діапазоні навантажень і вхідної напруги при цьому зберігається. Також існує можливість встановити максимальний струм навантаження, що підвищує безпеку виробу та його надійність в разі перевантажень або аварійних станів.

Максимальна частота перетворення обмежена на рівні 166 кГц. При середніх і малих навантаженнях схема знижує частоту, щоб забезпечувати перемикання силового транзистора в момент спаду напруги на його стоці, тим самим підтримуючи перетворювач в квазірезонансному режимі.



При дуже малих навантаженнях контролер переходить в режим імпульсних пачок, що поряд з вбудованою високовольтною стартовою схемою і малим робочим струмом контролера дозволяє мінімізувати споживану від мережі потужність в режимі очікування.

Наявність 900-вольтного транзистора дозволяє використовувати дане джерело живлення і в однофазних, і в трифазних мережах, оскільки «відбита» напруга в даному випадку становить 100 В. Відповідно, навіть при нарузі на вході 450 В змінного струму пікова напруга на стоці становить 775 В. запас в 125 в достатній для надійного функціонування перетворювача.

Фільтр забезпечення EMC побудований аналогічно фільтру джерела живлення на базі VIPer17, а електrolітичні конденсатори C2 і C3 включені послідовно, резистори R20 і R21 компенсують нерівномірність їх струмів витоку [5].

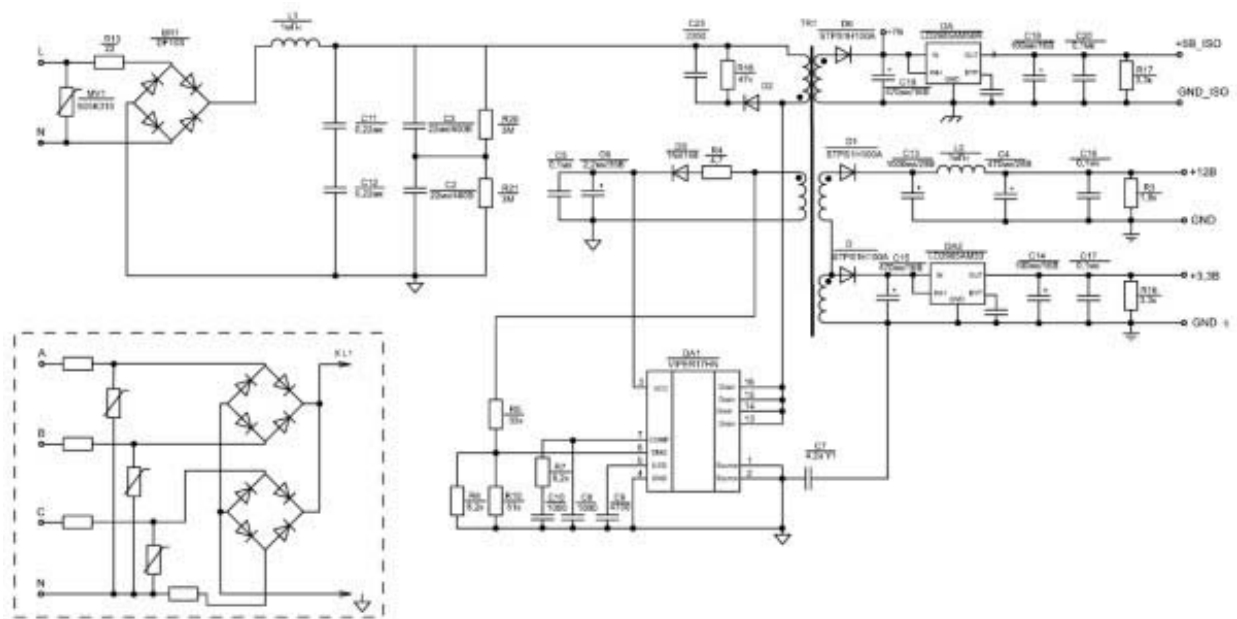


Рисунок 2.3 – Джерело живлення на основі мікросхеми ALTAIR04-900 для однофазної та трифазної мережі

Ланцюг клампера D2, R18, C23 забезпечує обмеження викиду від індуктивності розсіювання первинної обмотки, тим самим підтримуючи безпечні умови роботи силового транзистора.

Зворотній зв'язок по напрузі здійснюється за допомогою допоміжної обмотки, через неї ж ШІМ-контролер отримує інформацію про початок процесу розмагнічування сердечника трансформатора і видає команду на старт нового імпульсу, тим самим реалізуючи квазірезонансний алгоритм.

Традиційна для джерел живлення такого класу оптопара, джерело опорної напруги на вторинній стороні і датчик струму - це підвищує вимоги до конструкції трансформатора, оскільки від коефіцієнта зв'язку між допоміжної і вторинними обмотками залежить якість регулювання і точність установки вихідної напруги. Щоб уникнути ризику пошкодження навантаження, в критичні кола (5 і 3,3 В) додатково включені LDO-стабілізатори [6].

Трансформатор в даному прикладі виконаний за класичною технологією з використанням феритових компонентів. Якщо перед розробником ставиться завдання побудувати джерело живлення з квазірезонансного перетворювачем і функціями анти-тамперінга, то буде потрібно застосування магнітних компонентів з більш високою індукцією насичення.

### 2.3 Переваги мікросхеми ALTAIR04-900

- Безконтактні операції з постійною напругою на первинній обмотці
- Регульований і незалежний від мережі максимальний вихідний струм для безпечної роботи в умовах перевантаження / короткого замикання
- Лавинна внутрішня силова частина 900 В
- Квазірезонансне перемикування ліній
- Низьке споживання в режимі очікування
- Захист від перевантаження по струму від насичення трансформатора і короткого замикання вторинного діода
- Допоміжні джерела живлення для 3-фазного входу промислової системи

– АС-DC адаптери [7]

## 2.4 Розгляд мікросхеми з ALTAIR04-900

На рисунку 2.4 представлена назва виводів

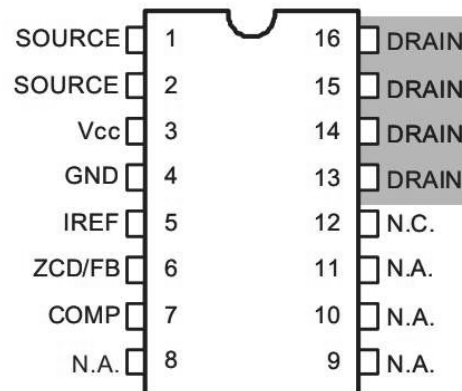


Рисунок 2.4 - Розпіновка виводів ALTAIR40-900

В таблиці 2.3 вказані функції всіх виводів мікросхеми

Таблиця 2.3 - Опис функцій мікросхеми ALTAIR04-900

№	Найменування	Функція
1,2	SOURCE	Джерело живлення і вхід для ШІМ. Струм, що протікає через польовий МОП-транзистор, вимірюється резистором, підключеним між контактом і заземленням. Результуюча напруга порівнюється з внутрішнім еталоном (не більше 0,75 В), щоб визначити відключення MOSFET.

№	Найменування	Функція
3	Vcc	<p>Напруга живлення пристрою. Електролітичний конденсатор, підключений між цим контактом і землею, спочатку заряджається внутрішнім пусковим генератором високої напруги; коли пристрій працює, той же генератор тримає його зарядженим, якщо напруга, що подається допоміжною обмоткою, недостатньо. Ця функція відключена, якщо захист спрацював. Іноді малий конденсатор (тип 0,1 мкФ) до GND може бути корисний для отримання чистої напруги зсуву для сигнальної частини ІС.</p>
4	GND	Заземлення
5	IREF	<p>СС регулювання опорного контуру напруги. Зовнішній конденсатор повинен бути підключений між цим контактом і заземленням. Внутрішня ланцюг виробляє напругу на цьому конденсаторі, що використовується як еталон для пікового струму стоку МОП-транзистора під час регулювання СС. Напруга автоматично регулюється для підтримки постійного середнього вихідного струму.</p>
6	ZCD/FB	<p>Датчик розмагнічування трансформатора для квазірезонансної роботи. Моніторинг вхідної / вихідної напруги. Негативний фронт запускає MOSFET. Струм, одержуваний від контакту протягом часу включення,</p>

№	Найменування	Функція
7	COMP	Вихід підсилювача з внутрішньої похибкою перетворення. Компенсаційну мережу розміщують між цим виводом і заземленням для досягнення стабільності і хороших динамічних характеристик кола управління напругою.
8-11	N.A.	Недоступний. Ці контакти повинні бути не підключені.
12	N.C.	Внутрішньо не пов'язане
13-16	DRAIN	Витік. Внутрішній пусковий генератор високої напруги також споживає струм з цих контактів. Виводи з'єднані з внутрішньою металевою рамою для полегшення відводу тепла [8].

На рисунку 2.5 зображена таблиця з абсолютними максимальними значеннями мікросхеми ALTAIR40-900

Symbol	Pin	Parameter	Value	Unit
$V_{DS}$	1,2, 13-16	Drain-to-source (ground) voltage	-1 to 900	V
$I_D$	1,2, 13-16	Drain current	0.7	A
$E_{av}$	1,2, 13-16	Single pulse avalanche energy ( $T_j = 25\text{ }^\circ\text{C}$ , $I_D = 0.7\text{ A}$ )	25	mJ
$V_{CC}$	3	Supply voltage ( $I_{CC} < 25\text{ mA}$ )	Self limiting	V
$I_{ZCD/FB}$	6	Zero-current detector current	$\pm 2$	mA
$V_{comp}$	8	Analog input	-0.3 to 3.6	V
$P_{tot}$		Power dissipation @ $T_A = 50\text{ }^\circ\text{C}$	0.9	W
$T_j$		Junction temperature range	-40 to 150	$^\circ\text{C}$
$T_{stg}$		Storage temperature	-55 to 150	$^\circ\text{C}$

Рисунок 2.5 – Таблиця абсолютних максимальних значень мікросхеми ALTAIR40-900

## 2.5 Основні характеристики мікросхеми ALTAIR04-900 з технічної документації

Одна з ключових особливостей цієї мікросхеми полягає в тому, що стабілізована напруга на вторинній обмотці забезпечується за рахунок інформації, яку контролер отримує з первинної, що дозволяє виключити зі схеми оптопару, джерело опорної напруги на вторинній обмотці і датчик струму [9].

Електрична схема з технічної документації для моделювання опції вхідної напруги 440 В змінного струму через секції номінальної потужності 900 В ALTAIR 04-900 представлена на рисунку 2.6.

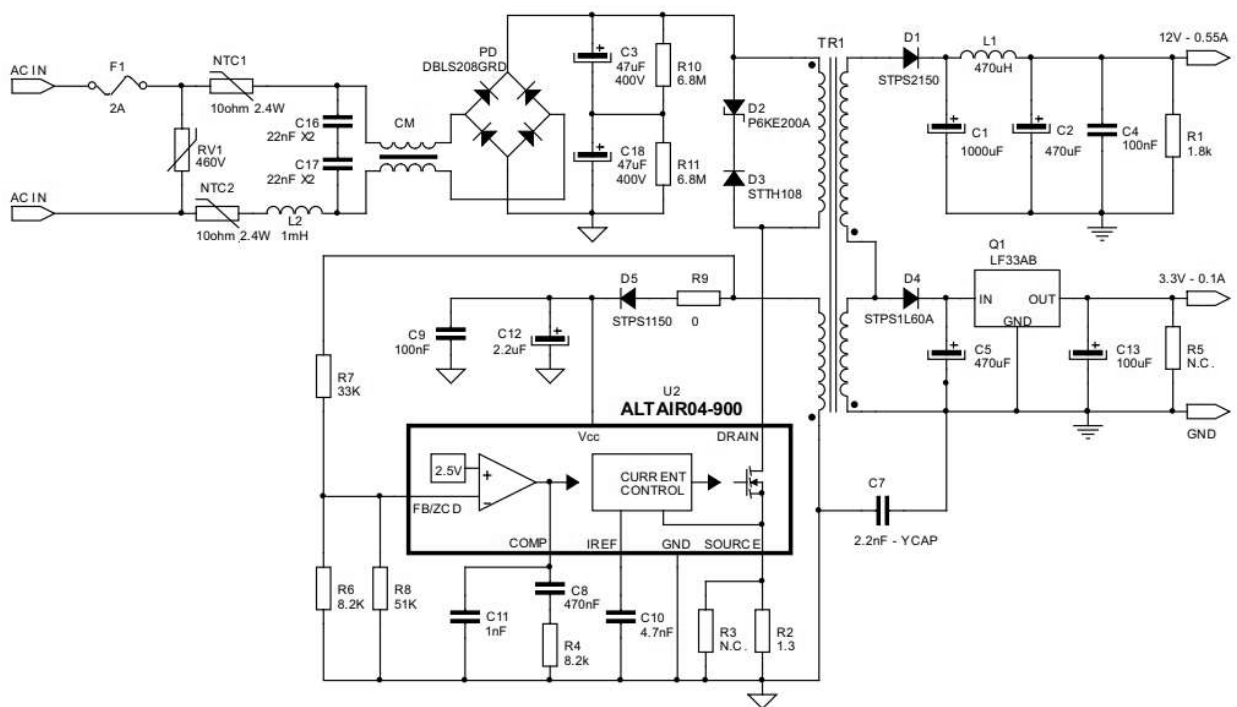


Рисунок 2.6 – Електрична схема на ШІМ контролері ALTAIR 04-900

На рисунках 2.7-2.10 представлено оціночні графіки мікросхеми які вказані в технічній документації



