

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії

(повна назва факультету)

кафедра автоматизації технологічних процесів і виробництв

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: «Розроблення підсистеми імпульсного живлення на основі
контролера з широтно-імпульсною модуляцією»

(комплексна тема)

Виконав(ла): студент(ка) IV курсу, групи КА-41

спеціальності 151 «Автоматизація

та комп'ютерно-інтегровані технології»

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Довгалюк Т.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Трембач Р.Б.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Козбур В.Р.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Савків В.Б.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Королук Р.І.

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2024

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: «Розроблення підсистеми імпульсного живлення на основі
контролера з широтно-імпульсною модуляцією»
(комплексна тема)

Виконав(ла): студент(ка) IV курсу, групи КА-41
спеціальності 151 «Автоматизація

та комп'ютерно-інтегровані технології»

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Кузняк Д.А.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Трембач Р.Б.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Козбур В.Р.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Савків В.Б.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Корольок Р.І.

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2024

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра автоматизації технологічних процесів і виробництв
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Савків В.Б.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« ____ » _____ 2024р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
(шифр і назва спеціальності)

студенту Кузняку Дмитру Андрійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Розроблення підсистеми імпульсного живлення на основі контролера з широтно-імпульсною модуляцією»
(комплексна тема)

Керівник роботи к.т.н., доцент Трембач Р.Б.
(прізвище, м. 'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «28» травня 2024 року № 4/7-552

2. Термін подання студентом завершеної роботи 20 червня 2024 року

3. Вихідні дані до роботи Технічні дані споживання відповідних вихідних напруг

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1) аналітична частина; 2) проектна частина;

3) спеціальна частина; 4) Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

Презентація кваліфікаційної роботи 12 аркушів формату А4

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота складається з пояснювальної записки та графічної частини (ілюстративний матеріал – слайди).

Об'єм графічної частини кваліфікаційної роботи становить 12 слайдів.

Об'єм пояснювальної записки складає 71 друкованих сторінок формату А4 (210×297).

Кваліфікаційна робота складається з чотирьох розділів, в яких нараховується 37 рисунків та 2 таблиці з даними. В роботі використано 17 літературних джерел.

Метою дипломного проекту є розробка систему імпульсного живлення на основі мікроконтролерів з широтно-імпульсною модуляцією, а саме її технічне забезпечення.

В роботі розроблено структурні та електричні схеми системи живлення; вибрано комплекс технічних засобів на базі серійних пристроїв.

У вступі було обґрунтовано актуальність теми та визначено основні завдання дослідження.

В аналітичній частині розглядаються різні типи блоків живлення, проводиться аналіз блоків живлення, розглядаються базові найпростіші структури імпульсних та лінійних перетворювачів, розглядаються технології побудови імпульсних блоків живлення на основі контролерів, а саме трансформаторних перетворювачів напруги (зворотноходових та прямоходових).

У проєктній частині проведено розробку структури та функціональної схеми блоку живлення, розробка електричної принципової схеми, розробка монтажною плати.

У спеціальній частині розроблена програма розрахунку основних параметрів імпульсного блоку живлення та проєктується блок імпульсного живлення за заданим вхідними даними.

У висновках підсумовано виконання роботи, вказано на досягнення мети даної кваліфікаційної роботи, зокрема, впровадження імпульсних систем живлення значно покращить роботу різних пристроїв та приладів. Крім того імпульсні джерела живлення мають більш широкий діапазон вхідних напруг. Діапазон вхідних напруг лінійних джерел живлення звичайно не перевищує $\pm 10\%$ від номінального значення, що в свою чергу впливає на коефіцієнт корисної дії.

Ключові слова: ТРАНСФОРМАТОР, ШИРОТНО- ІМПУЛЬСНА МОДУЛЯЦІЯ, МІКРОКОНТРОЛЕР, ІМПУЛЬС, БЛОК ЖИВЛЕННЯ.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	8
ВСТУП	9
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	11
1.1 Аналіз трансформаторних перетворювачів напруги	11
1.2 Аналіз резонансних перетворювачів	18
1.3 Імпульсні перетворювачі з декількома виходами	20
1.4 Контролери коефіцієнта потужності	21
2 ПРОЕКТНА ЧАСТИНА	25
2.1 Вибір принципу роботи імпульсного блока живлення на основі контролера	25
2.2 Вибір схеми керування	26
2.3 Вибір функціональної схеми включення мікроконтролера	30
2.4 Вибір системи зворотного зв'язку	36
2.5 Аналіз можливості застосування мікроконтролера DPA423-426	40
2.6 Розробка електричної принципової схеми	46
2.7 Розробка монтажною плати	49
3 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА	51
3.1 Розробка програми розрахунку основних параметрів імпульсного блоку живлення	51
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	57
4.1 Значення охорони праці для забезпечення безпечних та здорових умов праці	57
4.2 Аналіз потенційних небезпек та шкідливих факторів виробничого середовища	59
4.3 Забезпечення нормальних умов праці	62
4.4 Забезпечення безпеки експлуатації обладнання	68
ВИСНОВКИ	69
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	70

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АС – змінний струм;
ДС – постійний струм;
ШІМ – широтно-імпульсна модуляція;
ЛСЖ – лінійні системи живлення;
ІСЖ – імпульсні системи живлення;
ЛБЖ – лінійний блок живлення;
ІБЖ – імпульсний блок живлення;
ПЗ – програмне забезпечення;
БУ – блок управління;
ПУ – підсистема управління;
ККД – коефіцієнт корисної дії.

ВСТУП

Джерела живлення розвивалися протягом багатьох років: від електричних вакуумних ламп і громіздких стійок, які використовували небезпечно високі напруги, до сучасних компактних джерел живлення, які забезпечують низьку, відносно безпечну напругу постійного струму. Джерела живлення та перетворювачі змінного/постійного струму настільки широко використовуються в електронному обладнанні, що на них припадає значна частина світового ринку електроніки, понад 8 мільярдів доларів США щорічно.

Крім того, цей показник зростає разом із загальним зростанням світового ринку електроніки. Перетворювальна технологія просунулася не тільки для отримання компактних стабілізованих пристроїв, але й головним чином від лінійних джерел живлення до сучасних імпульсних джерел живлення, які не тільки менші та легші, але й ефективніші [1–4].

Лінійні джерела живлення мають багато корисних властивостей, таких як простота, низькі вихідні пульсації та шуми, значення нестабільності напруги та струму, швидкий час відновлення тощо, але їх основним недоліком є низька ефективність.

Імпульсні джерела живлення популярні через високий ККД і високу питому потужність. При порівнянні лінійних і імпульсних джерел живлення можна зробити наступні висновки. Стабільність напруги і струму краще в лінійних джерелах живлення, іноді на порядок, але в імпульсних джерелах живлення часто використовуються лінійні вихідні стабілізатори, що покращує стабільність вихідної напруги.

Пікове значення вихідного імпульсу імпульсного джерела живлення знаходиться в діапазоні 25...100 мВ, що значно вище, ніж у лінійного джерела живлення. Слід зазначити, що для імпульсних джерел живлення значення форми сигналу вихідної напруги є нормованими від піку до піку, тоді як для лінійних джерел вони є середньоквадратичними значеннями. Хоча імпульсні

джерела живлення мають більший час перехідних процесів, ніж лінійні, вони дуже важливі в комп'ютерних додатках [1–5].

Тому імпульсні джерела живлення мають більш широкий діапазон вхідної напруги. Діапазон вхідної напруги лінійних блоків живлення зазвичай не перевищує $\pm 10\%$ від номіналу, що позначається на ефективності. В імпульсних джерелах живлення діапазон вхідної напруги практично не впливає на ефективність, а діапазон вхідної напруги $\pm 20\%$ або більше дозволяє працювати з великими змінами напруги мережі [5–7].

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Аналіз трансформаторних перетворювачів напруги

При виборі конкретної схеми перетворювача можна скористатися рисунком 1.1. Як видно з малюнка, потужність, що подається на навантаження перетворювача, зростає зі збільшенням напруги живлення в області низької вихідної потужності.

З ростом вихідної потужності доцільно перейти на прямоходову схему побудови перетворювача. Ще більші потужності можуть забезпечити тільки двотактні перетворювачі напруг [8,9].

Зворотньоходовий перетворювач. Основна схема малопотужного імпульсного джерела живлення — це зворотньоходовий перетворювач, показаний на рисунку 1.2.

Ця схема перетворює одну постійну напругу в іншу, регулюючи вихідну напругу за допомогою широтно-імпульсної модуляції (ШІМ), або частотно-імпульсної модуляції (ЧІМ). Модуляція ширини імпульсу — це метод керування заснований на зміні відношення тривалості відкритого стану ключа до закритого при постійній частоті. В зворотньоходовому перетворювачі тривалість відкритого стану ключа більше тривалості закритого стану для того, щоб більша кількість енергії була запасена в трансформаторі і передана в навантаження.

Зворотньоходовий перетворювач працює в такий спосіб. Ключовий транзистор $Q1$ керується схемою ШІМ. При розімкнутому струмі в первинній обмотці трансформатора зростає лінійно. Цей трансформатор фактично являє собою дросель з вторинною обмоткою, який, на відміну від звичайного трансформатора, накопичує в собі велику кількість енергії.

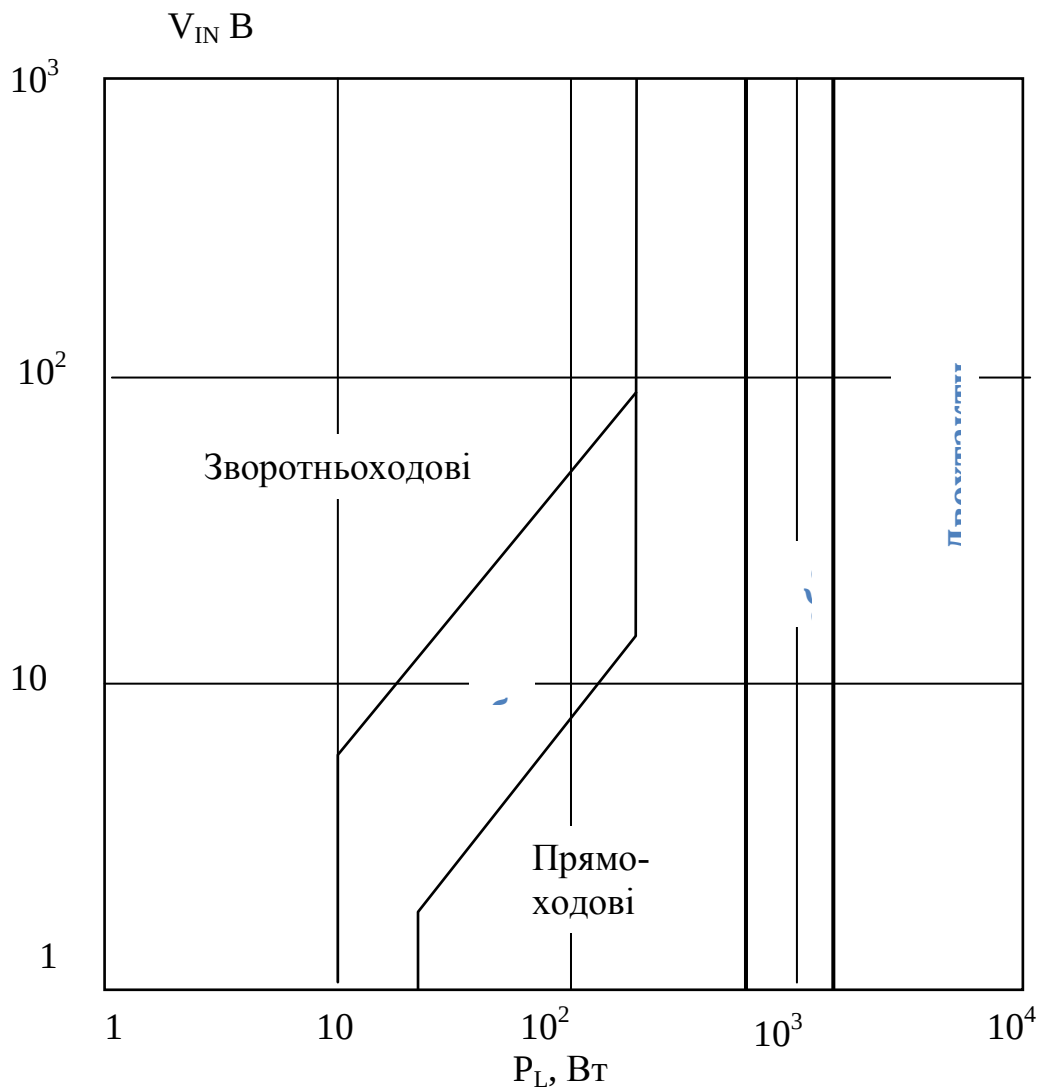


Рисунок 1.1 – Вибір типу перетворювача в залежності від вихідної напруги та вихідної потужності

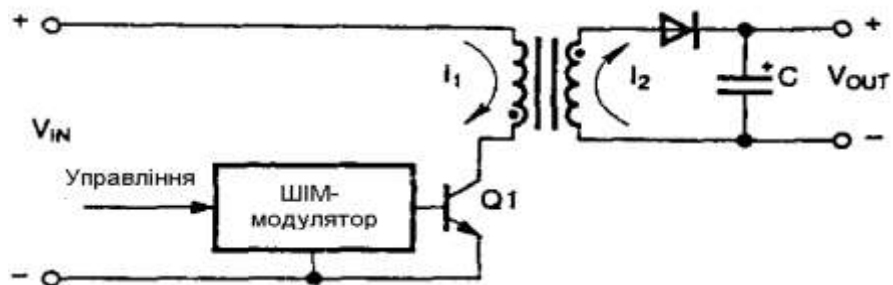


Рисунок 1.2 – Типова схема зворотньоходового перетворювача

Коли транзистор $Q1$ закривається, магнітний потік у сердечнику трансформатора починає зменшуватися, і це викликає струм I_2 , що тече у колі вторинної обмотки.

Струм I_2 заряджає конденсатор C і також тече на навантаження. На рисунку 1.3 показані імпульси струмів I_1 та I_2 під час відкритого і закритого стану ключового транзистора.

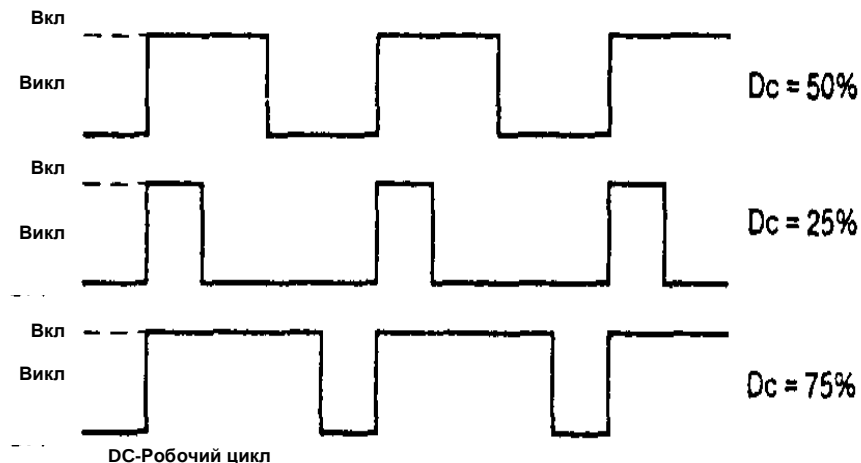


Рисунок 1.3 – Ілюстрація процесу ШІМ

Струм I_1 протікає у відкритому стані, а струм I_2 тече в закритому стані, зберігаючи постійну напругу на конденсаторі C . При збільшенні вихідного навантаження необхідно лише збільшити тривалість відкритого стану транзистора $Q1$, протягом якого струм I_1 досягне більшого значення, що збільшить струм I_2 у вторинній обмотці в закритому стані ключа. І навпаки, при зменшенні навантаження струм I_2 зменшує своє значення.

Якщо вихідну напругу порівняти з опорною напругою й отриманою різницею керування ШІ - модулятором, виходить замкнута петля зворотного зв'язку, а схема автоматично зберігає постійне значення вихідної напруги.

Ідеальна схема зворотньоходового перетворювача не має втрат, тому що в будь-який час перемикаючий елемент має або нульову напругу або нульовий струм. На практиці маються на увазі деякі втрати переключення і провідності в

транзисторі $Q1$ і також втрати в трансформаторі, діоді і конденсаторах. Але ці втрати невеликі в порівнянні з втратами в схемі перетворювача.

Зворотньоходовий перетворювач напруги мережі. Більш повна схема зворотньоходового перетворювача, безпосередньо підключеного до мережі перемінного струму, побудована на схемі типового зворотньоходового перетворювача, показана на рисунку 1.4.

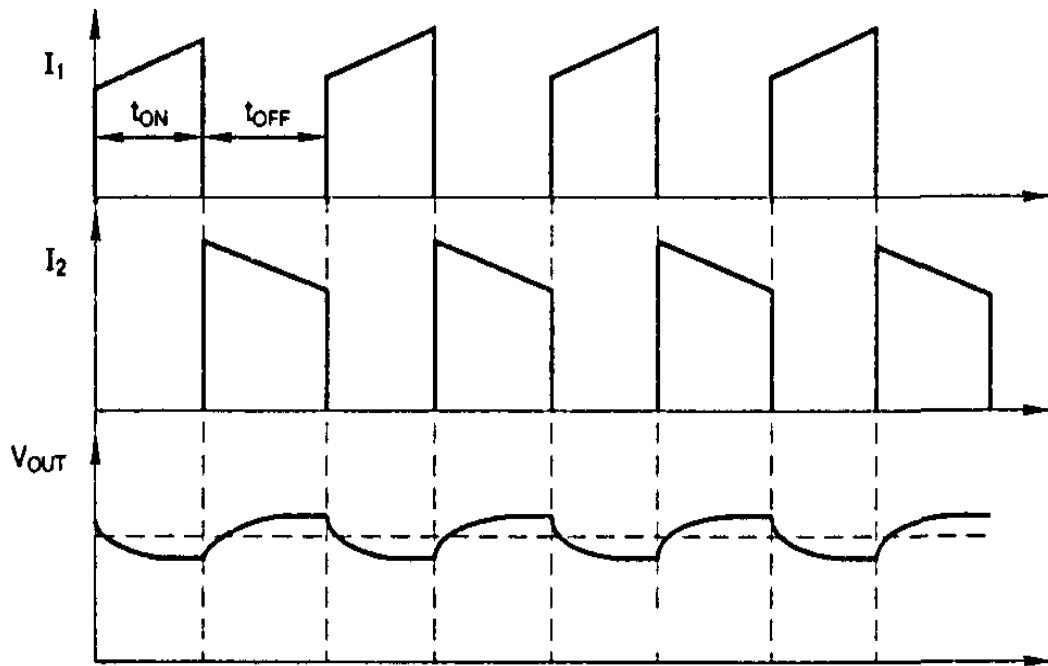


Рисунок 1.4 – Форми сигналів для зворотньоходового перетворювача

Необхідно звернути увагу на те, що перетворювач живиться напругою, отриманою випрямленням напруги мережі перемінного струму без використання трансформатора.

На цій схемі також показана петля зворотного зв'язку по якій сигнал з виходу подається назад на ключовий транзистор. Ця петля зворотного зв'язку повинна мати ізоляцію для того, щоб вихідна лінія постійного струму була гальванічно розв'язана від мережі змінного струму, що звичайно виконується за допомогою маленького трансформатора або оптопари.

Перетворювач постійного струму. Інша популярна конфігурація імпульсного джерела живлення називається схемою понижувального перетворювача і показана на рисунку 1.5.

Хоча ця схема дуже схожа на зворотну схему, є деякі ключові відмінності. Перетворювач постійного струму зберігає енергію у вихідній обмотці котушки, а не в трансформаторі. Точки, що позначають початок обмотки на трансформаторі, означають, що при відкритому основному транзисторі у вторинній обмотці з'являється напруга і через діод $D1$ до обмотки йде струм.

