

## АНОТАЦІЯ

Голояд О.І. Метод підвищення ефективності імпульсних перетворювачів постійного струму. – Рукопис. Кваліфікаційна робота магістра, Тернопільський національний технічний університети імені Івана Пулюя, Тернопіль, 2019.

Кваліфікаційну роботу магістра присвячено обґрунтуванню методів підвищення ефективності імпульсних перетворювачів постійного струму. Проаналізовано типи та принцип роботи імпульсних перетворювачів постійного струму, обґрунтовано заходи щодо підвищення їх ефективності. Зокрема пропонується використання коректорів коефіцієнта потужності, вхідних фільтрів та сучасної елементної бази драйверів силових ключів.

Ключові слова: імпульсний перетворювач постійного струму, ефективність, коефіцієнт корисної дії.

## ABSTRACT

Holoyad O.I. A method of increasing the efficiency of impulse converters of direct current. - Manuscript. Qualifying Work, Ivan Puluj Ternopil National Technical University, Ternopil, 2019.

The master's qualification work is devoted to the substantiation of methods of increase of efficiency of impulse converters of direct current. The types and the principle of operation of impulse converters of direct current are analyzed, and the measures for increasing their efficiency are substantiated. In particular, it is suggested to use power factor correctors, input filters, and a modern elemental base of power key drivers.

Keywords: impulse converters of direct current, efficiency.

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ ТА ПОЗНАЧЕНЬ

БЖ – блок живлення;

ІППС – імпульсний перетворювач постійного струму;

ККД – коефіцієнт корисної дії;

ШІМ – широтно-імпульсна модуляція;

КЗ – коротке замикання;

ЕРС – електрорушійна сила;

ЕМІ – електромагнітний імпульс;

ПНТ – перемикання при нульовому струмі;

ПНН – перемикання при нульовій напрузі.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1. СТАН ПРОБЛЕМИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ІМПУЛЬСНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ.....	11
1.1 Імпульсні перетворювачі постійного струму, як складні системи.....	11
1.2 Джерело живлення, як складна система.....	13
1.3 Поняття ефективності складних систем та способи її оцінювання.....	16
1.4 Оцінювання складності систем.....	16
1.5 Поняття якості системи.....	17
1.6 Задача підвищення ефективності вторинних джерел електроживлення, як складних радіоелектронних пристроїв.....	18
1.7 Висновки до розділу 1.....	22
РОЗДІЛ 2. ІМПУЛЬСНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ, ЯК СКЛАДНІ РАДІОЕЛЕКТРОННІ ПРИСТРОЇ.....	24
2.1 Дослідження структури та принципу роботи імпульсних перетворювачів постійного струму.....	24
2.2 Ключові стабілізатори постійного струму.....	25
2.3 Дослідження принципу роботи одноктних імпульсних БЖ.....	27
2.4 Дослідження принципу роботи двоктних перетворювачів постійного струму.....	29
2.5 Топологія резонансних імпульсних перетворювачів.....	32
2.6 Висновки до розділу 2.....	33
РОЗДІЛ 3. ЗАГАЛЬНІ ПРИНЦИПИ ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНОЇ ТОПОЛОГІЇ ІМПУЛЬСНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ.....	34
3.1 Особливості вибору топології імпульсного перетворювача постійного струму.....	34
3.2 Методики формування сигналів для збільшення ККД імпульсного джерела живлення.....	35
3.3 Основні втрати всередині імпульсного джерела живлення з ШІМ.....	39

3.4 Шляхи зниження рівня втрат.....	45
3.5 Боротьба з шумом і електромагнітними перешкодами.....	47
3.6 Висновки до розділу 3.....	48
РОЗДІЛ 4. ПРАКТИЧНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ПОТУЖНИХ ІМПУЛЬСНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ.....	50
4.1 Імпульсний перетворювач постійного струму потужністю 1000 Вт.....	50
4.2 Схемо-технічні рішення побудови імпульсного блока живлення.....	51
4.3 Висновки до розділу 4.....	58
РОЗДІЛ 5. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА.....	59
5.1 Метрологічне забезпечення наукового дослідження.....	59
5.2 Програмне забезпечення для розв'язування наукової задачі.....	60
5.3 Висновки до розділу 5.....	65
РОЗДІЛ 6. ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ.....	66
6.1 Науково-технічна актуальність науково-дослідної роботи.....	66
6.2 Розрахунок витрат на проведення науково-дослідної роботи.....	67
6.3 Науково-технічна ефективність науково-дослідної роботи.....	73
6.4 Висновки до розділу 6.....	77
РОЗДІЛ 7. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	78
7.1 Охорона праці.....	78
7.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	80
РОЗДІЛ 8. ЕКОЛОГІЯ.....	88
8.1 Актуальність екологічних проблем.....	88
8.2 Шкідливий вплив на довкілля при виготовленні блоку живлення.....	89
8.3 Заходи охорони довкілля при промислових процесах.....	90
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	93
Бібліографія.....	94
ДОДАТКИ	

## ВСТУП

Актуальність теми. Каталізатором розвитку різних галузей приладобудування є розвиток електроніки і мікроелектроніки. Особлива роль в розвитку радіоелектроніки належить джерелам живлення – пристроям, які забезпечують електронні пристрої електричною енергією для їх живлення. Особлива увага приділяється вторинним джерелам електроживлення.

В зв'язку з надзвичайно широкою областю використання джерел живлення існує надзвичайно велика різноманітність їх типів. По принципу роботи джерела живлення можуть бути гальванічними, електричними, термоелектричними, механічними, п'єзоелектричними, комбінованими.

Класичним вторинним джерелом живлення є трансформаторний. У загальному випадку він складається з понижуючого трансформатора або автотрансформатора, у якого первинна обмотка розрахована на мережеву напругу. Потім встановлюється випрямляч, що перетворює змінну напругу в постійну. Після випрямляча встановлюється фільтр, що згладжує коливання (пульсації). Зазвичай він являє собою просто конденсатор великої ємності.

Особливу роль відіграють вторинні джерела живлення з перетворенням напруги – імпульсні перетворювачі постійного струму. Це дає можливість споживачу значно зменшити габаритні розміри джерела живлення, знизити рівень пульсації вихідної напруги із-за підвищення частоти, яка поступає на вхід випрямляча. Однак існує застаріла класифікація та рекомендації щодо вибору структури та схемо-технічних рішень побудови імпульсних перетворювачів постійного струму, зокрема і потужних, внаслідок чого зменшується їх ефективність, що визначається оптимальним співвідношенням показників якості роботи джерела живлення із економічними показниками його собівартості.

Тому обґрунтування принципів побудови імпульсних перетворювачів постійного струму, зокрема потужних, для підвищення їх ефективності із паралельним забезпеченням оптимальної складності та собівартості є актуальною задачею.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є обґрунтування способів підвищення ефективності імпульсних перетворювачів постійного струму.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати наступні задачі:

- провести аналіз літературних та інтернет-джерел за тематикою дослідження;
- провести аналіз типів імпульсних перетворювачів постійного струму, їх основних переваг та недоліків;
- провести аналіз принципу роботи імпульсних перетворювачів постійного струму, їх основних типів та областей застосування;
- обґрунтувати методи підвищення якісних показників імпульсних перетворювачів постійного струму та способи зниження собівартості для підвищення їх економічної ефективності;
- розробити імпульсний перетворювач постійного струму із використанням обґрунтованих методів підвищення ефективності.

Об'єкт дослідження: процес підвищення ефективності імпульсних перетворювачів постійного струму.

Предмет дослідження: Методи покращення якісних показників та зниження собівартості імпульсних перетворювачів постійного струму для підвищення їх ефективності.

Наукова новизна. Запропоновані способи врахування впливів зовнішніх та внутрішніх факторів а також критерії вибору топології імпульсних перетворювачів постійного струму в процесі їхнього проектування дають можливість підвищення ефективності імпульсних джерел живлення.

Практичне значення одержаних результатів. Одержані результати можуть бути використані для розроблення високоефективних імпульсних перетворювачів постійного струму.

Апробація результатів. За матеріалами кваліфікаційної роботи магістра опубліковано тези доповідей на VII науково-технічній конференції Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя «Інформаційні моделі, системи та технології».

## РОЗДІЛ 1

СТАН ПРОБЛЕМИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ІМПУЛЬСНИХ  
ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

## 1.1 Імпульсні перетворювачі постійного струму, як складні системи

Жоден радіоелектронний апарат не може функціонувати без джерела живлення, зовнішнього чи внутрішнього. Структурно джерела живлення можна умовно розділити на джерела, які побудовані на основі трьох основних технологій, а саме [1,2]: лінійні стабілізатори напруги чи струму; імпульсні перетворювачі постійного струму, що застосовують методи широтно-імпульсної чи інших типів модуляції; резонансні імпульсні джерела живлення, що володіють підвищеним у порівнянні із попередніми коефіцієнтом корисної дії (ККД).

Кожна із згаданих трьох технологій володіє перевагами та певними недоліками у порівнянні із іншими за певними кінцевими параметрами та повинна порівнюватись за іншими параметрами та факторами для можливості вибору в кінцевому випадку оптимальної технології, що забезпечувала б найкращий результат в кожному окремому випадку. Проаналізуємо ці технології більш детально.

Структура лінійних стабілізаторів застосовується в стаціонарних приладах та пристроях, в яких кількості виділеного тепла, його відведення та низький коефіцієнт корисної дії не є визначальними, а визначальним фактором є низька вартість кінцевого продукту та нижча складність самої розробки такого стабілізатора. Такі схеми використовуються у вигляді складових модулів стабілізаторів напруги чи струму в розподілених джерелах живлення з робочою напругою зазвичай не перевищує 60 В. Модулі лінійних стабілізаторів призначені для генерування напруги, що є нижчою від власної напруги живлення, вони володіють середнім ККД, що не перевищує 50%. Низький ККД пояснюється значними втратами при виділенні тепла [1].



Технологія джерел живлення імпульсного типу є складнішою у порівнянні із лінійними блоками живлення та лінійними стабілізаторами, однак дозволяє значно підвищити експлуатаційні та надійнісні показники джерел живлення та зменшити масо-габаритні показники такого джерела. Однак відрізняється підвищеною складністю та вартістю розробки. Такі джерела живлення, які часто називають імпульсними перетворювачами постійного струму, попри стаціонарну техніку часто використовуються в переносних виробках для різних галузей використання.