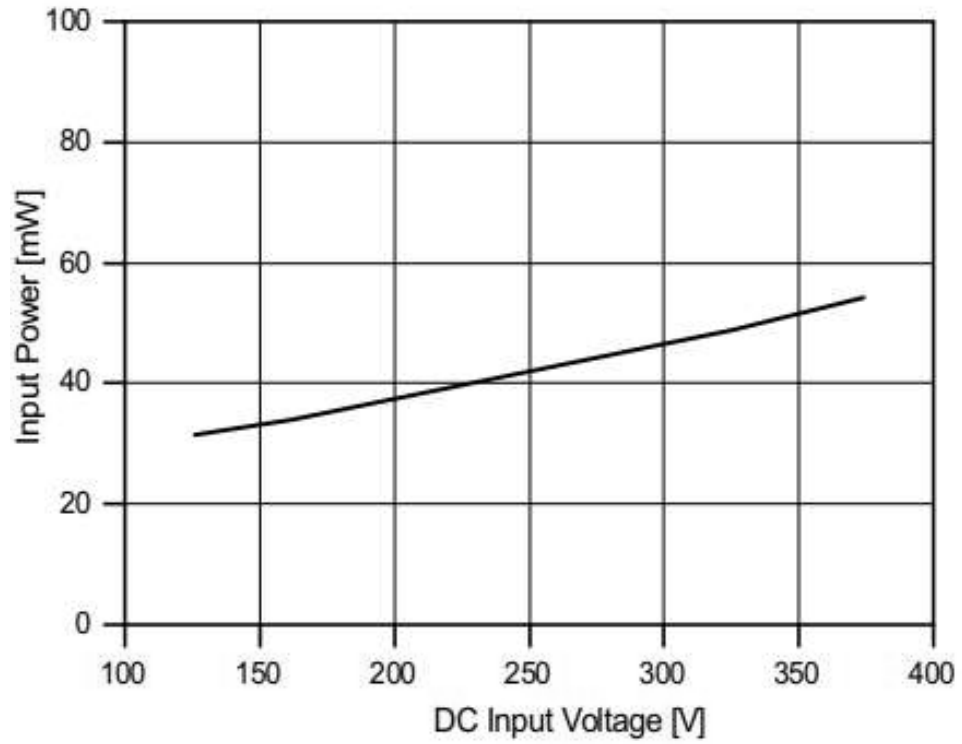


Рисунок 2.7 - Графік споживання електроенергії без навантаження

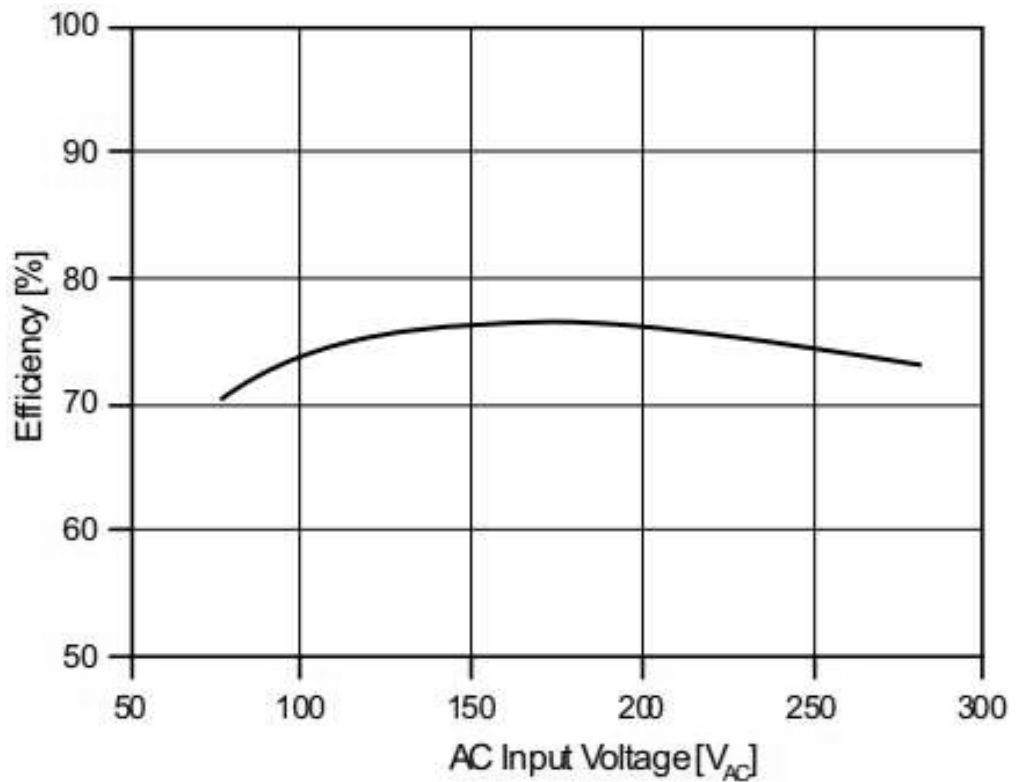


Рисунок 2.8 - ККД при повному навантаженні

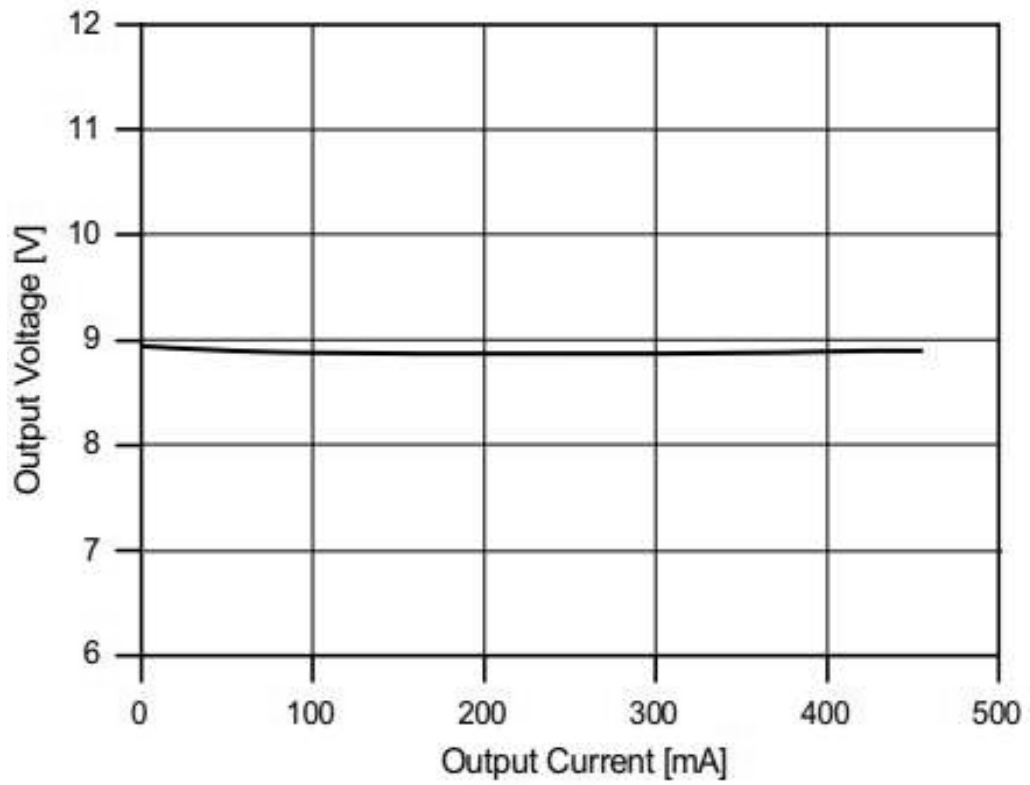


Рисунок 2.9 - ВАХ при 110 В змінного струму

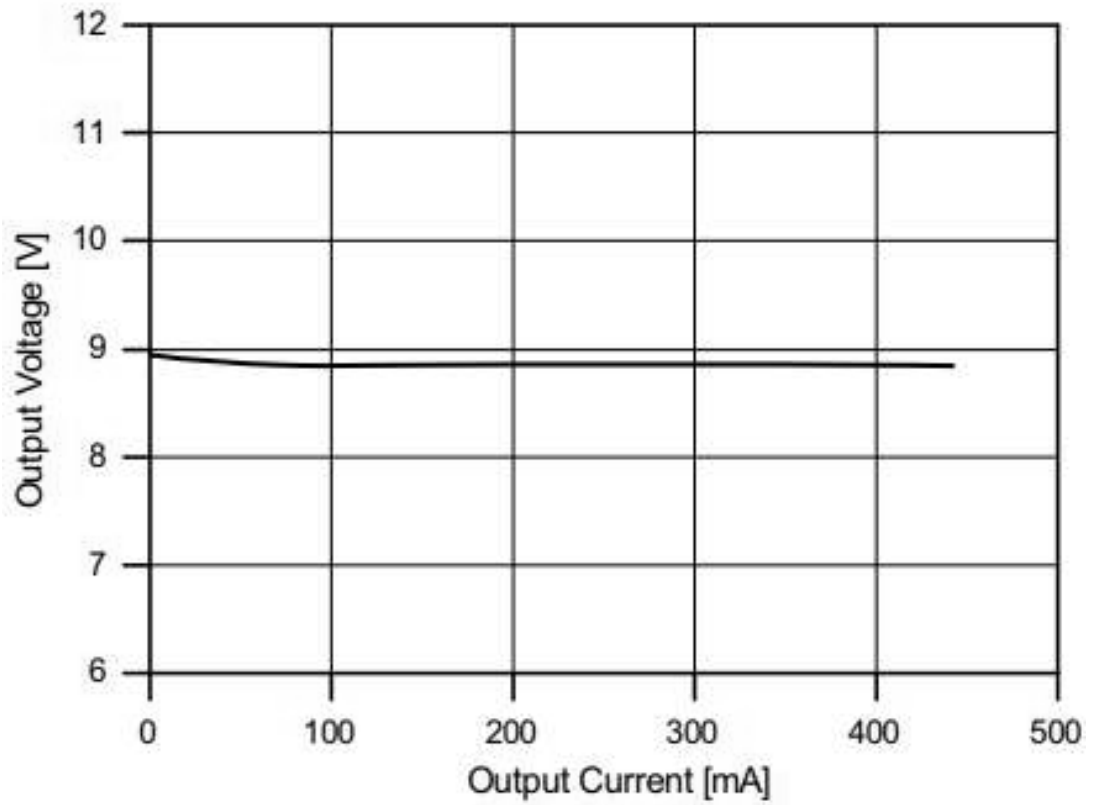


Рисунок 2.10 - ВАХ при 264 В змінного струму

Результати моделювання які вказані у технічній документації представлені на рисунках 2.11-2.14:

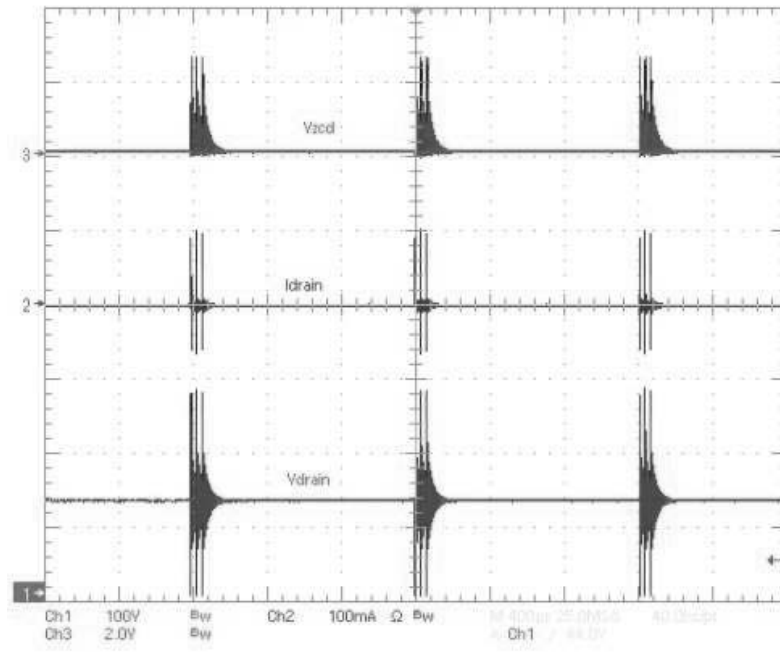


Рисунок 2.11 – Результат моделювання при 110 В змінного струму, без навантаження

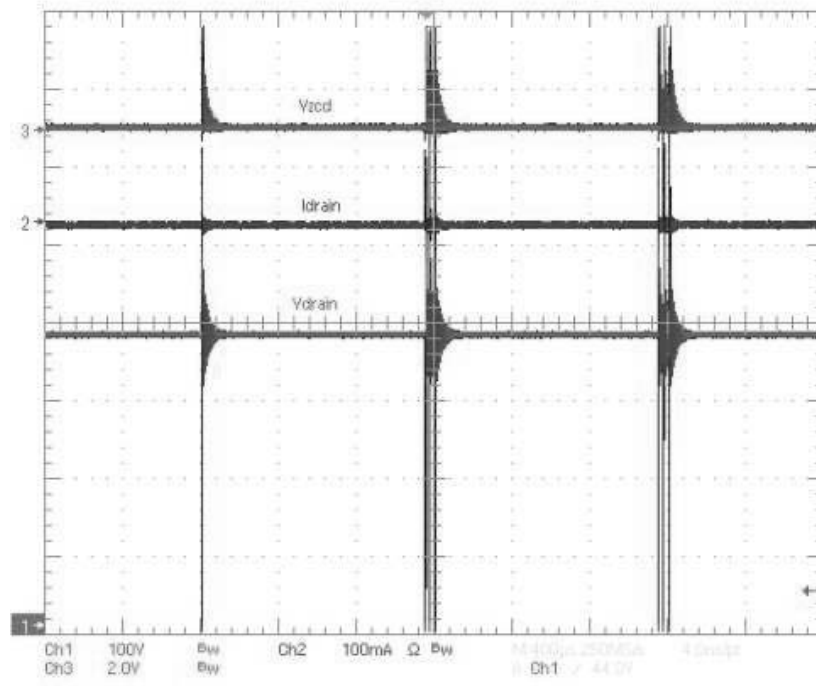


Рисунок 2.12 - Результат моделювання при 264 В змінного струму, без навантаження

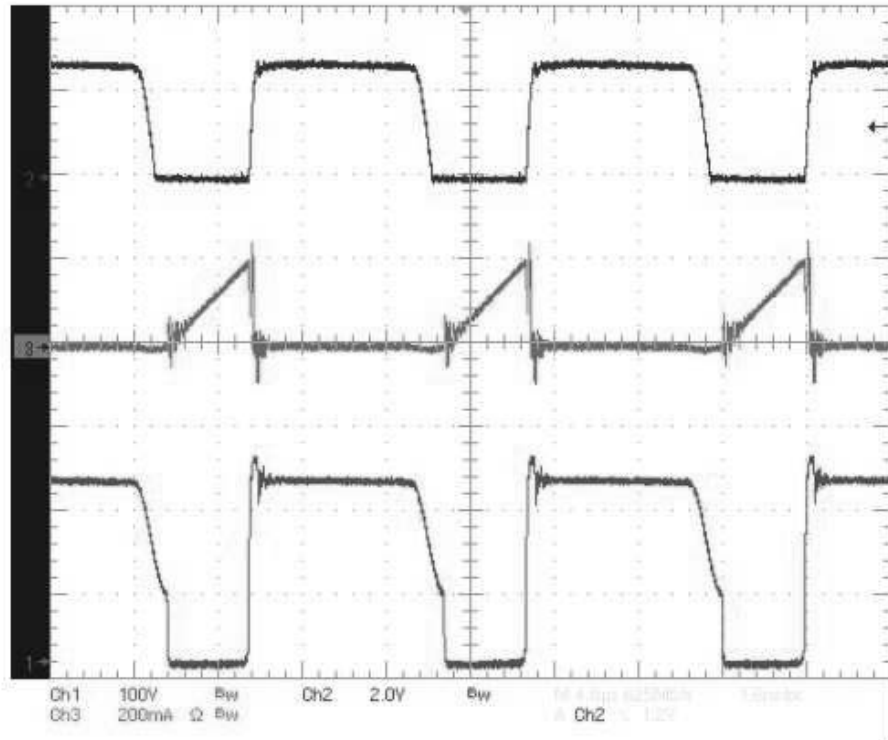


Рисунок 2.13 - Результат моделювання при 110 В змінного струму, повне навантаження

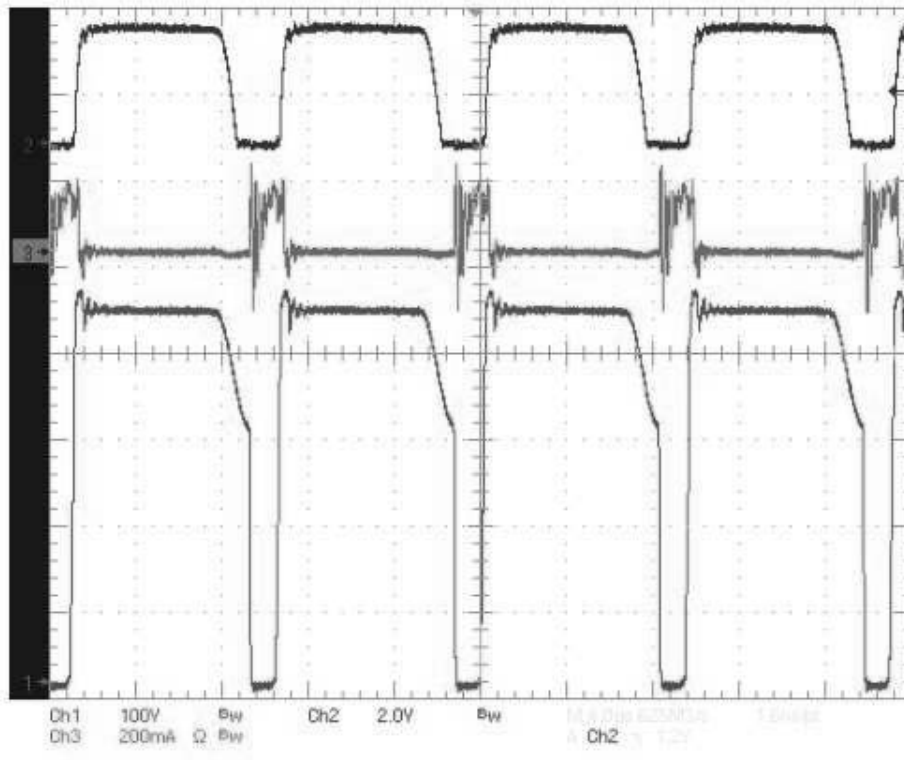


Рисунок 2.14 - Результат моделювання при 264 В змінного струму, повне навантаження

Порівнюючи ці дві мікросхеми TNY255 та ALTAIR04-900, нові мікросхеми ALTAIR є квазірезонансними контролерами для гальванічно ізольованих AC-DC перетворювачів. На відміну від TNY255, ALTAIR04-900 має вбудований силовий MOSFET з напругою пробою 900 В, що дозволяє використовувати мікросхему в діапазоні вхідної напруги від 150 до 440 В. Важливою особливістю ALTAIR04-900 від TNY255 є те, що не потрібно зворотній зв'язок по струму і напрузі на вторинній стороні.

Завдяки повному управлінню з боку первинної обмотки, можна заощадити на комплектуючих: не потрібна мікросхема для вимірювання струму, оптрони (оптопара) і кілька пасивних елементів. Точність струму при цьому залишається прийнятною: +/- 5% в повному діапазоні напруг. Також до переваг відноситься низьке споживання в режимі очікування та захист від перевантаження по струму від насичення трансформатора і короткого замикання вторинного діода.

Наявність 900-вольтного транзистора дозволяє використовувати дане джерело живлення і в однофазних, і в трифазних мережах, оскільки зворотна напруга в даному випадку становить 100 В. Відповідно, навіть при напрузі на вході 450 В пікова змінного струму на стоці становить 775 В. запас в 125 В достатня для надійного функціонування перетворювача.

## 3 МОДЕЛЮВАННЯ АС/DC ПЕРЕТВОРЮВАЧА НА БАЗІ ШІМ-КОНТРОЛЕРУ ALTAIR04-900

### 3.1 Опис роботи з програмним забезпеченням eDesignSuite

STMicroelectronics — одна з найбільших європейських компаній-виробників мікроелектроніки, що займається розробкою, виготовленням та торгівлею різноманітними напівпровідниковими компонентами. На сьогодні штаб-квартира компанії знаходиться у Женеві, у той же час, її холдингова компанія STMicroelectronics N.V. зареєстрована у Амстердамі, однак компанія історично пов'язана з Італією та Францією.

Для поліпшення умов проектування електронних пристроїв між розробником та постачальником компанія STMicroelectronics розробила програмний емулятор «eDesignSuite» для розробки різних пристроїв на базі їхньої продукції.

eDesignSuite - це просте у використанні комплексне програмне забезпечення, готове допомогти клієнтам визначити їх потреби шляхом перетворення їх вимог до пристроїв в задовільні рішення на основі широкого спектру продуктів ST.

Включає три типи програмного інструмента:

Він може запропонувати продукти і топології для різних типів пристроїв, таких як перетворювач (SMPS, фотоелектричний і зарядний пристрій), світлодіодне освітлення, формувач сигналів. Основними особливостями цього емулятора є: автоматичне формування повного рішення схемотехніки пристрою та дизайну, повністю анотовані і інтерактивні схеми, повний перелік елементів, моделювання струму і напруги, графіки ефективності пристрою (ККД), втрати потужності.

Розумний підбір компонентів

Цей вид інструменту використовується для вибору компонентів, найбільш придатних для нашого застосування. Основними особливостями цього типу інструменту є: параметри компонентів, запропоновані на основі

електричних характеристик, порівняння кривих ВАХ між декількома подібними компонентами схеми, втрати потужності, розраховані на основі напруги та струму, на які розраховане завдання.

### Конфігуратор

Він використовується для скорочення часу реалізації і зусиль по налаштуванню параметрів пристрою для конкретного застосування (наприклад для освітлення і живлення, драйвер для управління двигуном). Основними особливостями цього типу інструменту є: схеми конфігуратора, конфігурація входу, настройки таймерів / компараторів і АЦП, конфігурація FSM (кінцевого автомата), генерація коду в мову "C".

На офіційній сторінці виробника STMicroelectronics треба спочатку пройти реєстрацію для створення свого акаунту там де будуть зберігатися проекти. Після реєстрації на сайті треба вибрати розділ «Tools & Software» та перейти до вкладки «Calculators, Selectors, Simulators» та у списку вибрати емулятор «eDesignSuite», як показано на рисунку 3.1.

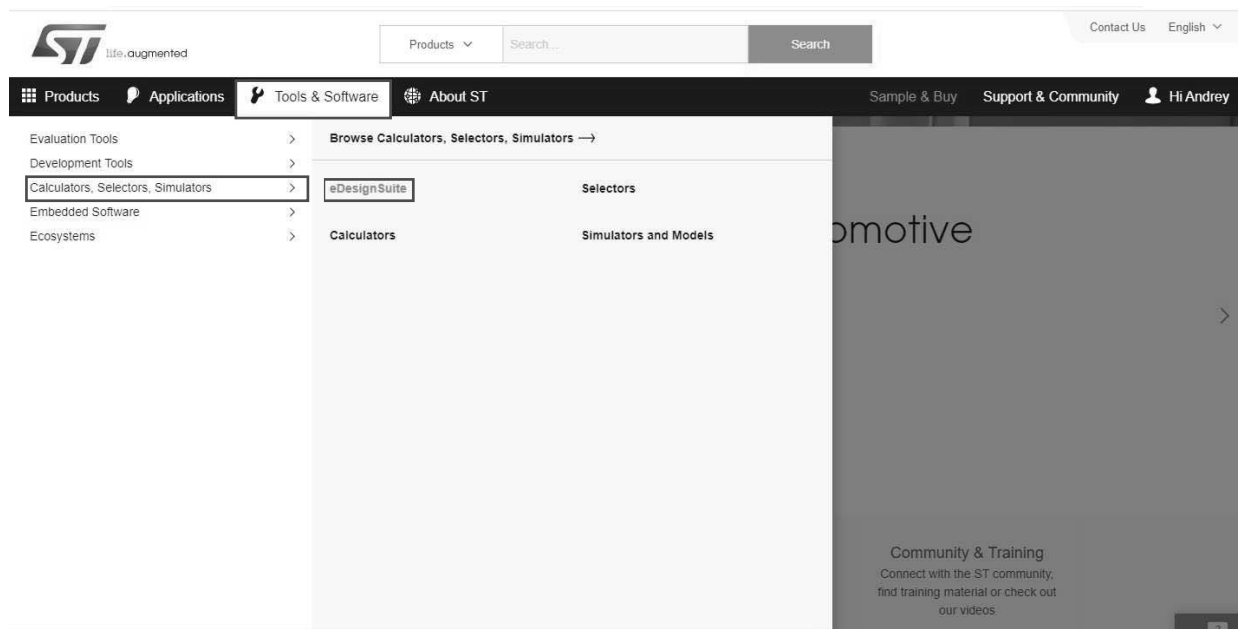


Рисунок 3.1 – Офіційний сайт STMicroelectronics


Після того як перейшли на сторінку з емулятором треба натиснути кнопку «Start design» рисунок 3.2.

eDesignSuite is an easy-to-use comprehensive software suite ready to help customers define their needs by transforming their application requirements into satisfactory solutions based on the wide range of ST products.


## eDesignSuite

The smart way to design your application


Power Conversion




LED Lighting




Signal Conditioning



RF Design



Smart Selectors & Configurators



Start Design

The suite includes three types of software tool:

- **Smart simulator and system design engine**

It is able to suggest products and topologies for various types of application like power conversion (SMPS, photovoltaic and battery charger), LED lighting, signal conditioning and RF design. The main features of this tool type are: automatic proposal for complete solution or fully customizable design, fully annotated and interactive schematics, complete and interactive bill of materials, main current and voltage simulations, efficiency curves, Bode stability and power-loss data, and fully interactive transformer design.
- **Smart product selectors**

This tool type is used to help select the products (e.g. diodes) best suited to your application. The main features of this tool type are: part numbers proposed based on application electrical specifications, I-V curves comparison among several part numbers, power losses calculation based on voltage/current target application waveforms.




Рисунок 3.2 – Запуск програми

На самому початку роботи eDesignSuite пропонує визначити тип перетворювача STMicroelectronics для необхідного джерела живлення, зокрема, представлені DC / DC- та AC / DC-перетворювачі (зі стабілізацією струму LED або напруги SMPS), перетворювачі сонячних батарей (PHOTOVOLTAIC), зарядні пристрої для акумуляторів (BATT. CHARGER), як показано на рисунку 3.3. Після вибору перетворювача і введення його параметрів програмне забезпечення пропонує відповідні мікросхеми з докладною інформацією про них і посиланнях на документацію. Для зменшення кількості варіантів є додаткові фільтри: тип корпусу, програмований обмежувач струму, захист від КЗ і безліч інших критеріїв. З урахуванням параметрів обраної мікросхеми eDesignSuite дає можливість підкоригувати деякі значення перетворювача, а також встановити додаткові обмеження (на робочу частоту або температуру середовища).