У цій схемі велика тривалість відкритого стану ключа щодо закритого стану, більш висока середня напруга у вторинній обмотці і більш високий вихідний струм.

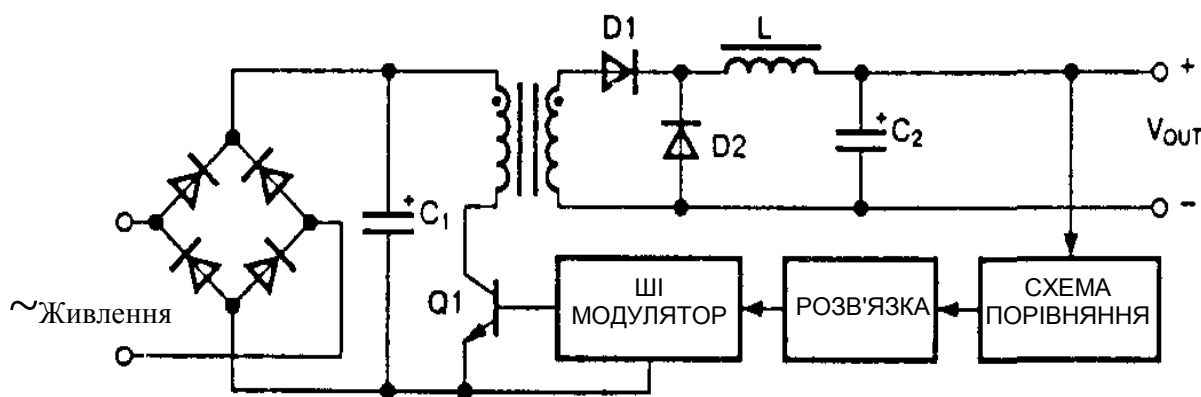


Рисунок 1.5 – Прямоходовий перетворювач напруги мережі

Коли транзистор $Q1$ закривається, струм в індукторі не може відразу змінитися і продовжує протікати через діод $D2$. Тому, на відміну від схеми зворотного ходу, струм тече від елемента накопичення енергії в обох половинах циклу перемикання. Таким чином, прямий перетворювач має нижчу вихідну напругу пульсацій, ніж інвертуюча схема з тими ж вихідними параметрами.

Двотактні перетворювачі. Вихідні каскади двотактних перетворювачів можуть бути виконані за схемою із середньою точкою первинної обмотки трансформатора мостової і напімостової схем.

Вихідний перетворювач первинної середньої точки трансформатора (рисунок 1.6) є типом перетворювача, за винятком того, що в первинному ланцюзі трансформатора включені два перемикачі. У цій схемі використовується подвоєна напруга живлення на закритих транзисторах, що є істотним недоліком схеми. Такі схеми перетворювачів використовуються для малих вхідних напруг.

У перетворювачі мостового типу (рисунок 1.7) напруга на закритому транзисторі дорівнює напрузі джерела живлення.

В обох описаних схемах для стабільної роботи перетворювача необхідно забезпечити симетричність роботи вихідного каскаду, іншими словами, виключити струми підмагнічування трансформатора.

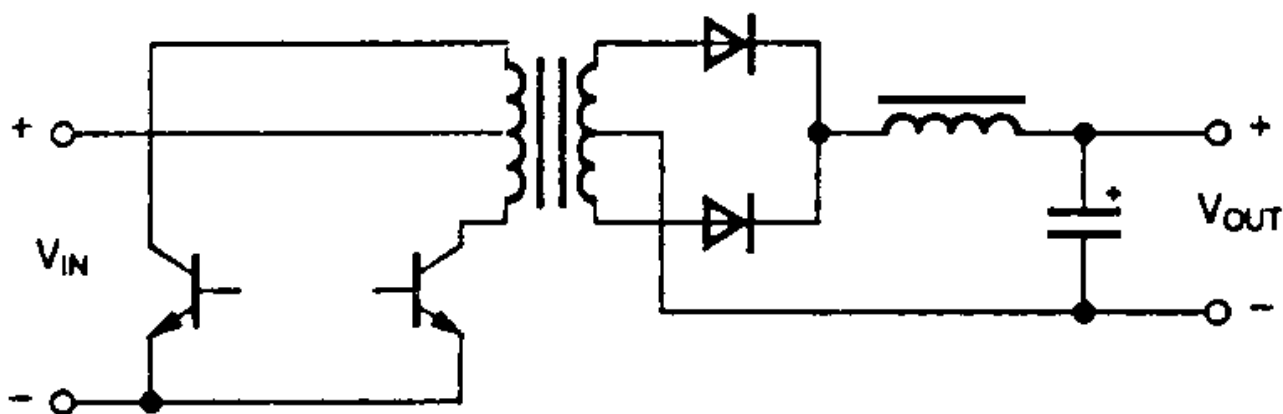


Рисунок 1.6– Спрощена схема двотактного перетворювача з виходом середньої точки первинної обмотки трансформатора.

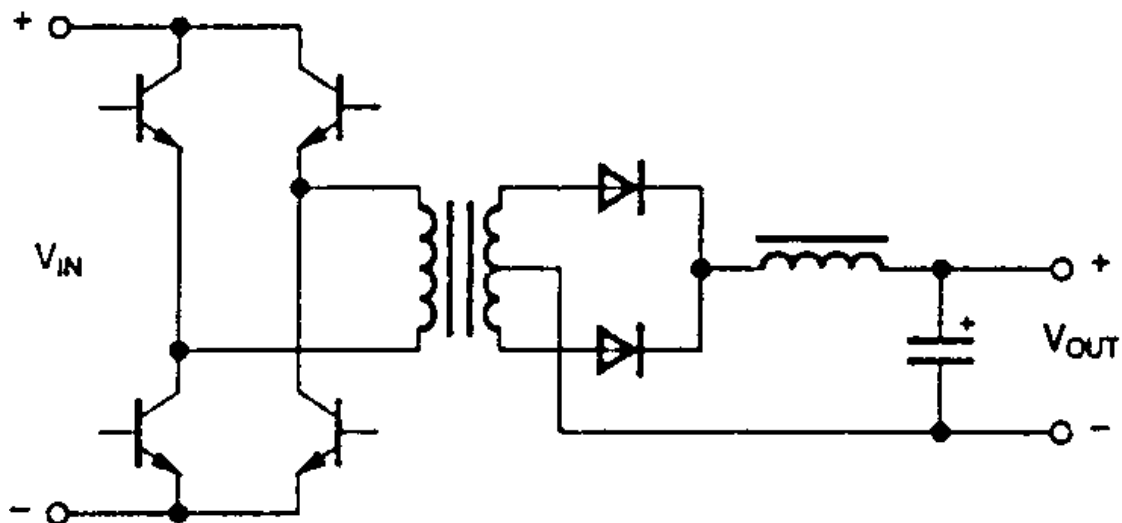


Рисунок 1.7 – Спрощена функціональна схема мостового перетворювача

Напівмостова схема перетворювача (рисунок 1.8) містить ємнісний дільник напруга на конденсаторах дорівнює половині напруги живлення. До закритого транзистора прикладається напруга, рівна напрузі живлення.

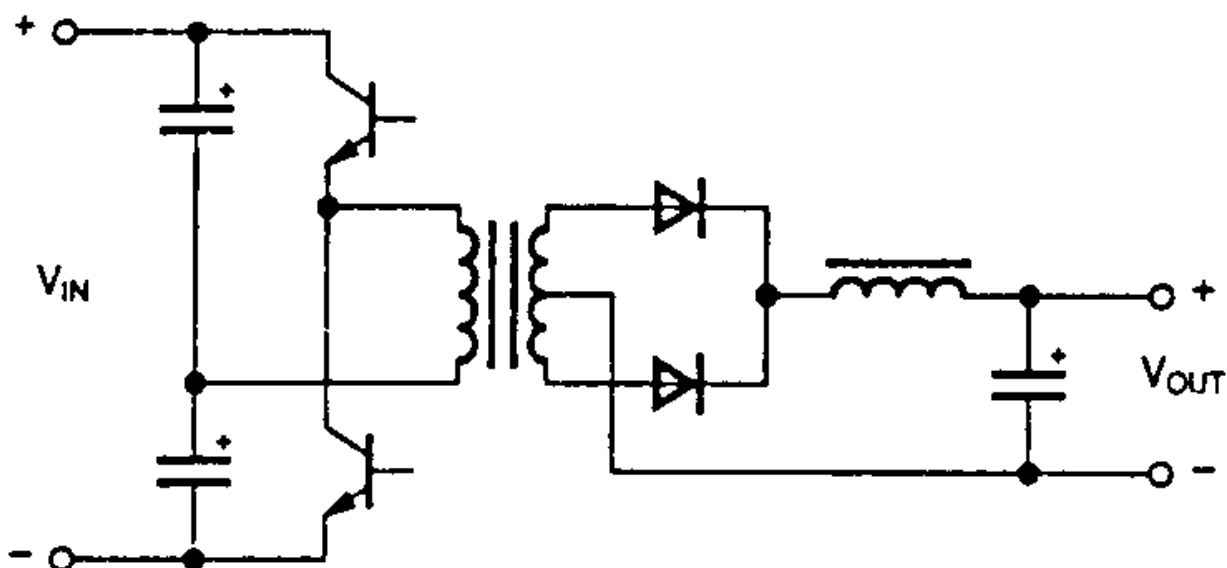


Рисунок 1.8 – Спрощена функціональна схема напівмостового перетворювача

Струм колектора ключового транзистора при однаковій потужності в навантаженні буде в два рази більший, ніж у мостовій схемі і схемі із середньою точкою. Перевагою напівмостової схеми є відсутність підмагнічування трансформатора [11–12].

1.2 Аналіз резонансних перетворювачів

Прагнення перетворювачів зменшити загальний розмір джерела живлення шляхом збільшення частоти роботи стикається з певними труднощами, пов'язаними зі збільшенням втрат на передачу. Одним із способів вирішення цієї проблеми є використання варіанту схеми, який називається резонансним (квазірезонансним) перетворювачем [10–12].

Використовуючи резонансний контур, що складається з конденсатора та індуктивності (рисунок 1.9), напруга на перемикачі або струм через перемикач обнуляються перед тим, як перемикач перейде у стан ВІДКРИТО або ЗАМКНУТО. Відповідні схеми називаються вимикачами нульового струму (ZCS - Zero-current switch) або нульової напруги (ZVS - zero-voltage switch).

Схеми ZVC і ZVS випускаються у виді самостійних приладів, які вириховуються для керування тиристорами чи симісторами, і використовуються як складові частини резонансних перетворювачів і коректорів потужності. Це усуває більшість втрат переключення і може усувати втрати, обумовлені ємністю ключа чи втратами індуктивності розсіювання.

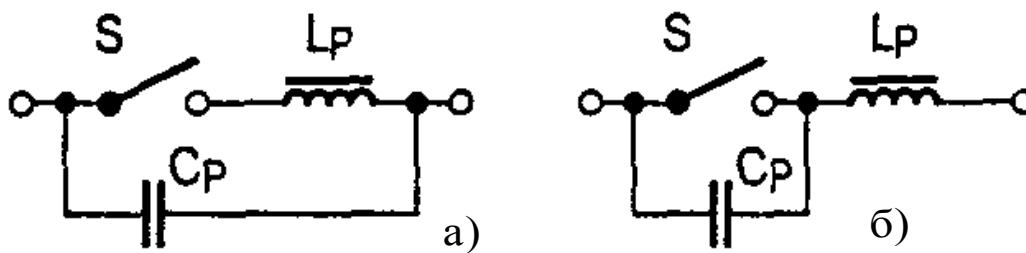


Рисунок 1.9 – Функціональні схеми силових ключів для резонансних перетворювачів (положення а) переключення при нульовому струмі; б) переключення при нульовій напрузі.)

Спрощене рішення резонансного конвертера, що працює при нульовому струмі переключення, показано на рисунку 1.10. Ця схема є зміненою версією прямоходового перетворювача, де простий транзисторний ключ замінений резонансним ключем, що складається з компонентів $Q1, D1, L_R, C_R$. В якості резонансної індуктивності може використовуватися навіть одна індуктивність розсіювання трансформатора.

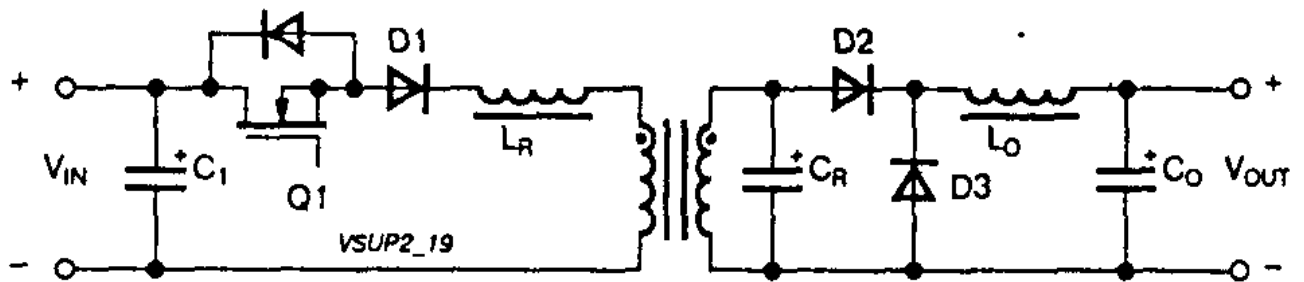


Рисунок 1.10 – Схема для ілюстрації роботи резонансного перетворювача

По-перше, транзистор закритий. Вихідний струм протікає через діод $D3$ і направляє вихідний дросель L_0 до навантаження. Потужність отримується від магнітного поля в регуляторі L_0 . У якийсь момент відкривається ключ $Q1$, який визначається схемою керування. Струм в індукторі L_R починає зростати, і цей струм індукує струм у вторинній обмотці трансформатора, тому струм через діод $D3$ зменшується, а струм через діод $D2$ починає збільшуватися. Коли струм в дроселі L_0 буде повністю визначатися струмом через діод $D2$, напруга на вторинній обмотці трансформатора почне зростати. Це збільшення та наступне зменшення відбуваються за синусоїдальним законом, оскільки вони утворюють резонансний контур L_R і C_R .

В цей час струм в індуктивності L_R збільшується до максимального значення а потім зменшується до нуля, також по синусоїдальному законі. В той момент, коли ключ $Q1$ закривається, діод $D1$ запобігає протіканню зворотного струму через $Q1$, який був би в іншому випадку викликаний триваючим

резонансним процесом L_R і C_R .

Коли вхідний струм в L_R дорівнює нулю, вихідний струм проходить через дросель L_0 , діод $D2$ і конденсатор C_R . Їмність C_R швидко розряджається, а потім знову починає протікати вихідний струм через $D3$ і L_0 . Це завершує один цикл резонансу, а наступний цикл починається з відкриття ключа $Q1$. Транзистор відкривається при нульовому струмі, таким чином зменшуючи втрати при перемиканні. Оскільки потік струму від діода $D2$ до $D3$ сповільнюється через індуктивність L_R і ємність C_R , у цих компонентах спостерігається зменшення втрат на комутацію.

Однак час від моменту включення транзистора до його вимкнення визначається вихідною частотою резонансного контуру, тому керувати вихідною напругою можна лише змінюючи час перебування транзистора в закритому стані. так змінюючи частоту перемикання ланцюга.

Наявність синусоїдального струму в системі означає збільшення пікового значення струму, що збільшить втрати на провідність порівняно з еквівалентною ланцюгом джерела живлення з прямокутними коливаннями.

1.3 Імпульсні перетворювачі з декількома виходами

Більшість імпульсних джерел живлення мають більше одного виходу. Окрім вихідної напруги +5 В, більшість джерел живлення цифрових схем можуть мати вихідну напругу +12, -12, +24 і -5 В. Ці виходи використовуються для живлення різних пристроїв у системі. формувачі сигналу для гнучких дисків, жорстких дисків, принтерів, відеотерміналів, інтерфейсів RS-232 і різноманітних аналогових схем. На рисунку 1.11 показаний понижуючий перетворювач з кількома виходами. Напруга зворотного зв'язку знімається з виходу +5 В і подається на ШІМ-модулятор для стабілізації всієї схеми. Це означає, що допоміжний вихід не регулюється до такої ж міри, як основний вихід +5 В.

У деяких випадках це не має значення. В інших важливих програмах для кращої стабілізації на допоміжному виході встановлюється лінійний стабілізатор, як показано на малюнку 1.11. Стандартний імпульсний блок живлення зазвичай має п'ять різних виходів.

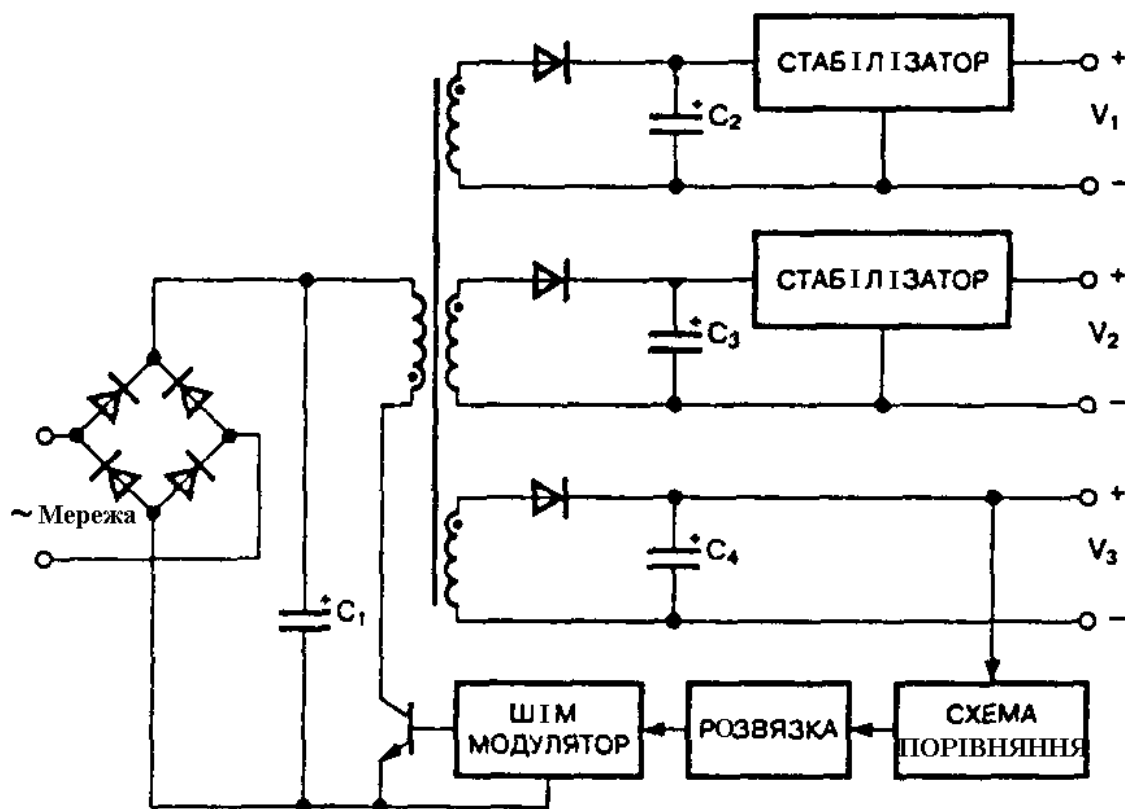


Рисунок 1.11 – Функціональна схема зворотного перетворювача з кількома виходами.

1.4 Контролери коефіцієнта потужності

У вісімдесятих роках минулого століття за кордоном почали використовувати багато мікросхем, які називаються контролерами коефіцієнта потужності (ККП). Ці мікросхеми використовуються в імпульсних блоках живлення і призначені для вирішення проблеми електромагнітної сумісності пристроїв, що живляться від мережі змінного струму. Стандарт МЕК 1ЕС 1000-

3-2 (раніше ІЕС 555-2) висуває жорсткі вимоги до коефіцієнта потужності та гармонійного складу споживаного струму для споживачів енергії.