Попередній клас джерел живлення імпульсного типу попри зазначені переваги та недоліки відрізняється і підвищеним рівнем випромінюваних завад (як у відкритий простір так і у мережу загального електродивлення). Останній недолік практично відсутній або зведений до можливого мінімуму в технології резонансних джерел живлення з підвищеним коефіцієнтом корисної дії. Такі технології використовуються у переносних пристроях, в області авіа- та космічного апаробудування тощо. Однак, за складністю такі джерела живлення мають найгірші показники а за собівартістю вони поступаються двом попереднім технологіям [2].

Ще однією технологією джерел живлення є технологія квазірезонансних перетворювачів, однак вона є близькою до резонансної і розглядається разом із нею.

На сьогодні розробники намагаються за можливості відмовлятися від технології лінійних джерел живлення та стабілізаторів а більш поширеними стають технології імпульсних та резонансних джерел живлення. Їхні технології постійно удосконалюються, удосконалюється і номенклатура елементної бази для їх виготовлення, а собівартість постійно знижується.

У табл. 1.1 наведено порівняння розглянутих технологій в плані собівартості, складності, ККД, масо-габаритних показників тощо.

## Порівняння чотирьох технологій джерел живлення

Показник	Лінійний стабілізатор	Імпульсний стабілізатор з ШІМ	Імпульсний стабілізатор з резонансним переходом	Квазірезонансний імпульсний стабілізатор
Вартість	низька	висока	висока	Дуже висока
Маса	велика	невелика	невелика	невелика
RF-шум	Відсутній	Високий	Середній	Середній
ККД	35-50%	70-85%	78-92%	78-92%
Деякі виходи	немає	є	є	є

Одним із показників вибору типу технології джерела живлення є складність. Проаналізуємо цей показник та його суть детальніше.

## 1.2 Джерело живлення, як складна система

Для забезпечення можливості порівняння систем з різною структурою з метою визначення оптимальної їхньої структури для вирішення якогось конкретного завдання необхідним є введення певних кількісних показників, за якими можна було б ці системи порівнювати чисельно. Такими показниками є ефективність, надійність, можливість реалізації складних кіл керування, заводо захищеність, стійкість та рівень технічної складності [3]. Такі показники мають відповідати певним вимогам, зокрема: залежати від процесу функціонування кінцевої системи, відповідати вимозі вимірності, Мати можливість отримання наближеної числової оцінки за результатами експериментальних вимірювань та порівняння заявлених параметрів системи тощо.

Проаналізуємо розглянуті характеристики детальніше. При цьому припущено, що сам процес функціонування такої складної системи, як блок живлення (наприклад) можна представити у вигляді сукупності функцій

складових елементів цієї системи для досягнення необхідної мети чи вирішення поставленого завдання.

Під показником ефективності складної системи розуміють певну числову величину, яка однозначно показує степінь відповідності системи поставленим завданням. При цьому, можна як критерій ввести певний поріг ефективності, який показував би можливість виконання чи невиконання системою заявленої функції на основі аналізу реальних експериментальних даних [3].

Описаний показник ефективності не є константою для окремої складної системи, він залежить від зв'язків окремої системи з іншими системами і робочим середовищем. У тих випадках, коли складна система протидіє несприятливим впливам інших систем шляхом стабілізації своєї функції або певних вихідних показників, то показник ефективності такої системи зменшується.

Процес підтримування стабілізації виконуваного процесу в умовах дії зовнішніх впливів потребує певного зменшення рівня ефективності системи. Тому реакція системи на такі впливи може полягати в зміні способів функціонування або структури самої системи. При цьому, після зменшення рівня ефективності системи може бідбуватись його збільшення. Відхилення показника ефективності від значення певного порогового критерію в більшу сторону характеризує запас міцності системи. Зменшення ж рівня ефективності нижче певного порогового критерію може призвести до функціональності або до руйнування самої системи [3].

Іншою важливою функціональною характеристикою складних систем, якими є джерела живлення, є показник надійності. Вимоги до надійності блоків живлення постійно зростають, оскільки зростає рівень відповідальності роботи системи та ціна помилки. Такі широко вживані для простих систем показники надійності, як “середній час безвідмовної роботи”, “імовірність безвідмовної роботи в заданому інтервалі часу” та інші для складних систем практично не мають змісту. Визначальним для оцінювання рівня надійності для складних систем є максимально повне врахування наслідків, до яких можуть призвести результати відмов окремих елементів чи функціональних вузлів системи.

При цьому, під відмовою роботи елемента або функціонального вузла мається на увазі відхилення характеристик цього елемента чи вузла за допустимі межі або повне припинення функціонування. При цьому змінюється і показник ефективності. Якщо позначити  $R_{oH}$  рівень ефективності складної системи за умови, що всі елементи абсолютно надійні, а через  $R^*H$  рівень ефективності цієї системи в припущенні, що відмови відбуваються із визначеною інтенсивністю, то величину:

$$\Delta R = R_{oH} - R^*H$$

Можна використати в якості критерію надійності складної системи.

Такий критерій буде характеризувати різницю між максимальним та реальним рівнями ефективності системи.

Наступним показником роботи складних систем є якість керування, яка визначається сукупністю усіх факторів, які можуть чинити вплив на степінь керованості системи та умовно можуть бути розділені на окремі групи за якістю критеріїв керування, частотою циклів керування тощо [3].

Іншою функціональною характеристикою складних систем є заводо захищеність. Функціонування складної системи в нормальних умовах називається незбуреним. Однак реальні умови функціонування значно відрізняються від нормальних, при цьому, сукупність зовнішніх та внутрішніх факторів, які змінюють параметри системи, називаються перешкодами.

Під іншою функціональною характеристикою системи – стійкістю, розуміють здатність цієї системи зберігати задані параметри, характеристики та властивості при впливі на систему зазвичай зовнішніх збурюючих факторів.

Наступною характеристикою складних систем є степінь їхня складності.

Проведемо аналіз деяких основних показників складних систем, таких як ефективність складність та якість.

### 1.3 Поняття ефективності складних систем та способи її оцінювання

Існують різні підходи до питання оцінювання ефективності складних систем. Один із них передбачає формування певної системи показників ефективності, яка, для випадку оцінювання ефективності виробництва (зокрема джерел живлення) повинна відображати: рівень витрат ресурсів підприємства; забезпечувати можливість виявлення шляхів підвищення ефективності виробництва; сприяти використанню усіх можливих резервів підприємства тощо.

У випадку оцінювання ефективності роботи підприємства застосовними можуть бути такі показники, як:

- показники ефективності використання основних фондів підприємства;
- показники ефективності використання оборотних фондів підприємства;
- показники ефективності окремих видів роботи підприємства;
- група узагальнюючих показників ефективності роботи підприємства тощо.

### 1.4 Оцінювання складності систем

Єдиного визначення поняття складності системи не існує. Однак використовуються певні ознаки, за якими визначається ця ознака. До них належать відкритість системи та здатність складної системи до самоорганізації. Крім цього враховується та оцінюється статична (зокрема структурна і функціональна) та динамічна складність [5].

Попри те, що оцінити складність системи можна в порівнянні із іншою системою – прототипом за кількістю функціональних блоків чи складових елементів, кількість цих елементів не завжди є визначальною для формування висновку про те, є система складною чи простою. Основними відмінностями між простою і складною системами є наступні. В простих системах зв'язки між зовнішніми впливами та реакціями системи є однозначними, а малі зміни зовнішніх впливів провокують малі зміни відповідних реакцій. Крім того,

можливо передбачити поведінку системи в будь який момент чи інтервал часу. Для складних систем характерною є та особливість, що причинно-наслідкові зв'язки носять циклічний характер, а малі зміни зовнішніх впливів провають значні зміни реакції системи, які є часто непередбачувані та не прогнозовані.

### 1.5 Поняття якості системи

Під якістю системи розуміють ті властивості системи, які визначають її здатність задовольнити визначені призначенням потреби. Якісні показники в економіці визначають конкурентоздатність системи. Для оцінювання якості використовують узагальнюючі, комплексні та одиничні показники системи [6].

До групи узагальнюючих показників належать: обсяг і частка прогресивних видів виробів у загальному випуску, економічний ефект від впровадження у виробництво нового виробу тощо.

До групи комплексних показників належать ті властивості системи, які визначають витрати на розробку системи, виробництво та експлуатацію.

До одиничних показників належать показники призначення, надійності технологічності та стандартизації. Перша група показників визначають повний ефект від використання виробів за призначенням та обумовлюють сферу їх застосування. До наступної групи показників належать безвідмовність, ремонтпридатність, довговічність виробу тощо [6]. До третьої групи показників належать показники блоковості та агрегатності конструкції системи, що визначають складність або простоту монтажу виробу, матеріало- і енергоємність, коефіцієнт раціонального використання прогресивних матеріалів у виробі тощо. Остання група показників визначає степінь використання стандартизованих елементів, вузлів, блоків, модулів, конструктивних елементів тощо, степінь їх уніфікації тощо. Так, для випадку джерел живлення, усі елементи, вузли, конструктивні елементи тощо можна розділити на стандартні, уніфіковані та оригінальні. При чому, мим менше оригінальних виробів, тим вищим є рівень стандартизації та якості виробу відповідно.

## 1.6 Задача підвищення ефективності вторинних джерел електроживлення, як складних радіоелектронних пристроїв

Під вторинним джерелом електроживлення розуміється радіотехнічний пристрій чи окремий вузол, функцією якого в кінцевому виробі є забезпечення живленням відповідних складових вузлів, блоків чи модулів цього пристрою електричною енергією заданих параметрів, і який виконує перетворення енергії інших джерел [2]. Крім цього, вторинне джерело електроживлення повинне реалізовувати передавання визначеної технічними характеристиками потужності з найменшими втратами та із певним запасом.

Також, зазвичай джерела живлення виконують перетворення форми напруги, зокрема із зміною частоти напруги, її форми, формування напруги у вигляді імпульсів заданої форми (прямокутних, трикутних, пилоподібних тощо). Найбільш часто виконується перетворення змінної напруги мережі електроживлення в постійну [2].