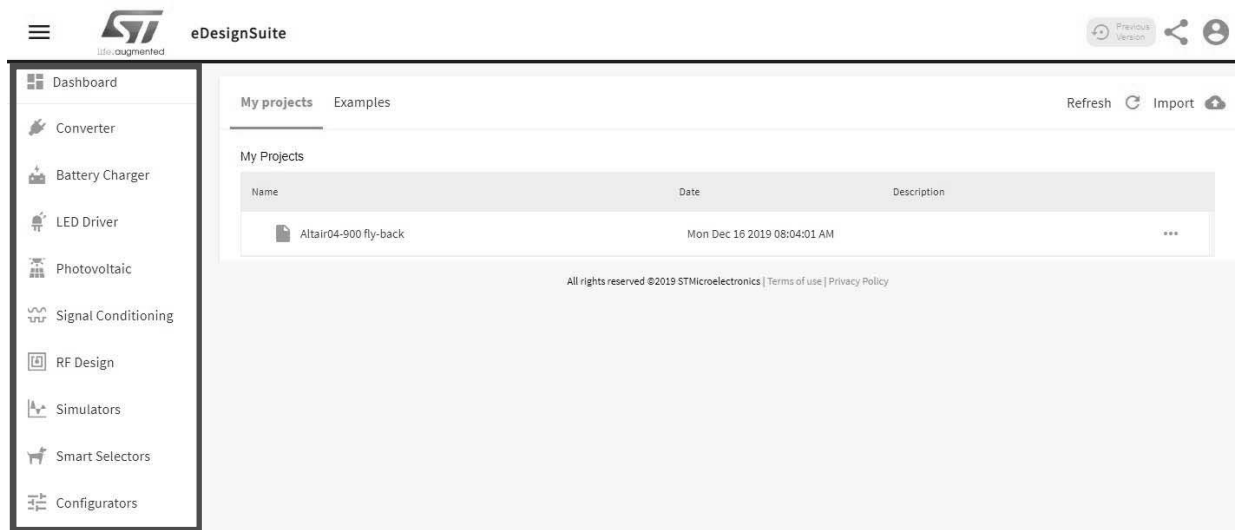


Рисунок 3.3 – Перелік пристроїв в eDesignSuite

Бібліотека доступних елементів від STMicroelectronics досить обширна, є операційні підсилювачі, мікроконтролери, датчики, транзистори, EEPROM-пам'ять, таймери, бездротове обладнання, елементи захисту, налагодження плати. У базі є безліч пасивних радіодеталей - конденсаторів, індуктивностей, трансформаторів, варисторів. Також необхідно відзначити підтримку мікросхем сімейства VIPer. В даному випадку, так як в нас перетворювач струму, треба вибрати «Converter» потім вибрати «AC/DC» рисунок 3.4.



Рисунок 3.4 – Вибір пристрою для проекту

Після eDesignSuite пропонує задати вхідні та вихідні параметри для перетворювача так як нам потрібно щоб мікросхема працювала від 220В та 380В вводимо такі параметри як показано на рисунку 3.5 та вибираємо мікросхему ALTAIR04-900 та

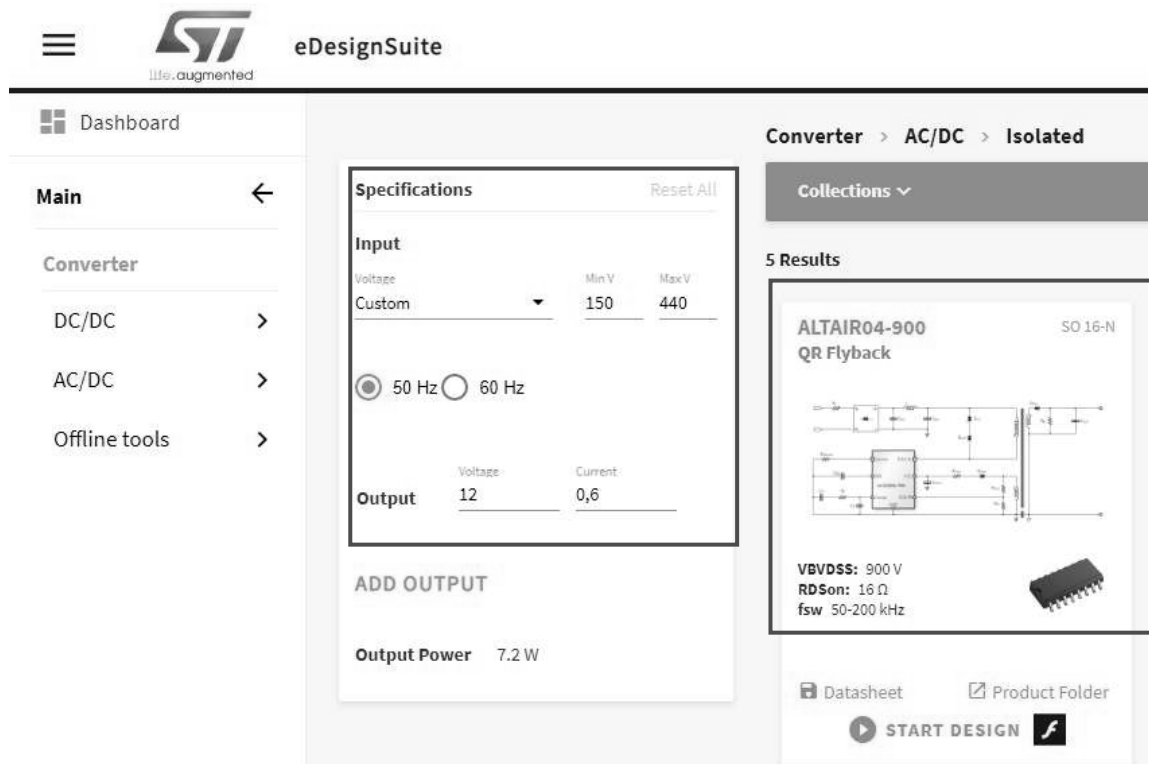


Рисунок 3.5 – Вибір вхідних та вихідних параметрів для перетворювача

Після чого треба натиснути на «Start Design» щоб програма зробила розрахунки та промодельовала по заданим параметрам схему та її характеристики.

Після проведення розрахунків eDesignSuite формує перелік всіх елементів з їх характеристиками (так званий BOM-лист), схему джерела живлення (рис.3.7), а також осцилограми струму і напруги, втрати потужності, фазові графіки і графіки енергоефективності при роботі в різних умовах, які показані на рисунку. Причому для отримання додаткової інформації досить навести курсор на будь-яку ділянку графіка. Також користувач може змінити більшість параметрів схеми, наприклад, характеристики компонентів в первинній обмотці, значення трансформатора, вхідний і фільтруючий

конденсатори, діод випрямляча і багато іншого. eDesignSuite підтримує функції експорту проектів в форматі Pspice, а також можна роздрукувати отримані результати.

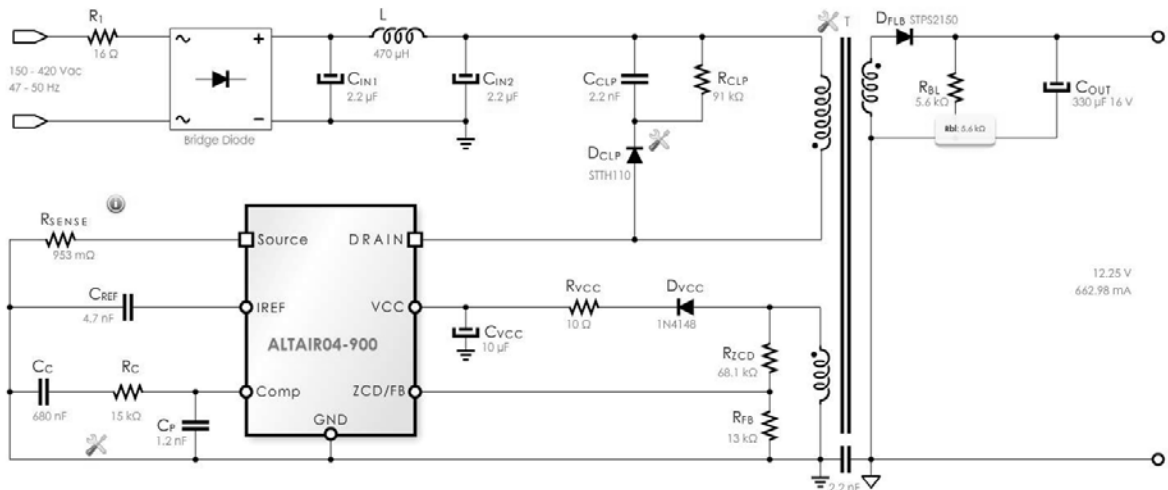


Рисунок 3.7 – Промодельована схема перетворювача у eDesignSuite

Осцилограми струму і напруги, втрати потужності та ККД на  $U_{in}=420$  В показані на рисунку 3.8-3.12

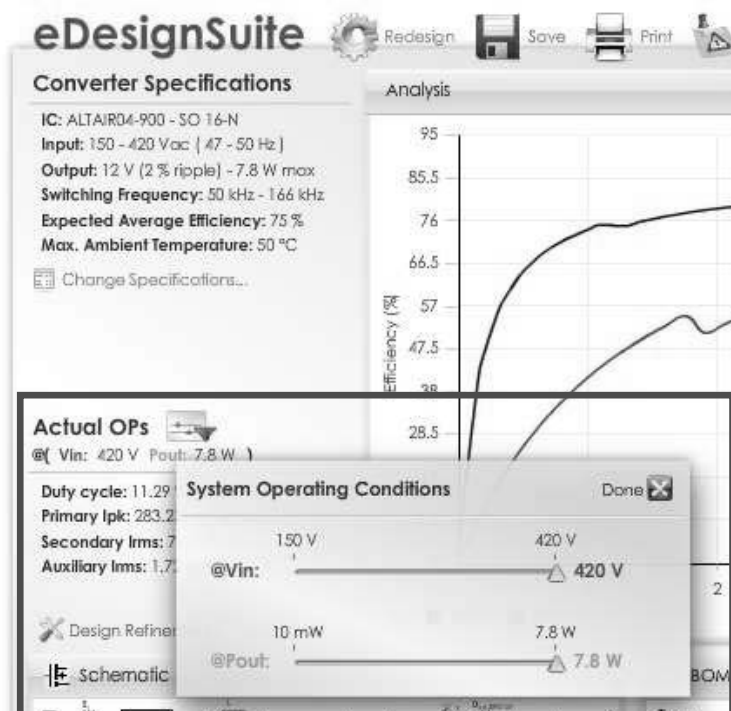


Рисунок 3.8 – Завдання вхідного параметра  $U_{in}=420$  В

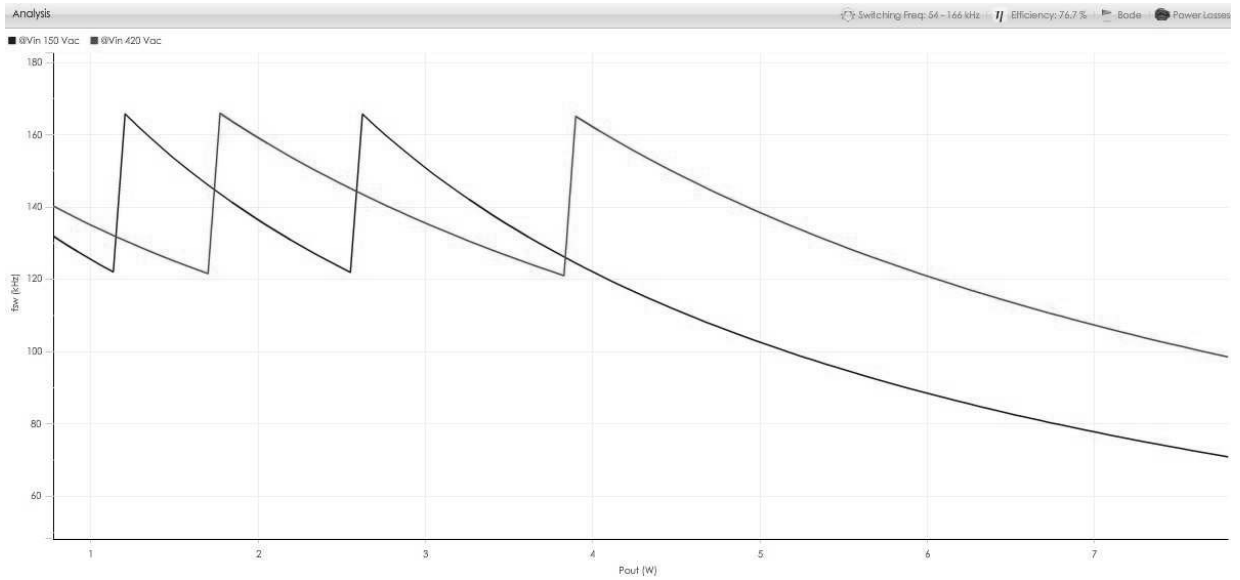


Рисунок 3.9 – Графік частоти перемикання

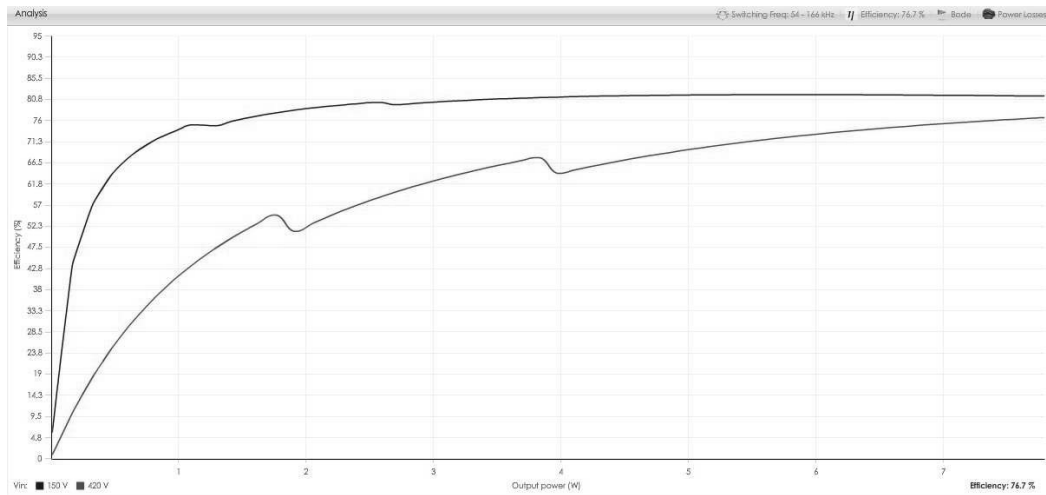


Рисунок 3.10 – Графік ефективності схеми перетворювача (ККД)

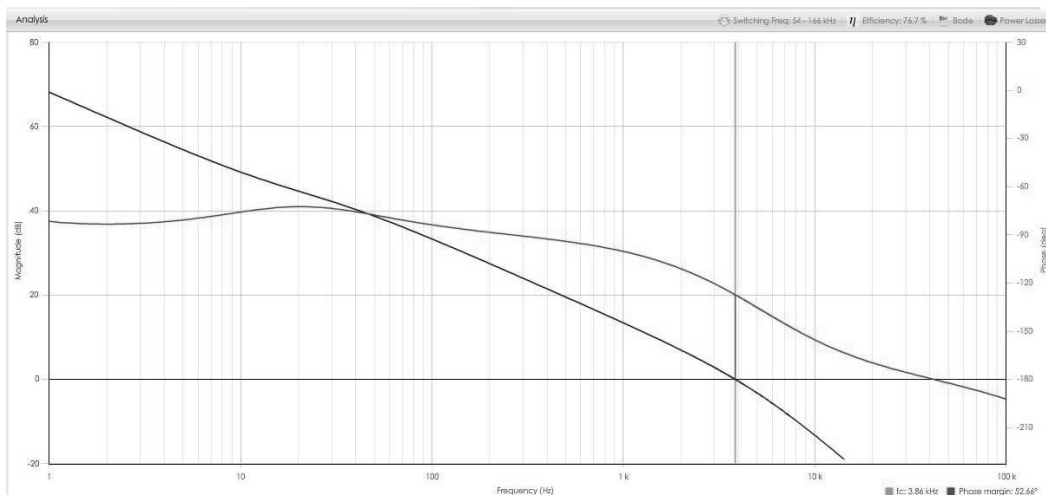


Рисунок 3.11 – Фазовий графік

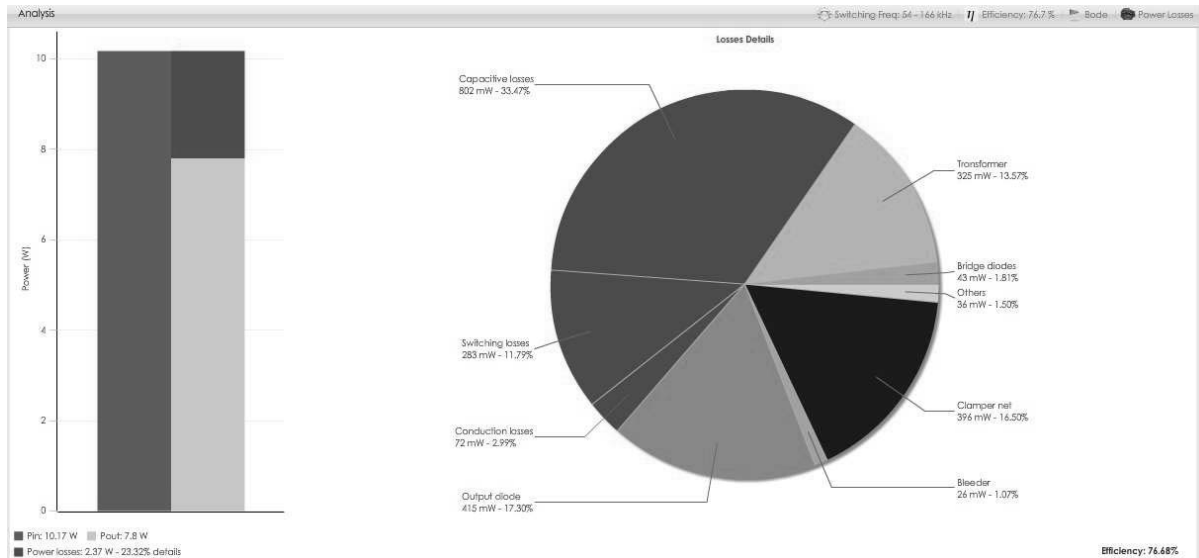


Рисунок 3.12 – Графік втрат

Також в eDesignSuite є можливість задавати свої параметри трансформатора, мосту та вихідного кола, як показано на рисунках 3.13-3.15.

Design Wizard

Design Steps

- Converter Specifications
- Input Stage Design
- Flyback Parameters Specifications
- Transformer Design
- Clamper Net Design
- Output Stage Design
- Compensation

Transformer Design

Core Type	Actuals	Required
EE16		
Area Product	519 mm <sup>4</sup>	≥ 195 mm <sup>4</sup>
Losses	≤ 139 mW	

Winding	Turns	Layers	Paralleled	Wire Type	eq. Cu section [mm <sup>2</sup> ]	fill factor	Losses
Primary	139	≥ 139	3	Single 0.127 mm	0.013 (≥ 0.010)	31 %	≤ 73 mW
	7 Layers						
Secondary	22		3	TIW 0.3 mm	0.071 (≥ 0.070)	62 %	≤ 218 mW
	4 Layers						
Auxiliary	28			Solid_G2 0.024 mm	0.000 (≥ 0.000)	1 %	≤ 1 mW
	7 Layer						

Results

- Primary Inductance: 2.19 mH
- leakage inductance: 65.76 μH
- Np/Ns: 6.318 (Best Ratio: 6.25)
- Reflected Voltage: 81 V (Required: 80 V)
- Vaux: 16.29 V (Required: 15.8 V)
- total Aw fill factor: 93.78 %
- maximum magnetic flux density: 319 mT
- required gap length: 0.22 mm (AL: 113 nH/N<sup>2</sup>)
- Transformer total losses: 430 mW