Коефіцієнт потужності має менше значення для схем з певними реактивними навантаженнями: лампи денного світла, лампи з ПРА, електродвигуни та ін. До недавнього часу більшість блоків живлення і напівпровідникових стабілізаторів використовували на вході мостові випрямлячі і фільтруючі конденсатори.

При цьому струм, споживаний мережею, має імпульсний характер, що призводить до високого відсотка високих гармонік струму і зниження коефіцієнта потужності, який становить 0,5 ... 0,7. За допомогою реактивних елементів, що працюють на частоті мережі, і додаткових пасивних схем з випрямлячами її можна істотно збільшити, але для малопотужних пристроїв цей спосіб неможливий.

Високий рівень сучасного розвитку імпульсних стабілізаторів дає можливість створювати дешеві та економічні випрямлячі коефіцієнта потужності.

Між мережевим випрямлячем і вихідним перетворювачем включається буферний пристрій, який створює синусоїдальний вхідний струм і виконаний за схемою підвищувального перетворювача (рис. 1.12).

Криву вхідного струму можна створити за допомогою двох датчиків: датчика струму дроселя та датчика випрямляча напруги. У наведеній схемі перемикач розмикається на 0 на вході датчика струму і замикається при рівності вихідного сигналу датчика струму ($V_{дт}$) і датчика випрямленої напруги ($V_{двн}$). У кожному циклі струм є трикутним, а середнє значення під час напруги мережі пропорційно корекції середньої напруги.

У реальній схемі використовується більш складна структура (рис. 1.13), яка виключає залежність струму навантаження від вихідної напруги. При цьому в схемі з'являється блок помножувача сигналу, характерний тільки для ККМ.

Така схема дозволяє отримати коефіцієнт потужності більше 0,99 до 300 Вт. Для більшої потужності використовуються додаткові схемні рішення.

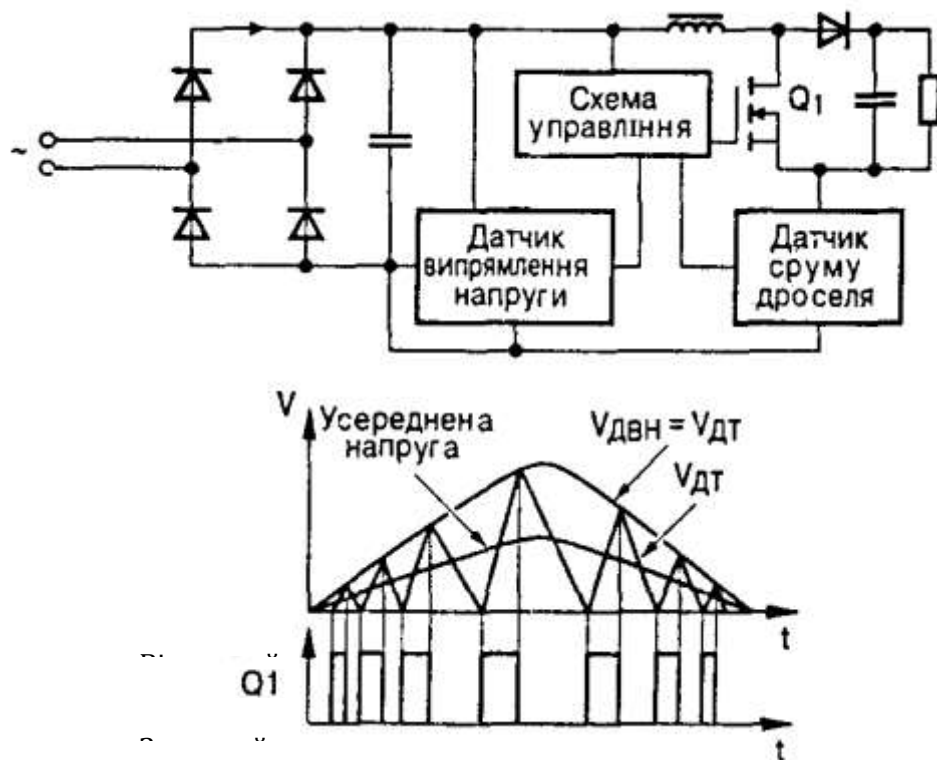


Рисунок 1.12 – Принцип роботи активного коректора коефіцієнта потужності

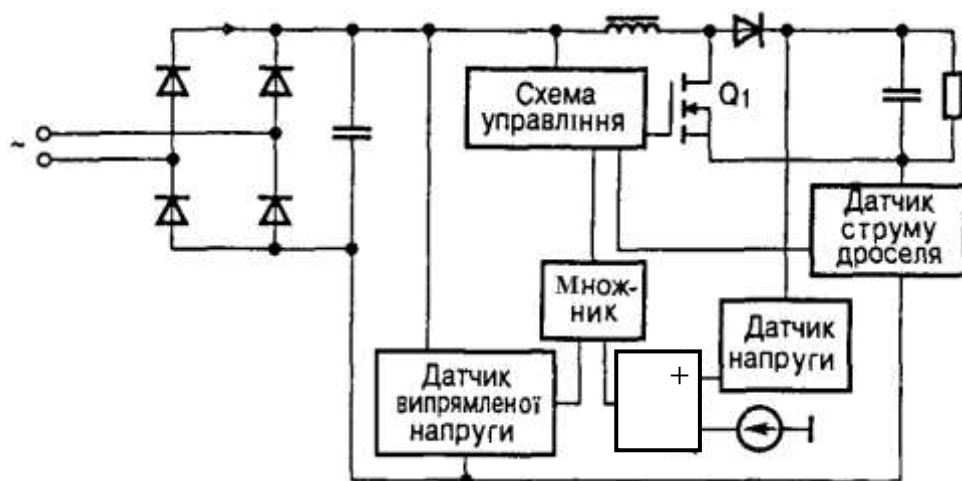


Рисунок 1.13 – Функціональна схема контролера коефіцієнта потужності

Багато фірм (Micro Linear Infineon Technologies та ін.) випускають

комбіновані мікросхеми, що поєднують в одному корпусі ККМ і ШІМ - контролер для одержання закінченого джерела живлення [17–19].

Як правило, багато імпульсних джерел живлення мають вибрані діапазони напруги мережі перемінного струму номіналом 110 чи 220 В. На рисунку 1.14 показано, як просто це можна реалізувати.

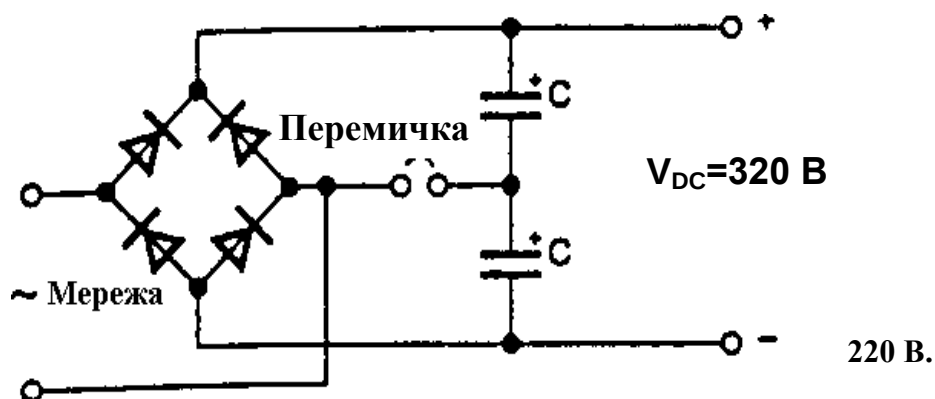


Рисунок 1.14 – Переключення вхідної напруги 110/220 В (АС) з допомогою перемички

При роботі від напруги мережі 220 В чи в діапазоні 180...260 В перемичка вилучена, і виходить схема двохпівперіодного випрямляча з конденсаторним фільтром. Однак, при роботі від напруги 110 В чи 90...130 В перемичка знаходиться на місці, і обидва конденсатори по черзі заряджаються під час кожного напівперіоду, утворюючи схему подвоювача напруги. Очевидна перевага цього типу схеми полягає в тому, що вона дозволяє за допомогою єдиної перемички вибрати американський чи європейський діапазон вхідної напруги мережі.

1.

2. ПРОЕКТНА ЧАСТИНА

2.1 Вибір принципу роботи імпульсного блока живлення на основі контролера

Мікросхеми для імпульсних джерел живлення (ІДЖ) розвилися на базі лінійних стабілізаторів і в даний час — це самостійний напрям мікроелектроніки, що бурхливо розвивається. Сюди можна віднести і практично закінчені 3-/4-вивідні стабілізатори напруги з одним-двома зовнішніми елементами, і багатовивідні контролери імпульсних джерел живлення з декількома вихідними напругами, і мікросхеми, що включають тільки окремі блоки імпульсного перетворювача: підсилювач помилки, підсилювач-формував сигнал керування вихідним транзистором (драйвер), різні датчики підвищеної/зниженої напруги та ін. Відзначимо, що різниця між поняттями стабілізатор і контролер досить умовна. Стабілізатором називають контролер фіксованої вихідної напруги з вбудованою петлею зворотного зв'язку і внутрішнім ключовим транзистором [11,12, 17–19].

Мікросхеми для ІДЖ часто прив'язані до конкретної схемотехніки перетворювача. В більшості випадків це означає, що вони оптимізовані для даної схеми. Однак практично завжди ці мікросхеми можуть бути використані й в іншому включенні, іноді за допомогою додаткових зовнішніх компонентів. Наприклад підвищуючий перетворювач із внутрішнім ключовим транзистором легко можна використовувати в схемі понижуючого конвертера, використовуючи внутрішній ключ як драйвер зовнішнього ключового транзистора.

Чим більше виводів має мікросхема, тим більше можливостей у розроблювача при її використанні.

Розглянемо структуру схеми керування на прикладі найпростішого ШІМ

-контролера.

Вихідна напруга порівнюється із сигналом на виході генератора пилоподібної напруги (ГПН). Якщо вихідна напруга U_{OUT} перевищує напругу "пилки" U_{OSC} , ШІМ - компаратор виробляє сигнал керування вихідним формувачем, що відкриває ключовий транзистор. Ключовий транзистор закривається, коли вихідна напруга менше пилоподібної напруги.

У приведеному прикладі для керування ключовим транзистором використовувалася широтно-імпульсна модуляція — ШІМ (PWM — Pulse Width Modulation), при якій частота проходження імпульсів стала, а змінюється тривалість імпульсу. Це найбільш розповсюджений метод керування імпульсними джерелами живлення, що дозволяє ефективно фільтрувати перешкоди, викликані переключенням. Простотою реалізації відрізняється частотно-імпульсна модуляція — ЧІМ (VFM — Variety Frequency Modulation), коли міняється частота проходження імпульсів, а постійним залишається тривалість імпульсу чи паузи, відповідно, відкритого (On-Time) і закритого (Off-Time) стану ключа. Більш складний алгоритм керування виходить при частотно-широтній модуляції — ЧШІМ (PFM — Pulse Frequency Modulation), коли змінюються всі три параметри: частота, час імпульсу і час паузи. До останнього типу відноситься також найбільш простий тип — релейні перетворювачі.

Останнім часом усе більше мікросхем використовує комбіновані режими керування при великому і середнім навантаженні ШІМ, а на слабкому навантаженні ЧШІМ. Багато фірм називають цей режим переривчастим чи режимом з пропуском імпульсів.

2.2 Вибір схеми керування

Схеми керування розрізняються типом контуру зворотного зв'язку. Наприклад, у приведеній схемі на рисунку 2.1 — це зворотній зв'язок по

напрузі (voltage mode). Спостереження можна здійснювати за миттєвим значенням вихідної напруги, і переключення відбуваються при досягненні контрольованою величиною заданих верхнього і нижнього рівнів. Такий алгоритм реалізує двохпозиційне чи релейне керування. Можна стежити лише за одним рівнем, наприклад верхнім, а відкривати ключ можна з фіксованою частотою від спеціального генератора, чи використовувати схему, приведену на рисунку 2.1. При цьому ми одержимо систему однопозиційного керування. З цим способом керування зв'язане застосування компараторів у колі зворотного зв'язку.

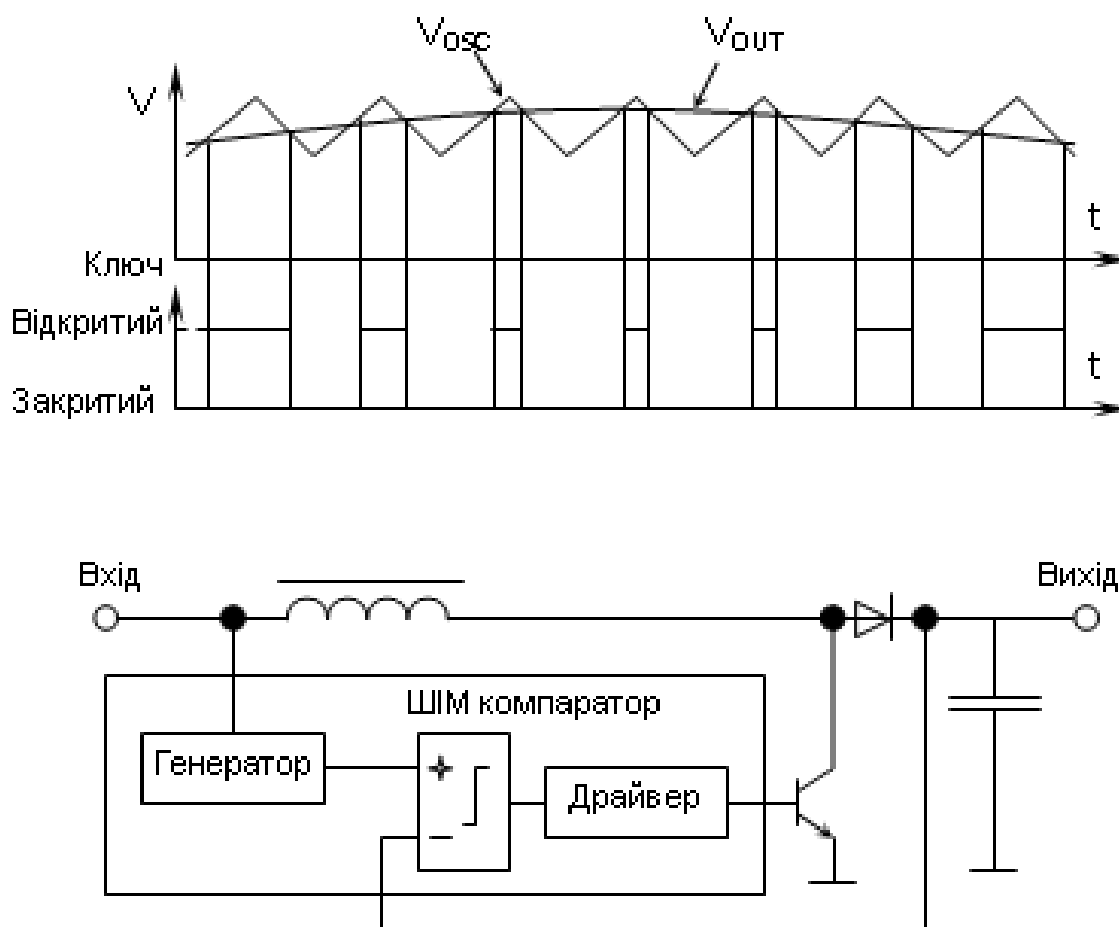


Рисунок 2.1 – Функціональна схема ШІМ- контролера з врівноваженням по напрузі

Така схема керування має високу швидкодію, однак високий рівень пульсації не дозволяє забезпечити високу стабілізацію вихідної напруги [17–19]. Системи з компенсаційним керуванням на основі збільшення різницевого

сигналу та керування середнім значенням вихідної напруги дозволяють значно підвищити точність стабілізації. При цьому напруга зворотного зв'язку подається на підсилювач помилки з великим коефіцієнтом підсилення, що потребує схеми корекції частоти. Відповідно, погіршуються швидкісні та динамічні параметри схеми керування.

Для забезпечення високої швидкодії потрібне введення додаткового швидкодіючого контуру зворотного зв'язку. Так, при струмовому методі керування вводиться додатковий зворотній зв'язок по струму (ДЗЗС). При цьому як джерело пилкоподібної напруги використовується струм через індуктивний елемент схеми. Дана конструкція має вбудоване обмеження струму ключа в кожному робочому циклі, має швидку реакцію на зміни вхідної напруги, але як і раніше має порівняно низьку швидкодію по струму навантаження.

Фірма Cherry запропонувала свій метод, назвавши його V^2 -керування. У даному методі як джерело пилкоподібної напруги використовується вихідна напруга до його фільтрації, тобто вводиться другий швидкодіючий контур зворотного зв'язку по напрузі. V^2 -керування дозволяє отримати швидку реакцію на зміну вхідної напруги та струму навантаження і застосовується в джерелах живлення сучасних мікропроцесорів.

Схема побудови вихідного каскаду багато в чому визначає застосування мікросхем для джерел живлення. Вихідний каскад може служити як драйвером — формувачем сигналу керування зовнішнім вихідним транзистором, так і безпосередньо ключовим елементом у складі імпульсного джерела живлення. Кількість зовнішніх виводів вихідного каскаду визначає ступінь свободи розробника при використанні конкретної мікросхеми. Так схеми з одним драйвером дозволяють керувати однотактним одноканальним конвертером з ізолюваним чи неізолюваним навантаженням.

Драйвери зовнішніх ключів оптимізовані для керування зовнішнім біполярним чи польовим транзистором. Найбільш розповсюджені схеми керування приведені на рисунку 2.2.

В них використовуються два транзистора, один з яких забезпечує струм управління в відкритому стані ключа, а другий створює низькоомне коло скидання заряду при закритті ключа. У закордонній літературі таку квазікомплементарну схему називають тотемною (totem pole). Тотемний вихідний каскад може використовуватися як ключовий елемент.

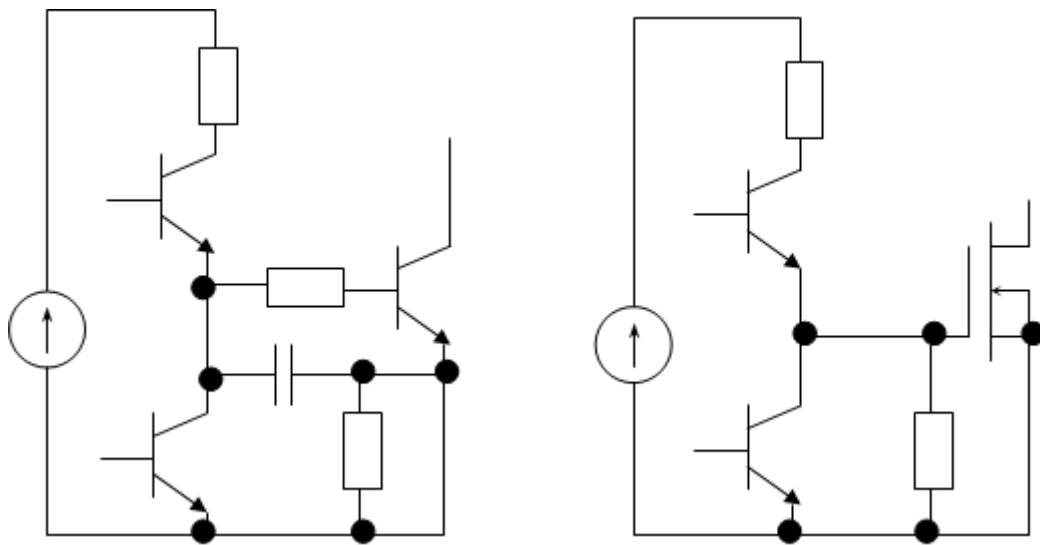


Рисунок 2.2 – Функціональні схеми квазікомплементарних вихідні каскади

Струми вихідних каскадів змінюються в залежності від типу схеми в діапазоні від 10 мА до 7 А. Допустима напруга драйверів у більшості мікросхем не перевищує 40...60 В, але є і високовольтні схеми. Наприклад, імпульсні стабілізатори сімейства PWRTop фірми Power Integration або SPS фірми Fairchild мають вбудований ключовий транзистор з допустимою напругою стоку до 700 В.