Також джерела живлення виконують підвищення або пониження значень однієї або декількох напруг. Крім цього, значення напруги, струму чи потужності в навантаженні повинні підтримуватись стабільними в заданих межах, тобто виконується їхня стабілізація ймовірних змінах вхідних значень цих величин під дією дестабілізуючих факторів.

Також важливою є реалізація захисту від ураження електричним струмом у випадках несправності (наприклад, короткого замикання) джерела живлення чи унеможливлення виходу з ладу кіл та вузлів приладу, які забезпечує живленням дане джерело. Одним із таких способів захисту є реалізація вузлів гальванічної розв'язки. [7,8].

Також важливим є забезпечення функцій керування та контролю, що полягають у забезпеченні можливості регулювання, включення/відключення окремих вузлів або джерела живлення в цілому, а також відображення параметрів на вході виході джерела живлення, спрацьовуванні ланок реалізації

різних типів захисту. Ці функції можуть реалізовуватись безпосередньо або дистанційно.

Двома типовими конструкціями джерел вторинного живлення є лінійні трансформаторні та імпульсного типу [7].

Конструкція лінійного трансформаторного джерела живлення наведена на рис. 1.1.



Рис. 1.1. Конструкція трансформаторного джерела живлення

Класичною конструкцією джерела живлення, або блока живлення (БЖ) як функціонального елемента є трансформаторна БЖ. Такий блок живлення включає понижуючий або підвищуючий мережевий трансформатор, випрямляч, який перетворює змінну напругу в постійну та кола стабілізації вихідних параметрів та кола захисту. Зазвичай випрямляч складається з одного діода (однопівперіодний випрямляч), двох (двопівперіодний випрямляч) або чотирьох діодів (діодний міст – двохпівперіодний випрямляч).

Також можуть встановлюватись фільтри високочастотних завад, сплесків напруги (варистори) тощо.

Габарити самого мережевого трансформатора можуть бути значними в порівнянні із розмірами усього БЖ, та можуть бути оцінені за співвідношенням:

$$(1/n) \sim f \times S \times V$$



де  $n$  – число витків на 1 вольт напруги,  $f$  – частота напруги живлення трансформатора,  $S$  - площа січення магнітопровода трансформатора,  $B$  - індукція магнітного поля.

На практиці для наближеного оцінювання габаритів трансформатора. Що працює від мережі електроживлення, можна використати вираз

$$n = (\text{від } 55 \text{ до } 70)/S, \text{ см}^2$$

Відповідно можна зробити висновок, що при живленні трансформатора від електромережі з частотою напруги 50 Гц трансформатор великої потужності буде габаритним із значною вагою.

Однак, можливим є підвищення частоти напруги живлення трансформатора, що дозволить зменшення його габаритів. Таким чином функціонують імпульсні БЖ або імпульсні перетворювачі постійного струму. Такі БЖ є набагато легшими і значно меншими за габаритними показниками, ніж класичні [7].

Перевагами лінійних мережевих трансформаторних БЖ є відносна простота конструкції, надійність, поширеність елементної бази, практична відсутність генерованих ДЖ радіоперешкод (на відміну від імпульсних, що створюють перешкоди за рахунок гармонійних складових) тощо. До недоліків трансформаторних БЖ слід віднести значні масо-габаритні показники, що є пропорційні до потужності, значну металоємність, низький рівень стійкості пристроїв з таким БЖ до стрибків напруги.

Вигляд конструкції імпульсного БЖ наведено на рис. 1.2.



Рис. 1.2. Вигляд конструкції імпульсного БЖ

Розглянемо переваги і недоліки імпульсних БЖ в порівнянні із трансформаторними. Такі БЖ мають значно меншу вагу, оскільки працюють на підвищених частотах напруги живлення силового трансформатора, що дає можливість пропорційного зменшення маси та габаритів такого трансформатора при тій же потужності. При цьому зменшуються габарити згладжуючи фільтрів вихідної напруги. Простішими є схеми випрямлячів. Також для таких БЖ характерним є значно більший ККД за рахунок того, що основні втрати в імпульсних БЖ пов'язані з виділенням тепла на силових комутуючих елементах в моменти їхнього перемикавання. Також вищою є надійність та можливість реалізації кіл захисту від короткого замикання, ураження електричним струмом, пробоїв, відсутності навантаження на виході тощо.

До недоліків імпульсних БЖ слід віднести роботу більшої частини силової схеми без гальванічної розв'язки від мережі (крім випадків застосування коректорів коефіцієнта потужності), наявність генерованих імпульсним БЖ високочастотних завад, що пов'язано з самим принципом їх роботи, наявність обмежень на мінімальну потужність навантаження.

Типова функціональна схема імпульсного БЖ з гальванічною розв'язкою первинного та вторинного кіл показана на рис. 1.3 [9,10].

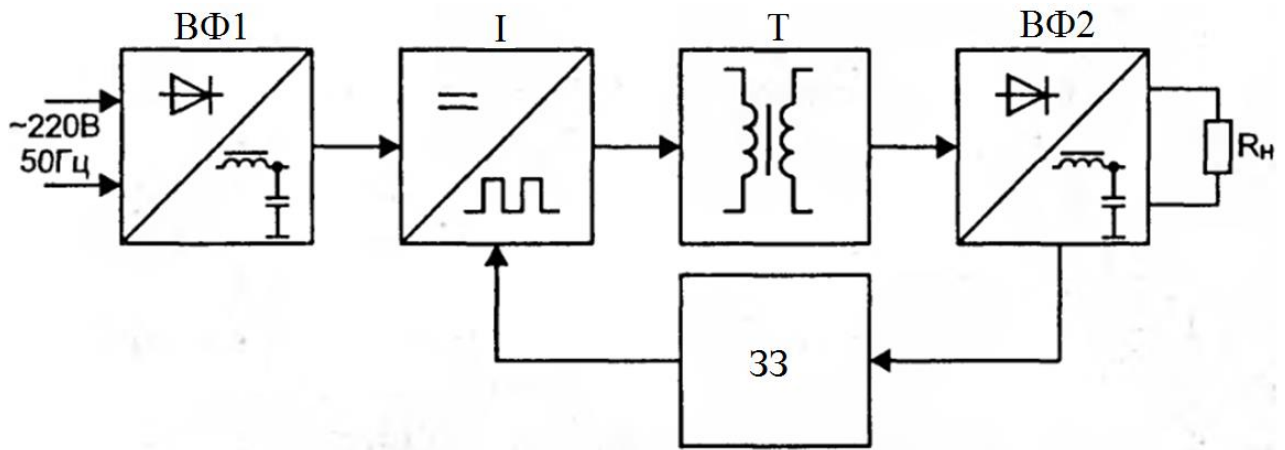


Рис. 1.3. Функціональна схема перетворювача з гальванічною розв'язкою

Відповідно до рис. 1.3, змінна мережева напруга частотою 50 Гц випрямляється діодним мостом і згладжується фільтром (вузол ВФ1). Потім отримана постійна напруга за допомогою інвертора (вузол І) перетворюється в імпульсну змінну напругу підвищеної частоти. Імпульсний трансформатор (вузол Т) перетворює цю напругу в необхідне значення для живлення апаратури. Випрямляч і фільтр (вузол ВФ2) згладжує пульсації високочастотної напруги і живить навантаження  $R_H$ . Таким чином, варіюючи ширину високочастотних імпульсів, можна керувати напругою на навантаженні або ввести стабілізуючий зворотний зв'язок (вузол ЗЗ) [9,10].

Відповідно до проведеного аналізу встановлено, що оптимальним є використання імпульсних БЖ, однак стоїть питання вибору типу схематичного рішення виконання такого БЖ в кожному конкретному випадку. Для цього проаналізуємо типи таких рішень та особливості їхнього використання.

### 1.7 Висновки до розділу 1

В розділі проаналізовано основні типи та параметри блоків живлення, та встановлено, що основним питанням оптимальності конструкції блока живлення є співвідношення між показниками якості, складності та собівартості, що визначає ефективність конструкції.

Проаналізовано переваги і недоліки лінійних трансформаторних та імпульсних блоків живлення. Встановлено, що при підвищенні якості блоків живлення збільшується і їх собівартість. Тому актуальною є задача вибору оптимального співвідношення ціни та якості блока живлення, що і буде визначатися як ефективність блока живлення. Також розглянуто блоки живлення як складні системи і проаналізовано такі параметри як складність і якість, оскільки вони будуть визначати в кінцевому випадку ефективність блока живлення.

## РОЗДІЛ 2

ІМПУЛЬСНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ, ЯК  
СКЛАДНІ РАДІОЕЛЕКТРОННІ ПРИСТРОЇ

## 2.1 Дослідження структури та принципу роботи імпульсних перетворювачів постійного струму

Основним елементом зворотного перетворювача є багатообмотковий дросель, який накопичує енергію та передає її у вихідні кола перетворювача [9].

При замиканні ключа на первинну обмотку дроселя подається напруга джерела живлення. У дроселі починає збільшуватися магнітний потік, а отже накопичуватися енергія. В якості силових ключових елементів зазвичай використовують транзистори. При замиканні ключового елемента (відключенні первинної обмотки від джерела живлення) струм через первинну обмотку дроселя різко зменшується, наводячи на вторинну обмотку ЕРС. У вторинному колі починає протікати струм, який заряджає конденсатор фільтра і живить навантаження. Під час етапу накопичення енергії живлення відбувається за рахунок заряду конденсатору. Імпульси струму в первинному колі повторюються з частотою від 1 кГц до 100 кГц залежно від типу перетворювача. В результаті у вторинній обмотці протікає струм пилоподібної форми [9].

Регулювання величини напруги, що подається в навантаження, відбувається за рахунок через зміну тривалості імпульсів в першій обмотці накопичувального дроселя.

Розглянемо детальніше принципи роботи зворотного та прямоходових перетворювачів.