Prev Next Auto Complete Cancel

Рисунок 3.13 – Параметри трансформатора

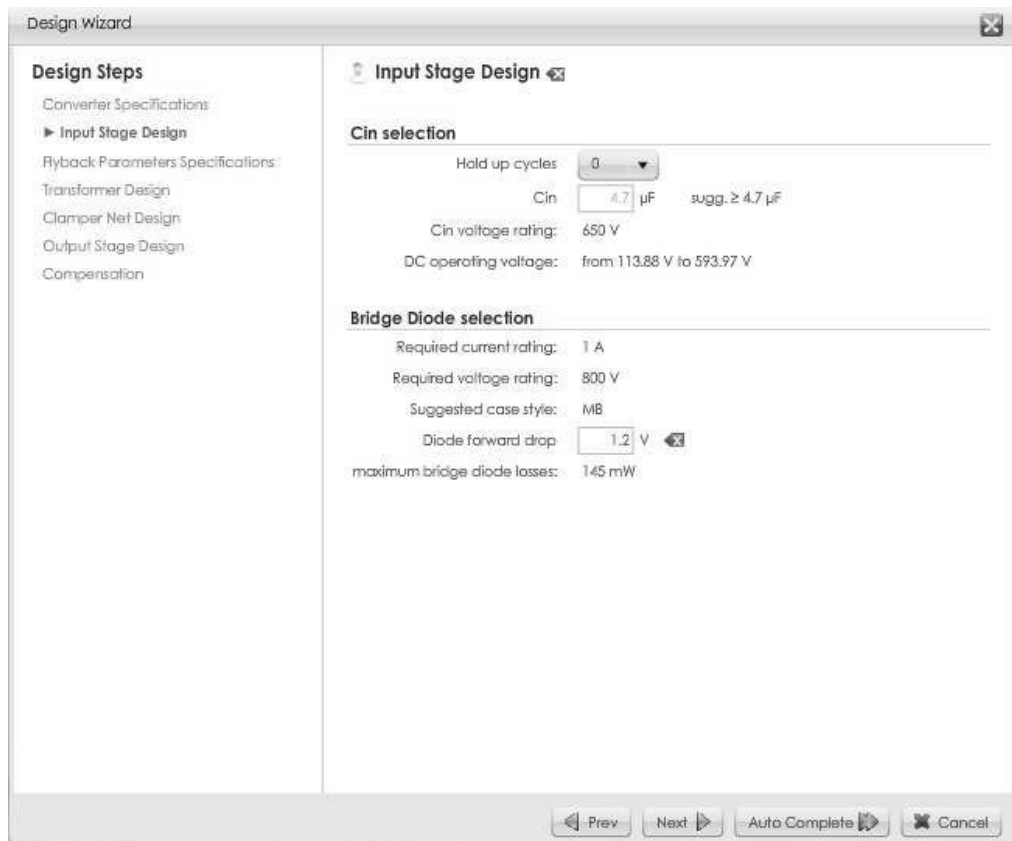


Рисунок 3.14 – Параметри діодного моста

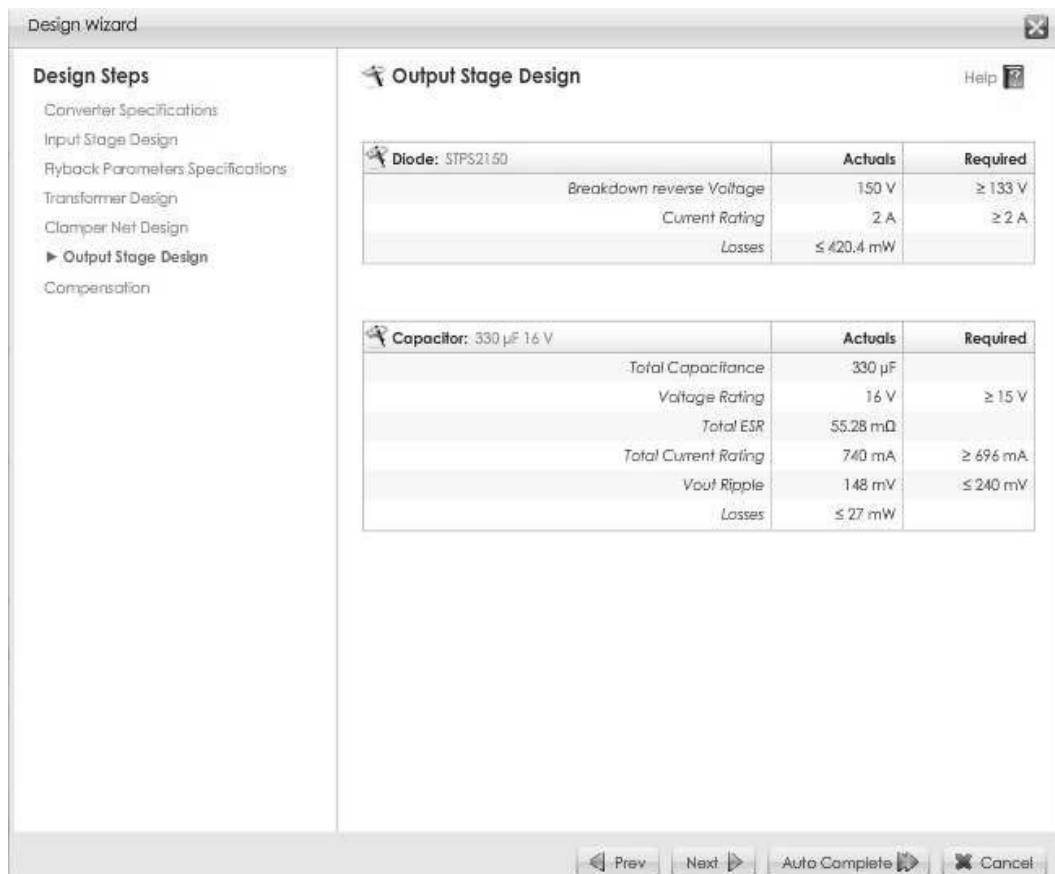


Рисунок 3.15 – Параметри вихідного кола

Осцилограми струму і напруги, втрати потужності та ККД на  $U_{in}=220$  В показано на рисунках 3.16-3.20.

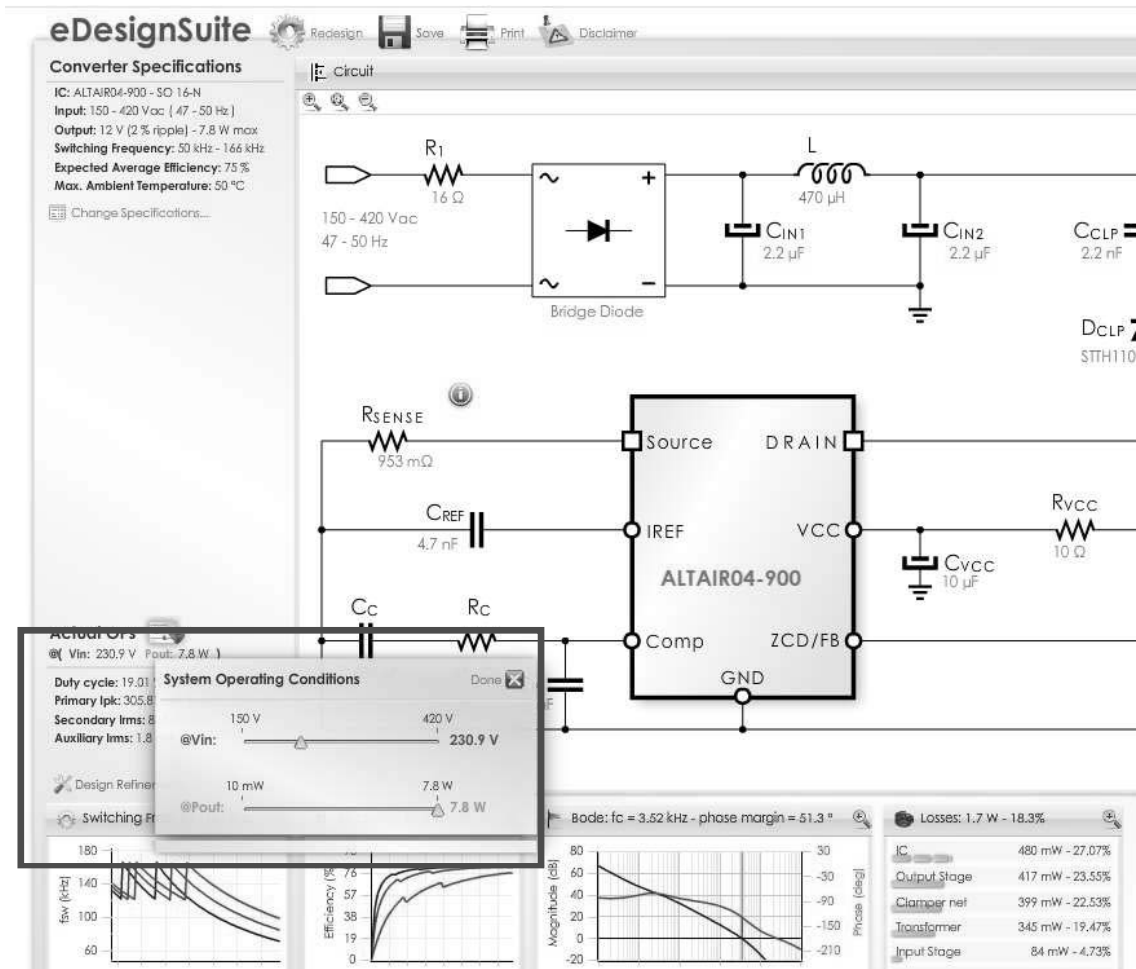


Рисунок 3.16 – Завдання вхідного параметра  $U_{in}=420$  В

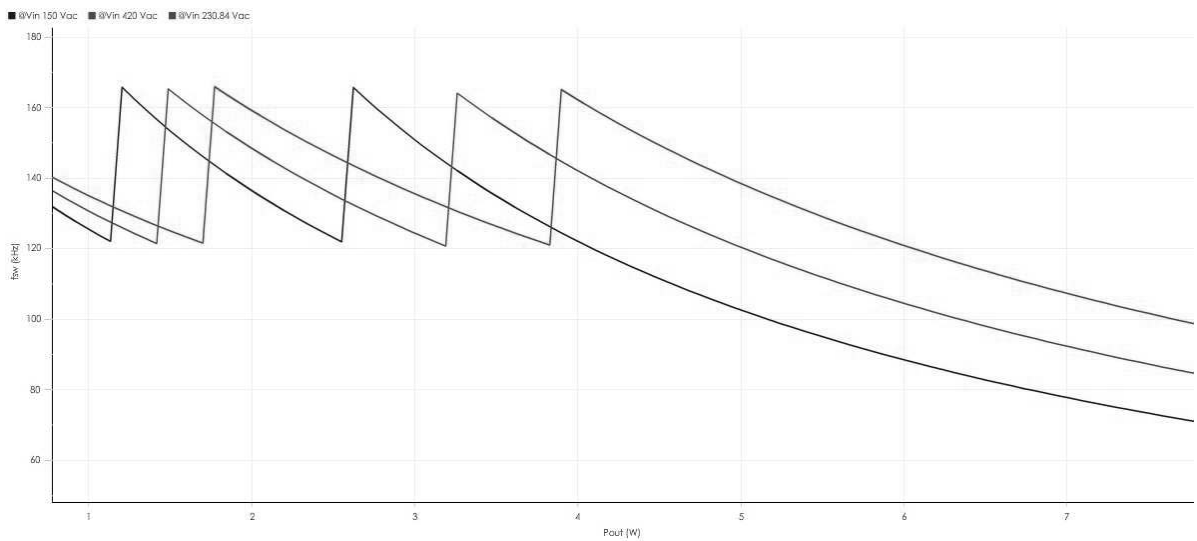


Рисунок 3.17 – Графік частоти перемикання

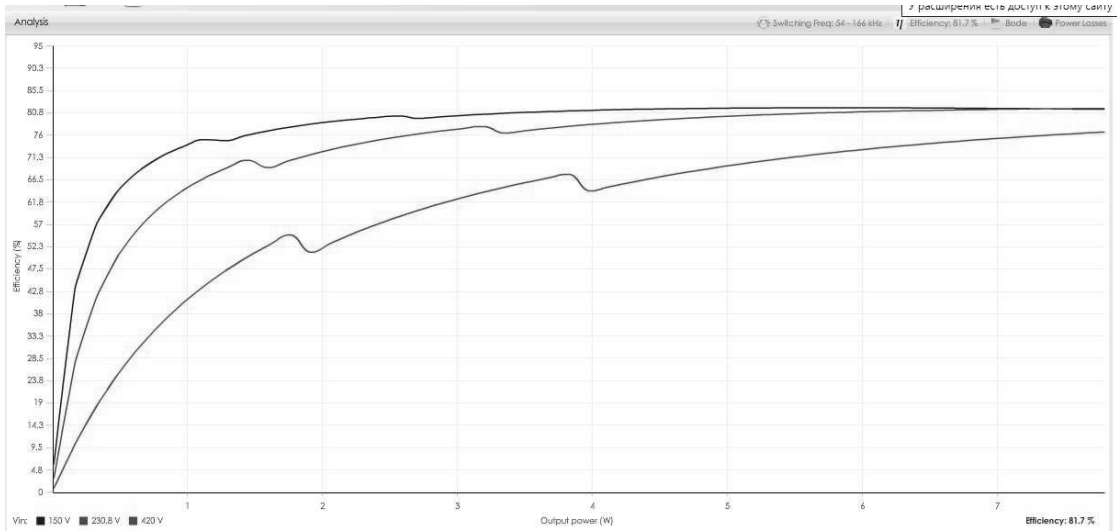


Рисунок 3.18 – Графік ефективності схеми перетворювача (ККД)

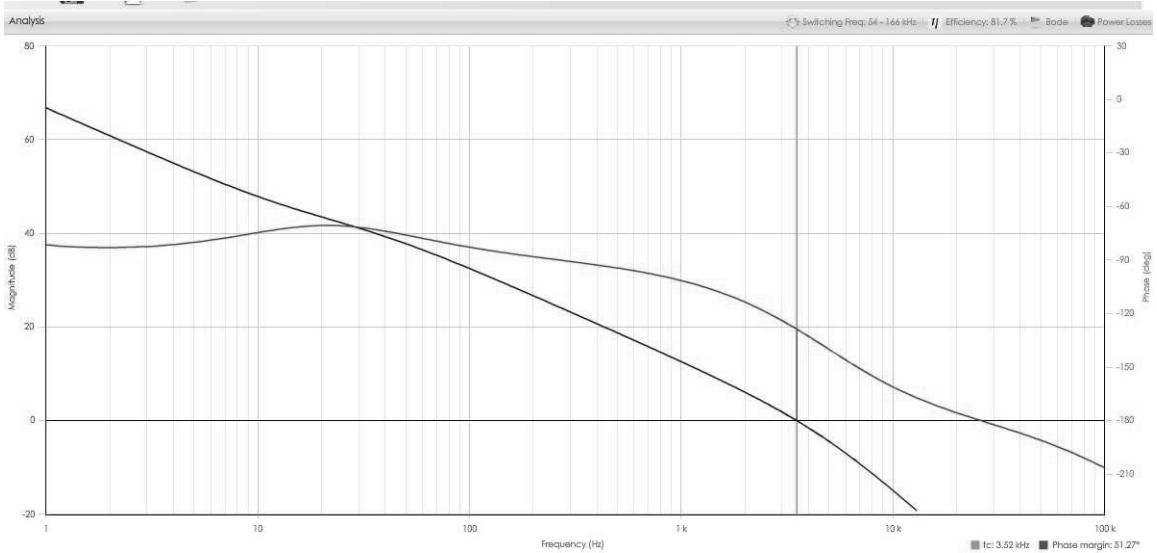


Рисунок 3.19 – Фазовий графік

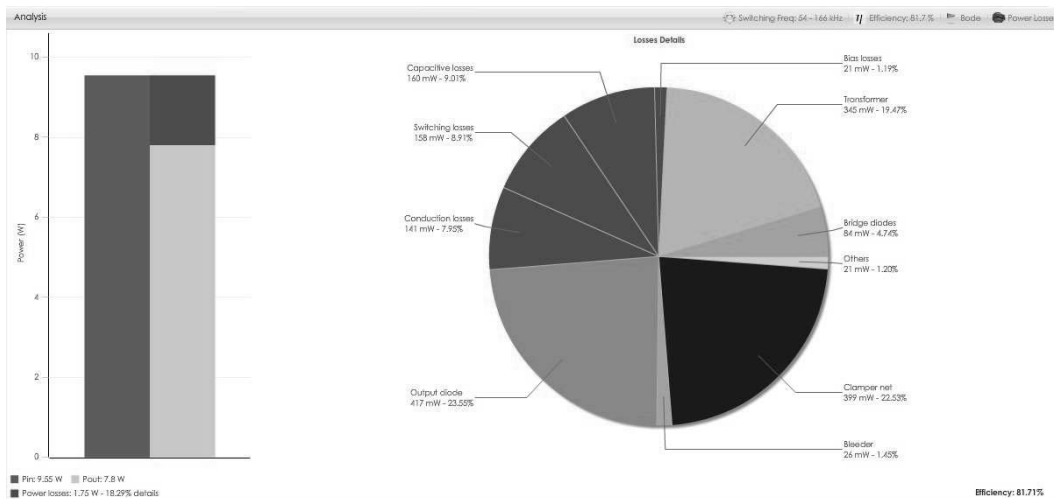


Рисунок 3.20 – Графік втрат



Також eDesignSuite розрахувала оптимальні параметри компонентів для нашої схеми, які показані в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Перелік компонентів схеми які розраховані у eDesignSuite

Ім'я	Елемент	Значення	Докладний опис
IC	Контролер	ALTAIR04-900	-
Cclp	Конденсатор	2.2 nF	250 V
Rclp	Резистор	91 k $\Omega$	1W
Dclp	Діод	STTH110	1 kV
Rsense	Резистор	1 $\Omega$	1 $\Omega$
Rbl	Резистор	5.6 k $\Omega$	5.6 k $\Omega$
Cbl	Конденсатор	2.2 nF	2.2 nF
Cref	Конденсатор	4.7 nF	-
CVcc	Конденсатор	10 $\mu$ F	25 V
RVcc	Резистор	10 $\Omega$	10 $\Omega$
DVcc	Діод	1N4148	200 mA, 100 V -
Lin	Індуктивність	470 $\mu$ H	170 mA
Cbulk	Конденсатор	2.2 $\mu$ F	2.2 $\mu$ F
Rin	Резистор	16 $\Omega$	16 $\Omega$
Bridge Diode	Діод	Bridge Diode	1.2 V – Прямого падіння
Cout	Конденсатор	330 $\mu$ F	16 V
Dout	Діод	STPS2150	Шоттки
Rzcd	Резистор	68 k $\Omega$	68.1 k $\Omega$
Rfb	Резистор	13 k $\Omega$	13 k $\Omega$
T	Трансформатор	L=2.19 mH	Імпульсний трансформатор
Cp	Конденсатор	1.2 nF	1.2 nF
Cc	Конденсатор	680 nF	680 nF
Rc	Resistor	15 k $\Omega$	15 k $\Omega$

## 4 ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ ТА ПРОЕКТУВАННЯ

4.1 Проектування друкованої плати у програмному середовищі DipTrace.

DipTrace – це сучасний інструмент проектування електронних друкованих плат з потужним автотрасувальником, автоматичним позиціонуванням компонентів, підтримкою диференційних та високочастотних сигналів, можливістю копіювання трас між ієрархічними блоками та усім необхідним для продуктивної роботи інженера. Real-Time DRC в зручній формі попереджає про можливі помилки заздалегідь, а широкі можливості імпорту/експорту "нетлістів", плат та виробничих файлів (Gerber, ODB++, Gerber X2, N/C Drill, DXF, IPC-D-356A, Pick & Place) повністю інтегрують DipTrace у світ сучасної електроніки.

### 4.1.1 Можливості DipTrace

1) Організація проекту - класи мереж з різними параметрами дозволяють легко керувати проектом, а стилі міжшарових переходів значно спрощують роботу з наскрізними та глухими переходами.

2) Позиціонування - Розташувати корпуси на платі можна вручну, автоматично (відповідно до активних налаштувань та оптимальної довжини доріжок), або за допомогою інструменту "Позиціонування за списком". Задля кращих результатів найдоцільніше використовувати комбінацію усіх методів на одній платі.

3) Ручне трасування - доріжки під стандартними кутами, у вільному режимі, або у режимі "Дуги/Криві". Режим трасування, форму поточного сегменту, ширину та шар можна змінювати "гарячими" клавішами. Мідні заливки мають рівні пріоритету, це дозволяє краще організувати їх на одному шарі плати. Готові шаблони Fanout для корпусів BGA, SOIC та QUAD.

4) Автотрасувальник - в Редактор Плат вбудовано швидкісний, shape-based автоматичний трасувальник з широким спектром можливих налаштувань, що значно економить час. DSN/SES-інтерфейс дає можливість використовувати сторонні трасувальники (Specstra, Electra, Torog тощо). DipTrace працює з "джамперами" (перемичками).

5) 3D перегляд та STEP експорт - до складу Редактора Плат DipTrace входить спеціальний модуль 3D перегляду з підтримкою апаратного прискорення та експортом (VRML та STEP). Тривимірну модель плати зі встановленими компонентами можна переглядати на будь-якому етапі проектування. Плату можна обертати за усіма осями, змінювати масштаб, кольори та ін. DipTrace дозволяє імпортувати моделі електронних компонентів з \*.wrl, \*.step, \*.iges та \*.3ds форматів. Більш ніж 7,5 тис. моделей доступні на сайті DipTrace (інстальюються як окремий пакет) [12].