2.3 Вибір функціональної схеми включення мікроконтролера

Розглянемо функціональну схему мікроконтролера фірми Power Integration та типову схему застосування контролера LinkSwitch LNK501 (рисунок 2.3 та рисунок 2.4).

Визначні особливості цього контролера полягають у наступному:

- універсальний діапазон вхідного сигналу;

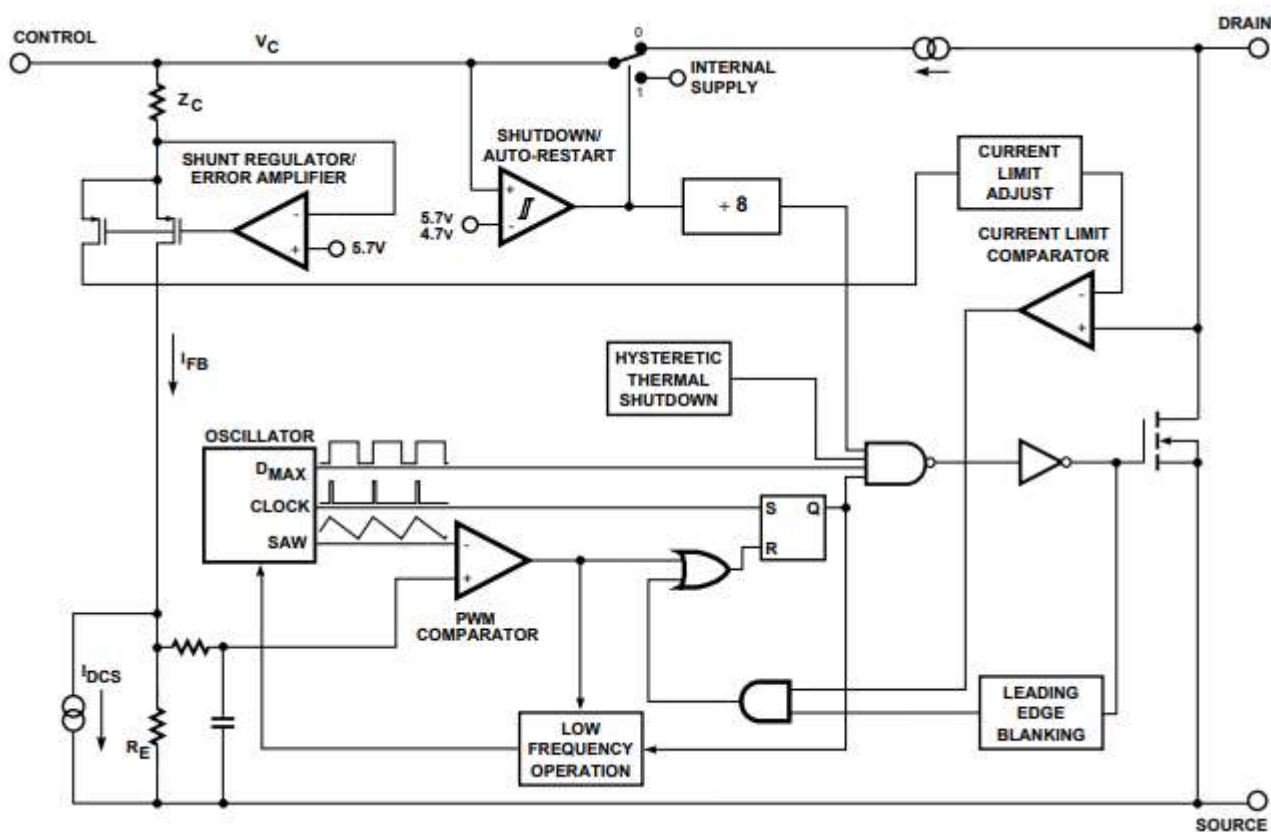


Рисунок 2.3 - Функціональна схема контролера LNK501 фірми Power Integration

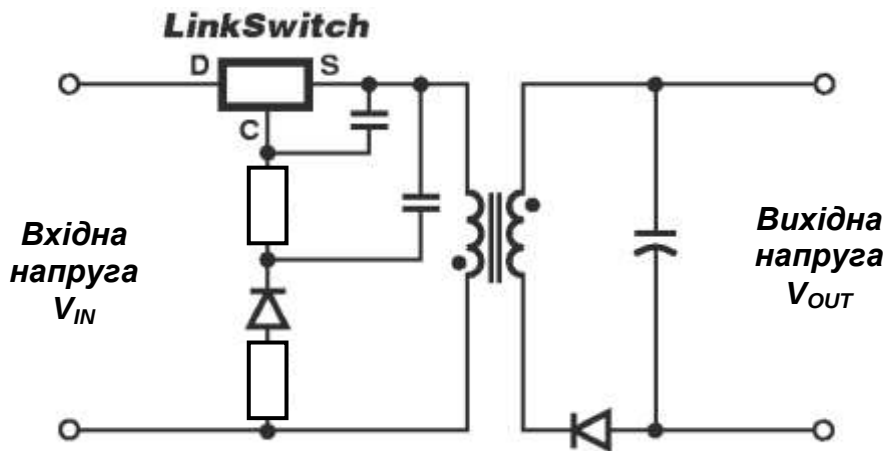


Рисунок 2.4 - Функціональна схема включення контролера LNK501 фірми Power Integration.

- зменшення розсіювання енергії на 75% в порівнянні з лінійними блоками;
- отримання вихідних характеристик без використання зворотнього зв'язку;
- існує захист від перегріву, а також від перевищення рівня струму;
- контрольований струм в зоні постійного струму забезпечує швидке включення пристрою;
- оптимальний вибір оптопар в контурі зворотнього зв'язку покращує точність вихідної напруги;
- споживає менше 300 мВт при напрузі мережі 265 В при відсутності навантаження;
- пристрій замінить лінійні трансформатори потужністю 3Вт у всіх можливих його застосуваннях.

Пристрій можна використовувати для заміни всіх типів лінійних трансформаторів в зарядних пристроях, мережевих адаптерах при потужності 3 Вт і ККД 75 %.

Мікроконтролер LNK501 випускається у корпусі типу DIP-8В (рисунок 2.5), який має вісім виводів основними з яких є DRAIN (D), CONTROL(C), SOURCE(S). Інші виходи мікросхеми закорочуються на вивід S. Нижче коротко описані основні функції цих виводів.

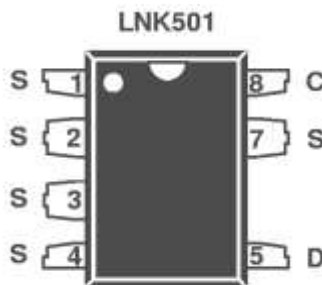


Рисунок 2.5 - Загальний вигляд мікроконтролера LNK501 у корпусі типу DIP-8В

DRAIN (D) вивід призначений для живлення каналного польового МОП транзистора, також забезпечує необхідний струм запуску мікроконтролера, і являється внутрішнім стоком струму що перевищує граничний рівень струму.

CONTROL(C) вивід використовується для прийняття сигналу похибки і для вхідного струму зворотного зв'язку кожного циклу, та для контролю рівня струму. При запуску контролера на нього подається вхідний сигнал, що підвищує швидкість запуску пристрою за рахунок того, що обходиться конденсатор.

З SOURCE(S) виводу подається сигнал, який управляє процесом роботи первинної обмотки трансформатора.

Розглянемо типову схему включення мікроконтролера в блок живлення без зворотного зв'язку (рисунок 2.6) та принцип роботи блоку.

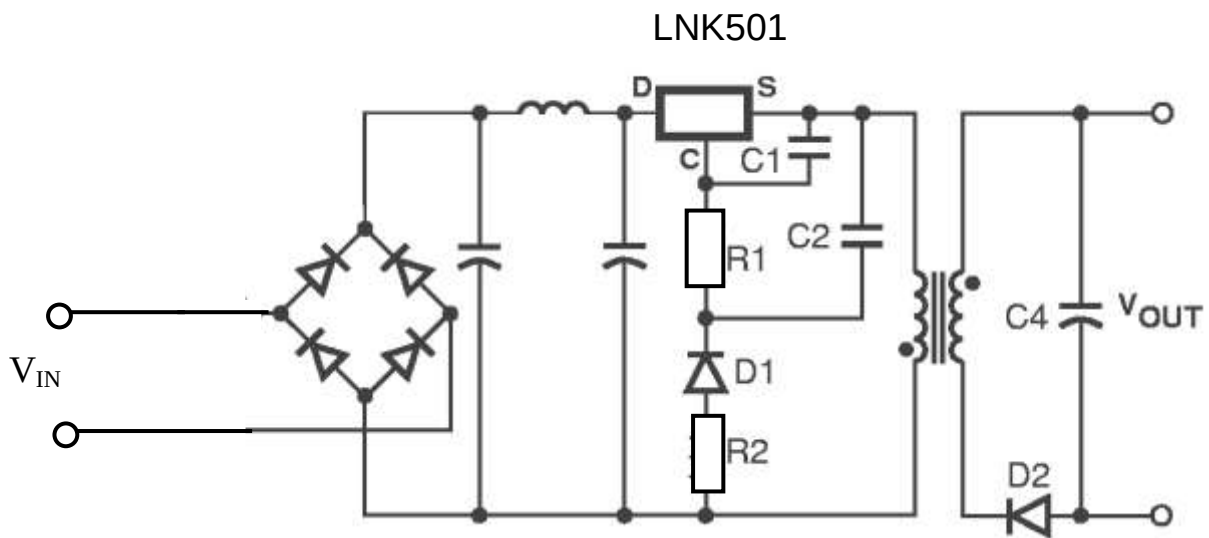


Рисунок 2.6.- Типова функціональна схема включення мікроконтролера LNK501 в блок імпульсного живлення без зворотного зв'язку

При подачі напруги на вхід схеми V_{in} конденсатор C_1 , під'єднаний до входу DRAIN(D) та входу CONTROL(C), заряджається від джерела високої напруги. Коли напруга на вході CONTROL(C) досягає значення приблизно рівного 5.7 В (відносно входу SOURCE(S)) джерело високої напруги перестає живити мікросхему, і спрацьовує схема внутрішнього контролю, тобто починає переключатися каналний польовий МОП транзистор. В цей момент енергія збережена на конденсаторі C_1 використовується для внутрішніх потреб мікросхеми. При цьому вихідна напруга (відповідно напруга на первинній обмотці трансформатора) знижується, а струм контролю зворотного зв'язку I_c збільшується. Цей процес показано на рисунку 2.7: робочий струм I_c збільшується поки не досягає граничного значення рівня струму I_{LIM} , який дорівнює значенню I_{DCT} . Внутрішній граничний рівень струму призначений для того, щоб забезпечувати постійний струм на виході джерела живлення при

зростанні напруги на виході джерела живлення.

При досягненні струмом I_c граничного значення струму (приблизно 2 мА) зменшується робочий цикл. При значенні струму I_c , що напряму залежить від напруги на вході джерела живлення мікроконтролер контролює значення пікового струму таким чином, щоб він був менший від граничного. В цей момент відбувається перехід з роботи на постійному струмі в роботу на постійній напрузі. В мікросхемах такого типу такий перехід здійснюється в 30% процентах робочого циклу таких мікросхем. Таким чином резистор R_1 вибирається так, щоб значення струму I_c приблизно дорівнювало значенню I_{DCT} і значення вихідної напруги було в межах необхідної (+/- 5%). Коли робочий цикл знижується на 4% свого максимального значення, тоді автоматично знижується частота, що відповідно знижує споживання електроенергії.

При короткому замиканні чи якомусь іншому виду збоїв роботи припиняється подача струму на вихід CONTROL(C) мікросхеми повністю припиняється і конденсатор C_1 розряджається до значення 4.7 В. При напрузі 4.7 В активується функція перезапуску контролера, яка виключає польовий МОП транзистор, і відповідно схема перебуває в режимі низького енергоспоживання. Схема перебуває в режимі автоперезапуску (мікроконтролер періодично пробує запустити роботу схеми) до того часу поки не ліквідується дефект.

Вище описана характеристика забезпечує приблизний необхідний рівень сигналів (струму та напруги) на виході імпульсного джерела живлення без використання додаткового зворотного зв'язку. Регулювання напруги на виході джерела імпульсного живлення в даному напрямку залежить від того як змінюється заряд на конденсаторі C_1 і далі від значення індуктивності котушки трансформатора, що вводить певну похибку у вихідні характеристики.



Рисунок 2.7 -Типові вихідні характеристики зняті з виходу С

Резистор R_2 та конденсатор C_2 частково фільтрують витік індуктивності, що зменшує цю похибку. Таким чином ця схема побудована на стандартній схемі побудови лінійних трансформаторів забезпечує краще регулювання навантаження, ніж лінійна схема, що створює набагато краще вирішення проблеми живлення низькопотужних пристроїв [11–13].

2.4 Вибір системи зворотного зв'язку

Для забезпечення більш щільнішого регулювання вихідних характеристик застосовують схему з оптопарою та перемичкою одночасно, з використанням особливостей постійного струму на виході, які забезпечують перемикання зв'язку.

На рисунку 2.8 зображений схематичний контур із перемички з застосуванням оптичного зворотного зв'язку для покращення регулювання напруги на виході імпульсного джерела живлення.

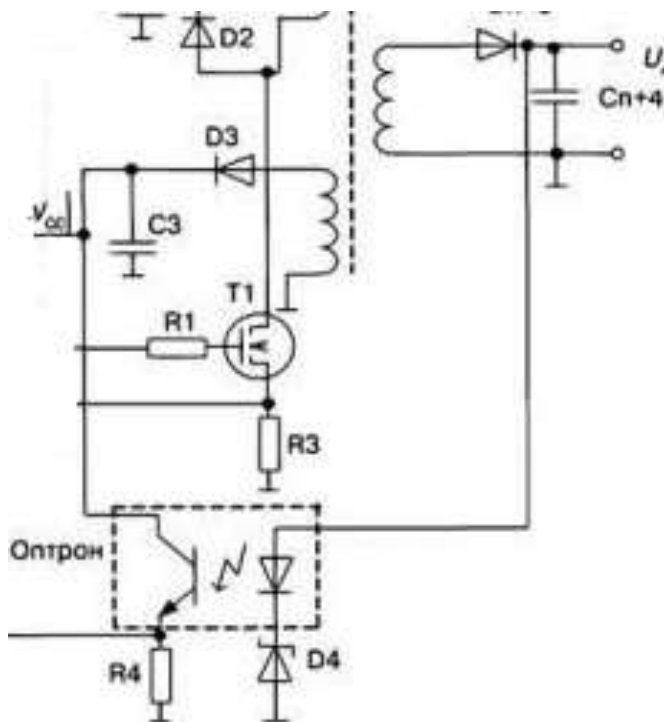


Рисунок 2.8 - Схематичний контур з застосуванням оптичного зворотного зв'язку

На стороні первинної обмотки трансформатора схема відрізняється від попередньої тим, що тут додані резистор R_3 , конденсатор C_3 та оптозв'язок U_1 . Резистори R_1 та R_3 формують подільник напруги на емітері транзистора U_1 . На стороні вторинної обмотки трансформатора в схему чутливості напруги додані резистор R_4 діод VR_1 та світлодіод U_1 , які забезпечують необхідний зворотній зв'язок. На зображеному прикладі використовується простий стабілітрон VR_1 , хоча можна застосувати і складні стабілітрони, для покращення допустимої норми напруги на виході і компенсації перепаду напруг у схемі. Резистор R_4 забезпечує необхідне підмагнічування VR_1 . Регульована напруга на виході рівняється сумі напруг на виході стабілітрона VR_1 та перепаду напруги на світлодіоді U_1 . R_5 – це додатково введений резистор для обмеження граничнодопустимого струму на світлодіоді, яка б могла спричинити додаткову пульсацію. Зворотній оптичний зв'язок U_1 колектором підключається через первинну обмотку трансформатора до нуля (простіше кажучи заземлюється), а емітером до анода D_1 . Таке з'єднання підтримує оптозв'язок схеми у електрично стабілізованому стані. Якщо б оптопара була підключена до катода D_1 то він став би точкою перемикання і виробляв би додаткові електромагнітні імпульси.

Схема зворотного зв'язку на рисунку 2.8 являє собою подільник, що складається з резисторів R_1 , R_2 та R_3 , конденсаторів C_1 та C_2 та діода D_1 , який фільтрує, згладжує сигнал первинної обмотки. Таким чином оптопара ефективно налагоджує коефіцієнт резистора подільника, для контролю струму на резисторі R_1 і відповідно струм зворотного зв'язку отриманого з виходу CONTROL мікро контролера. Коли джерело імпульсного живлення працює в режимі постійного струму (при зарядці акумулятора), тоді вихідна напруга на виході ДІЖ є нижчою, ніж пороговий рівень напруги (яка визначається за допомогою оптопари U_1) зворотного зв'язку, і діод VR_1 та механізм зв'язку повністю відключені. В такому режимі схема поводить себе так як, відображена напруга зростає із зростанням напруги на виході і перемикач обмеження внутрішнього струму працює так, щоб забезпечити постійний рівень постійного струму на виході ДІЖ. Варто зауважити, що для подібних вхідних та вихідних

параметрів схеми величина резистора R_1 буде дорівнювати величині сумі резисторів R_1 та R_3 . Коли ж вихідна напруга досягає порогу напруги зворотного зв'язку, що регулюється за допомогою U_1 та VR_1 , – оптопара включається. Подальше збільшення навантаження на джерело імпульсного живлення призводить до збільшення напруги на транзисторі U_1 , що призводить до збільшення величини відображеної напруги на резисторі R_1 . В результаті таке збільшення струму на виході CONTROL(C) мікроконтролера зменшує наступний робочий цикл (рисунк 2.7 б), що в свою чергу підтримує необхідний рівень вихідної напруги імпульсного джерела живлення. Переважно резистори R_1 та R_2 вибираються рівними по величині. Проте збільшення величини R_3 (відповідно зменшується величина R_1 , щоб підтримувати сталим значення $R_1 + R_3$) призводить до наростання коефіцієнта підсилення замкнутого контуру і зменшує нестабільність вихідної напруги чи струму при навантаженні. Проте збільшення величини R_3 лімітоване напругою на оптопарі та допустимим значенням розсіюваної енергії і повинно бути повністю враховане при конкретному виборі схеми. Величини значень конденсаторів C_2 та C_3 є менш важливими при впливі на повний опір на подільник напруги (R_1 , R_3 і U_1) при переключенні частоти. Переважно значення величини конденсаторів C_2 та C_3 вибираються рівними значенню величини конденсатора C_3 , хоча величина напруги може зменшуватися в залежності від значень R_1 і R_2 описаних вище.

На рисунку 2.9 показаний вплив зворотного зв'язку оптопари на вихідні характеристики. Крива позначена пунктиром показує найгірший випадок, коли напруги та постійного струму на виході джерела живлення та допустимі відхилення від струму при виключеному зворотньому зв'язку. Типова крива позначена крапками буде отримуватися без використання зворотнього зв'язку, при вилучених елементах U_1 , R_4 та VR_1 . Характеристика оптопари із зворотнім зв'язком показана жирною лінією. Стрілка відхилення отримується при зарядці батареї чи акумулятора. Ці дві характеристики є ідентичними при збільшенні вихідної напруги і при досягненні порогового значення напруги зворотнього

зв'язку вони розділюються. Такий варіант можна побачити лише в тому випадку коли точка переходу постійний струм/постійна напруга знаходиться вище порогового значення напруги зворотного зв'язку (рисунок 2.10).