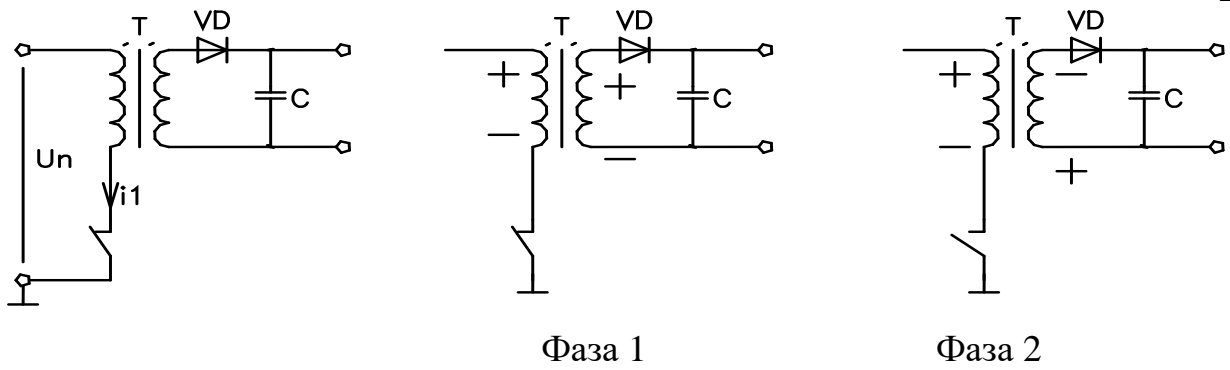


Рис. 2.1. Принцип роботи прямоходового перетворювача

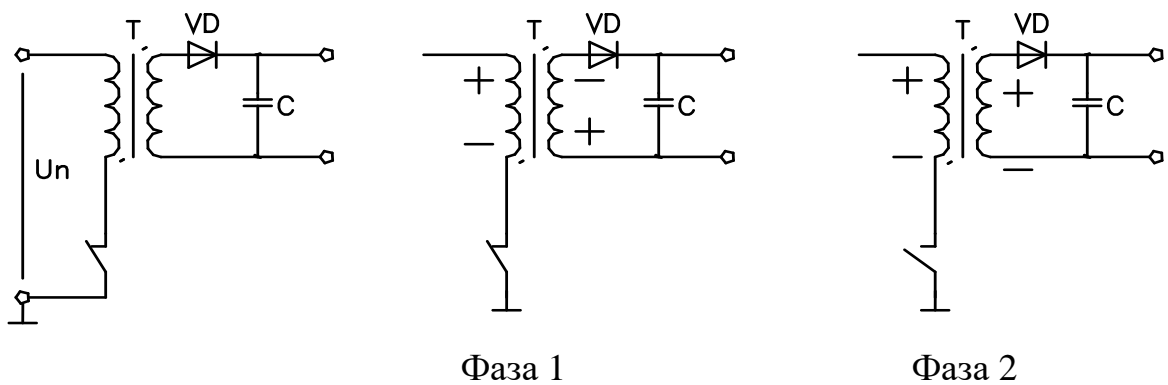


Рис. 2.2. Принцип роботи зворотньоходового перетворювача

Закон накопичення енергії:

$$i_1(t) = \frac{U_n t}{L_1} \quad (2.1)$$

Закон спаду-зростання струму:

$$i_{21}(t) = i_1^* - \frac{U_n t}{L_2} \quad (2.2)$$

## 2.2 Ключові стабілізатори постійного струму

Основними елементами будь якого імпульсного перетворювача є силовий ключовий елемент та інтегруюча ланка. Перший призначений для комутації до

кіл живлення первинної обмотки чи обмоток силового дроселя, другий призначений для виділення постійної складової вихідної пульсуючої напруги, тобто її згладження. Силовий ключ повинен мати можливість за обмежений проміжок часу змінити свій внутрішній опір від мінімального до максимального значення і навпаки [13,14].

Основним елементом імпульсного перетворювача є кола реалізації ШІМ. Враховуючи рівень розвитку елементної бази імпульсних БЖ, цей принцип сьогодні реалізовується із застосуванням спеціалізованих мікросхем – так званих ШІМ-контролерів силових транзисторних ключів. Основною функцією такого контролера є забезпечення керування силовими транзисторними ключами, що включені у первинне коло накопичувального дроселя чи трансформатора, а також підтримування на необхідному рівні значення вихідної напруги шляхом відбору та аналізу сигналів зворотного зв'язку із вихідних кіл перетворювача. Додатковими функціями, які можуть бути реалізовані в окремих типах мікросхем ШІМ-контролерів є [17] обмеження значення струму і шпаруватості імпульсів в колах керування силовими транзисторними ключами, забезпечення режиму плавного пуску перетворювача в момент підключення до напруги живлення (Soft Start) силових кіл, реалізація функцій захисту від КЗ в колах живлення силового трансформатора та вихідних колах, режими температурного захисту самого контролера та силових комутуючих елементів, блокування роботи перетворювача при значних перепадах значень напруги живлення тощо.

Внутрішня структура більшості сучасних мікросхем ШІМ-контролерів є практично однотипною. Відмінності полягають у різних способах забезпечення режимів регулювання значень вихідної напруги відповідно до сигналів зворотного зв'язку, режимами частотного керування та особливостями роботи в критичних ситуаціях (КЗ, обрив навантаження тощо). С структурі контролерів застосовуються компаратори, тригерні схеми, таймери, елементи логіки тощо, а робочими станами контролера є стан початкового запуску генератора прямокутних імпульсів, адаптивне слідкування за значеннями струму та

напруги в навантаженні, виявлення та відпрацювання критичних режимів, перехід в режим очікування тощо.

### 2.3 Дослідження принципу роботи однокантних імпульсних БЖ

На рис. 2.3 наведені основні елементи прямоходової одностранзисторної схеми імпульсного перетворювача. Цикл роботи цієї схеми включає фазу передачі енергії в навантаження і фазу холостого ходу (фази розмагнічування магнітопроводу силового трансформатора). У фазі передачі енергії в навантаження, коли транзистор VT відкритий, струм  $i_{in}$  індукує струм  $i_L$  у вторинній обмотці трансформатора T. Оскільки діод VD2 при цьому включений в прямому напрямку, обидва струми (первинний і вторинний) проходять одночасно.

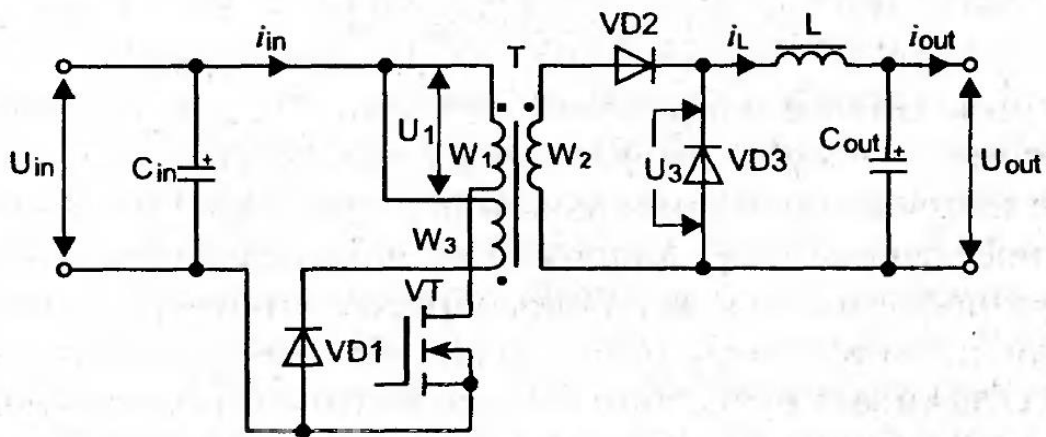


Рис. 2.3. Принцип роботи прямоходової одностранзисторної схеми імпульсного перетворювача

Для виключення одностороннього насичення магнітопроводу доводиться приймати спеціальні заходи. При закриванні транзистора VT енергія, накопичена в індуктивності намагнічування трансформатора T, не може зникнути сама по собі, оскільки всі виводи трансформатора відключені. Виникає індуктивний викид, що може призвести до пробою силового транзистора. Одним із заходів боротьби з одностороннім намагнічуванням і з



індуктивним викидом є введення третьої обмотки  $w_3$  із зворотним діодом VD1  
рис. 2.4.

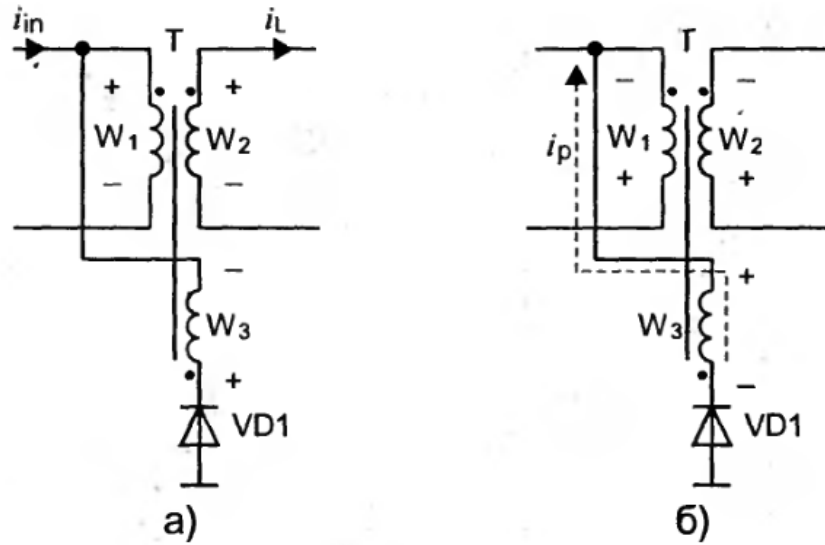


Рис. 2.4. Принцип роботи обмотки розмагнічення

На рис. 2.5 наведена схема прямоходового двохтранзисторного імпульсного перетворювача. У фазі передачі енергії в навантаження транзистори VT1 і VT2 відкриті, діоди VD1 і VD2 закриті. У фазі холостого ходу струм первинної обмотки протікає через відкриті діоди VD1 і VD2. Перевага цієї схеми перед розглянутою раніше полягає в тому, що напруга «колектор-емітер» транзисторів VT1 і VT2 не може підніматися вище вхідної напруги  $U_{in}$ . Крім цього, відпадає необхідність в додатковій обмотці розмагнічування.