Розроблена плат у програмному середовищі DipTrace рис.4.1-4.3:

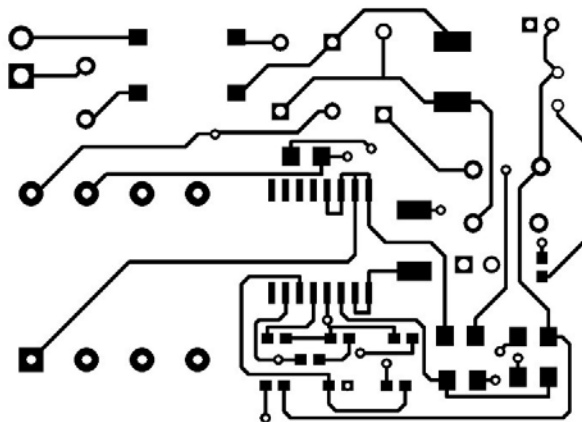


Рисунок 4.1 - Верхня частина друкованої плати

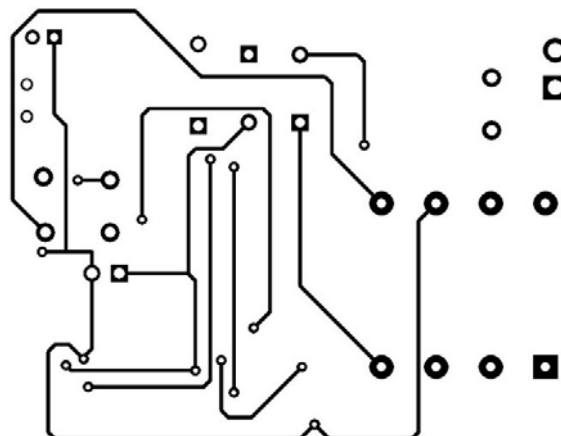


Рисунок 4.2 - Нижня частина друкованої плати

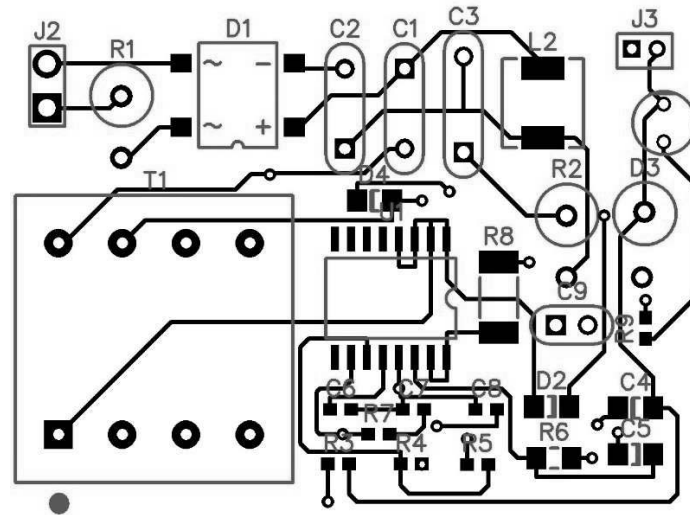


Рисунок 4.3 - Загальний вид з елементами

#### 4.2 Технологія виготовлення друкованої плати

Вихідний матеріал. Це заготовка двосторонньої друкованої плати, вирізаної зі скла фольгованого діелектрика. Діелектричне підставу склоепоксидні композиція: склотканина просочена епоксидною смолою. Мідна фольга може мати товщину від 5ти до 100мкм. Зображено на рис.4.4.



Рисунок 4.4 - Вихідний матеріал

Свердління наскрізних отворів. У платі висвердлюють отвори на спеціалізованих верстатах з ЧПУ. Зображено на рис.4.5.

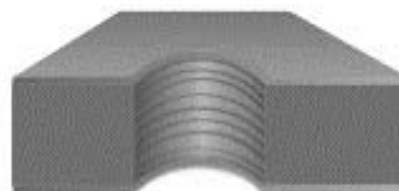


Рисунок 4.5 - Свердління наскрізних отворів

Очищення отворів від наносів смоли (desmear) (для ДПП етап необов'язковий, небажаний). Отвори плати очищаються від наносів смоли на мідні торці шарів. Варіанти способів очищення: травлення в сірчаній кислоті, в розчині перманганату, плазмохімічна технологія очищення, гідроабразивна обробка. Зображено на рис.4.6.

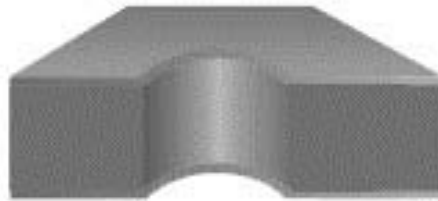


Рисунок 4.6 - Очищення отворів від наносів смоли

Хімічне і попереднє гальванічне осадження тонкого шару міді (альтернатива - пряма металізація). Цей етап потрібен для додання провідності стінок отворів, необхідної для подальшої гальванічної металізації. Пухкий шар хімічно обложеної міді швидко руйнується, тому його підсилюють тонким шаром гальванічної міді. Для хімічної металізації з'явилася альтернатива пряма металізація, при якій стінки отворів покриваються дуже тонким шаром паладію. Тоді хімічна і попередня гальванічна металізація не потрібні. Зображено на рис.4.7.

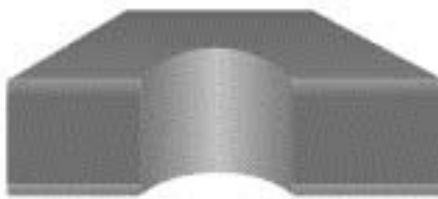


Рисунок 4.7 - Хімічне і попереднє гальванічне осадження тонкого шару міді

Нанесення фоторезиста. Нанесення фоточуттєвого матеріалу (фоторезиста) на заготовлю. Як правило, це плівковий фоторезист, нашаровуються на заготовку спеціальним валковим пристроєм ламінатором. Поверхня заготовки очищається для забезпечення адгезії фоторезиста. Цей

етап проходить в чистій кімнаті з неактинічним (жовтим) освітленням, фоторезист світло чуттєвий до ультрафіолетового спектру. Зображено на рис.4.8.



Рисунок 4.8 - Нанесення фоторезиста

Поєднання фотошаблону позитиву. З заготівлею поєднується фотошаблон. Коло, частина якого зображена, контактна площадка. Зображення на фотошаблоні позитивне по відношенню до майбутньої схеми. Зображено на рис.4.9.

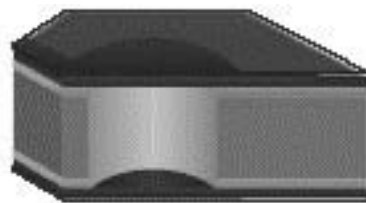


Рисунок 4.9 - Поєднання фотошаблону позитиву

Експонування фоторезиста. Ділянки поверхні, прозорі на фотошаблоні, засвічуються. Засвічені ділянки фотополімеризуються і втрачають здатність до розчинення, фотошаблон знімається. Зображено на рис.4.10.

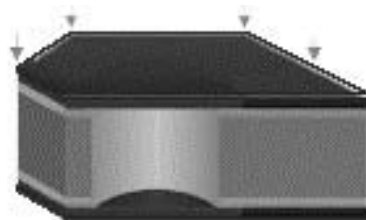


Рисунок 4.10 - Експонування фоторезиста

Прояв фоторезиста. Зображення на фоторезисте проявляється: незасвічені ділянки розчиняються, засвічені фотополімеризуються і залишаються на платі, втративши здатність до розчинення. В результаті фоторезист залишається в тих областях, де провідників на платі не буде. Таким чином, на платі залишається негативне зображення топології схеми. Призначення фоторезиста забезпечити виборче гальванічне осадження міді. Зображено на рис.4.11.

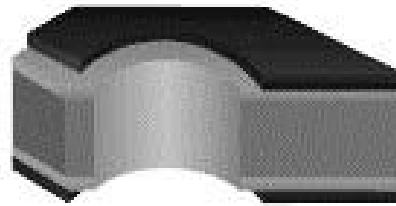


Рисунок 4.11 - Прояв фоторезиста

Гальванічне (електрохімічне) осадження міді. Мідь наноситься на поверхню стінок отворів до товщини 25 мкм. При такій товщині металізація забезпечує необхідну міцність при термодинамічних навантаженнях, властивих подальшим пайків. При металізації отворів неминуче металізуються поверхні провідників. Зображено на рис.4.12.

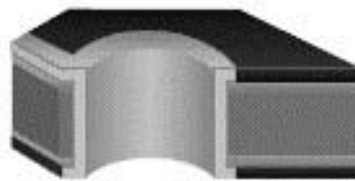


Рисунок 4.12 - Гальванічне осадження міді

Гальванічне осадження металорезиста. Металорезиста служить захистом провідників і металізованих отворів від травлення. Це, по-перше. По-друге, він потім захищає мідь від окислення. По-третє, він необхідний для тривалого збереження здатності плати до пайки, якщо він залишається як фінішне покриття (в цьому випадку застосовують склади засновані наприклад

на золоті). Якщо в якості металорезиста використовується гальванічний сплав олова-свинцю, він може бути оплавлений для отримання сплаву, які тривалий час зберігає здатність до пайки. Зображено на рис.4.13.

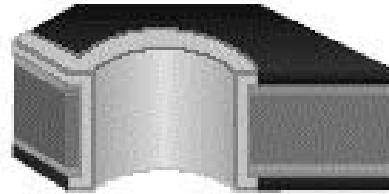


Рисунок 4.13 - Гальванічне осадження металорезиста

Видалення фоторезиста. Фоторезист видаляється, залишаючи металорезиста на провідниках і в отворах, і оголює мідь в пробільних місцях (зазорах). Мідь, покрита металорезиста, залишиться не витравленою і формує топологію шарів плати. Зображено на рис.4.14.

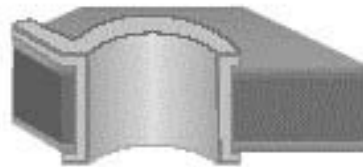


Рисунок 4.14 - Видалення фоторезиста

Травлення міді. На цьому етапі металорезиста захищає мідь від травлення. Незахищена мідь розчиняється в травленому розчині, залишаючи на платі малюнок майбутньої схеми. Зображено на рис.4.15.

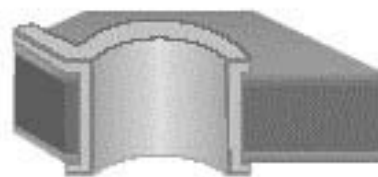


Рисунок 4.15 - Травлення міді



Видалення металорезиста олово-свинець. Металорезиста видаляється з поверхні міді в спеціальному розчині. Це початок процесу, званого SMOBC (solder mask over bare copper - маска поверх необробленої міді). В інших процесах, наприклад якщо нанесення захисної маски не здійснюється, олов'яно-свинцевий суміш оплавляється для подальшого використання (лудіння). Зображено на рис.4.16.

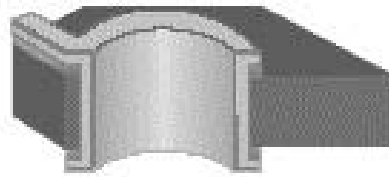


Рисунок 4.16 - Видалення металорезиста олово-свинець

Нанесення паяльної маски. Для захисту поверхні плати наноситься паяльна маска. Існує кілька типів масок і методів її нанесення, фоточутливі композиції можуть бути рідкими і плівковими. Тоді маска наноситься і обробляється методами фотолітографії, тобто тими ж способами, що і фоторезист. Цей процес забезпечує високу точність сполучення. Спосіб трафаретного друку не володіє такою точністю, але цей процес більш продуктивний в масовому виробництві. Зображено на рис.4.17.

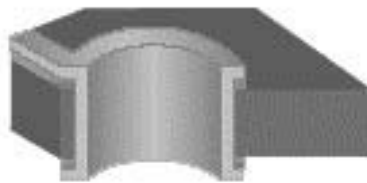


Рисунок 4.17 - Нанесення паяльної маски

Лудіння монтажних поверхонь hal-процес (hot air leveling - вирівнювання гарячим повітрям). Відкриті маскою ділянки міді (монтажні отвори, контактні площадки) лудяться гарячим припоєм методом занурення. Щоб не залишати на платі напливів припою і звільнити отвори від припою,

плата за вилучення з ванни лудіння обдувається гарячими повітряними ножами. Крім здування надлишків повітряні ножі вирівнюють припій на поверхнях контактних майданчиків і монтажних отворів. Тепер плата готова для заключних етапів: нанесення написів (трафаретний друк або фотолітографія), обрізки по контуру, тестування і упаковки [11]. Зображено на рис.4.18.

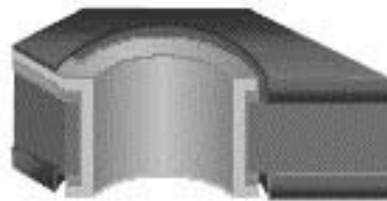


Рисунок 4.18 – Лудіння монтажних поверхонь

### 4.3 Технологія поверхневого монтажу SMD компонентів

Перехід від інтегральних схем (ІС) малої інтеграції до великих ІС (ВІС) і надвеликих ІС (НВІС) ставить виробників електронних вузлів перед необхідністю радикальної зміни способу збирання.

Збільшення кількості виводів компонентів, зменшення їх розмірів і відстаней між ними, зміна конфігурації виводів - все це робило більш доцільною установку багатовивідних корпусів ВІС і НВІС не в наскрізні отвори, а на контактні площадки, розташовані на поверхні друкованих плат.

При розробці плати для монтажу на поверхні (на відміну від традиційної технології) необхідно приділити увагу грамотної підготовки даних САД / САМ: в цьому випадку підготовка програми управління автоматичними установниками і проектування трафарету (в разі трафаретного нанесення припійної пасти) займає лічені хвилини.

#### 4.3.1 Нанесення припійної пасти

Техніка нанесення адгезивів багато в чому повністю аналогічна техніці нанесення припійних паст (за винятком режимів нанесення). Діспенсорне

нанесення адгезивів здійснюється при співвідношенні діаметра нанесеною точки до її висоти в діапазоні від 1,5:1 до 5:1. Потрібно відзначити, що в 90% випадків нанесення адгезивів використовуються диспенсори. Продуктивність автоматичних установок досягає 50000 точок / ч.

Технологічні режими трафаретного нанесення адгезивів (друк заливкою) схожі з трафаретним нанесенням паст. Однак використовувані для нанесення адгезивів трафарети зазвичай мають товщину від 0,15 до 0,20 мм.

Після установки компонентів на термозатверджуємий адгезив здійснюється запікання при температурі від ПО до 160 ° С

#### 4.3.2 Діспенсорне нанесення

Діспенсорне нанесення є досить часто зустрічаємим методом нанесення припійної пасти, застосовуваним в штучному і дрібносерійному виробництві. До основних переваг методу відносяться простота переналагодження обладнання та відсутність необхідності виготовлення трафарету. Однак не варто вважати цей метод більш економічно виправданим (в порівнянні з трафаретним друком). Вартість банки пасти для трафаретного нанесення коливається в межах \$ 40-60, а одного шприца пасти - \$ 10-20.

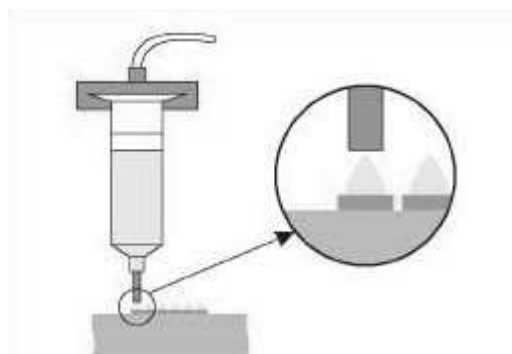


Рисунок 4.19 – Діспенсерне нанесення пасти

В основі методу лежить диспенсор - шприц (рис. 4.19 ). Під дією стисненого повітря здійснюється видавлювання пасти через голку на

поверхню контактних майданчиків друкарської плати. Метод застосуємо як для ручного нанесення, так і для автоматичного.

Продуктивність ручної роботи у досвідчених операторів досягає 120 точок в хвилину. Продуктивність автоматичного нанесення досягає 500 точок в хвилину.

При ручному діспенсорному нанесенні можливі два найбільш небезпечних виду браку:

- неточне дозування - призводить до замикань після оплавлення;
- різну кількість припійної пасти на контактних майданчиках одного компонента - викликає ефект перекидання.

При автоматичному діспенсорному нанесенні брак може виникнути тільки з вини оператора (за винятком відмови обладнання з технічних причин). Найменш імовірний брак - неточність нанесення в межах похибки обладнання. Оскільки точність сучасних установок достатня (а часто і надлишкова) для процесу діспенсорного нанесення, похибка розміщення пасти на друкованій платі не приводить до браку. Відповідно, брак може виникнути тільки через невірну програмну настройку обладнання з вини оператора.

#### 4.3.3 Трафаретний друк

Метод трафаретного друку має на увазі нанесення пасти через апертури (вікна) в сітчастому (рис.4.20) або суцільнометалевому трафареті припійною пастою на контактні площадки друкованих плат.

Техніка трафаретного друку проста: при русі ракеля по поверхні трафарету припійна паста продавлюється крізь його апертури на контактні площадки. Найбільш важливою фазою цього процесу є просування пасти уздовж поверхні трафарету, так як маса, що наноситься повинна переміщатися по поверхні трафарету з певною силою притиснення ракеля і строго вивіреної швидкістю його переміщення. Трафарет і ракель повинні бути чистими, і паста повинна мати строго певні характеристики для цієї сили і швидкості. Помилки в цих параметрах призводять до такого браку, як закоротки або непроїї.

Практика показує, що більше половини помилок всього процесу складання друкованих плат припадає саме на процес нанесення припійної пасти. Перевагою методу трафаретного нанесення припійної пасти є те, що паста може бути нанесена шаром до 300 (в граничних випадках до 650) мкм з дуже високою точністю. У загальному випадку отвори трафарету відкривають лише 50-90% площі контактних майданчиків, що виключає нанесення зайвої кількості припійної пасти.

При нанесенні припійної пасти цим методом використовуються спеціальні установки. Такі установки на ринку паяльного обладнання діляться на два типи: лабораторні ручні рами і напівавтоматичні або автоматичні принтери. У ручних або напівавтоматичних установках припійна паста вручну розміщується на трафареті і потім протискується крізь нього на контактні площадки плати за допомогою ракеля.

Автоматичні установки працюють без втручання оператора (тим самим зменшуючи ризик помилки). Оскільки час нанесення пасти трафаретним друком набагато менше часу установки компонентів на плату, сучасні установки (наприклад, фірми Samsung) мають вбудовані системи 20-контролю якості, що дозволяє здійснювати контроль безпосередньо під час нанесення. Таким чином, відпадає необхідність додаткового проміжного контролю.

#### 4.3.4 Розташування плат

Розташування плати на робочому полі установки трафаретного друку доцільно здійснювати діагонально. Тільки в цьому випадку забезпечується рівномірне нанесення пасти на контактні площадки 4-сторінньої орієнтації (наприклад, для компонентів типу QFP). До того ж потрібно відзначити, що кріплення плати здійснюється тільки по периферії, і в випадках, коли використовуються великі мультипліковані заготовки, забезпечити достатню жорсткість системи «плата - трафарет» можна тільки за рахунок додаткових опор. Вбудовувані в автоматичні лінії автомати Samsung дозволяють в автоматичному режимі в залежності від розмірів плати і розташування

компонентів встановити додаткові опори в робочій області з зовнішнього магазину.

Ще однією особливістю при трафаретному друці є вібраційний рух ракеля. Зворотно-поступальні коливання, що забезпечуються приводом переміщення ракеля, дозволяють виключити (або значно знизити) ймовірність прояву ефекту часткового заповнення апертур трафарету. Крім того, вібраційне рух прискорює процес нанесення пасти.

#### 4.3.5 Види ракелів

Загальний вигляд ракеля показаний на рис. 4.21. Зносостійкість і твердість ракеля сильно впливають на якість нанесення пасти (адгезиву). В умовах масового виробництва стан кромки ракеля підлягає ретельному контролю.

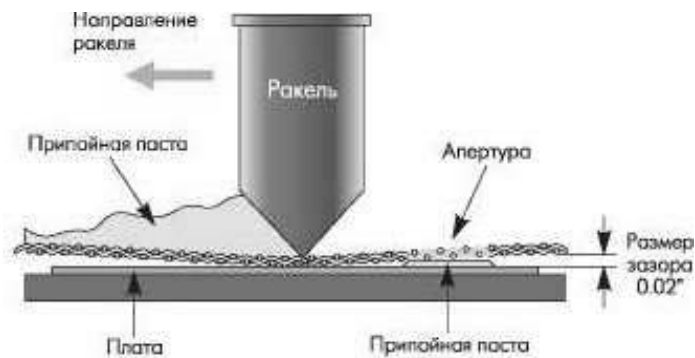


Рисунок 4.20 – Трафаретне нанесення пасти



Рисунок 4.21 – Ракель

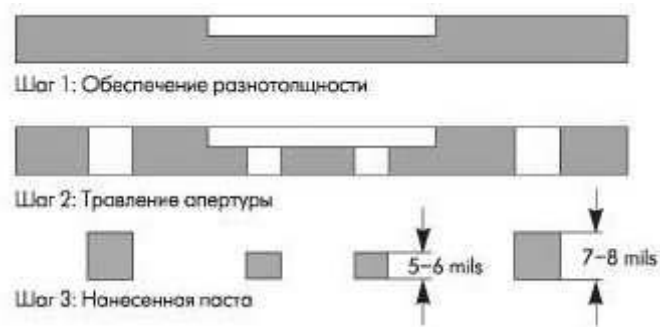


Рисунок 4.22 - Виготовлення багаторівневого трафарету

Для забезпечення високої якості нанесення кромка ракеля повинна бути гострою і прямою.