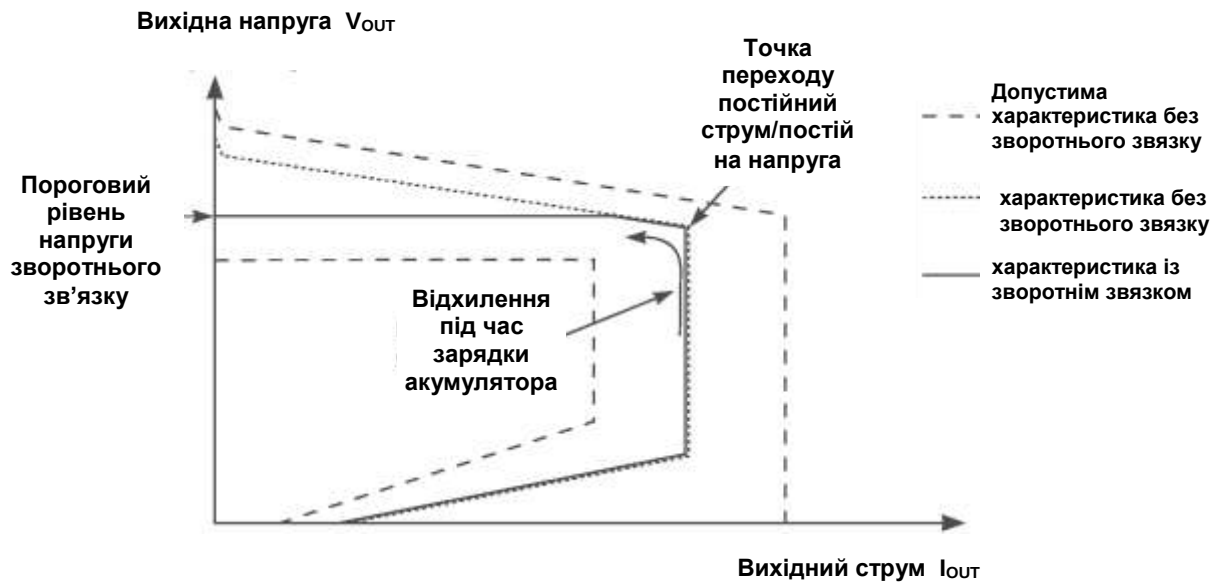


Рисунок 2.9 – Вольт-амперні характеристики вихідного сигналу під впливом оптозворотного зв'язку.

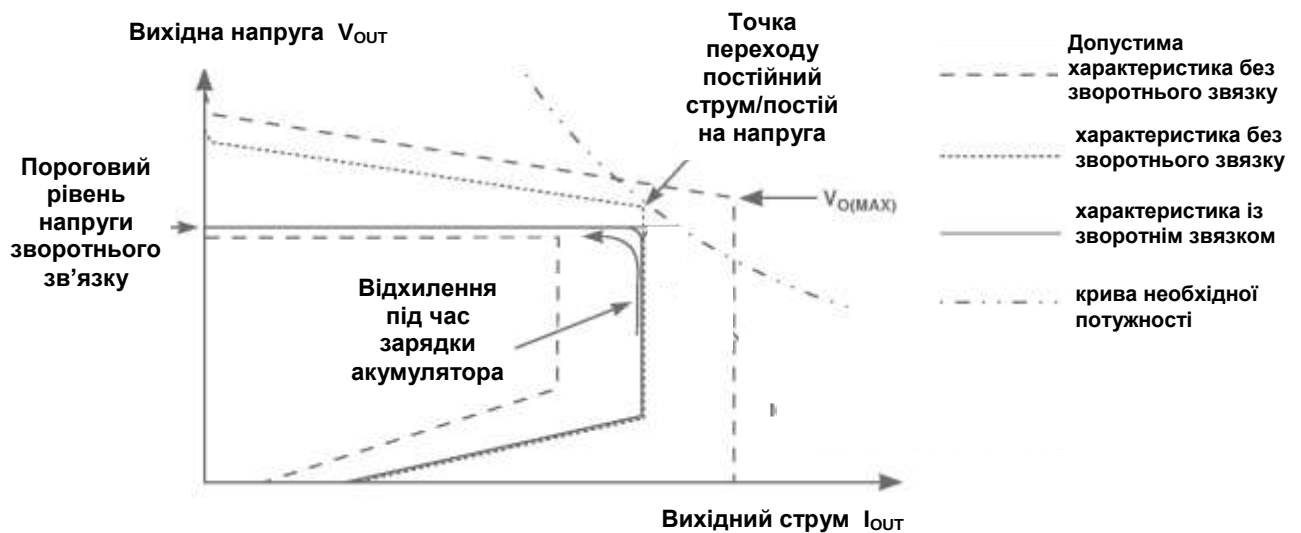


Рисунок 2.10 – Вольт-амперні характеристики вихідного сигналу під впливом оптозворотного зв'язку з зменшеним пороговим рівнем зворотного зв'язку

У такому випадку при збільшенні вихідної напруги, контур зворотного зв'язку

бере на себе функцію керування схемою до того як значення напруги досягне точки точки переходу постійний струм/постійна напруга. Наприклад при зарядці акумулятора він стане заряджатися при меншому значенні напруги при тому ж струмі. Інколи необхідно зробити так, щоб уникнути встановленого значення струму на виході пристрою, тому для цього встановлюється мінімальна критична точка $V_{0(MAX)}$, яка гарантує те що перехід постійний струм/постійна напруга буде відбуватися нижче порогового значення напруги зворотного зв'язку. Але в такому випадку може збільшитися відхилення напруги на виході схеми, так як додадуться відхилення постійної напруги на виході та відхилення контура зворотного зв'язку.

2.5 Аналіз можливості застосування мікроконтролера DPA423-426

Розглянемо мікроконтролер фірми Power Integration сімейства DPASwitch типу 423-426 та його принципову схему, та конфігурацію включення цього контролера в блоки імпульсного живлення.

Особливості цього контролера полягають у наступному:

- універсальний діапазон вхідного сигналу;
- вбудований блок перезапуску та захисту контура;
- вбудований вибір частоти переключення 300/400 кГц;
- широкий діапазон вхідного сигналу 85-265 В;
- вбудований блок запуску контролера, який забезпечує мінімальне початкове відхилення вихідного сигналу;
- можливість запрограмувати зовнішній пороговий рівень вихідного струму, для забезпечення порогового рівня потужності пристрою;
- можливість створення зворотньоходових та прямоходових імпульсних джерел живлення;
- містить в собі блок захисту від перегріву схеми;

- вбудована можливість синхронізації з іншими контролерами такого типу;
- зменшення розсіювання енергії на 75% в порівнянні з лінійними блоками;
- контрольований струм в зоні постійного струму забезпечує швидке включення пристрою;
- оптимальний вибір оптопар в контурі зворотнього зв'язку покращує точність вихідної напруги;
- споживає менше 10 мА при відсутності навантаження і менше 2мА в режимі чекання ;

В DpaSwitch використовується ті ж особливості, що і в TopSwitch та LNKSwitch: такий же польовий МОП транзистор, ШІ модулятор, захист від короткого замикання та інші схеми. Додатково введений блок захист від перегріву та блок стартування.

Мікроконтролер DpaSwitch випускається у корпусі типу R (рисунок 2.11), який має сім виводів основними з яких є DRAIN (D), CONTROL(C), SOURCE(S), LINE-SENSE(L), EXTERNAL CURRENT LIMIT (L), FREQUENSY (F).

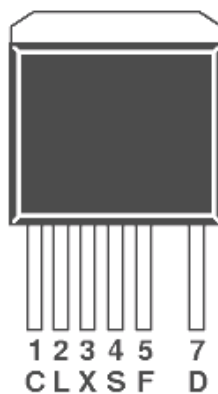


Рисунок 2.11 - Загальний вигляд мікроконтролера DPA423-426 у корпусі типу TO-263-7C

Виходи L, X, та F мікросхеми можна закоротити на вивід S, при чому вони втрачають свої функції і контролер працює як інші контролери типу

TopSwitch чи LNKSwitch. Нижче коротко описані основні функції цих виводів.

DRAIN (D) вивід призначений для живлення каналного польового МОП транзистора, також забезпечує необхідний струм запуску мікроконтролера, і являється внутрішнім стоком струму що перевищує граничний рівень струму.

CONTROL(C) вивід використовується для прийняття сигналу похибки і для вхідного струму зворотного зв'язку кожного циклу, та для контролю рівня струму. При запуску контролера на нього подається вхідний сигнал, що підвищує швидкість запуску пристрою за рахунок того, що обходиться конденсатор.

LINE-SENSE(L) вивід призначений для регулювання роботи при стрибку напруги, при пониженні вхідної напруги, віддаленого управління та синхронізації.

EXTERNAL CURRENT LIMIT (L) вивід призначений для регулювання порогового значення вхідного струму.

FREQUENCY (F) вивід призначений для вибору частоти включення контролера: 300 кГц якщо вивід підключений до S і 400 кГц, якщо вивід підключений до виводу C.

З SOURCE(S) виводу подається сигнал, який управляє процесом роботи первинної обмотки трансформатора.

Розглянемо конкретніше опис кожного виводу мікросхеми.

Вивід C являється низько опірною точкою яка допускає отримання комбіноване живлення та постійного струму зворотнього зв'язку. При нормальному режимі роботи стабілізатор з паралельно включеним регулюючим елементом використовується для відділення сигнал зворотнього зв'язку від струму живлення. Напруга V_c на цьому виводі є напругою живлення блоку контролю та напругою, що закриває польовий МОП транзистор. Зовнішній конденсатор підключений між виводом C та S мікросхеми використовується для забезпечення сталим струмом вентиля. Вибираючи ємність цього конденсатора можна встановлювати час затримки пере запуску мікросхеми та компенсування контуру регулювання. Коли на вхід при запуску мікросхеми (на

вивід D) подається вхідна напруга польовий транзистор спочатку виключений, і конденсатор, підключений до виводу C, заражається високовольтним джерелом енергії. Коли напруга V_c досягає значення приблизно 5.8 В схема контролю мікроконтролера включається і починається т.зв. м'який пуск мікросхеми. Схема м'якого запуску поступово збільшує робочий цикл МОП транзистора від нуля до максимального значення приблизно рівного 5 мс. Зовнішня напруга живлення відключається під час м'якого пуску схеми. Якщо джерело живлення розроблено потрібним чином і немає ніякого дефекту типу перенапруги чи розімкнутого контуру, то струм петлі зворотнього зв'язку буде забезпечувати живленням мікросхему не даючи таким чином напрузі на виводі C впасти нижче порогового значення напруги (4.8 В). Коли вивід C живиться напругою вище 5.8 В надлишковий струм тече через шунтуючий резистор R_c до виводу S. Цей струм контролює робочий цикл МОП транзистора для забезпечення стабілізації петлі. До блоку підсилення похибки підключений опір Z_c , за допомогою якого встановлюється коефіцієнт підсилення похибки. В критичних умовах таких як перенапруга на виході конденсатор на виводі C контролера розряджається до напруги 4.8 В, при якій активізується функція перезапуску схеми, яка переводить МОП транзистор у закритий стан і схем в режим чекання. При включенні живлення зовнішній конденсатор знов починає заряджатися. Блок перенапруги підтримує напругу V_c в межах від 4.6 В до 5.8 В при включеному живленні схем, що показано на рисунку 2.12. Блок перезапуску має в собі 8-ми розрядний лічильник, який призначений для того щоб не виключався МОП транзистор поки не відбудеться 9 циклів зарядки/розрядки. За допомогою цього лічильника ефективно зменшується розсіювання енергії. перезапуск відбувається доти поки не відбудеться повне регулювання вихідної напруги. Це досягається шляхом закриття зворотного зв'язку.

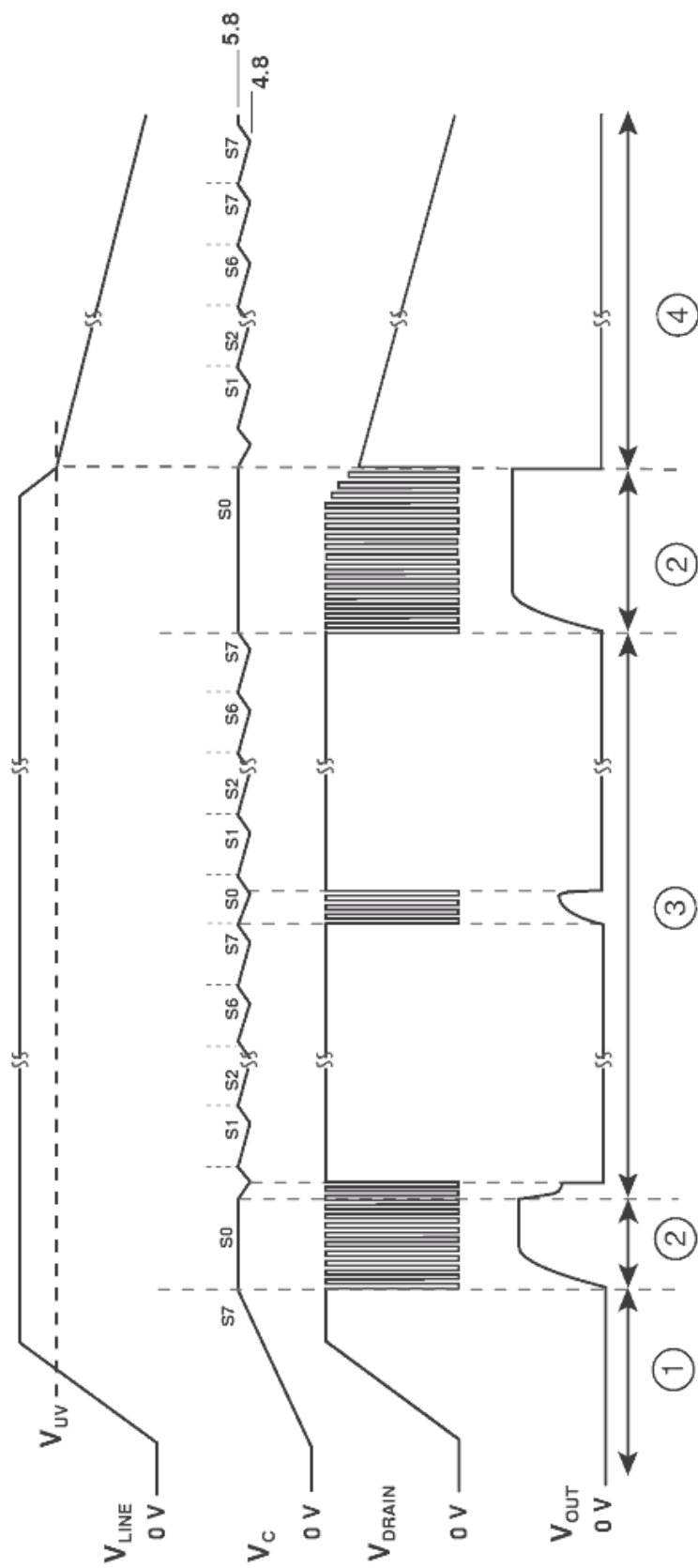


Рисунок 2.13 - Осцилограми при 1 включенні живлення, 2 –при нормальній роботі пристрою, 3 – при автоперезапуску, 4 – при падінні напруги живлення. Примітка: сигнали S0 та S7 для кожного стану лічильника автоперезапуску.

Розглянемо детальніше роботу генератора імпульсів. Генератор імпульсів формує пилоподібну напругу для роботи ШІ модулятора. Номінальна частота переключень вибрана 400 кГц, для зменшення розміру трансформатора. Вивід F при підключенні до виводу C понижає комутуючу частоту до 300кГц, а при підключенні до виводу S встановлює її рівною 400кГц.

Схема захисту від зниження напруги живлення (UVLO - LocrOut Under Voltage). При зниженні вхідної напруги зростає середнє значення вхідного струму, відповідно зростає температура і втрати у вихідних транзисторах і трансформаторах.

Схема захисту від перенапруги (OVR - Overvoltage protection). Блок містить обмежувальний пристрій, що визначає аварійні перенапруги.

Схема захисту від короткого замикання на виході (SCP - Short-circuit protection). Коротке замикання характеризується різким зростанням струму і великою кількістю тепловтрат в напівпровідникових приладах. Схема захисту зазвичай робить кілька спроб перезапустити схему через певний проміжок часу, після чого мікросхема вимикається і для її включення потрібен зовнішній вплив (відключення та подача живлення).

Захист від перевантаження по струму (OCP — Over Current Protection). Цей захист передбачає відсутність надмірних відхилень від обмеження робочого струму. Схема захисту обмежує струм ключа, зменшує шпаруватість і впливає на будь-який вузол ланцюга зворотного зв'язку: генератор, схему компаратора, ШІМ - компаратор та інші.

Захист від перегріву (TSD — Thermal ShutDown). Перегрів може виникнути з різних причин: від підвищення температури середовища, збільшення втрат в елементах, погіршенні тепловідведення. Робота схеми блокується до відновлення нормальної температури. Датчик перегріву часто має характеристику з гістерезисом.

Плавний старт (SS - Soft Start). При включенні живлення вихідна ємність схеми не заряджається, а імпульсний стабілізатор працює на короткозамкнене навантаження. Щоб запобігти небажаному перевантаженню, необхідно

поступово збільшувати вихідну напругу схеми, що забезпечується схемою плавного пуску. Постійна часу плавного пуску зазвичай встановлюється за допомогою конденсатора плавного пуску, включеного в ланцюг зворотного зв'язку.

Гасіння переднього фронту (LEB — Leading Edge Blanking) поточного імпульсу. Перемикач МОП-транзистор має велику вхідну ємність. При його включенні через нього протікає великий імпульсний струм тривалістю до десятків наносекунд. На цьому етапі доцільно видалити поточну схему захисту від перевантаження, що й робить схема LEB.

2.6 Розробка електричної принципової схеми

Згідно аналізу проведеного в розділі 1 та згідно завдання вибираємо функціональну схему блоку живлення, що наведена на рисунку 1.11.

Таким чином структурно блок живлення складається з трьох схем, які можна відокремити одну від одної. Це такі схеми як: схема генератора, що комутирується, схема стабілізованого виходу і схема зворотного зв'язку. Кожна схема у свою чергу складається з різних блоків, тому необхідно описати роботу кожного блоку і взаємозв'язки між ними з моменту подачі вхідної напруги.

На вхід блоку імпульсного живлення подається змінна напруга 220 В, яка випрямляється за допомогою діодного (VD1-VD4) моста. Після спрацювання схеми запуску починає працювати схема контролера (DD!). Імпульси керування з генератора контролера надходять на перетворювач напруги, який являє собою імпульсний трансформатор T1 [19–21].

Трансформатор має чотири обмотки: первинна повинна бути розрахована на 220В, а у вторинних повинні наводитися індуктивні струми, які б відповідали заданим вихідним значенням напруг +5 В, -12 В, +12 В при потужності 30 Вт. Так як основною напругою являється напруга +5 В, то ця ланка буде підключатися до зворотнього зв'язку (VT1) і до схеми порівняння .

Дві інші напруги +12 В та – 12 В будуть включатися в інші ланки де напруга буде стабілізуватися до заданого рівня за допомогою стабілізаторів (DD2, DD3). Перед стабілізаторами необхідно включити діоди (VD8,VD9) , які б згладжували пульсації після трансформатора.

На контролер DD1 сигнал надходить від схеми зворотного зв'язку VT1, що необхідна для контролю параметрів вихідної напруги. Схема порівнює вихідну напругу з еталонним і повертає сигнал помилки в контролер DD1.

Силовий трансформатор має чотири вторинні понижуючі обмотки. Обмотки понижають напругу живлення до 18 В. Перша вторинна обмотка використовується для напруг +5 В (струмом 10 А), друга призначена для напруги +12 В з струмом 4 А, а друга призначена для напруги -12 В з струмом 4 А.