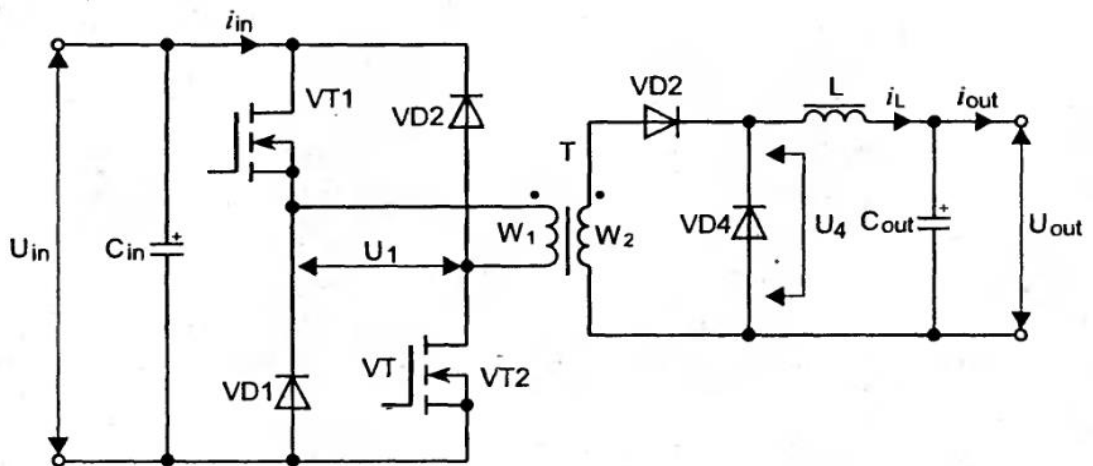


Рис. 2.5. Схема прямоходового двохтранзисторного перетворювача

Керувати силовими транзисторними елементами в двохтранзисторній прямоходовій схемі складніше, ніж в одностранзисторній [9].

Проаналізуємо принципи роботи зворотногоходового перетворювача. На сьогодні розроблені та є представлені на ринку елементної бази одноканальних зворотногоходових імпульсних перетворювачів як мікросборки, що використовують зовнішній силовий транзистор, так і мікросхеми, що включають силовий елемент в свій склад.

Схема зворотного ходу зі зворотнім фазуванням, як показано на рис. 2.6. У цьому випадку фази роботи перетворювача називаються по-іншому: фаза накопичення енергії і фаза передачі енергії в навантаження. Ці фази розділені в часі, тому, за великим рахунком, трансформатор  $T$  не можна називати трансформатором. Це, швидше, двообмотковий дросель, який накопичує енергію за допомогою однієї обмотки, а передає її в навантаження за допомогою іншої.

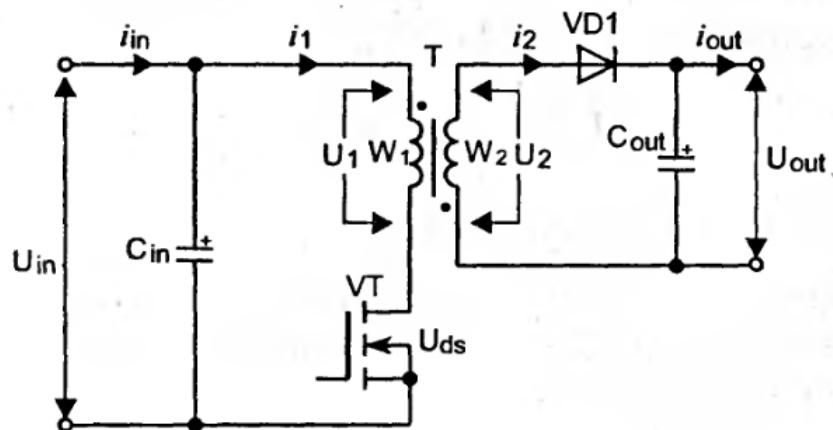


Рис. 2.6. Принцип роботи зворотногоходового перетворювача

У фазі накопичення енергії транзистор  $VT1$  відкритий, в первинній обмотці  $T$  тече струм  $i_1$ , трансформатор накопичує енергію.

2.4 Дослідження принципу роботи двотактних перетворювачів постійного струму

При виборі схемо-технічного рішення побудови імпульсного перетворювача постійного струму визначальними зазвичай є масо-габаритні показники та складність обраних схемо-технічних рішень. Якщо споживана потужність перетворювача не перевищує 50 Вт доцільним є застосування одноктактних схем перетворювачів. Однак, якщо габаритні розміри кінцевого апарату не дозволяють розмістити в ньому модуль одноктактного перетворювача або якщо споживана потужність перевищує 50 Вт доцільним є застосування двотактних схем при виконанні імпульсного перетворювача.

Схема «push-pull» перетворювача наведена на рис.2.7.

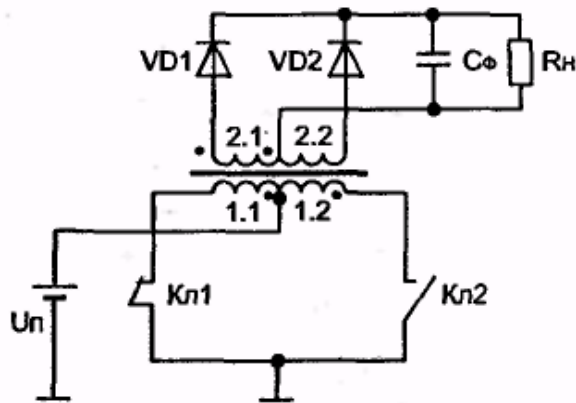


Рис. 2.7. Схема «push-pull» перетворювача

Первинна обмотка силового трансформатора складається із двох півобмоток, середній вивід яких підключено джерела живлення.

Енергія мережі живлення передається в навантаження на протязі обох тактів.

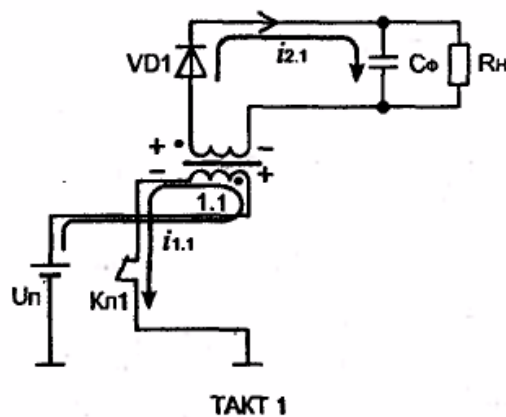


Рис. 2.8. 1-ий такт «push-pull» схеми

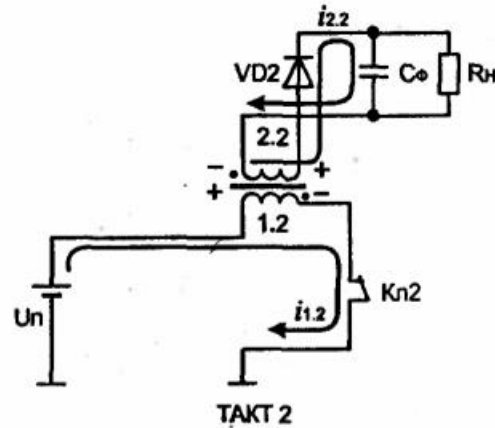


Рис. 2.8. 2-ий такт «push-pull» схеми

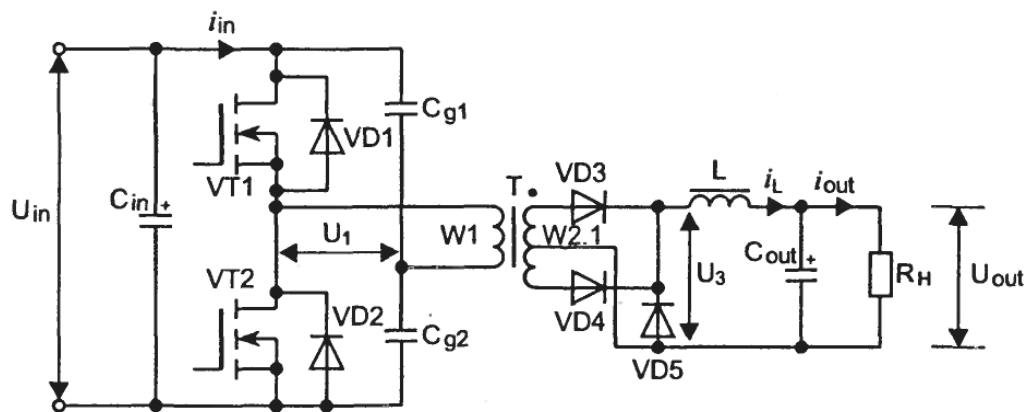


Рис. 2.9. Схема побудови напівмостового імпульсного перетворювача

В режимі неперервного струму можна визначити зміну струму дроселя L:

$$\Delta i_L = \frac{1}{L} \cdot \left( \frac{1}{2} U_{in} \cdot \frac{w_2}{w_1} - U_{out} \right) \cdot \left( \frac{2 \cdot U_{out}}{U_{in}} \cdot \frac{w_1}{w_2} \right) \cdot \frac{1}{f}.$$

Принцип дії та основні елементи мостового (full-bridge) перетворювача показані на рис. 2.10. Транзистори VT1, VT4 і VT2, VT3 включаються по чергово, тому обидва виводи первинної обмотки трансформатора T комутуються до шини живлення  $U_{in}$  і до «спільного» виводу схеми.