Сила притиснення ракеля до трафарету також впливає на якість нанесення. Слабке притиснення може привести до пропусків або до нерівного заповнення апертур трафарету пастою. Надмірне притиснення призводить до вичерпування пасти з великих апертур трафарету. Крім того, може статися вдавлювання пасти між поверхнею трафарету і друкованою платою. Прояв такого дефекту залежить від шорсткості місць зрізу матеріалу в вікнах трафарету (у разі механічного виготовлення трафарету).

На сьогоднішній день європейські компанії, що працюють в даній галузі (Samsung, Assemblion, Siemens і т. Д.), використовують два основних види ракелів: поліуретанові і металеві.

У міру зменшення кроку виводів компонентів все більшої популярності стали набувати металеві ракелі. Їх виготовляють з нержавіючої сталі або латуні у формі клину з кутом від 30 до 45 °.

Завдяки відсутності зміни форми робочої кромки під час нанесення пасти (завдяки високій жорсткості), металеві ракелі не викликають вичерпування пасти з вікон трафарету.

Однак вартість металевих ракелів набагато вище поліуретанових, крім того, вони викликають значне зношування трафарету.

Оскільки для різних компонентів потрібна різна кількість пасти на контактних майданчиках плати, існує проблема підбору правильної товщини трафарету.

Для нанесення різного об'єму пасти на контактні площадки однієї і тієї ж плати надходять по-різному. Великі фірми виробники використовують трафарети складної конфігурації (багаторівневі різної товщини трафарети - рис. 4.22). Інші виробники використовують трафарети подвійної товщини (система «трафарет на трафареті»). При використанні таких трафаретів паста наноситься тільки каучуковими (полі-уретановими) ракелями, кромка яких повторює рельєф трафарету при нанесенні.

#### 4.3.6 Типи трафаретів

На сьогоднішній день найбільшого поширення набули сіткові (рис. 4.23а) і суцільнометалеві (рис. 4.23б) трафарети.

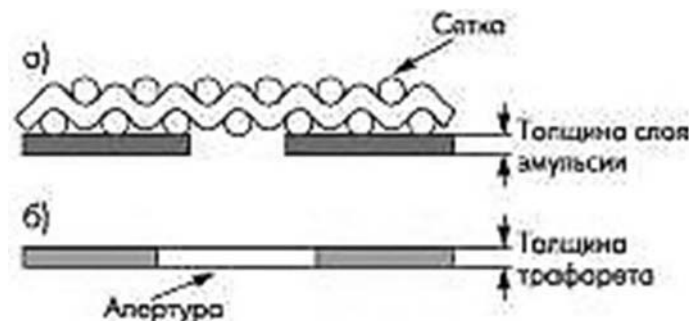


Рисунок 4.23 - Сітковий (а) і суцільнометалевий (б) трафарет

Металеві трафарети використовуються в разі великих заготовок плат за умови масового випуску. Сіткові трафарети являють собою натягнуті на рамки дрібнопористі сіті (розмір комірки повинен перевищувати розмір часток припою).

Виготовлення сітки трафарету здійснюється методами фотолітографії: після нанесення світлочутливої маски здійснюється експонування і прояв.

Важливими параметрами металевого трафарету є точність виготовлення апертур і гладкість поверхонь.



На сьогоднішній день існують три основні способи створення трафаретів: хімічне травлення, лазерне вирізання, адитивний спосіб.

#### Хімічне травлення трафаретів

Формування вікон в металевому трафареті травленням називається хімічним фрезеруванням. На металеву пластину наносять фоторезист з обох сторін, експонують і проявляють його, після чого травлять метал крізь утворені вікна. Оскільки при травленні зовнішні кромки металу піддаються травленню в більшій мірі, форма отвору при односторонньому травленні наближалася б в перерізі до трапеції. Тому використовують техніку двостороннього травлення, при якій похибка форми кромки вікна істотно зменшується.



Рисунок 4.24 - Хімічно фрезерований трафарет

Фізична природа процесу травлення така, що після травлення кромки отвору не виходить гладкою. Існує ряд методів досягнення необхідної якості кромки вікна: метод електрополірування, гальванічне осадження нікелю.

Полірування всій поверхні трафарету може привести до того, що кульки припою в пасті будуть «відскакувати» від поверхні трафарету і утворювати порожній прошарок між поверхнею трафарету і кромкою ракеля. Тому прагнуть полірувати тільки кромки апертур. Нанесення нікелю підвищує якість нанесення пасті, проте шар нікелю може істотно змінити розмір апертур трафарету, що повинно враховуватися при його проектуванні.

Зріз трафарету, хімічно витравленого технікою двостороннього травлення, показаний на рис. 4.25.

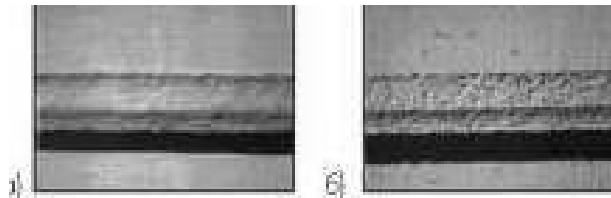


Рисунок 4.25 - Хімічно витравлені апертури без електрополірування (а) і з Електрополіровка (б)

#### Лазерне вирізання трафаретів

Лазерне вирізання, як і попередній метод, відноситься до субтрактивним способам формування виробів, однак йому не притаманний такий великий недолік, як підтравлення матеріалу.

Оскільки при виготовленні трафарету немає проміжного створення фотошаблонів і наступних етапів літографії, точність розмірів апертур набагато вища, ніж при використанні попередня методу.

Іншою перевагою лазерного різання є те, що стінки апертур можна сформувати в кінчній формі. Аналогічну форму апертур можна отримати і хімічним одностороннім травленням, проте в цьому випадку кут буде майже неконтрольованим.

Для істотного полегшення нанесення пасти достатній кут бічних стінок апертур в  $2^\circ$ .

Приклад, який показує точність виготовлення трафаретів лазерним вирізанням, наведено на рис. 4.26, рис. 4.27.

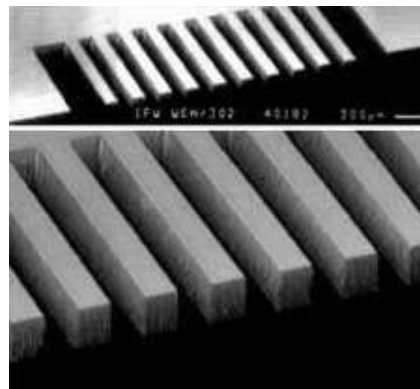


Рисунок 4.26 - Трафарет, вирізаний лазером

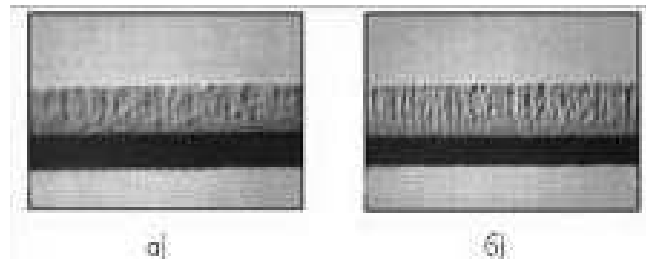


Рисунок 4.27 - Лазерне різання без електрополірування (а) і з  
Електрополіровка + шаром нікелю (б)

Спосіб лазерного різання дозволяє вирізати апертури шириною  $0,004$  "з точністю  $0,0005$ ", що робить цей спосіб перспективним при формуванні апертур для компонентів з малим кроком. Визнаним лідером в області обладнання для лазерного різання є компанія Mape.

Недоліком лазерного виготовлення трафаретів є (як і в попередньому випадку) нерівність країв апертур трафарету. Це явище виникає через випаровування і загартовування металу в процесі різання. Це може викликати закупорювання отворів трафарету пастою. Згладжування країв можна здійснити мікро-травленням.

Ще одним недоліком такого методу є те, що лазерною різкою неможливо отримати багаторівневі трафарети без попереднього хімічного травлення областей, які повинні бути тонше основного матеріалу трафарету.

Оскільки кожна апертура трафарету вирізається окремо, вартість виготовлення трафарету таким способом залежить від складності топології друкованої плати і зазвичай значно вище, ніж травлення.

#### Адитивний спосіб виготовлення (метод гальванопластики)

Третій спосіб виготовлення трафаретів полягає в гальванічному осадженні нікелю на гнучку підкладку - мідну фольгу.

На фольгу накочується фоторезист, експонується і проявляється таким чином, щоб проявлений рельєф повторював малюнок майбутнього трафарету (в місці розташування апертур трафарету фоторезист залишається, в інших видаляється при прояві). Товщина використовуваної фольги  $0,25$  ".

Потім на отриману підкладку здійснюється хіміко-гальванічне осадження нікелю. Після досягнення необхідної товщини трафарету процес осадження закінчується і проводиться смивка фоторезиста.

Ключовим етапом отримання готового трафарету є видалення нікелевого шару від мідної підкладки. Цей процес здійснюється вигином міді, при якому нікель починає відшаровуватися [11].

Процес гальванічного осадження, як і метод лазерного вирізання, виключає подтравлювання стінок апертур, що запобігає забиванню пасти під поверхню. Отже, зменшується ймовірність утворення замикань на друкованих платах. Однак така абсолютно вертикальна форма кромки апертур призводить до проблем при знятті трафарету з плати, на яку нанесена паста.

#### 4.3.7 Брак нанесення пасти

Основними видами браку викликаного помилками оператора при ручному трафаретному друці є:

- нерівномірне нанесення пасти (викликано нерівномірною силою притиснення ракеля до трафарету);
- змазування пасти при відриві трафарету від друкованої плати;
- неповне заповнення апертур трафарету через забруднення кромки ракеля пастою або використання простроченої пасти.

## 5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

Одним з основних показників, за допомогою якого оцінюється економічна ефективність нової техніки, є величина капітальних вкладень.

До таких капітальних вкладень відносяться витрати на науково-дослідні і дослідно-конструкторські роботи, включаючи випробування і доопрацювання дослідних зразків.

Для визначення вартості конструкторської підготовки виробництва складається кошторис витрат з моменту отримання завдання до виготовлення і заводських випробувань дослідного зразка включно і коректування документації за наслідками цих подій.

### 5.1 Суми витрат по статтям кошторису

5.1.1 Зарплата розробників по етапам розраховується, виходячи з кількості технічної документації (схем, креслень, текстової документації), що розробляється, з використанням нормативів базового підприємства на розробку різних видів документації. Зарплата виконавців по кожному етапу є сумою добутоків тривалості етапів в днях на денну ставку виконавця (по всім виконавцям).

Тривалість етапу визначається як добуток кількості листів розробленої документації на відповідну норму часу в нормо-годинах на розробку, поділене на число прийнятих розробників і середню тривалість робочого дня (8,0 годин) .

Денна ставка виконавця визначається відношенням місячного окладу до середнього числа робочих днів в місяці (22 дні).

В таблиці 5.1 приведений розрахунок заробітної плати розробників технічної документації системи управління для зарядного пристрою акумуляторних батарей на базі високочастотного перетворювача.

Таблиця 5.1 – Розрахунок зарплати розробників технічної документації

№	Найменування етапу розробки	Одиниця	К-ть креслень	Норматив часу на одиницю нормо-годин	Трудомісткість етапу люд-годин	Число виконавців	Тривалість етапу, днів	Денна ставка виконавців	Зарплата за етап, грн.
1	Схема електрична принципова	Схема ф.А1	1	17,45	17,45	1	3,30	128,50	424,05
2	Схема електрична структурна	ф.А1	1	15,50	15,50	1	1,9	115,0	218,5
3	Складальне креслення	ф.А1	1	17,2	17,2	1	2,15	90,5	194,57
4	Креслення друкованої плати	ф.А1	1	16,90	16,90	1	2,7	108,3	292,41
5	Специфікація	ф.А4	4	0,80	3,20	1	1,35	80,5	108,67
6	Розрахунки	ф.А4	13	6,30	63	1	4,00	100,0	400
7	Записка пояснення	ф.А4	70	1,80	90,00	1	11,5	115,5	1328,2
	Разом:								2966,4

5.1.2 Зарплата на виготовлення і випробування дослідного зразка по всім етапам визначається таким чином: дослідний зразок виготовляється і випробовується в лабораторії; тривалість цих робіт узяті з досвіду базового

підприємства, а потім розраховані аналогічно розрахунку заробітної плати на розробку технічної документації див. табл. 5.1.

При визначенні зарплати на виготовлення дослідного зразка трудомісткість по видам робіт збільшена на 100% проти трудомісткості серійного виробу і підвищені розряди роботи на один з урахуванням ручних робіт в дослідному виробництві.

Таблиця 5.2 – Зарплата на виготовлення дослідного зразка

№	Вид робіт	Середній розряд робіт	Трудомісткість	Тарифна ставка, грн/год	Зарплата, грн
1	Складальні	5	20	15,05	301,0
2	Монтажні	6	13	19,6	235,2
3	Регулювальні	6	30	14,7	441
Разом:					996,2

Зарплата виконавців на коректування документації визначається з трудомісткості розробки відповідних документів: коректування складає 15% цій трудомісткості.

5.1.3 Накладні витрати беруться у розмірі 40... 120% сумарної зарплати розробників з урахуванням виготовлення і випробування дослідного зразка і коректування документації за наслідками випробувань.

5.1.4 Матеріальні витрати на зразок складаються з вартості матеріалів (табл. 5.3) і комплектуючих виробів (табл. 5.4) на проєктовану апаратуру. При цьому, виходячи з обліку втрат, вартість матеріалів та комплектуючих збільшена на 30%

Таблиця 5.3 – Вартість матеріалів

№	Найменування	Одиниця виміру	К-ть на виріб	Ціна за одиницю	Сума, грн
1	Стеклотекстоліт FR4	м <sup>2</sup>	0,027	2005,45	54,15
2	Лак	л	0,015	500,60	7,51
3	ПОС-60	кг	0,035	240,5	8,42
4	Флюс	л	0,014	127,00	1,78
Разом:					70,07

Таблиця 5.4 – Витрати на куповані комплектуючі вироби

№	Найменування	Кількість	Ціна одиниці, грн	Сума, грн
1	Резистор	1	1,5	1,5
2	Резистор	1	0,5	0,5
3	Резистор	1	1,6	1,6
4	Резистор	1	0,8	0,8
5	Резистор	1	0,05	0,05
6	Резистор	1	0,07	0,07
7	Резистор	2	0,9	1,8
8	Резистор	2	1	2
9	Конденсатор	2	6	12
10	Конденсатор	2	5	10
11	Конденсатор	1	7	7
12	Конденсатор	1	1,3	1,3
13	Конденсатор	1	0,8	0,8
14	Конденсатор	1	5,5	5,5



№	Найменування	Кількість	Ціна одиниці, грн	Сума, грн
15	Індуктивність	1	11	11
16	Діодний міст	1	3,5	3,5
17	Роз'єм	2	2,5	5
18	Вилка	2	5	10
19	Трансформатор	1	47	47
20	Контролер	1	44	44
21	Діод	3	3	9
Разом				174,42

5.1.5 Собівартість дослідного зразка визначається за формою табл. 5.5.

Таблиця 5.5 – Калькуляція собівартості дослідного зразка

№	Стаття витрат	Витрати на проєктований виріб, грн.
1	Матеріали	70,07
2	Куповані комплектуючі вироби	174,42
3	Транспортні витрати (5% (п.1+п.2))	12,2
4	Заробітна платня виробничих робочих	996,2
5	Додаткова заробітна плата (10%п.4)	99,62
6	Нарахування на зарплату (37%(п.4+п.5))	405,45
7	ФЗП	
8	Накладні витрати (120% п.4)	1195,44
Всього собівартість:		2953,4

5.1.6 В таблиці 5.6 приведено розрахунок кошторису витрат на конструкторську підготовку виробництва.

Таблиця 5.6 Кошторис витрат на конструкторську підготовку виробництва

№	Стаття витрат	Сума, грн.
1	Зарплата розробників по всім етапам розробки	2966,4
2	Зарплата на коректування технічної документації за наслідками випробувань дослідного зразка (15% п.1)	444,96
3	Разом:	3411,36
4	Нарахування на зарплату (37% п.3)	1262,2
5	Накладні витрати (120% п.3)	4093,63
6	Собівартість дослідного зразка	2953,4
7	Інші витрати	540
Всього вартість розробки:		15671,95

5.1.7 В таблиці 5.7 приведено розрахунок заробітної плати робочих в разі серійного виготовлення виробу.

Таблиця 5.7 – Зарплата робочих за виготовлення серійного виробу

№	Вид робіт	Середній розряд робіт	Трудомісткість нормо - год	Тарифна ставка, грн/год	Зарплата, грн
1	Складальні	4	7	12,20	85,4
2	Монтажні	5	3	12,78	38,34
3	Регулювальні	5	6	12,50	75
	Разом:				198,74

5.1.8 Розрахунок планованої собівартості одиниці продукції проводиться на основі калькуляційних статей, враховуючи що комплектуючі та матеріали знижені на 30% по відношенню до таблиць 5.3 та 5.4, зведених в таблицю 5.8:

Таблиця 5.8 – Калькуляція собівартості і ціни одиниці виробу

№	Стаття витрат	Витрати на виріб, грн
1	Матеріали	49,05
2	Куповані комплектуючі вироби	174,42
3	Транспортні витрати (5% п.1+п.2)	11,17
4	Основна заробітна плата виробничих робочих (табл. 5.7)	198,74
5	Додаткова заробітна плата (10% п.4)	19,87
6	Нарахування на зарплату (37%(п.4+п.5))	80,88
7	Загальновиробничі витрати (100% п.4)	198,74
8	Разом собівартість	732,87
9	Прибуток (30% п.8)	219,86
Ціна виробника:		952,731

## 5.2 Розрахунок терміну окупності розробки

Річний економічний ефект від впровадження нових виробів розраховується по формулі :

$$\mathcal{E}_r = (P - E_H \cdot K_y) \cdot A_r \quad (5.1)$$

де  $P$  - прибуток на одиницю продукції (з табл. 5.8  $P = 219,86$  );

$E_H$  – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень ( $E_H = 0,15$ );

$K_y$  – питомі капіталовкладення на одиницю річного об'єму продукції;

$A_r$  – річний об'єм випуску продукції при серійному виробництві.

Визначаємо питомі капіталовкладення на одиницю річного об'єму продукції:

$$K_v = \frac{K}{A_r}, \quad (5.2)$$

де  $K$  - капіталовкладення в розробку виробу (з табл. 5.6  $K=15671,95$ ).

Враховуючи, що річний об'єм випуску продукції при серійному виробництві складає 100 шт/рік:

$$K_v = \frac{15671,95}{100} = 156.7$$

Тоді передбачуваний річний економічний ефект:

$$\mathcal{E}_r = (219,86 - 0,15 \cdot 156.7) \cdot 100 = 19635.5 \text{г}$$

Ефективність розробки визначається згідно:

$$E = \frac{\mathcal{E}_r}{K}, \quad (5.3)$$

$$E = \frac{19635.5}{15671,95} = 1,25.$$

Термін окупності продукції рівний зворотній величині ефективності:

$$T = \frac{1}{E}, \quad (5.4)$$

$$T = \frac{1}{1.25} = 0,8 \text{року}$$

В таблиці 5.9 приводяться загальні економічні показники розробленої системи передачі інформації по оптичним каналам.

Таблиця 5.9 – Економічні показники

№	Показники	Один. виміру	По проектуваному виробу
1	Витрати на КПП	грн.	15671,95
2	Собівартість розробки	грн.	952,731
3	Ціна підприємства	грн.	219,86
4	Річний обсяг випуску	шт.	100
5	Річний економічний ефект	грн.	19635.5
6	Ефективність розробки		1,25
7	Термін окупності додаткових капітальних вкладень	років	0,8

Економічні розрахунки підтвердили доцільність розробки блоку живлення на ШІМ-контролери ALTAIR04-900.

## 6 ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ НА ПІДПРИЄМСТВІ

### 6.1 Заходи безпеки на робочому місці та в електроустановках

#### 6.1.1 Заходи безпеки роботи з електроустановками

Дана інструкція розроблена відповідно до вимог "Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів" і обов'язкове для всіх не електротехнічних працівників підприємства.

До користування електроустановками споживачів електричної енергії (персональними електронно-обчислювальними машинами, кондиціонерами, вентиляторами, електричними друкарськими машинками, принтерами, факсами, сканерами, копіювальними пристроями, електронагрівальними приладами, холодильниками, світильниками тощо) допускаються працівники, які пройшли вступний, первинний інструктаж з питань охорони праці, які вивчили порядок і правила користування електроприладами, передбачені експлуатаційною документацією.