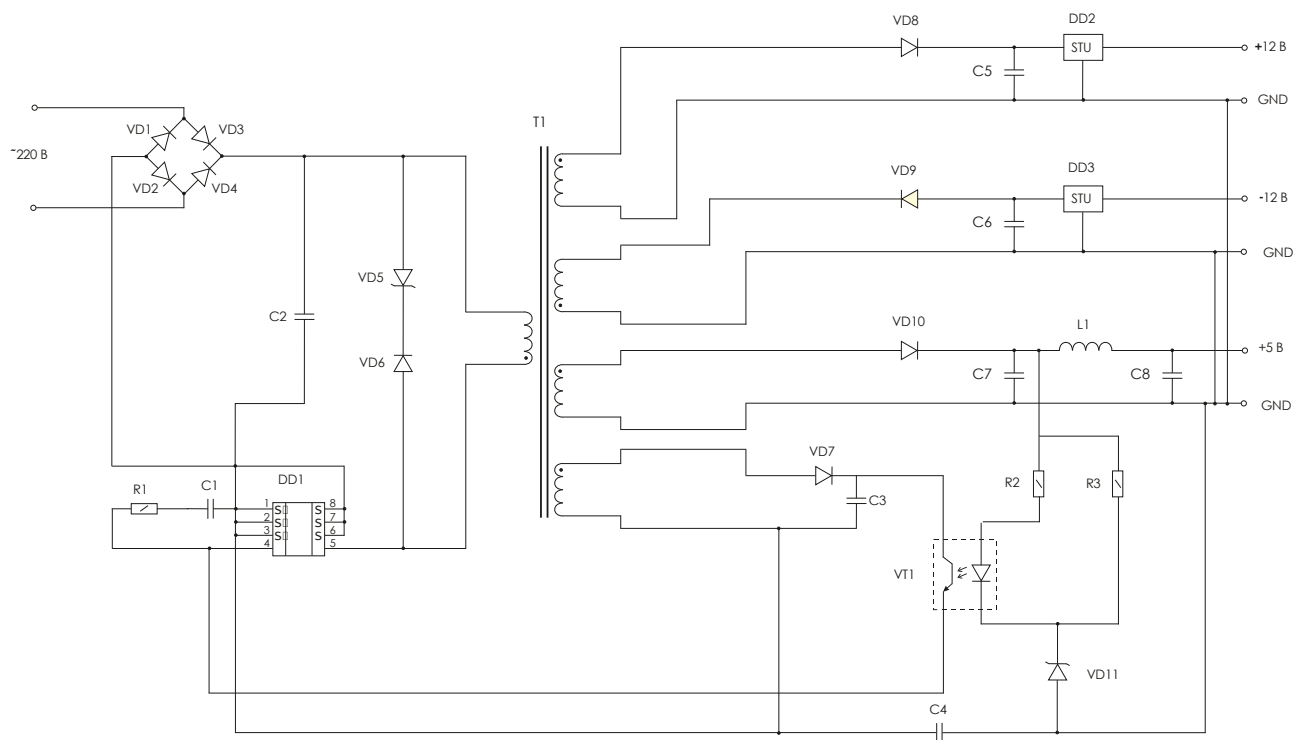


Рисунок 2.14 – Схема блока живлення

Результати розрахунку параметрів блоку живлення представлені на рисунку 2.15.

Розробка пройшла успішно			
Вхідні параметри блоку імпульсного живлення			
VACMIN	Вольт	85	Мінімальна вхідна напруга
VACMAX	Вольт	265	Максимальна вхідна напруга
FL	Герц	50	Частота вхідної напруги
TC	мс	2.35	Час спрацювання діодного моста
N	%	71.0	ККД
Вихідні параметри блоку імпульсного живлення			
VOx	Вольт	6.00	Вихідна напруга
IOx	Ампер	5.000	Вихідний струм
VB	Вольт	15.00	Напруга зворотнього зв'язку
IB	Ампер	0.006	Струм зворотнього зв'язку
Параметри пристрою			
Контролер		TOP224Y	
PO	Ват	30.09	Загальна вихідна потужність
VDRAIN	Вольт	626	Максимальна напруга стоку
FS	Герц	100000	Комутуюча частота
ILIMITMIN	Ампер	1.35	Мінімальне значення порогового значення струму
ILIMITMAX	Ампер	1.65	Максимальне значення порогового значення струму
IP	Ампер	1.09	Пікове значення сартового струму
Параметри елементів			
CIN	мФарад	100.0	Ємність вхідного фільтруючого конденсатора
VCLO	Вольт	170	Порогове значення напруги вхідного діода
Параметри трансформатора			
LP	мГ	837	Індуктивність
NP		33	Кількість витків первинної обмотки
CMA	ммА	319	Пропускна здатність первинної обмотки
VOR	Вольт	110.00	Відображена вихідна напруга
BW	мм	13.70	Ширина обмотки трансформатора
M	мм	3.0	Ширина зазору
L		1.0	Кількість первинних обмоток
AE	см²	1.11	Поперечний переріз сердечника
BM	Gauss	2509	Максимальна щільність потоку
BP	Gauss	3787	Пікова щільність потоку
LG	мм	0.15	Довжина проміжку між обмотками
LL	мГ	12.5	Індуктивність розсіювання первинної обмотки
LSEC	нГ	20	Індуктивність розсіювання вторинної обмотки

Рисунок 2.15— Результати розрахунку параметрів елементів схеми блоку живлення

Для одержання стабілізованої напруги +12 В з струмом 2.5 А застосовується стабілізатор 7812 (DD2), що зовні нагадує потужний транзистор. Два контакти стабілізатора служать входом і виходом, третій - загальний (заземлення). На вхід подається напруга постійного струму +23.5 В, отримана з вторинної обмотки силового трансформатора. Вона фільтрується за допомогою конденсатора C5 1500 мкВ і робочою напругою 35 В. Діод VD8 між входом і виходом конденсатора призначений для захисту від стрибка напруги. Катод діода підключений до трансформаторної сторони стабілізатора.

Схема -12 В дуже схожа на схему +12 В, маючи незначні відмінності: застосовується інший стабілізатор DD3 на вхід якого подається напруга -23.5 В

і захисний діод VD9 включений у протилежному напрямку. Схема -12 В розрахована на струм 2.5 А.

Схема напруги +5 В виглядає аналогічно. З вторинної обмотки подається напруга +9В, яка згладжується за допомогою діода. Потім напруга +5 В регулюється та стабілізується за допомогою зворотного зв'язку (реалізованого на оптопарі VT1) контролером DD1.

2.7 Розробка монтажно́ї плати

На основі принципової електричної схеми пристрою з врахуванням вимог щодо розробки друкованих та монтажних плат, рекомендується розмістити мікросхеми та інші радіоелементи на друкованій платі у відповідності з рисунком 2.16. Розміщення проводимо з врахуванням того, що мікросхеми при роботі нагріваються, тобто відстань між мікросхемами повинна бути не меншою 3-5 мм.

Друкована плата розроблена у відповідності до стандартів на двохсторонньому фольгованому склотекстоліті. Трансформатор Т1 розміщуємо ближче до стабілізаторів DD2, DD3. Оптопару VT1 – ближче до контролера DD1. Діодний міст VD1-VD4 – ближче до трансформатора Т1.

Доріжки живлення виготовити досить широкими, щоб не було спадів напруг на них. Друковану плату виготовити з двохстороннього склотекстоліту, розміром 50*46 мм.

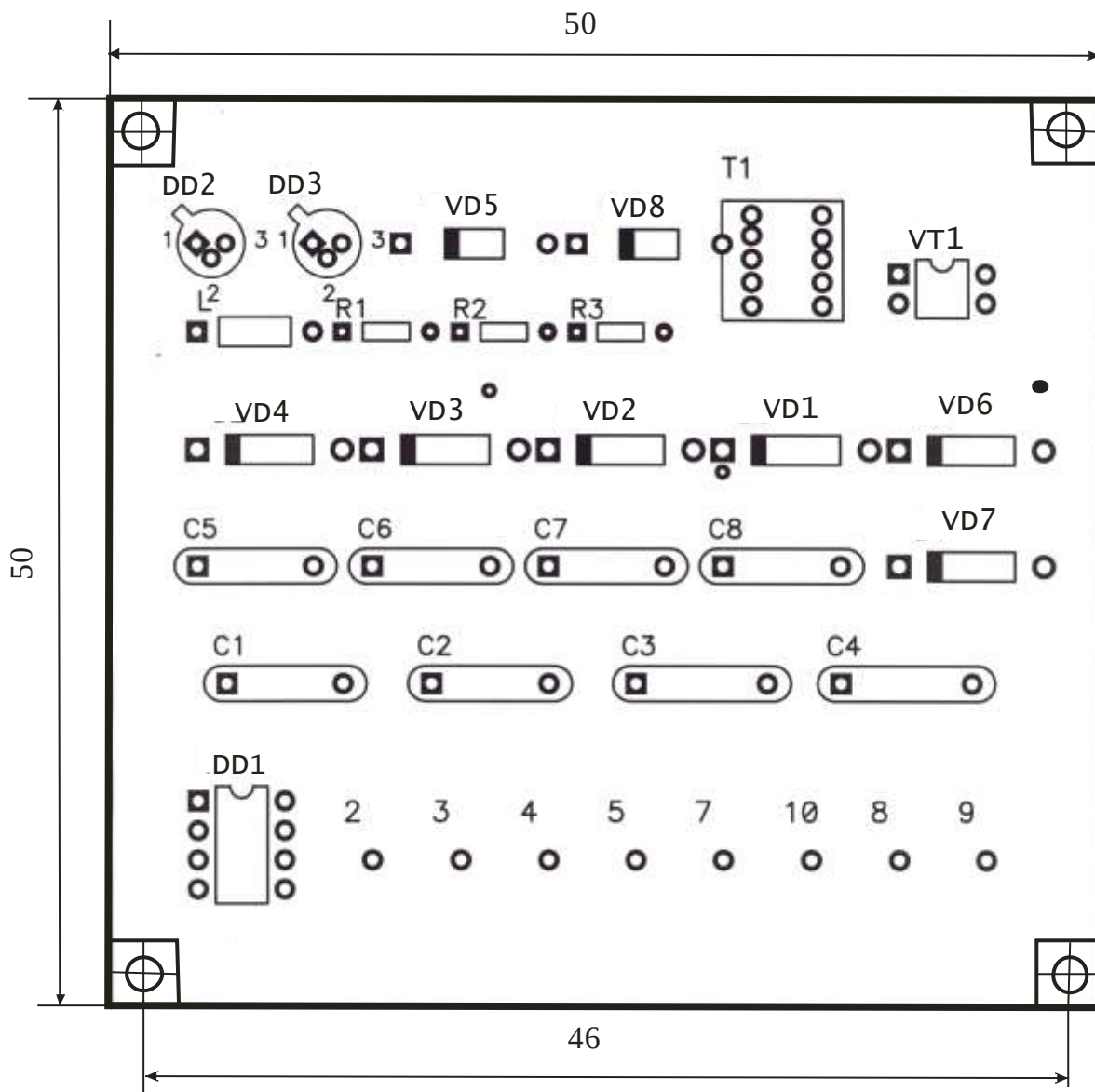


Рисунок 2.16 – Схема розташування елементів на платі

3. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Розробка програми розрахунку основних параметрів імпульсного блоку живлення

Основними параметрами для розрахунку імпульсного блоку живлення є: вхідні характеристики (вхідна напруга та струм), вихідні характеристики, тип зворотного зв'язку. параметри, які необхідно розрахувати: напруга зворотного зв'язку, параметри оптопар, кількісна характеристика вхідної ємності, час спрацювання вхідного моста, порогове значення напруги вхідного діода, параметри трансформатора (індуктивність котушки, кількість витків первинної обмотки, площа поперечного перерізу обмотки, індуктивність розсіювання вторинної та первинної обмоток і т. і.) Тобто алгоритм роботи програми для розрахунку основних параметрів блоку живлення повинен виглядати, як показано на рисунку 3.1.

Дану програму доцільно написати на мові програмування Borland C++ Builder 6.0, так як інструментами цієї мови програмування зручно оперувати та досить легко створювати складні програми для розрахунку. Програми написані на цій мові програмування є ефективними по об'єму коду програми та швидкості виконання. Мова включає в себе велику кількість операцій і типів даних засобів управління обчислювальними процесам, механізми модифікації типів даних і т.д.

Основне вікно програми (рисунок 3.2) має відображення меню "Файл", "Вид", "Інструменти" та "Допомога". Меню "Файл" містить в собі пункти меню: "Новий проект", "Відкрити проект" "Друк результатів" (неактивне пункт поки не закінчиться розрахунок параметрів ІБЖ) та "Вихід з програми". Меню "Вид" містить в собі пункти меню: "Панель інструментів", "Велика панель" та "Вікно стану". Меню "Інструменти" містить в собі пункти меню: "Вперед" та "Назад". Меню "Допомога" містить в собі пункти меню: "Про програму" та "Зміст допомоги".

При виборі пункту "Новий проект" появляється вікно (рисунок 3.3), яке запрошує користувача ввести вхідні дані для ІБЖ. Ввід таких даних як вибір контролера, тип оптимізації, тип корпусу та топологія здійснюється за допомогою вибору із відображених списків. Такі вхідні параметри як вхідна напруга можна задати автоматично (вибравши пункт "АС" та пункт "Стандартні", при виборі яких вхідні характеристики виставляються автоматично: 220 В 50 Гц) або сконфігурувати їх так як вважає за потрібне користувач відмітивши поле "Користувацькі" (тоді появляється можливість задати діапазон вхідного сигналу в межах від 0 до 325 В).

Потім необхідно ввести вихідні параметри для розрахунку ІБЖ такі як Напруга і струм. Потужність обраховується автоматично (рисунок 3.4).

Після цього появляється вікно вибору контролера, автоматично вибраного програмою із заданої бази контролерів (рисунок 3.5). Крім того програма дає можливість самостійно вибрати контролер із заданих в базі. Проте при невірному виборі розрахунок не відбудеться і знов з'явиться вікно вибору вихідних характеристик.

При виборі пункту "Далі" з меню "Інструменти" з'являється вікно з автоматично вибраним трансформатором (рисунок 3.6), який найближче знаходиться за вибраними вихідними параметрами (тобто вихідна напруга, струм та потужність). Також існує можливість введення в базу трансформаторів нового типу трансформатора розрахованого самим користувачем (рисунок 3.7) за такими параметрами як довжина первинної та вторинної обмоток, а також поперечні перерізи цих обмоток та індуктивність сердечника.

При виборі пункту "Далі" з меню "Інструменти" з'явиться результат виконання програми у вигляді звіту, який містить основні параметри розрахованого блоку живлення (рисунок 3.8). Після цього в меню "Файл" активується пункт "Друк" при натисканні на який з'являється стандартне вікно друку текстових файлів.

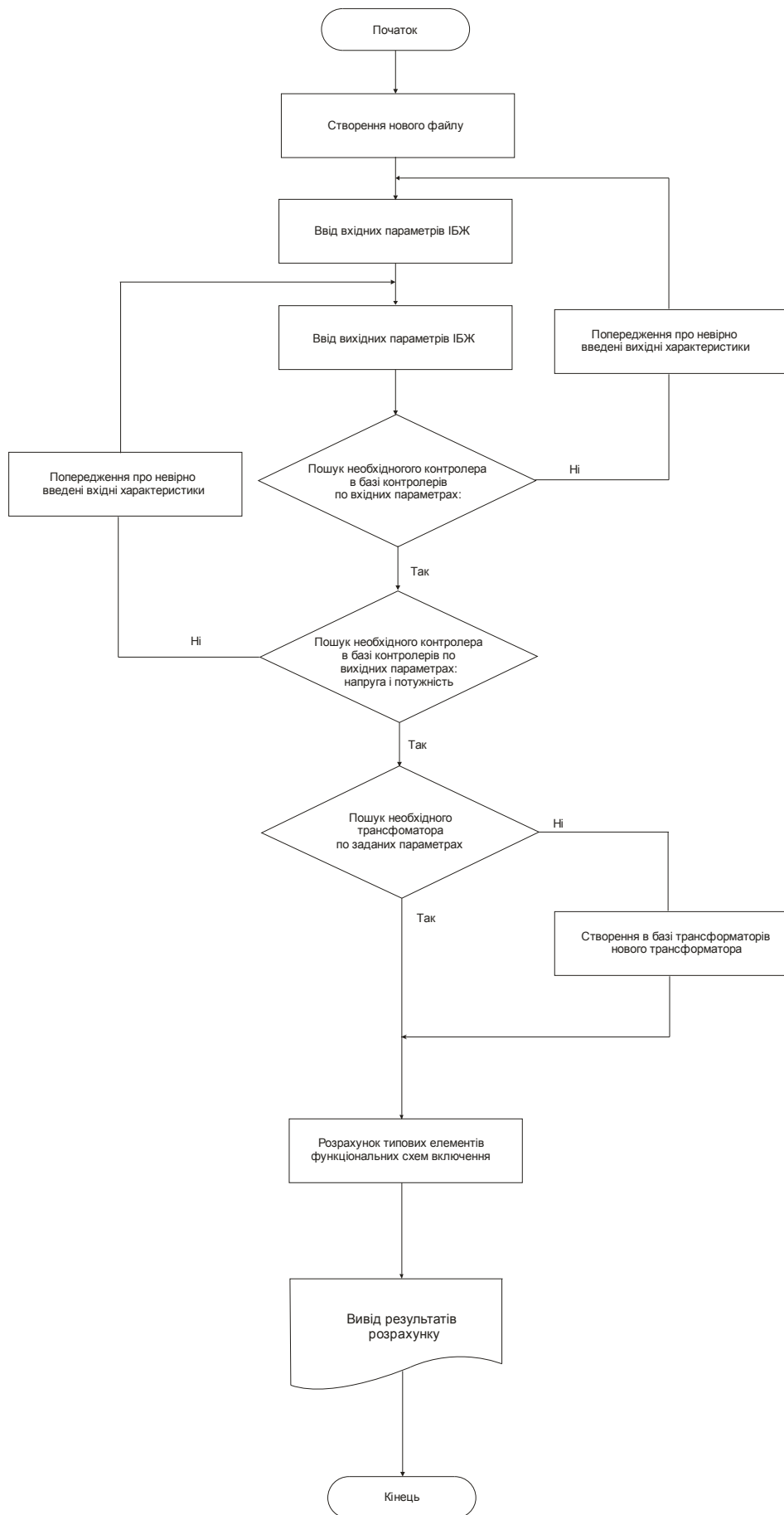


Рисунок 3.1 - Алгоритм роботи програми. Блок-схема.