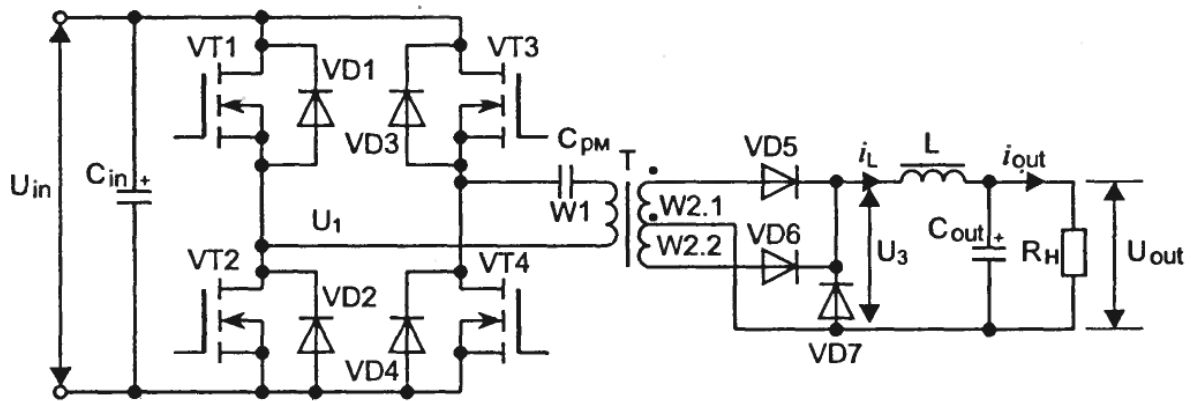


Рис. 2.10. Схема мостового перетворювача

Регульовальна характеристика мостового перетворювача виглядає точно так само, як і характеристика пуш-пульної схеми. Однак максимальна напруга між силовими електродами транзисторів досягає одиночного рівня напруги живлення і первинну обмотку не потрібно формувати з півобмоток.

## 2.5 Топологія резонансних імпульсних перетворювачів

Квазірезонансні перетворювачі складають окремий клас імпульсних джерел живлення. Регулювання форми електричного сигналу змінного струму для зниження або усунення втрат перемикачів всередині джерела реалізовано шляхом розміщення резонансних коливальних контурів в колах протікання змінного струму для створення псевдосинусоїдальних коливань напруги або струму.

Основною перевагою квазірезонансного перетворювача в порівнянні із імпульсним перетворювачем з ШІМ полягає в менших розмірах і, зазвичай, більш високому ККД. Недоліком квазірезонансного перетворювача є підвищені навантаження на силові комутаційні елементи по напрузі і струму. Значення максимальних напруг і струмів на силових елементах такого перетворювача можуть в декілька разів перевищувати аналогічні значення для перетворювачів з ШІМ.

Квазірезонансні перетворювачі надають коливанням напруги або струму гаверсинусну форму. Якщо ключ перемикається в правильні моменти, то не виникає жодних втрат перемикачів. Крім того, завдяки контролю за швидкістю зміни коливань напруги і струму, значно поліпшуються характеристики по радіо- і електромагнітним завадам. Більшість базових топологій, існуючих в сімействі перетворювачів з ШІМ, присутні також і в сімействі квазірезонансних перетворювачів.

Квазірезонансні перетворювачі використовують коливальний LC-контур, який резонує на власній частоті резонансу у відповідь на поступову зміну напруги або струму на його контактах. Коливальний контур розміщується між ключем і трансформатором та/або між трансформатором і вихідним фільтром.

## 2.6 Висновки до розділу 2

В розділі проведено аналіз типів імпульсних блоків живлення, зокрема одноконтурних прямоходових і зворотньоходових, двоконтурних півмостових і повних мостових, а також квазірезонансних. Встановлено, що рекомендується перший тип використовувати при потужностях до 100-150 Вт, півмостові перетворювачі – при потужностях 200-1000 Вт, мостові та квазірезонансні – на вищих потужностях.

## РОЗДІЛ 3

ЗАГАЛЬНІ ПРИНЦИПИ ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНОЇ ТОПОЛОГІЇ  
ІМПУЛЬСНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

## 3.1 Особливості вибору топології імпульсного перетворювача постійного струму

Аналіз літературних джерел показав, що існують певні рекомендації щодо вибору топології імпульсних блоків залежно від потужності, вартості та коефіцієнта корисної дії. Ці дані зведені в таблиці 3.1 [2].

Таблиця 3.1.

## Порівняння топологій імпульсних джерел живлення з ШІМ

Топологія	Діапазон потужностей, Вт	Діапазон вхідних напруг	Ізоляція вхід/вихід	Типовий ККД, %	Відносна вартість елементів
Понижаючі	0-1000	5-40	Ні	78	1,0
Повишаючі	0-150	5-40	Ні	80	1,0
Інвертуючі	0-150	5-40	Ні	80	1,0
Однотранзисторні прямо ходові	0-150	5-500	Так	78	1,4
Зворотньоходові	0-150	5-500	Так	80	1,2
Пушпульні	100-1000	5-1000	Так	75	2,0
Півмостові	100-500	5-1000	Так	75	2,2
Повні мостові	400-2000	5-1000	Так	73	2,5

Топології імпульсних перетворювачів без використання ізолюючих трансформаторів застосовуються в тих випадках, коли самі перетворювачі є інтегровані в структуру кінцевого пристрою та розміщені на одній друкованій платі із рештою функціональних вузлів. Вони застосовуються в розподілених системах живлення, в яких напруга проміжної шини розподілена по системі, і кожна плата всередині системи має власні джерела живлення. Напруга шини завжди знаходиться на безпечному рівні, який вважається безпечним для

оператора обладнання, отже діелектрична ізоляція необов'язкова. Однак у більшості додатків рекомендується використовувати трансформаторну ізоляцію. При цьому додаткова вартість виявляється мінімальною в порівнянні з додатковим рівнем захисту для навантаження. Трансформаторна ізоляція обов'язкова для всіх імпульсних джерел живлення з вхідною напругою 40 В або вище [2].

Величина напруги, що потрапляє на первинну обмотку трансформатора визначає, яке значення пікового струму протікає через ключі. Імпульсні джерела живлення - це схеми постійної потужності, тобто, чим нижче первинна напруга, тим вище пікові струми для забезпечення необхідної вихідної потужності. Для потужних транзисторів і польових МОН-транзисторів в збірках ТО-220 або менших рекомендується межа максимального пікового струму 20 А. При більшій силі струму режими ключів стають некерованими, і пристрої живлення важко захистити. При використанні іншої топології піковий струм можна зменшити.

Чим вище максимальна напруга, що подається на ключі, тим вища ймовірність того, що вони вийдуть за межі своїх областей стійкої роботи. У середині імпульсних джерел живлення дуже поширені сплески напруги, і можливість перевищення цими сплесками номінальної напруги лавинного пробоя ключа стає більш вірогідна. Що стосується топологій з ізолюючим трансформатором, промислове виробництво було розподілено за певними топологіями, залежно від різних діапазонів вихідної потужності (рис. 3.1).



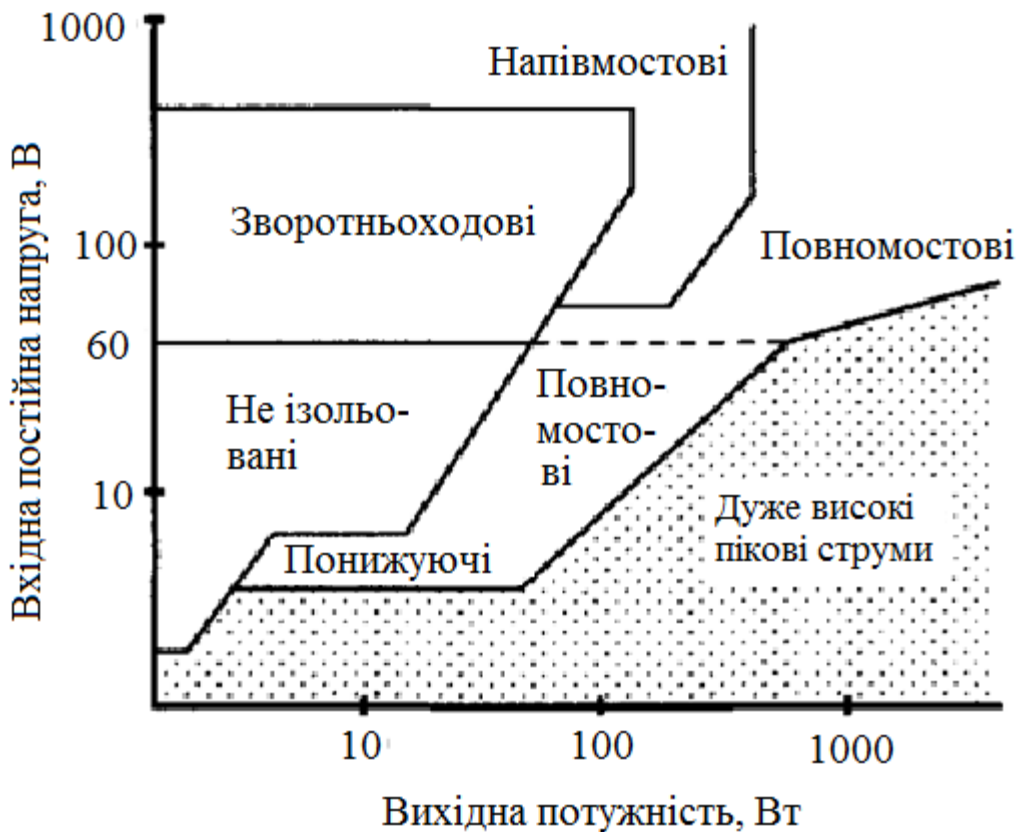


Рис. 3.1. Використання різних топологій

Для потужностей до 150 Вт оптимальною вважається зворотньоходова топологія, завдяки малому числу (а отже, і вартості) елементів і більш високому ККД. Однак, оскільки її пікові струми значно вищі, ніж у прямоходових перетворювачів, вона сягає меж області стійкої роботи ключів при відносно низькій вихідній потужності.

При вихідній потужності від 150 до 500 Вт оптимальною вважається півмостова топологія, в якій вартість елементів вище, проте все ще в розумних межах. У півмостовому перетворювачеві на первинну обмотку подається тільки половина вхідної напруги, завдяки чому пікові струми є допустимими. З цієї причини така технологія дозволяє одержати тільки до 500 Вт потужності.

При потужностях понад 500 Вт до декількох кіловат використовується повна мостова топологія. Вона вимагає включення чотирьох ключів, два з яких мають "плаваючі" схеми керування, і її реалізація є найдорожчою, однак при таких рівнях вихідної потужності додаткові витрати необхідні. У тому ж

діапазоні потужностей також можна використовувати пуш-пульну топологію [2].