Виробничий не електротехнічний персонал, який виконує роботи, при яких може виникнути небезпека ураження електричним струмом, присвоюється 1 група з електробезпеки. Для отримання цієї групи необхідно вивчити дану інструкцію після чого підтвердити знання викладеного в ній матеріалу, відповівши на контрольні питання, поставлені відповідальним за електрогосподарство, на якого покладено ці обов'язки, з оформленням в "Журналі перевірки знань з техніки безпеки у персоналу з групою по електробезпеки 1". Видача посвідчень працівникам з 1-ою групою не потрібно. Надалі працівники не електротехнічного персоналу проходять інструктаж з питань електробезпеки один раз на рік.

До електроспоживачів відносять:

- промислове електроустаткування;
- зразки розроблюваних і серійно випускаються виробів і їх складові;
- оргтехніка (комп'ютери, факси, принтери, модеми тощо);
- освітлювальна техніка;
- побутова електротехніка і електроніка (чайники, кип'ятильники, нагрівачі, каміни, тепловентилятори, холодильники, пилососи, радіо-, телеприймачі й передавачі тощо) є електроустановками.

Відносно заходів безпеки роботи з електроустановками (в електроустановках) поділяються на 3 категорії:

- роботи зі зняттям напруги;
- роботи без зняття напруги у віддаленості від струмоведучих частин, що знаходяться під напругою;
- роботи без зняття напруги на струмопровідних частинах, що знаходяться під напругою та поблизу них.

Роботи з електроустановками, на які не подано напругу живлення. Електроустановка вважається відключеною від напруги живлення (на неї не подано напругу) тільки тоді, коли є візуальний розрив між нею і джерелом напруги живлення (вилка шнура живлення вийнята з розетки, кабелі відключені тощо). В іншому випадку, незалежно від стану закритого комутаційного апарата (вимикача), електроустановка вважається під напругою (без зняття напруги).

Роботи з оргтехнікою та побутовими приладами відносяться до робіт без зняття напруги у віддаленості від струмоведучих частин, що знаходяться під напругою, оскільки напруга на електроустановках присутня, але доступ до струмоведучих частин неможливий (за умови наявності корпусу з ізолюючого матеріалу або металевого заземленого). При цьому не потрібно застосування захисних засобів. Заземлення може здійснюватися як за допомогою

заземляючого проводу при трьохпровідній електромережі, так і за допомогою окремо прокладеного заземляючого провідника.

Користувачі електроустановок зобов'язані:

- виконувати вимоги електробезпеки, викладені в цій інструкції та експлуатаційної документації на використовувані електроприлади;
- виконувати вказівки особи, відповідальної за електрогосподарство та спеціаліста з охорони праці, з питань електробезпеки та режимів споживання електричної енергії;
- мати знання і навички звільнення потерпілого від дії електричного струму;
- знати розташування первинних засобів пожежогасіння та вміння ними користуватися;

- не проводити технічне обслуговування і ремонт електрообладнання. Струмopрoвідні частини електроустановок повинні бути ізольовані, огорожені або розміщені в місцях, недоступних для дотику до них.

Кожен працівник, який виявив порушення цієї інструкції, а також помітив несправність електроустановки або засобів захисту, повинен негайно повідомити про це свого безпосереднього керівника, а в його відсутність - керівника вищого рівня.

Порушення вимог цієї інструкції тягне за собою дисциплінарну, адміністративну або кримінальну відповідальність у встановленому законодавством порядку в залежності від характеру порушень та їх наслідків.

Дія електричного струму на людину.

Будь-який вплив електричного струму на організм людини небезпечно для здоров'я і життя.

Внаслідок особливого властивості електричного струму (відсутність зовнішніх ознак: кольору, звуку, запаху тощо), робота в установках і використання електроприймачів вимагає особливої уваги та обережності.



Електричний струм при проходженні через організм людини надає на нього різного роду вплив: електролітичне (розкладання крові, що приводить до зміни її хімічного складу), біологічне (порушення внутрішніх біоелектричних процесів, зокрема, судомне скорочення м'язів), термічне (нагрів тканин, органів, опіки) і механічне (розшарування, розрив тканин і органів).

Дія електричного струму може заподіяти людині:

Електричний удар, коли струм проходить через тіло людини і вражає весь організм. При цьому, як правило, спочатку порушується дихання, а серце продовжує працювати з порушеннями ритму, але, якщо дія струму триває, може наступити зупинка серця і смерть. Електричну травму, коли впливу струму піддаються ділянки тіла. В результаті виникають зовнішні і внутрішні місцеві ураження.

Крім того можуть бути травми і опіки від впливу електричної дуги, що виникає при різних коротких замикань. При цьому опіки можуть бути як малої тяжкості (почервоніння шкіри) так і дуже великий (глибоке порушення тканин навіть до обвуглювання).

### 6.1.2 Вимоги безпеки перед початком роботи

Перед включенням електроустановки в мережу необхідно провести її зовнішній візуальний огляд, переконатися у відсутності незакритих струмоведучих частин, в цілісності сполучних проводів, штепсельних розеток, вилок, вихідному положенні органів управління, відсутності пошкодження ізоляції сполучних і живлять проводів (кабелів) та інших зовнішніх елементів електроустановки, відсутності вологи або крапель води на частинах електроустановки.

Якщо для експлуатації електроустановки передбачено заземлення, необхідно переконатися в цілісності заземляючого провідника і надійності його кріплення до заземлювальної шини.

При використанні вилок і розеток з заземляючим контактом переконатися, що вилка приєднана до розетки з заземляючим контактом.

Приступати до роботи з електроустановкою тільки після вивчення експлуатаційної документації підприємства-виробника (паспорта, керівництва, інструкції по експлуатації тощо).

Електроприлади, встановлені в приміщеннях з підвищеною вологістю, наявністю струмопровідних підлог і пилу, хімічно активного середовища, які мають неізольовані струмопровідні корпуси, можна включати в електричну мережу тільки при наявності заземлення.

Використання опалювальних, водопровідних та інших труб або конструкцій як заземлення забороняється

При виявленні несправностей в електроустановці, не подавати на неї напругу, а повідомити про несправності своєму безпосередньому керівнику робіт [13].

### 6.1.3 Вимоги безпеки під час роботи

Електроінструмент можна використовувати тільки у випадках, якщо він має подвійну ізоляцію або, якщо він живиться від напруги 42В. Після подачі напруги живлення на електроустановку необхідно переконатися в її функціонуванні відповідно до експлуатаційної документації підприємства-виробника.

Користувачеві електроустановки забороняється:

1. Самостійно розкривати, ремонтувати електроприладів, електропроводки, розеток, вилок, вимикачів тощо, а також робити заміну електроламп, запобіжників та інших знімних елементів, відключати і включати автоматичні вимикачі в електрощитах (крім аварійних випадків).
2. Користуватися несправними електроприладами, розетками, вилками, рубильниками та іншими комутаційними пристроями.
3. Користуватися нестандартним електрообладнанням (несертифікованими електронагрівальними приладами, запобіжниками, замінниками штепсельних вилок, розеток, вимикачів тощо).
4. Включати в електромережу потужні споживачі електроенергії (нагрівальні пристрої, зварювальні апарати тощо) без дозволу особи, відповідальної за електрогосподарство.
5. Включати в електромережу (розетку), призначену для обчислювальної техніки потужні споживачі електроенергії (кондиціонери, нагрівальні пристрої, зварювальні апарати тощо).
6. Включати в електромережу і роботу електроприлади з відключеною або несправною автоматикою (блокуванням) і сигналізацією
7. Працювати з електроприладами в мережу при появі в них (на них) вологи і пошкоджень ізоляції струмопровідних проводів (кабелів).
8. Проводити підключення, відключення штепсельних роз'ємів (з'єднань) при положенні вимикачів в стані «включено».
9. Знімати попереджувальні таблички (плакати) з розподільних електрощитів, самовільно відкривати їх і виробляти в них включення, перемикання.
10. Під час роботи електроустановки відхилятися від вимог її експлуатаційної документації (час безперервної роботи, перерв тощо).
11. Торкатися руками одночасно до включеному в мережу електроприлади і до пристроїв, що мають природне заземлення (радіаторів і труб опалення, водопровідних труб, газових плит тощо).

12. Експлуатувати електроприлади без спеціального захисного виконання (заземлення, герметичного пиловологонепроникного корпусу) в приміщеннях з наявністю в них одного з наступних умов: а) вологості (вологість більше 75%, стеля, стіни, підлогу, предмети покриті вологою); б) струмопровідного пилу; в) хімічно активного середовища (пари, газу, відкладення яких руйнують ізоляцію і струмопровідні частини електрообладнання), струмопровідних підлог (металевих, земляних, залізобетонних тощо).

13. Застосовувати переносні світильники з напругою вище 42В в приміщеннях з підвищеною небезпекою (наявністю вологості більше 75%, струмопровідних підлог і пилу, температури понад 35 градусів).

14. Застосовувати переносні світильники з напругою вище 12В в приміщеннях з особливо небезпечними умовами (наявність вологи на стелі, стінах, підлогах, предметах, хімічно активних парів, газів, одночасно двох і більше умов підвищеної небезпеки).

15. Експлуатувати без захисних кожухів (огорожень) електроприлади, які мають обертові частини, неізольовані струмопровідні елементи, що знаходяться під напругою.

16. Торкатися руками, іншими відкритими ділянками тіла проводів (кабелів), що знаходяться під напругою, класти на них і електроприлади будь-які предмети, ставати на них.

17. Застосовувати стаціонарні світильники в якості ручних

18. Допускати зіткнення електричних проводів з металевими конструкціями і горючими матеріалами.

19. Зав'язувати і скручувати електропроводи, відтягувати дроти і світильники, підвішувати світильники на електричні дроти.

20. Використовувати електроарматуру для підвішування одягу та інших предметів.

21. Обгортати електричні лампи (світильники) папером, тканиною та іншими горючими матеріалами.

22. Встановлювати світильники, нагрівальні електроприлади на відстані менше 0,5 м від горючих матеріалів.
23. Застосовувати в електромережах радіо і телефонні дроти.
24. Прибирати в шафи електронагрівальні прилади до їх повного охолодження.
25. Використовувати електронагрівальні прилади без теплоізоляційних підставок (пристроїв).
26. Сушити одяг або інші горючі матеріали на електронагрівальних приладах і поблизу від них.

#### 6.1.4 Вимоги безпеки після закінчення роботи

Відключення електроустановок від мережі проводити відповідно до вказівок експлуатаційної документації (паспорта, керівництва, інструкції по експлуатації тощо).

Перед відходом з робочого місця (приміщення) переконатися, що всі споживачі електричного струму відключені.

#### 6.1.5 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

У разі появи пошкоджень в корпусі електроустановки або в установках електроживлення електрообладнання, відхилень від передбаченого експлуатаційної документацією режиму роботи електрообладнання, ознаках аварійного стану (іскріння, стороннього шуму, самозаймання тощо) користуватися електроустановкою забороняється. Необхідно негайно відключити електроустановку від електромережі, повідомити про те, що трапилося безпосередньому керівнику робіт і особи, відповідальній за електрогосподарство.

При виникненні пожежі в електрообладнанні або електромережі необхідно виконати всі дії, зазначені в пункті 5.1, а також повідомити на пост охорони об'єкту про місце і характер пожежі для виклику (при необхідності) пожежної команди і приступити до гасіння пожежі наявними поблизу первинними засобами пожежогасіння. Використання водяних і пінних засобів пожежогасіння в приміщенні з незабезпеченої електромережею забороняється.

Для гасіння пожежі на електроустановках, що знаходяться під напругою, застосовуються вогнегасники вуглекислотного типу ОУ2, ОУ5, ОУ8 тощо.

При попаданні будь-кого з працівників під електричну напругу необхідно негайно звільнити потерпілого від дії струму, дотримуючись вимог електробезпеки.

Для цього слід відповідним вимикачем або роз'єднувачем швидко відключити напругу з електроустановки, струмоведучих частин якої стосується потерпілий.

Якщо відключити швидко неможливо, слід вжити заходів для відділення потерпілого від струмоведучих частин електроустановки. При цьому необхідно застосовувати або захисні засоби, або (лише в електроустановках до 1000 В) підручні предмети з ізолюючими властивостями.

При нещасному випадку, очевидець, працівник, який виявив факт травмування, або сам потерпілий зобов'язаний повідомити про це

безпосереднього керівника робіт і зберегти до прибуття комісії з розслідування обстановку, яка була на момент травмування, якщо це не загрожує життю чи здоров'ю інших працівників і не призведе до більш тяжких наслідків.

При нещасних випадках слід надати першу допомогу:

- при ураженні електричним струмом, якщо потерпілий дихає рідко і судомно або у нього відсутні ознаки життя (не прослуховується дихання, немає пульсу, розширені зіниці очей) необхідно робити штучне дихання «рот в рот» і непрямий масаж серця (при цьому, організація виклику швидкої допомоги обов'язкова);

- при пораненні - накласти стерильну пов'язку;

- при кровотечі - рану закрити стерильною пов'язкою і тримати в такому стані 35 хвилин. Якщо кровотеча припинилася, пов'язку закріпити бинтом;

- при переломах, ударах, вивихах і розтягненнях забезпечувати спокійне і зручне положення пошкодженої частини тіла.

У всіх випадках після надання першої допомоги, потерпілого (якщо можливо) направити в медпункт або викликати лікаря.

## 6.2 Охорона праці

### 6.2.1 Охорона праці і техніка безпеки при монтажі і експлуатації

Охорона праці і техніка безпеки при монтажі і експлуатації зовнішнього освітлення забезпечуються прийняттям проектних рішень і виконанням робіт у суворій відповідності з публ-2014 і сніп 12-03-99, вимоги яких визначають умови безпеки праці та заходи щодо попередження травматизму, професійних захворювань, пожеж і вибухів.

При виконанні робіт необхідно забезпечити:

- правильну організацію робочого місця і прийомів праці;
- наявність керівництва й нагляду за персоналом;
- залучення кваліфікованого персоналу;

- застосування відповідного устаткування, пристосувань і інструментів;
- застосування безпечних прийомів в роботі і узгодженість у діях працюючих;
- дотримання інструкцій з техніки безпеки;
- наявність індивідуальних засобів захисту.

Монтажні роботи повинні проводитися в світлий час доби. Перед початком робіт з працівниками повинен бути проведений інструктаж на робочому місці з охорони праці, електробезпеки, пожежної безпеки та промислової санітарії.

#### 6.2.2 Охорона праці при пайці і випалюванні ізоляції.

Нині майже усі електромонтажні з'єднання РЕА здійснюються пайкою. Технологічний процес пайки включає випалювання ізоляції і лудіння.

При виконанні пайки на працюючих можуть впливати наступні небезпечні і шкідливі виробничі чинники:

запиленість і загазованість повітря робочої зони; наявність інфрачервоних випромінювань від розплавленого припою у ванні або від паяльника; наявність електромагнітного випромінювання високої частоти; дія ультразвуку на організм монтажника при пайці хвилею, яка утворюється за рахунок дії ультразвуку на розплавлений припій; дія електростатичного заряду; незадовільна освітленість робочих місць або підвищена яскравість; незадовільні метеорологічні умови в робочій зоні; дія бризок і крапель розплавленого припою; поразка електричним струмом; а також група психофізіологічних шкідливих виробничих чинників: фізичні перевантаження (статичні і динамічні) і нервовопсихічні (монотонність праці, емоційні перевантаження) [14].

Операції пайки, лудіння і випалення ізоляції супроводжуються забрудненням повітряного середовища в приміщеннях парами свинцю, олова,



сурми і інших елементів, що входять до складу припою; парами каніфолі і різних рідин, вживаних для флюсу, змиву і розчинення різних лаків, які застосовуються для покриття друкованих плат; парами соляної кислоти; газами(окисел вуглецю, вуглеводня) і т. д. Пари, потрапляючи в атмосферу цеху, конденсуються і перетворюються на аерозоль такої конденсації, частки якої по своїй дисперсності наближаються до димів.

Знаходячись в запиленій атмосфері, робітники піддаються дії пилу і пари; шкідливі речовини осідають на поверхні шкірного покриву, потрапляють на слизову оболонку порожнини рота, очей, верхніх дихальних шляхів, із слиною заковтуються в травний тракт, вдихаються у легені. Разом із забрудненням повітряного середовища забруднюються робочі поверхні, одяг і шкірні покриви працюючих.

Особливо шкідливі при пайці олов'яно-свинцевими припоями пари свинцю. Свинець і його з'єднання отруйні. Частина свинцю, що поступив в організм, виводиться через кишечник і нирки, а частина затримується в кістковій речовині, м'язах, мозку, печінці. За несприятливих умов свинець починає циркулювати в крові, викликаючи явища свинцевого отруєння. Свинець викликає зміни у складі крові, вражає нервову систему, нирки і печінку.

Властивість свинцю накопичуватися в організмі призводить до хронічного отруєння при систематичному надходженні в організм навіть малих його кількостей. Для запобігання гострим і професійним захворюванням вміст свинцю в повітряному середовищі не повинен перевищувати гранично допустимої концентрації —  $0,01 \text{ мг/м}^3$ .

У виробництві радіоелектронної апаратури окрім олов'яно-свинцевих припоїв знаходять застосування припої, до складу яких входять мідь, літій, срібло, кадмій і інші метали. В деяких випадках пайка здійснюється шляхом занурення в розплавлені хлористі солі кадмію, натрію, бору, літію з додаванням активних присадок — фтористих солей. Пари більшості з перерахованих речовин, що утворюються при пайці, можуть чинити шкідливу

дію на організм працюючих.

Найбільш небезпечні пари окислу кадмію, міді і фтористі сполуки. Не байдужі для організму також літій і хлористий цинк, що чинять подразливу дію на шкіру і дихальні шляхи.

Пайка в атмосфері звичайними припоями робиться із застосуванням флюсів.

Біологічна дія флюсів на організм людини залежить від компонентів, що входять до складу паяльних флюсів. Одні компоненти(каніфоль соснова, етилацетат, олеїнова кислота та ін.) мають подразливу дію; інші (спирт етиловий) — наркотичним; треті (семікарбазид гідрохлорид, етилгліколь) — високою токсичністю; дія четвертих(кремнійорганічна рідина) на організм ще вивчено недостатньо.

Деякі марки флюсів (ФГСп, ФДФс, ФСкСп та ін.) через високу токсичність рекомендується не застосовувати або обмежувати їх застосування. У усіх флюсах слідує етилгліколь замінювати гліцерином, оскільки він здатний проникати в організм навіть через неушкоджену шкіру.

Для видалення залишків флюсів після пайки залежно від марки флюсу застосовуються різні миючі середовища, які мають токсичні властивості.

Кожному різновиду процесів пайки і лудіння притаманні певні шкідливі і небезпечні фізичні, хімічні, біологічні та психофізіологічні фактори, що відрізняються як кількісними, так і якісними характеристиками. При цьому деякі види паяння і лудіння утворюють одночасно кілька таких виробничих факторів, які можуть призвести до травмування та профзахворювань або виникнення пожеж і вибухів.

Такими потенційними небезпечними і шкідливими виробничими факторами можуть бути:

- запиленість і загазованість повітря робочої зони;
- наявність інфрачервоних випромінювань від розплавленого припою у ванні або паяльника;
- наявність електромагнітного випромінювання високої частоти;

- дія ультразвуку на організм монтажника при пайці хвилею, яка утворюється за рахунок дії ультразвуку на розплавлений припій;
- вплив електростатичного заряду;
- незадовільна освітленість робочих місць або підвищена яскравість;
- незадовільні метеорологічні умови в робочій зоні;
- впливу бризок і крапель розплавленого припою;
- ураження електричним струмом;
- група психофізіологічних шкідливих виробничих факторів: фізичні перевантаження (статичні і динамічні), нервово-психічні перевантаження (монотонність праці, емоційні перевантаження).

Всі різновиди процесів пайки і лудіння супроводжуються забрудненням повітряного середовища аерозолем припою і флюсу, парами різних рідин, застосовуваних для флюсу, змивки і розчинення лаків, парами соляної кислоти, газами (окис вуглецю, вуглеводні) і т.д.

Операції пайки і лудіння супроводжуються забрудненням повітряного середовища в приміщеннях парами оксиду свинцю, олова, сурми та інших елементів, що входять до складу припою, а також парами каніфолі. Пари, потрапляючи в атмосферу цеху, конденсуються і перетворюються в аерозоль конденсації.

Перебуваючи в запиленій атмосфері, робочі піддаються впливу пилу і парів; шкідливі речовини осідають на шкірному покриві, попадають на слизову оболонку порожнини рота, очей, верхніх дихальних шляхів, зі слиною потрапляють в травний тракт, вдихаються в легені. Поряд із забрудненням повітряного середовища забруднюються робочі поверхні і одяг працюючих. Ступінь впливу аерозолів залежить від хімічного складу, який визначається хімічним складом припою (дод. 1 і 2).

Більшість елементів, що входять до складу застосовуваних припоїв, є небезпечним для здоров'я та життя людини.