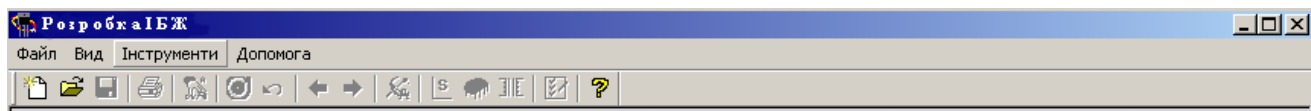


Рисунок 3.2 – Ілюстрація основного вікна програми

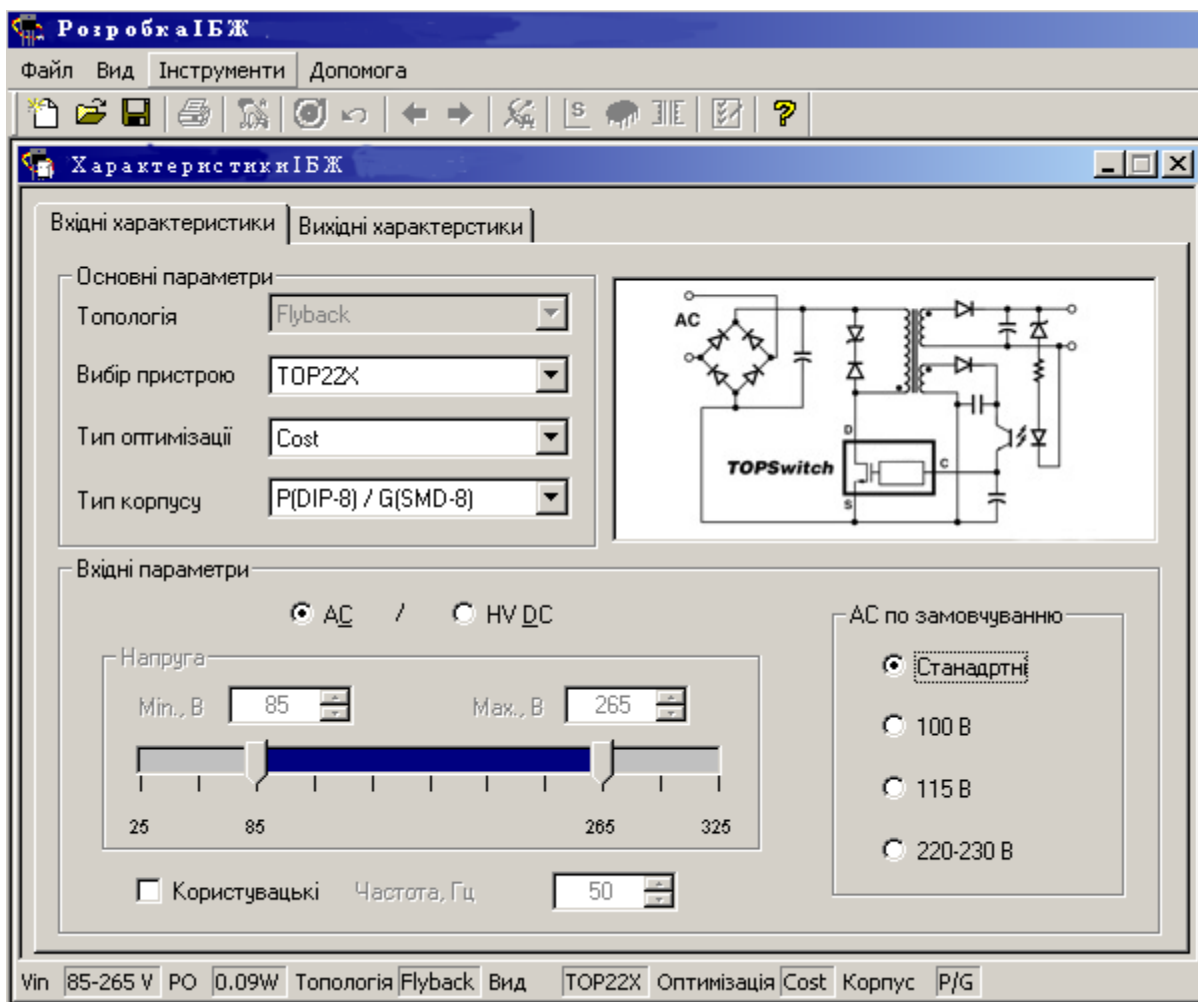


Рисунок 3.3 – Ілюстрація вікна «Характеристика імпульсного блоку живлення»

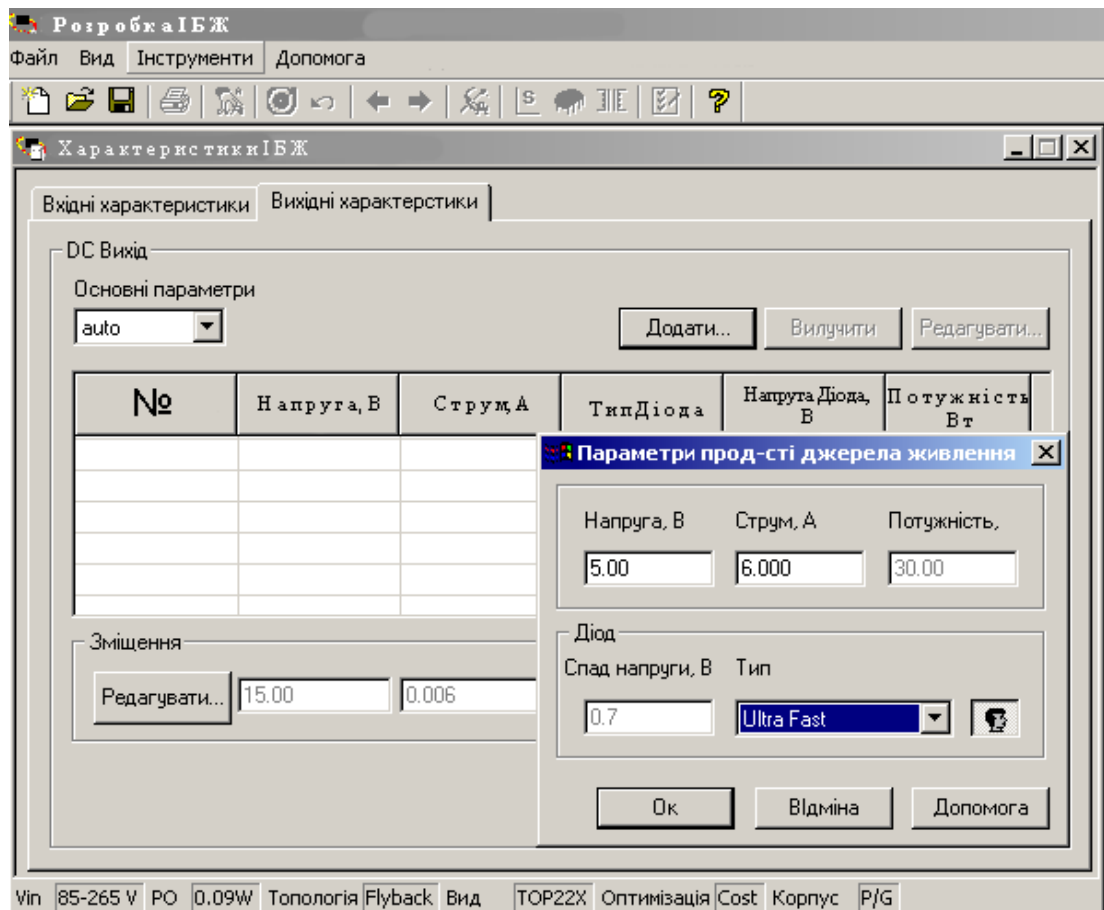


Рисунок 3.4 – Ілюстрація вікна вводу даних програми

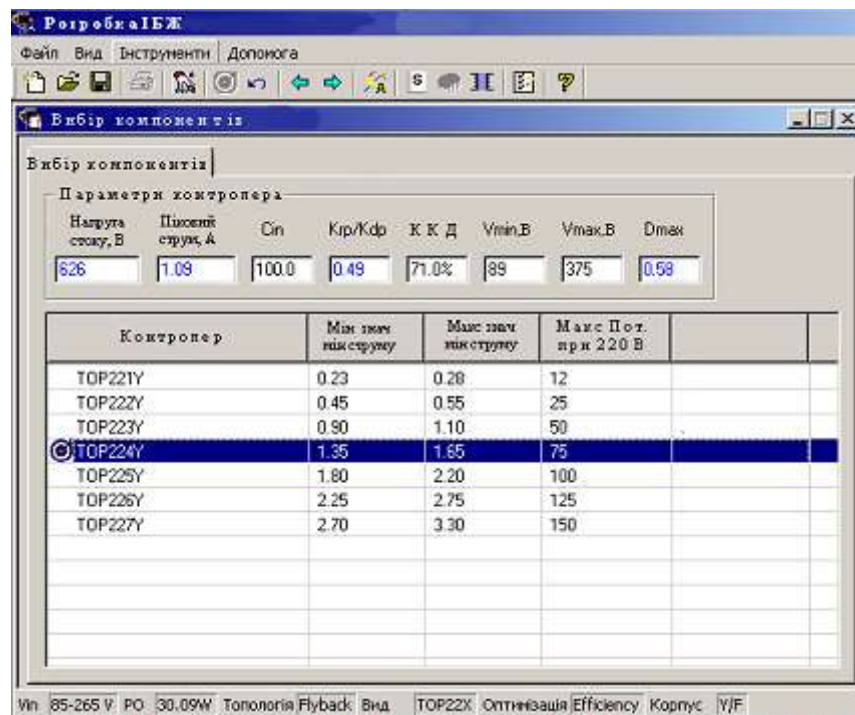


Рисунок 3.5 – Ілюстрація вікна вибору контролера.

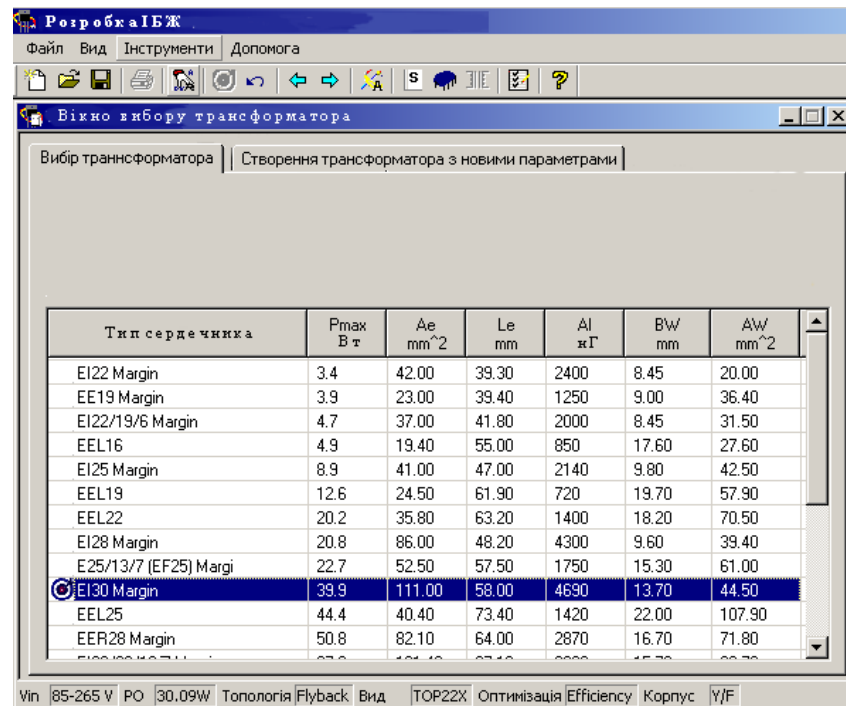


Рисунок 3.6 – Ілюстрація вікна вибору трансформатора

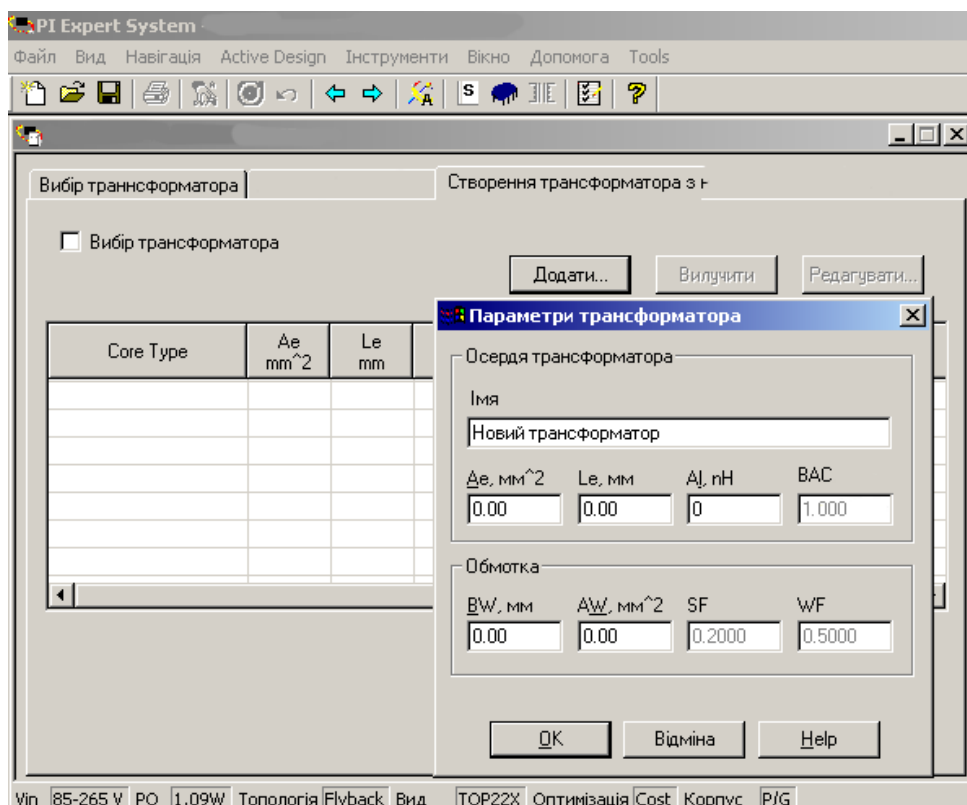


Рисунок 3.7 – Ілюстрація вікна створення трансформатора

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Значення охорони праці для забезпечення безпечних і здорових умов праці

Формування і розвиток відносин між людиною і технікою, а також між людьми в процесі виробництва відбувається за певними об'єктивними законами, ігнорування яких веде до помилок і витрат як в діяльності по управлінню виробництвом, так і до появи небезпечних і шкідливих умов праці [13–16, 22–24].

Аналіз практичної суспільної діяльності, що включає різноманітні форми людської активності, приводить до індивідуального висновку з потенційної небезпеки діяльності людини. Потенційність небезпеки полягає в прихованому, неявному характері вияву небезпечного виробничого чинника при визначених, нерідко важко передбачуваних умовах. Небезпечні і шкідливі виробничі чинники поділяються на фізичні, хімічні, біологічні і психологічні.

Фізичні, небезпечні і шкідливі виробничі чинники в будівництві і на підприємствах різних напрямків діяльності наступні:

- рухомі машини і механізми, що обертаються, і частини виробничого обладнання, що переміщуються;
- підвищені рівні загазованості і запиленості;
- підвищені рівні шуму і вібрації, ультразвукових і інфразвукових коливань;
- відхилення від нормативних параметрів, що характеризують мікроклімат в приміщеннях (температура повітря, відносна вологість повітря, шкідливість переміщення повітря, теплові випромінювання.)
- підвищення рівня статичної електрики, електромагнітних і іонізуючих випромінювань;

- відсутність або нестача природного чи штучного освітлення, підвищена яскравість світла;
- підвищена напруженість електромагнітного або магнітного поля;
- гострі кромки, задирки на поверхнях стропів, інструменту і обладнання;
- розташування робочого місця на значній висоті відносно поверхні землі.

Група хімічних небезпек і шкідливих факторів поділяється за характером впливу на організм людини (токсичні, подразнюючі, сенсibiliзуючі, канцерогенні, мутагенні) і по шляху проникнення в організм людини (через органи дихання, шлунково-кишковий тракт, шкірний покрив).

Група біологічних небезпек і шкідливих факторів включає: патогенні мікроорганізми (бактерії, віруси, грибки).

Група психофізіологічних небезпек і шкідливих факторів за характером дії поділяється на фізичні і нервово-психологічні перевантаження.

Небезпеку можна кількісно оцінити ризиком нанесення того або іншого збитку здоров'ю людини.

Створення безпечних, нешкідливих і сприятливих виробничих умов праці одне з найважливіших завдань сучасного виробництва і має не тільки інженерне, але і соціальне значення.

Охорона праці на сучасному етапі являє собою систему правових, соціально-економічних, лікувально-профілактичних засобів та заходів, спрямованих на забезпечення здоров'я і працездатності людини в процесі праці. Основним принципом політики в галузі ОП є визнання пріоритету життя і здоров'я працівників.

В останні десятиліття бурхливого розвитку зазнала комп'ютерна техніка. Практично в кожній галузі господарства, а також в побуті впроваджуються комп'ютерні інформаційні й обчислювальні системи. Значна кількість людей і, зокрема, дітей проводять багато часу за терміналами комп'ютерів. Тому новим завданням ОП є визначення впливу комп'ютерів на

організм людини. За кордоном уже розроблено ряд положень і норм, щодо користування ПЕОМ. В нашій країні цю проблему ще повністю не вирішено. Це пов'язано з поганим фінансуванням заходів по дослідженню впливу комп'ютерів на організм людини, великою тривалістю періоду дослідження (кілька років чи десятки років). Також існує проблема проведення незалежних досліджень, особливо у світі таких комп'ютерних магнатів як "IBM" і "Apple".

4.2 Аналіз потенційних небезпек і шкідливостей

Використання комп'ютерної техніки передбачає шкідливий вплив електромагнітного випромінювання (ЕМВ) від моніторів комп'ютерів. Ступінь дії цього виду випромінювання на організм людини залежить від діапазону частот, інтенсивності дії відповідного фактора, тривалості опромінення, режиму опромінення, розмірів опроміненої поверхні тіла та індивідуальних особливостей організму [13–16, 22–24]. Біологічна дія ЕМВ низької частоти викликає функціональні порушення центральної нервової та серцево-судинної систем людини, а також деякі зміни в складі крові, особливо виражені при високій напруженості електромагнітного поля. Більш високі частоти ЕМВ можуть привести до підвищення температури тіла внаслідок переходу електромагнітної енергії у теплову. Довготривала хронічна дія ЕМВ невеликої інтенсивності приводить до різних нервових та серцево-судинних розладів (головного болю, втомленості, порушення сну і т.п.). Можливі порушення з боку ендокринної системи та зміни складу крові. Робота оператора ЕОМ, який обслуговує комп'ютерну техніку, теж пов'язана з фізичними недоліками організму. Люди, які працюють на ЕОМ, займаються сидячою роботою у вимушеній позі з високою рухливістю кистей рук. Також ця робота потребує напруження зору, а значить призводить біль в очах, а через напруження зору і до головних болів. Наслідком сидячої роботи є біль в області спини. Потенційно небезпечні виробничі фактори, їхні фактичні і нормативні значення, зведені в таблицю 5.1.

- Світлотехнічна специфіка робочих місць для користувачів ПЕОМ включає п'ять унікальних особливостей:
- Світлотехнічна різноманітність об'єктів зорової роботи користувачів ПЕОМ, що працюють із візуальними дисплейними терміналами (ВДТ), пов'язана з наявністю трьох об'єктів (екран, клавіатура, документація), розташованих у різних зонах спостереження, що вимагає багаторазового переведення лінії зору від одного до іншого.
- Робота з пульсуючими світловими об'єктами, які постійно знаходяться у центрі поля зору, що не відповідає нормативним вимогам щодо обмеження пульсації та засліпленості.

Таблиця 4.1 — Потенційно небезпечні виробничі фактори

Виробничий об'єкт	Небезпечний фактор (технологічна	Фактичне значення	Нормативне значення (безпечна	Характер дії на людину
ЕОМ	шум	$L_p=70$ дБА	$L_p=50$ дБА	роздратування, втома, втрата слуху
	рентгенівське випромінювання	8-9 мкР/год	75,0 мкР/год (1,2 КеВ)	загальна втома, головний біль, різь в очах
	Ультрафіолетове випромінювання	0,02 Вт/м ²	0,01 Вт/м ² (220нм–280нм)	
	ІЧ-випромінювання	5,0 Вт/м ²	100,0 Вт/м ² (700нм–1мм)	
	електростатичне поле	20 кВ/м	20-60 кВ/м (0Гц)	

Продовження таблиці 4.1

	яскравість	75 кД/м^2	не менше 35 кД/м^2 , не більше 60 кД/м^2	
	видимий діапазон	2 Вт/м^2	10 Вт/м^2 (4нм-700нм)	
	електричний струм	$U = 220 \text{ В},$ $I = 2 \text{ А},$ $f = 50 \text{ Гц}$	$I \leq 0,1 \text{ А}$ для змінного струму	опіки, порушення діяльності внутрішніх органів, їх ушкодження
Принтер	Шум	$L_p = 70 \text{ дБА}$	$L_p = 50 \text{ дБА}$	Роздратування, втома.
	Електричне обладнання	$U = 220 \text{ В},$ $I = 2 \text{ А},$ $f = 50 \text{ Гц}$		Можливість враження електричним струмом

На робочому місці несприятливо розміщена яскравість у полі зору, оскільки освітлені поверхні периферії поля зору (стеля, стіни, меблі та ін.) можуть виявитися світлішими ніж центр поля зору. Такий розподіл яскравості у полі зору сприяє порушенню основних зорових функцій. Засліплююча дія світильників, які освітлюють приміщення на робочому місці з ВДТ більша, ніж інших, бо лінія зору користувача при роботі з екраном майже горизонтальна, що призводить до кута зменшення дії різних засліплюючих джерел. Негативна дія моніторів на зір проявляється у вигляді різі, печії, болю в очах, а також у

вигляді розпливчастості меж або нечіткості зображення об'єкту, викликаних тимчасовим порушенням світлочутливого світло апарату ока.