### 3.2 Методики формування сигналів для збільшення ККД імпульсного джерела живлення [2]

За останні два десятиліття було проведено безліч досліджень і виконана велика робота по збільшенню ККД базових імпульсних джерел живлення з ШІМ. Протягом 1980-х років поліпшення стосувалися, головним чином, вдосконалення напівпровідникових елементів і феритових матеріалів. Їхній внесок дозволив підвищити частоти перемикачів і підвищити ККД на 5-10% порівняно з ККД конструкцій, заснованих на біполярних транзисторах. Найостанніші методики включають використання резонансу і перепризначення заряду. Ці модифікації, поряд із застосуванням синхронних випрямлячів (там, де вони застосовні), дозволили поступово підняти ККД імпульсних джерел живлення до 90% і вище.

Кінцевою метою останніх схемних методик є зниження або виключення добутку "напруга-струм", головним чином протягом перехідних процесів перемикачів. Таке "регулювання" форми хвилі всередині базового перетворювача з ШІМ може додати джерелу живлення до 5-10% ККД, але при цьому може значно збільшити час розробки. Слід подбати про те, щоб швидке перемикачів заряду всередині секцій живлення не створювало нових джерел електромагнітних завад. Конструкція друкованої плати також стає істотним чинником в загальному дизайні джерела живлення.

Будь-яка енергія, яка була перенаправлена від силових каскадів з метою збільшення ККД джерела, повинна бути повернена назад в секцію живлення в те місце, де ця енергія може бути відновлена. В іншому випадку збільшення ККД не буде. Таким чином, для того щоб отримати будь-які переваги, необхідно добре розуміти як функціонування джерела, так і використаної схеми регулювання.

### 3.3 Основні втрати всередині імпульсного джерела живлення з ШІМ

Для того щоб збільшити ККД імпульсного джерела живлення, необхідно ідентифікувати і приблизно виміряти різні втрати. Втрати всередині імпульсного джерела живлення можна грубо розбити на три категорії: втрати переключень, втрати на електропровідність, статичні та резистивні втрати. Ці втрати зазвичай виникають в комбінації одна з одною усередині "дірявих" компонентів [2].

Області, в яких виникають основні втрати, можна виявити у вузлах змінного струму усередині секції живлення. В одному або декількох вузлах, в залежності від того, використовується чи ні ізолюючий трансформатор, можна виявити перехідні процеси при перемиканні і стану провідності ключа і випрямляча. Найбільш інформативним вузлом змінного струму є стік або колектор ключа. Другим найбільш важливим вузлом змінного струму є анод вихідного випрямляча. Ці вузли будуть в центрі нашої уваги при роботі по збільшенні ККД імпульсних джерел живлення.

#### Втрати, пов'язані з ключем

Ключ є одним з двох найбільш значних джерел втрат всередині типового імпульсного джерела живлення. Втрати можна розбити, в основному на дві категорії: втрати на електропровідність і втрати перемикачів. Втрати першого типу виникають, коли ключ знаходиться в замкнутому стані після стабілізації коливань керування й перемикачів. Втрати перемикачів відбуваються, коли ключ переходить у новий робочий стан. Коливання керування й перемикачів виникають в перехідному стані в періоди і їх типові форми хвилі показані на рис. 3.2.

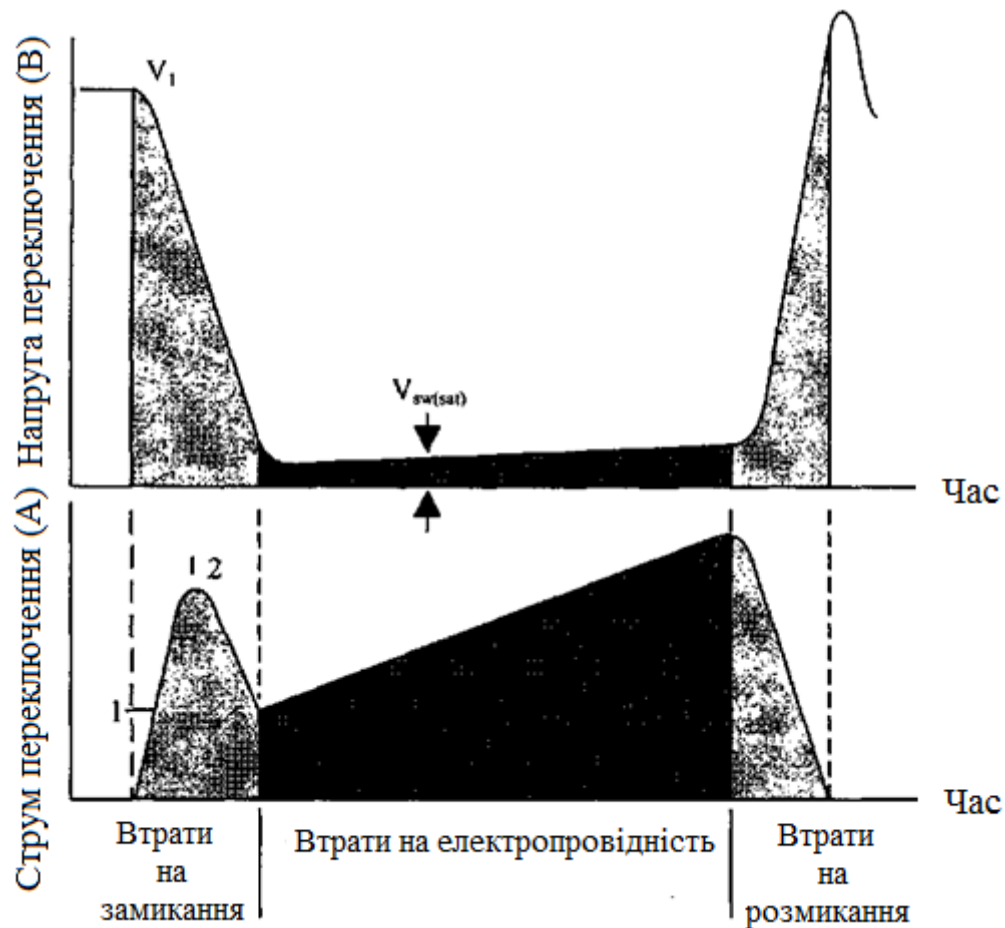


Рис. 3.2. Втрати на ключі

Втрати на електропровідність ( $t_2$ ) обчислюються як добуток напруги на контактах ключа і струму, що протікає через нього. Ці сигнали зазвичай практично лінійні, і втрати потужності в цей період можна обчислити за формулою:

$$P_{D(\text{conduct})} = V_{\text{sat}} \cdot I_{\text{sat}}$$

Для управління цими втратами зазвичай намагаються мінімізувати падіння напруги на ключі в період часу його замикання. Для цього проектувальник повинен ввести ключ в стан насичення.

Втрати перемикання під час перехідних процесів ключа більше складні як за своєю природою, так і за своїм вкладом. Коливання, що демонструють втрати, можна побачити тільки за допомогою осцилографа з зондом напруги,

підключеним до контактів стоку і витоку (колектора і емітера) і струмовим зондом, для мірювання струму через стік (колектор). Метод визначення величини втрат в період всіх перехідних процесів при перемиканні повинен бути ретельно досліджений за допомогою зондів з екранованими кабелями і короткими сполучними проводами. Це пов'язано з тим, що неекрановані проводи сприймають перешкоди, випромінювані іншими частинами джерела живлення, і, таким чином, неточно уявляють форму хвилі. Після отримання чітких сигналів можна апроксимувати площі під обома кривими як суму елементарних площ простих трикутників або прямокутників [2].

Втрати, пов'язані з вихідним випрямлячем

Втрати на вихідному випрямлячі становлять від 40 до 65% загальних втрат всередині типового імпульсного джерела живлення з асинхронним випрямлянням. Форми хвилі, що мають відношення до вихідного випрямляча, представлені на рис. 3.3.

Втрати на випрямлячі знову-таки можна розбити на три періоди: втрати на включення, втрати на електропровідність і втрати на вимикання.

Втрати на електропровідність відбуваються, коли коливання напруги і струму стабілізуються, і випрямляч знаходиться в стані провідності. Ці втрати контролюються шляхом вибору випрямляча з найнижчим падінням прямої напруги для заданого робочого струму. Діоди з р-п-переходом мають більш плоску вольтамперних характеристику в прямому напрямку, але характеризуються досить великим падінням напруги (0,7-1,1 В). У діодів Шотки більш низька напруга "зламу" (0,3-0,6 В), але у них більш резистивная вольтамперна характеристика. Це означає, що, в порівнянні з р-п-діодами, пряма напруга при великих струмах зростає більш істотно. Кількість втрат можна обчислити таким же способом, який продемонстрований у формулі, розбивши ділянки перехідних процесів на елементарні прямокутні і трикутні області, які потім використовуються для підрахунку втрат у цей період.

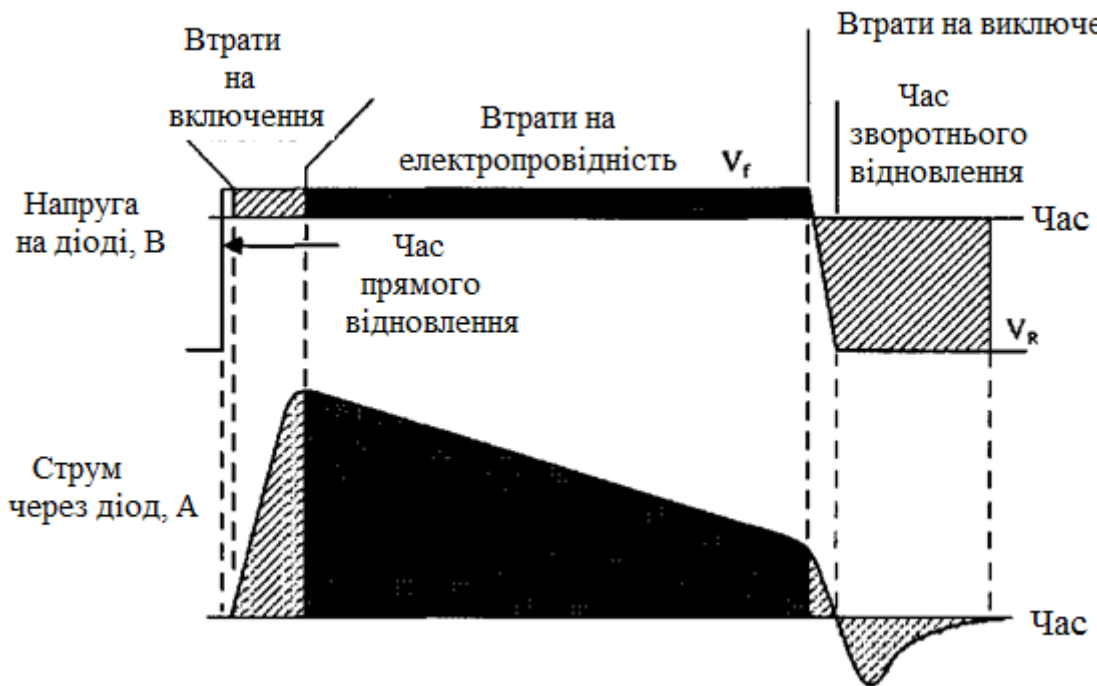


Рис. 3.3. Втрати на випрямлячеві

Аналіз втрат перемикаання вихідного випрямляча значно більш складний. Внутрішня поведінка самого випрямляча є джерелом проблем всередині локальних кіл.