Біологічна дія деяких з компонентів, що входять до складу припоїв, а також клас їх небезпеки та гранично допустимі концентрації в міліграмах на кубічний метр в повітрі робочої зони наведені в дод. 3.

Однак аерозоль конденсації, що утворюється при пайку, містить кілька оксидів елементів, що входять до складу припою, і біологічна дія цього аерозолю буде залежати від того чи іншого компонента. В одних випадках спостерігається зниження токсичного ефекту на окремі органи людини, в інших - його дія стає біологічно активним, тобто відзначається синергетичний ефект. До найбільш токсичним відносяться припій, що містять свинець і кадмій. Токсична прояв різних марок припою на організм людини наведено з дод. 4.

Біологічна дія флюсів на організм залежить від компонентів, що входять до їх складу (пріл.5)

Для видалення залишків флюсів після пайки в залежності від марки флюсів застосовуються різні мийні засоби, токсичні властивості яких наведені в дод. 5 і 6.

Запиленість і загазованість атмосфери виробничих приміщень залежать від виду пайки і лудіння, кількості постів паяння, марки припою, флюсу, змивки засобів локалізації та об'єму приміщень.

Клас небезпеки, ГДК та біологічна дія ШР при пайці ручним паяльником в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 - Клас небезпеки, ГДК та біологічна дія ШР

Найменування ШР	Клас небезпеки	ГДК, мг/м <sup>3</sup>	Біологічна дія на організм людини
Компоненти припою			
Свинець	I	0,01	Уражає всі органи та системи організму, має мулятивну здатність

Найменування ШПР	Клас небезпеки	ГДК, мг/м <sup>3</sup>	Біологічна дія на організм людини
Олово	III	10,0	Подразнююча (кашель, задуха)
Компоненти флюса			
Каніфоль	IV	40,0	Подразнююча та наркотична дія
Компоненти обтиральних матеріалів			
Ацетон	IV	>200,0	Подразнююча та наркотична дія.
Спирт етиловий			
Бензин		400	Послідовно уражає усі відділи центральної нервової системи, має мулятивну здатність.

### 6.3 Електробезпека

Захист людей від ураження електричним струмом забезпечується:

- заземленням металевих частин електроустановки, які не знаходяться під напругою, але можуть опинитися під ним при пошкодженні ізоляції електричних провідників або електроприймачів.;
- надійним і швидкодіючим автоматичним відключенням частин обладнання, які випадково опинилися під напругою;
- розміщенням устаткування, що забезпечує його вільне і безпечно обслуговування;
- застосуванням індивідуальних захисних засобів і справного інструменту, що пройшли випробування в установлені терміни.

## 6.4 Протипожежні заходи

Пожежна безпека об'єкта забезпечується:

- застосуванням автоматичних вимикачів з високою чутливістю і швидкодією;
- прокладкою живильної лінії з дотриманням вимог пуче-2014;
- прокладкою проводів по негорючим підставам в самозатухаючих трубах, каналах або рукавах.

Несправності в електромережах та обладнанні, які можуть викликати іскріння, коротке замикання або перегрів повинні негайно ліквідуватися. Пошкоджену електромережу необхідно відключити до приведення її в пожежобезпечний стан.

Обслуговуючий персонал повинен пройти відповідний інструктаж і суворо дотримуватися вимог інструкції щодо забезпечення пожежної безпеки [18].

## 6.5 Заземлення і занулення

Основний захисною мірою від ураження електричним струмом є застосування захисного заземлення - обов'язкового з'єднання із заземлюючим пристроєм (землею) металевих частин електричних установок, які можуть опинитися під напругою при пошкодженні ізоляції електричних провідників або електроприймачів.

Крім заземлення, електроустановки напругою до 1000 В, підлягають обов'язковому зануленню - з'єднання металевих частин електроустановки з

нульовим проводом мережі живлення. Наявність такого з'єднання перетворює замикання струмопровідних частин електроприймачів на корпус електроустановки в коротке замикання, що призводить до відключення аварійної ділянки автоматичним вимикачем або запобіжником.

Застосування захисного заземлення металевих частин електроустановки без їх занулення забороняється.

Установка комутаційних апаратів в ланцюзі заземлення та зануляють провідників забороняється.

## 6.6 Розрахунок заземлення

Відповідно до ПУЕ 2014 (Глава 1.7) [16], опір заземлення пристрою не повинен перевищувати 4 Ом.

Вихідні дані:

- кліматична зона - 3;
- питомий опір ґрунту, чорнозем,  $\Psi$  - 50 Ом м;
- нормований опір заземлювального пристрою,  $R_3$  - 4 Ом;
- довжина вертикального електрода,  $L_B$  - 3,0 м;
- діаметр вертикального електрода,  $D_B$  - 35 мм;
- горизонтальний електрод - смугова сталь  $40 \times 4$  мм;
- відстань між вертикальними електродами,  $L$  - 3,0 м;
- розташування вершини вертикального електрода - нижче рівня землі 0,5 - 0,8 м;
- розташування вертикальних електродів — по контуру.

Вертикальні електроди з'єднуються за допомогою горизонтальної сталеві штаби. З'єднання вертикальних і горизонтальних електродів виконується зварюванням.

З урахуванням підвищувальних коефіцієнтів, для третьої кліматичної зони, розрахунковий питомий опір ґрунту:

- для горизонтальних електродів:

$$\Psi_{ГОР} = 2 \cdot \Psi = 2 \cdot 50 = 100 \text{ Ом} \quad (4.1)$$

- для вертикальних електродів:

$$\Psi_{ВЕР} = 1,4 \cdot \Psi = 1,4 \cdot 50 = 70 \text{ Ом} \quad (4.2)$$

Опір розтікання струму одного вертикального електрода:

$$\begin{aligned} R_B &= \frac{\Psi_{ВЕР}}{2 \cdot \pi \cdot L_B} \cdot \left[ \ln \frac{2 \cdot L_B}{D_B} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot t + L_B}{4 \cdot t - L_B} \right] = \\ &= \frac{70}{2 \cdot \pi \cdot 3} \cdot \left[ \ln \frac{2 \cdot 3}{0,035} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 2,2 + 3}{4 \cdot 2,2 - 3} \right] = 20,42 \text{ Ом} \end{aligned} \quad (4.3)$$

де  $t$  - рівень розташування центру вертикального електрода.

Приблизне число вертикальних електродів з урахуванням прийнятого коефіцієнту використання  $K_B = 0,62$

$$N = R_B / K_B / R_3 = 20,42 / 0,62 / 4 = 9,52 \quad (4.4)$$

Для подальших розрахунків приймаємо кількість вертикальних електродів  $N_{пр} = 10$ . Коефіцієнт використання горизонтального з'єднувального електрода, при розташуванні вертикальних електродів по



контур,  $K_{\Gamma} = 0,56$ . Опір розтікання струму горизонтального електрода (металевої смуги), яка приварена до верхніх кінців вертикальних електродів:

$$R_{\Gamma} = \frac{\Psi_{\text{ГОР}}}{2 \cdot \pi \cdot L_{\Gamma} \cdot K_{\Gamma}} \cdot \ln \frac{2 \cdot L_{\Gamma}^2}{b \cdot T} = \frac{100}{2 \cdot \pi \cdot 3 \cdot 0,56} \cdot \ln \frac{2 \cdot 9}{0,04 \cdot 0,7} = 60,98 \text{ Ом} \quad (4.5)$$

де  $b$  - ширина горизонтального електрода;  $T$  - рівень розташування центру горизонтального електрода.

Проводимо уточнення опору розтікання струму вертикальних електродів, з урахуванням опору горизонтального електрода:

$$R_{BY} = \frac{R_{\Gamma} \cdot R_3}{R_{\Gamma} + R_3} = \frac{149,4 \cdot 4}{149,4 + 4} = 3,75 \text{ Ом} \quad (4.6)$$

Проводимо уточнення кількості вертикальних електродів, при уточненому коефіцієнті використання  $K_{B\Gamma} = 0,76$

$$n = R_B / K_{B\Gamma} / R_{BY} = 20,42 / 0,76 / 3,87 = 9,89 \quad (4.7)$$

Остаточно, як заземлювальний пристрій приймаємо конструкцію, що складається з 10 вертикальних електродів довжиною 3 метра, діаметром 35 мм, розташованих в ряд, на відстані 3 м один від одного, з'єднаних металевою смугою  $40 \times 4$  мм, загальною довжиною 27,0 м.

## 6.7 Рекомендації з монтажу заземлення

1. Опір заземлення згідно з вимогами ПУЕ 2017 (Глава 1.7), в будь-який час року має бути не більше 4 Ом.

2. По закінченню монтажу зробити вимір дійсного опору розтікання струму заземлювального пристрою. При необхідності збільшити кількість вертикальних і довжину горизонтальної електродів.

3. Роботи по установці елементів заземлювального пристрою виконати відповідно до креслення.

4. Вертикальний електрод - сталевий прут  $l = 3,0$  м,  $d = 35$  мм, кількість - 10 шт.

5. Горизонтальний електрод - сталева смуга  $40 \times 4$  мм,  $l = 27$  м.

6. Перед забиванням в землю один кінець вертикального електрода зрізати під клин (кут 60 градусів).

7. Відстань між вертикальними електродами - 3 м.

8. Глибина залягання горизонтального заземлювача - 0,7 м нижче рівня землі.

9. Всі з'єднання елементів заземлювального пристрою виконати зварюванням внахлест.

10. Всі місця зварювальних з'єднань покрити бітумною мастикою в два шари.

## ВИСНОВКИ

У даному проекті досліджено і проаналізовано ринок радіоелектронних компонентів та підібрано оптимальне і сучасне схемо-технічне рішення для малопотужного блоку живлення для кранового анемометру. У ході аналізу вже існуючих рішень джерел живлення було підібрано сучасну мікросхему ALTAIR04-900.

ALTAIR04-900 має вбудований силовий MOSFET з напругою пробною 900 В, що дозволяє використовувати мікросхему в діапазоні вхідної напруги від 150 до 440 В, що цілком задовольняє потреби на підприємстві. Важливою особливістю ALTAIR04-900 є те, що не потрібно зворотній зв'язок по струму і напрузі на вторинній стороні.

Завдяки повному управлінню з боку первинної обмотки, можна заощадити на комплектуючих: не потрібна мікросхема для вимірювання струму, оптрони (оптопара) і кілька пасивних елементів. Точність струму при цьому залишається прийнятною:  $\pm 2,5\%$  в повному діапазоні напруг. Також до переваг відноситься низьке споживання в режимі очікування та захист від перевантаження по струму від насичення трансформатора і короткого замикання вторинного діода.

Наявність 900-вольтового транзистора дозволяє використовувати дане джерело живлення і в однофазних, і в трифазних мережах, оскільки зворотня напруга в даному випадку становить 100 В. Відповідно, навіть при напрузі на вході 450 В пікова змінного струму на стоці становить 775 В. запас в 125 В достатня для надійного функціонування перетворювача.

Також економічні розрахунки підтвердили доцільність розробки блоку живлення на ШІМ-контролери ALTAIR04-900.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Вікіпедія – Вільна енциклопедія. [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/>
2. Калиграф [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Режим доступу: [http://www.kaligraf.narod.ru/termoreg/termoreg\\_p12f629\\_v0.html](http://www.kaligraf.narod.ru/termoreg/termoreg_p12f629_v0.html)
3. Миандр – занимательная электроника [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Режим доступу: <http://meandr.org/archives/18543>
4. Куличков А.В. - Импульсные блоки питания для IBM PC.2-е изд., стер. - М.: ДМК Пресс, 2002..
5. Костиков В.Г., Никитин И.Е. Источники электропитания высокого напряжения РЭА. - М.: Радио и связь, 1986.Бородакий, Ю.В. Основы теории систем управления Исследование и проектирование / Ю.В. Бородакий. - М.: Радио и Связь, 2004. - 256 с.
6. Джюджи Л., Пели Б. Силовые полупроводниковые преобразователи частоты: Теория, характеристики, применение. Пер. с англ. - М.: Энергоатомиздат, 1983. - 400 с., ил.
7. [REDACTED]  
[REDACTED]
8. STmicroelectronics – Datasheet ALTAIR04-900 18211 Rev 3 29/29
9. MyPractic. [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Режим доступу: <http://mypractic.ru/mikrosxema-ch340g-preobrazovatel-interfejsa-usb-v-uart-most-usb-uart-xarakteristiki-usloviya-ekspluatacii-tipovye-sxemy-vklyucheniya.html>
10. National Semiconductor Corporation – Datasheet TNY255 Rev. June 2001
11. Резонит [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Режим доступу: <https://www.rezonit.ru/support/articles/technology%20in%20pictures/>
12. DipTrace [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Режим доступу: <https://diptrace.com/ua/diptrace-software/pcb-layout>

13. . Стуколов П.М. Организация, планирование и управление предприятиями электронной техники. –М.:Высш.шк., -1986.
14. Геврик Є.О. Охорона праці: Навчальний посібник.- К.: Ельга Ніка-Центр, 2004.- 280 с.
15. СНиП 2.09.02-85 «Производственные здания промышленных предприятий»
16. СНиП II -4 79. Естественное и искусственное освещение. М.: Стройиздат, 1980.-48 с.
17. СНиП 2.09.02-85 «Производственные здания промышленных предприятий»
18. СНиП 2.01. 02-85. Протипожежні норми. - М., 1990.

1. Перелік елементів  
 2. Назва  
 3. Кількість  
 4. Примітка  
 5. Значення  
 6. Назва  
 7. Кількість  
 8. Примітка  
 9. Значення  
 10. Назва  
 11. Кількість  
 12. Примітка  
 13. Значення  
 14. Назва  
 15. Кількість  
 16. Примітка  
 17. Значення  
 18. Назва  
 19. Кількість  
 20. Примітка  
 21. Значення  
 22. Назва  
 23. Кількість  
 24. Примітка  
 25. Значення  
 26. Назва  
 27. Кількість  
 28. Примітка  
 29. Значення  
 30. Назва  
 31. Кількість  
 32. Примітка  
 33. Значення  
 34. Назва  
 35. Кількість  
 36. Примітка  
 37. Значення  
 38. Назва  
 39. Кількість  
 40. Примітка  
 41. Значення  
 42. Назва  
 43. Кількість  
 44. Примітка  
 45. Значення  
 46. Назва  
 47. Кількість  
 48. Примітка  
 49. Значення  
 50. Назва  
 51. Кількість  
 52. Примітка  
 53. Значення  
 54. Назва  
 55. Кількість  
 56. Примітка  
 57. Значення  
 58. Назва  
 59. Кількість  
 60. Примітка  
 61. Значення  
 62. Назва  
 63. Кількість  
 64. Примітка  
 65. Значення  
 66. Назва  
 67. Кількість  
 68. Примітка  
 69. Значення  
 70. Назва  
 71. Кількість  
 72. Примітка  
 73. Значення  
 74. Назва  
 75. Кількість  
 76. Примітка  
 77. Значення  
 78. Назва  
 79. Кількість  
 80. Примітка  
 81. Значення  
 82. Назва  
 83. Кількість  
 84. Примітка  
 85. Значення  
 86. Назва  
 87. Кількість  
 88. Примітка  
 89. Значення  
 90. Назва  
 91. Кількість  
 92. Примітка  
 93. Значення  
 94. Назва  
 95. Кількість  
 96. Примітка  
 97. Значення  
 98. Назва  
 99. Кількість  
 100. Примітка

Зона	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітка
	C1,C3	Конденсатор CL31-B104 +-10% 50В 2,2 мкФ	2	Hitano
	C2	Конденсатор CL31-B104 +-10% 1кВ 10 мкФ	1	Hitano
	C4	Конденсатор CL31-B0603 +-5% 50В 1 нФ	1	muRato
	C5	Конденсатор CL31-B0805 +-5% 50В 4,7 нФ	1	muRato
	C6	Конденсатор CL31-B0805 +-5% 50В 1нФ	1	muRato
	C7,C8	Конденсатор CL31-B104 +-10% 1кВ 2,2нФ	2	Hitano
	C9	Конденсатор CL31-B1206 +-10% 16В 33-мкФ	1	muRato
	DA1	Мікросхема ALTAIR04-900	1	STmicroelectronics
	DA2	Мікросхема DF08	1	YJ
	R1	Резистор +-5% 16 Ом 1Вт	1	Hitano
	R2	Резистор R-2512 +-10% 1 Ом	1	muRato
	R3	Резистор R-0603 +-10% 10 Ом	1	muRato
	R4,R8	Резистор R-1206 +-10% 15 кОм	2	muRato
	R5	Резистор +-5% 91 кОм 2Вт	1	Hitano
	R6	Резистор R-0603 +-10% 68 кОм	1	muRato
	R7	Резистор R-0603 +-10% 13 кОм	1	muRato
	R9	Резистор R-0603 +-10% 18 кОм	1	muRato
	VD1	Діод STTH110	1	STmicroelectronics
	VD2	Діод 1N4148	1	Fairchild
	VD3	Діод STPS2150	1	STmicroelectronics
	VD4	Діод KLS9-5013GC	1	KLS
	X1	Роз'єм PBS-2	1	KLS
	X2	Роз'єм PLS-2	1	KLS

ЕЛ М2.180213.00.00.00.00.ПЕЗ

Зм.	Арк.	№ докцм.	Підп.	Дата
Розроб.		Кабарчук	<i>[Signature]</i>	27.12.13
Перевір.		Шмаліу	<i>[Signature]</i>	28.12
Т.контр.		Турішев	<i>[Signature]</i>	28.12.13
Затверд.		Критська	<i>[Signature]</i>	28.12.13

Використання сучасних джерел живлення в анемометрах  
Перелік елементів

Лім.	Арк.	Аркцилів
		1
II ЗНУ ЕЛ-18-1мд		

Копіював

Формат А4

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	кіль.	Примітка
				<u>Документація</u>		
			ЕЛ М2.180213.00.00.00.00.Д1	Використання сучасних джерел живлення в анемометрах		
				Типи перетворювачів		
			ЕЛ М2.180213.00.00.00.00.Д2	Використання сучасних джерел живлення в анемометрах		
				Структурна схема перетворювачів		
			ЕЛ М2.180213.00.00.00.00.Е1	Використання сучасних джерел живлення в анемометрах		
				Схема електрична структурна		
			ЕЛ М2.180213.00.00.00.00.Е3	Використання сучасних джерел живлення в анемометрах		
				Схема електрична принципова		
			ЕЛ М2.180213.00.00.00.00.Д3	Використання сучасних джерел живлення в анемометрах		
				Діаграма ККД		
			ЕС М2.180213.00.00.01.01	Використання сучасних джерел живлення в анемометрах		
				Друкована плата		

ЕЛ М2.180213.00.00.00.00

Зм.	Арк.	№ док.м.	Дідп.	Дата
Розроб.		Кабарчук	Скач	24.08.12
Перевір.		Шмаліу	Шмаліу	27.12
Н.контр.		Туришев	Туришев	28.12.12
Затверд.		Критська	Критська	25.01.13

Використання сучасних джерел живлення в анемометрах

Літ.	Арк.	Аркцилів
	1	2



Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	При- мітка
			<i>ЕЛ М2.180213.00.00.01.00.СБ</i>	<i>Використання сучасних джерел живлення в анемометрах</i>		
			<i>ЕЛ М2.180213.00.00.00.00.ГЧ</i>	<i>Складальне креслення Використання сучасних джерел живлення в анемометрах</i>		
			<i>ЕЛ М2.180213.00.00.00.00.Д4</i>	<i>Габаритне креслення Використання сучасних джерел живлення в анемометрах</i>		
			<i>ЕЛ М2.180213.00.00.00.00.Д5</i>	<i>Економічні показники Використання сучасних джерел живлення в анемометрах</i>		
				<i>Заземлювальний пристрій</i>		

ТОВ «МІС»  
 вул. Київська, 11  
 м. Київ, 01030



Лист № 1

Лист № 2

Лист № 3

Лист № 4

Лист № 5

Лист № 6

Лист № 7

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	кіль.	Примітка
				<u>Інші вироби</u>		
		1		Трансформатор	1	
		2		Роз'єм	1	
		3		Діодний міст	1	
		4		Конденсатор	2	
		5		Конденсатор	1	
		6		Індуктивність	1	
		7		Роз'єм	1	
		8		Світлодіод	1	
		9		Мікросхема	1	
		10		Конденсатор	1	
				<u>Деталі</u>		
		11	ЕЛ М2.180213.00.00.01.01	Друкована плата	1	

ЕЛ М2.180213.00.00.00.00

Зм.	Арк.	№ док.м.	Підп.	Дата
Розроб.		Кабарчук	<i>Кабарчук</i>	27.12.13
Перевір.		Шмаліу	<i>Шмаліу</i>	27.12
Н.контр.		Туришев	<i>Туришев</i>	28.12.13
Затверд.		Критська	<i>Критська</i>	28.01.14

Використання сучасних джерел живлення в анемометрах

Літ.	Арк.	Аркушів
		1

Копіював

Формат А4