Ці явища часто супроводжуються головним болем, важкістю в голові, загальною втомою, сонливістю, млявістю. Для запобігання цих явищ необхідно дотриматися певних правил при виборі приміщення, розташування робочих місць. Основною потенційною небезпекою при експлуатації комп'ютерної техніки є електрична енергія, якою вони живляться.

4.3 Забезпечення нормальних умов праці

4.3.1 Розрахунок захисного заземлення

Електрообладнання в датацентрі живиться від електромережі напругою 220В. Вимірний питомий опір ґрунту $\rho_{\text{в}} = 80 \text{ Ом} \cdot \text{м}$. Вимірювання відбувались при сухому ґрунті.

Найбільший допустимий опір захисного заземлення в електроустановках із напругою до 1000 В не перевищує 10 Ом. Заземлення виконуємо зі стержнів діаметром 12 мм і довжиною 1.5 метри.

Розрахунковий питомий опір ґрунту:

$$\rho_{\text{роз}} = \rho_{\text{в}} \cdot \psi, \quad (4.1)$$

де $\rho_{\text{в}}$ - вимірний питомий опір ґрунту, ψ - кліматичний коефіцієнт.

З таблиці питомий електричних опорів ґрунтів і кліматичних коефіцієнтів визначаємо кліматичний коефіцієнт для сухого ґрунту - $\psi_{\text{з}} = 1,4$.

Розрахунковий питомий опір ґрунту:

$$\rho_{\text{роз}} = 80 \cdot 1,4 = 112 \text{ Ом} \cdot \text{м}; \quad (4.2)$$

Опір заглибленого вертикального заземлювача знаходимо по формулі:

$$R = \frac{\rho}{2\pi} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4H+l}{4H-l} \right), \quad (4.3)$$

де ρ - питомий опір ґрунту; l - довжина стержня; d - діаметр;

$H_0 \geq 0,5\text{м}$ - відстань від верхнього кінця заземлювача до поверхні;

H - відстань від поверхні до середини заземлювача.

Підставляючи в формулу (4.2) числові значення $H = 1,2\text{м}$, $l = 1,5\text{м}$,
 $d = 0,012\text{м}$, $\rho = 112\text{ Ом} \cdot \text{м}$ отримуємо опір розтіканню струму
 одиничного заземлювача:

$$R_1 = \frac{112}{2\pi \cdot 1,5} \left(\ln \frac{2 \cdot 1,5}{0,012} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 1,2 + 1}{4 \cdot 1,5 - 1} \right) = 11,9 (\ln 250 + 0,51 \ln 1,526) = 20,8\text{ Ом} \quad (4.4)$$

Необхідну кількість паралельно з'єднаних заземлювачів визначаємо з формули:

$$n = \frac{R_1}{R_{\text{ш}} \cdot \eta_z}, \quad (4.5)$$

де R_1 - опір розтіканню струму одного заземлювача, $R_{\text{ш}}$ - максимально допустимий опір усіх штучних заземлювачів, η_z - коефіцієнт використання заземлювачів, в якому враховується їх взаємне екранування. Для визначення коефіцієнта потрібно задати конфігурацію розташованих заземлювачів.

Розглянемо випадок, коли вертикальні стержні розташовані по контуру квадрата $6 \cdot 6\text{ м}$. Якщо відстань між заземлювачами складає 3 метри, то по периметру квадрата можна розмістити 8 стержнів. В якості з'єднувальної смуги використовуємо сталюну шину $30 \cdot 4\text{ мм}$. з'єднувальної

Опір розтіканню струму шини обчислюється по формулі для обчислення опору горизонтального заглибленого заземлювача:

$$R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{2l^2}{bH}, \quad (4.6)$$

де ρ - питомий опір ґрунту; l - довжина заземлювача; H - віддаль від поверхні до заземлювача; b - ширина заземлювача.

Опір з'єднуючої шини

$$R = \frac{112}{2\pi \cdot 12} \ln \frac{2 \cdot 12^2}{0,04 \cdot 0,5} = 1,49 \cdot \ln 14400 = 14,3\text{ Ом}. \quad (4.7)$$

Коефіцієнт використання горизонтальної з'єднуючої смуги $\eta_n = 0,27$.

Опір шини:

$$R_z = \frac{14,3}{0,27} = 52,9\text{ Ом}. \quad (4.8)$$

Вертикальні стержні і горизонтальну шину розглядаємо як два паралельно з'єднаних опори. Тоді необхідний сумарний опір вертикальних заземлювачів знаходиться з умови:

$$R_{\text{вз}} \leq \frac{R_{\text{г}} \cdot R_{\text{д}}}{R_{\text{г}} + R_{\text{д}}}, \quad (4.9)$$

де $R_{\text{вз}}$ - опір розтіканню струму вертикальних заземлювачів,

$R_{\text{г}}$ - опір розтіканню струму з'єднуючої шини,

$R_{\text{д}}$ - максимально допустимий опір заземлюючого пристрою.

$$R_{\text{вз}} = \frac{52.9 \cdot 4}{52.9 + 4} = 3.72 \text{ Ом} \quad (4.10)$$

Враховуючи коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів $\eta_{\text{з}} = 0.5$ (при відношенні відстані між заземлювачами до їх довжини $\frac{s}{l} = 1.3$). І числі стержнів $k = 8$), визначаємо необхідну кількість заземлювачів:

$$n = \frac{R_1}{\eta_{\text{з}} \cdot R_{\text{вз}}} = \frac{20.8}{0.5 \cdot 3.72} = 11.18 \approx 12 \text{ шт.} \quad (4.11)$$

Отже опір заземлювачів, розміщених по контуру квадрата $6 \cdot 6 \text{ м}$ не перевищує максимально допустимого значення 10 Ом.

4.3.2 Шум та вібрація

З гігієнічної точки зору шум та вібрація – це сукупність несприятливих звуків чи механічних коливань, що передаються на тіло людини і викликають неприємні суб'єктивні відчуття, знижують працездатність та можуть привести до порушення стану здоров'я. Звукові хвилі та вібрація мають певну частоту, що вимірюється в герцах : 1Гц – одне коливання на секунду. Вуха може сприймати коливання в діапазоні 16-20000 Гц. Рівень звуку та вібрації, їх сила та інтенсивність вимірюється в белах (б), чи децибелах (дБ). Численними дослідженнями встановлено, що шум є загально біологічним подразником і в певних умовах може впливати на всі органи і системи організм людини. професійних захворювань. При дуже високому звуковому тиску може бути пошкоджена барабанна перетинка вуха.

Крім безпосереднього впливу на орган слуху шум впливає на різні відділи головного мозку, змінюючи процеси нервової діяльності. Цей вплив може виникнути навіть швидше ніж зміни в органі слуху. Згідно документів Всесвітньої організації здоров'я (ВООЗ) відмічено, що найбільш чутливим до шуму є такі операції, як відслідковування, збір інформації та мислення.

4.4 Забезпечення безпеки експлуатації обладнання

Відео-термінали, ЕОМ, ПЕОМ, спеціальні периферійні пристрої ЕОМ та устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження ЕОМ повинні відповідати вимогам чинних в Україні стандартів, нормативних актів з охорони праці та цих Правил. Відео-термінали, ЕОМ, ПЕОМ, спеціальні периферійні пристрої ЕОМ закордонного виробництва додатково повинні відповідати вимогам національних стандартів держав-виробників і мати відповідну позначку на корпусі, в паспорті або іншій експлуатаційній документації. Після введення в дію цих Правил забороняється використання для виробничих потреб нових відео-терміналів, ЕОМ, ПЕОМ, спеціальних периферійних пристроїв ЕОМ та устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження ЕОМ, які підлягають обов'язковій сертифікації в Україні або в стандартах на які є вимоги щодо забезпечення безпеки праці, життя і здоров'я людей, без наявності виданого в установленому порядку або визнаного в Україні згідно з державною системою сертифікації Укр.СЕПРО сертифіката, що засвідчує їхню відповідність обов'язковим вимогам. Прийняття в експлуатацію зазначеного обладнання повинне здійснюватись тільки за умови наявності в комплекті з ним паспорта, інструкції або іншої експлуатаційної документації, перекладеної українською (або також і російською) мовою. При наявності відхилень від вимог нормативної документації можливість використання обладнання повинна бути узгоджена з Державним наглядом по охороні праці, держстандартом та організацією-замовником до укладення контракту на постачання. Копії погоджень і сертифікати повинні бути долучені до паспорта або іншої

експлуатаційної документації обладнання. Відео-термінали, ЕОМ, ПЕОМ, спеціальні периферійні пристрої ЕОМ, вітчизняні та імпортовані, що перебувають в експлуатації на час введення в дію цих правил і не мають вказаного в пунктах сертифіката, протягом двох років після дати введення в дію цих Правил повинні пройти оцінку (експертизу) їх безпечності та нешкідливості для здоров'я людини, відповідності вимогам чинних в Україні стандартів. За способом захисту людини від ураження електричним струмом відео-термінали, ЕОМ, периферійні пристрої ЕОМ та устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження ЕОМ повинні відповідати 1 класу захисту згідно з ГОСТ 12.2.007.0 "СС5Т. Є неприпустимим використання клем функціонального заземлення для підключення захисного заземлення. Вимоги до відео-терміналів наведені в таблиці 4.2.

Вимоги до клавіатури:

- виконання клавіатури у вигляді окремого пристрою з можливістю вільного переміщення;
- наявність опорного пристрою, який дає змогу змінювати кут нахилу клавіатури в межах від 5^0 до 15^0 ;
- висота на рівні переднього ряду не більше 15 мм;
- виділення кольором та місцем розташування окремих груп клавіш;
- однаковий хід всіх клавіш з мінімальним опором натисканню 0,25Н та максимальним — не більше 1,5Н

Вимоги щодо допустимих значень неіонізуючого електромагнітного випромінювання:

- напруженість електромагнітного поля на відстані 50 см навкруги ВДТ за електричною складовою не повинна перевищувати:
- у діапазоні частот 2 кГц - 5 кГц - 25 В/м,
- у діапазоні частот 5 кГц - 400 кГц - 2,5 В/м;

Таблиця 4.2 - Вимоги до відео-терміналів

Відео-термінали	ЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРА
Яскравість знака (яскравість фону), кд/м'	від 35 до 120
Зовнішня освітленість екрана, лк	від 100 до 250
Контраст (для монохромних зображень)	від 3: 1 до 1.5: 1
Нерівномірність яскравості в робочій зоні екрана	не більше $I_{\text{ср}}^7$; 1
Відхилення форми робочої зони екрана від прямокутності .	
по горизонталі та вертикалі	не більше 2%
по діагоналі	не більше 4% відношення
Різниця довжин рядків або стовпчиків	
Розмір мінімального елемента зображення (пікселі) для	не більше 2% середнього 0,3
Допустима тимчасова нестабільність зображення (мигання)	не повинна бути зафіксована
Відбивна властивість, дзеркальне та змішане відображення	не більше 1

- щільність магнітного потоку не повинна перевищувати:
- у діапазоні частот 2 кГц - 5 кГц - 250 нТл,
- у діапазоні частот 5 кГц - 400 кГц - 25 нТл;
- поверхневий електростатичний потенціал не повинен перевищувати 500 В;
- потужність дози рентгенівського випромінювання на відстані 5см від екрана та інших поверхонь ВДТ не повинна перевищувати 100 мкР/год

ВИСНОВКИ

В результаті виконання кваліфікаційної роботи було спроектовано блок імпульсного живлення на контролері з ШІ-модуляцією за заданими параметрами.

В кваліфікаційній роботі:

1. розглядаються різні типи блоків живлення, проводиться аналіз блоків живлення, розглядаються базові найпростіші структури імпульсних та лінійних перетворювачів;

2. розглядаються технології побудови імпульсних блоків живлення на основі контролерів, а саме трансформаторних перетворювачів напруги (зворотногоходових та прямоходових), проводиться огляд функціонування контролерів певних типів, розглядаються їх характеристики, функціональні блоки;

3. розроблена програма розрахунку основних параметрів імпульсного блоку живлення та проектується блок імпульсного живлення за заданим вхідними даними;

4. розробка блоку здійснюється в чотири етапи: розрахунок основних параметрів створеною програмою, розробка структури та функціональної схеми блоку живлення, розробка електричної принципової схеми, розробка монтажною плати.

Таким чином впровадження імпульсних систем живлення значно покращить роботу різних пристроїв та приладів. Крім того імпульсні джерела живлення мають більш широкий діапазон вхідних напруг. Діапазон вхідних напруг лінійних джерел живлення звичайно не перевищує $\pm 10\%$ від номінального значення, що в свою чергу впливає на ККД. В імпульсних джерел живлення вплив діапазону вхідної напруги на ККД дуже незначний чи взагалі відсутній, а діапазон вхідних напруг $\pm 20\%$ і більше дає можливість працювати при сильних змінах напруги мережі.

Отже, а саме розширення функціональних можливостей контролерів дає поштовх для розвитку у напрямку систем імпульсного живлення, які працюватимуть набагато ефективніше, в порівнянні з лінійними системами живлення.

References:

Перелік літератури:

1. Литвиненко В. А. Конспект лекцій з дисципліни «Електроживлення РЕА» освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти зі спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка». - Кам'янське; ДДТУ, 2020р. – 67с.
2. Електричні_схеми_III_напівпровідники_(Kuphaldt). Режим доступу - [https://ukrayinska.libretexts.org/Робоча_сила/Технологія_електроніки/Книга:_Електричні_схеми_III_напівпровідники_\(Kuphaldt\)/04:_Біполярні_транзистори/4.1](https://ukrayinska.libretexts.org/Робоча_сила/Технологія_електроніки/Книга:_Електричні_схеми_III_напівпровідники_(Kuphaldt)/04:_Біполярні_транзистори/4.1)
3. Електричні_схеми_IV_цифрова_схемотехніка_(Kuphaldt). Режим доступу - [https://ukrayinska.libretexts.org/Робоча_сила/Технологія_електроніки/Книга:_Електричні_схеми_IV_цифрова_схемотехніка_\(Kuphaldt\)/03:_Логічні_ворота/3.10:_Рівні_напруги_логічного_сигналу](https://ukrayinska.libretexts.org/Робоча_сила/Технологія_електроніки/Книга:_Електричні_схеми_IV_цифрова_схемотехніка_(Kuphaldt)/03:_Логічні_ворота/3.10:_Рівні_напруги_логічного_сигналу)
4. Бойко В. І. Основи технічної електроніки: У 2 кн. Кн.2 Схемотехніка: підручник / Бойко В. І., Гурій А. М., Жуйков В. Я. та ін. – К.: Вища школа, 2007. – 510 с.
5. Структурна схема та принцип роботи мікросхеми ШІМ-контролера з додатковою зворотним зв'язком по струму. – Режим доступу:<http://ua.nauchebe.net/2015/04/strukturna-sxema-ta-princip-roboti-mikrosxemi-shim-kontrolera-z-dodatkovoyu-zvorotnim-zvyazkom-po-strumu/>
6. Ревко А.С. Широтно-імпульсна модуляція в квазірезонансних перетворювачах / А. С. Ревко, Д. М. Брика // Технічна електродинаміка. Тематичний випуск: Силова електроніка та енергоефективність. Ч. 5. – 2006. – С. 125-128.
7. Хіль М. І. Підвищення якості імпульсних джерел живлення РЕА. / М. І. Хіль, Д. Г. Єгоров, О. В. Шевченко // Вісник східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля №17(188) – 2012. – С. 228-233.

8. The basics of active power factor correction [Електроний ресурс] / LAZAR's power factor correction guide – 2013, 2017 Lazar Rozenblat. All rights reserved. Режим доступу: <http://www.powerfactor.us/active.html>
9. Texas Instruments [Електроний ресурс] / TL494 Pulse-Width-Modulation Control Circuits. Режим доступу: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tl494.pdf>
10. Мироненко П.С. Стенд для перевірки працездатності низькочастотних інерціальних модулів / П.С. Мироненко, О.М. Павловський // Вісник НТУУ «КПІ» Серія «Приладобудування» - 2018.-№56 (2), с. 7-13.
11. Трембач Р.Б., Медвідь В.Р. Методичні вказівки до виконання до виконання лабораторних робіт з дисципліни “Електроніка і мікросхемотехніка” Модуль І. «Базові елементи електроніки» – Тернопіль: ТНТУ, 2024. – 36 с.
12. Трембач Р.Б., Медвідь В.Р. Методичні вказівки до виконання до виконання лабораторних робіт з дисципліни “Електроніка і мікросхемотехніка” Модуль 3. «Імпульсна техніка, вторинні джерела живлення, основи цифрової електроніки» – Тернопіль: ТНТУ, 2024. – 26с.
13. Бедрій Я.І. Безпека життєдіяльності : навчальний посібник / В.Я.Нечай. Львів : Манголія 2006, 2007. 499 с.
14. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці: підруч. / В. Ц. Жидецький. — 3-тє вид., перероб. і доп. — Львів : Укр. акад. друкарства, 2006. — 336 с. — ISBN 966-8013-11-5
15. ДНАОП 1.1.10 – 1.07. – 01. Правила експлуатації електрозахисних засобів (укр). Введ. 05.06.2001. – Харків: Форт, 2003. – 119 с
16. Панченко С. В., Акімов О. І., Бабаєв М. М. Електробезпека. Харків: УкрДУЗТ, 2018. 295 с.
17. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра спеціальності 151 «Автоматизація та комп’ютерноінтегровані технології»./ В.Б. Савків., Ю.Б. Капаціла, Р.І. Михайлишин//:- Тернопіль, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2021, – 46с.

18. Платформа .NET та мова програмування C# 8.0: навчальний посібник / Коноваленко І.В., Марущак П.О. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2020 – 320 с. /Рекомендовано до друку Вченою радою Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя. Протокол № 10 від 20 жовтня 2020 року
19. Проектування мікропроцесорних систем керування: навчальний посібник / І.Р. Козбур, П.О. Марущак, В.Р. Медвідь, В.Б. Савків, В.П. Пісьціо. – Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2022. – 324 с. / (Рекомендовано до друку вченою радою Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя протокол № 9 від 4 жовтня 2022 р.
20. Автоматизація виробничих процесів. Навчальний посібник для технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. / Я.І. Проць, В.Б. Савків, О.К. Шкодзінський, О.Л. Ляшук. Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя, 2011. 344 с.
21. Автоматизація періодичних технологічних процесів: Типова програма, методичні вказівки, теорія та практика. Лабораторний практикум / Укладачі: Проць Я.І., Данилюк О.А., Федорів П.С. - Тернопіль: ТДТУ, 2005 -135 с.
22. Методичні вказівки для написання розділу «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці» в кваліфікаційних роботах здобувачів освітнього рівня „бакалавр”. Для студентів всіх форм навчання рівень вищої освіти перший (бакалаврський)/ укл.: О. Я. Гурик , І. Б. Окіпний. – Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. - 20 с.
23. Безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання / укл.: Стручок В. С. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. 156 с.
24. Пилипець М. І. Правила заповнення основних форм технологічних документів : навч.-метод. посіб. / Уклад. Пилипець М. І., Ткаченко І. Г.,

Левкович М. Г., Васильків В. В., Радик Д. Л. Тернопіль : ТДТУ, 2009. 108 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/42995>