У момент включення перехідні процеси контролюються характеристикою прямого відновлення зворотного випрямляча. Час прямого відновлення - це час, необхідний діоду, щоб почати проводити прямий струм після подачі на його виводи прямої напруги. Випрямлячі на діодах Шотки можуть іноді давати більш тривалу характеристику прямого відновлення через високі ємності їх внутрішнього переходу. Хоча ці втрати і незначні, вони можуть створювати інші проблеми всередині джерела живлення. У період прямого відновлення індуктор або трансформатор мають незначний імпеданс навантаження, оскільки ключ розімкнений, і коло випрямляча продовжує залишатися розімкнутим. Це дозволяє будь якій збереженій енергії створювати "дзвін" у формі хвилі до тих пір, поки випрямляч, нарешті, не почне проводити прямий струм і не зафіксує електричний сигнал.

Під час перехідних процесів вимикання поведінка випрямляча визначається характеристикою зворотного відновлення. Для p-n-діодів вона

обумовлена носіями, перехопленими всередині р-n-переходу, коли до контактів діода прикладається зворотна напруга. Ці носії, що мають обмежену рухливість, повинні змінити напрямок і покинути р-n-перехід з того боку, з якого вони спочатку поступили. Це виглядає так, як ніби після подачі зворотної напруги через діод протікає зворотний струм. Пов'язані з цим втрати можуть бути значними, оскільки зворотна напруга може швидко піднятися до дуже високих рівнів перш, ніж заряд повністю піде з області р-n-переходу. Зворотний струм може бути також відображений через будь-який силовий трансформатор і доданий до втрат всередині ключа під час перехідного процесу замикання. Він може виглядати як сплеск струму в період замикання ключа.

Явище, подібне зворотному відновленню, може також виникати в випрямлячах на високовольтних діодах Шотки. Це обумовлено не носіями, а високою ємністю р-n-переходу, характерною для цього типу діодів Шотки. Високовольтні діоди Шотки відносяться до діодів із зворотною напругою пробою понад 60 В.

Іншим джерелом втрат є контролер ключа. Коефіцієнт підсилення напівпровідникових ключів має значення 3-16. Це означає, наприклад, що при максимальному струмові 10 А потрібен струм, що протікає через базу, в межах 0,66-2,0 А. Керуюча напруга між базою і емітером становить 0,7 В і, якщо цей струм не обумовлений напругою, дуже близькою до зазначеної величини, то будуть отримані значні втрати.

Потужними польовими МОН-транзисторами можна управляти з меншими втратами, ніж потужними біполярними транзисторами. До контакту затвора МОП-транзистора підключено два еквівалентних конденсатора: між затвором і витоком ( $C_{iss}$ ) і між витоком і втоком ( $C_{rss}$ ). Формула для обчислення втрат драйвера затвора має наступний вигляд:

$$P_{D(\text{gate})} \approx 0,5f_{sw} [C_{iss} (V_{drive})^2 + C_{rss} (V_D)^2].$$

Єдине, що можна зробити з цими втратами, - вибрати польовий МОН-транзистор з низькими значеннями  $i$  по можливості низькою максимальною напругою управління затвором.

Втрати, пов'язані з магнітними компонентами [2].

Існує три основні втрати, пов'язані з трансформаторами і індукторами: гістерезисні втрати, втрати від вихрових струмів і резистивні втрати. Ці втрати слід контролювати при проектуванні і конструюванні трансформатора або індуктора.

Гістерезисні втрати [2].

Гістерезисні втрати визначають, наскільки велика площа всередині кривої намагнічування охоплюється протягом кожного робочого циклу. Площа, що охоплюється петлею, відповідає кількості роботи, необхідної для прикладання сили до магнітних доменів всередині сердечника, щоб деякі з них залишилися переорієнтованими (залишкова магнітна індукція). Чим більше площа охоплення, тим вище гістерезисні втрати.

Втрати від вихрових струмів [2].

Втрати від вихрових струмів значно менше, ніж гістерезисні втрати, але значно зростають при підвищенні робочої частоти.

Вихрові струми - це кругові струми, індуквані в обширних областях всередині оточуючих проводів і структур через присутність сильних магнітних полів.

Резистивні втрати [2].

Резистивні втрати пов'язані з опором обмоток трансформатора або індуктора. Існує дві форми резистивних втрат: по постійному струму і скін-ефект. Резистивні втрати по постійному струму являють собою добуток опору деякого відрізка проведення в обмотці і квадрата значення RMS форми хвилі струму. Скін-ефект - це ефективне збільшення опору дроту через "виштовхування" струму від центру дроту до його поверхні під дією сильних магнітних полів змінного струму. Струм протікає по меншій площі поперечного перерізу, що виглядає як зменшення діаметра проводу.



Огляд основних паразитних елементів усередині імпульсного джерела живлення.

Розглянуті паразитні елементи - це непередбачені електричні характеристики фізичних елементів усередині схеми. Вони зазвичай зберігають енергію і взаємодіють з іншими елементами, що призводить до виникнення перешкод і втрат. Ідентифікація, визначення величин та мінімізація або усунення їх впливу - це непросте завдання для проектувальника. Паразитні характеристики посилюються під впливом коливань змінного струму. Усередині типового імпульсного джерела живлення з високими рівнями змінного струму є два головних вузла: колектор або стік ключа; анод вихідного випрямляча.

Основні паразитні елементи в перетворювачах.

У всіх імпульсних джерелах живлення існують загальні паразитні елементи. Їх вплив зазвичай помічають при перегляді форм хвилі на головних вузлах змінного струму всередині перетворювача. Деякі з них, такі як внутрішні ємності польового МОН-транзистора, навіть описані в специфікаціях фізичних компонентів.

Деякі паразитні елементи, такі як ємності МОН-транзистора, чітко визначені, інші ж можуть бути розподілені між різними вузлами і об'єднуватися, щоб полегшити процес моделювання. Спроби призначити величину цих паразитних елементів дуже ускладнені і зазвичай вони розглядаються лише як емпіричні величини. Тобто, коли приходить час перенаправляти енергію, вибираються компоненти, які забезпечують найкращі результати.

Важливо розміщувати паразитні елементи всередині схем в правильних місцях, оскільки деякі електричні гілки активні тільки протягом певних періодів роботи перетворювача. Наприклад, ємність р-п-переходів випрямляча має значення тільки тоді, коли випрямляч є обернено-зміщеним, і зникає, коли на діоди подається пряма напруга. Деякі специфічні паразитні величини можна отримати за специфікаціями конкретних компонентів.

Друковані плати (PCB) вносять паразитні впливи, розподілені майже всюди. Багато з цих впливів можна мінімізувати, застосовуючи правила гарної компоновки. Доріжки, по яких протікають максимальні струми великої сили, сприйнятливі до індуктивності і опору, що вносяться будь-якою іншою доріжкою друкованої плати. Такі доріжки повинні бути короткими і широкими. Монтажні площадки плати з високим рівнем змінної напруги (наприклад, стік або колектор ключа або анод випрямляча) сприйнятливі до ємнісного зв'язку із суміжними доріжками. З цієї причини перешкоди змінного струму впливають на більш "тихі" навколишні доріжки. Цього можна уникнути, виконавши всі доріжки нижче доріжки змінного струму з тим же сигналом, що і вузол змінного струму, шляхом з'єднання їх через наскрізні отвори в платі. Решта паразитних ефектів зазвичай підсумовуються в суміжних паразитних елементах.

### 3.4 Шляхи зниження рівня втрат

Основні типи втрат - це втрати на електропровідність і втрати перемикавання. Миттєвий добуток напруги і струму в перехідних процесах перемикавання пропорційний як напрузі, так і струму.

Неважко помітити, що в періоди перехідних процесів напруга і струм мають значні рівні, а їх максимальні значення також досягаються саме в ці періоди, ще більше збільшуючи втрати [2].

Відносно цих двох розглянутих вузлів слід вирішити чотири завдання.

- знизити напругу і силу струму в точках перетину протягом всіх перехідних процесів включення і виключення.
- мінімізувати вплив зворотного відновлення всіх *p-n*-випрямлячів.
- видалити будь які сплески, створювані паразитними елементами.
- відновити, наскільки це можливо, "втрачену" енергію і повернути її в потік потужності джерела живлення.

Розробник не може вирішити всі ці завдання повністю, проте деякі поліпшення в цих напрямках можуть додати ще 3-9% до загального ККД джерела живлення.

Ще один додатковий аспект при роботі з розглянутими схемами полягає в тому, щоб зробити все можливе для обмеження смуги пропускання коливань з метою зменшення будь-яких випромінювань електромагнітних завад. Основна частина енергії електромагнітних завад, випромінюваної в навколишнє середовище, що створюється транзисторами імпульсного джерела живлення. Зазвичай можна істотно зменшити характеристики по електромагнітних перешкодах, додавши по шляху струму невелику індуктивність, яка повертає енергію джерела живлення.

Для вирішення цього завдання, як правило, використовують два додаткових реактивних елемента з діодами чи польовими МОН-транзисторами для управління зазначеними ефектами. Типи модифікацій стандартних топологій з ШІМ розбивають на наступні три категорії:

- демпфери без втрат;
- активні фіксатори;
- квазірезонансні модифікації.

Демпфери без втрат і активні фіксатори дають форми хвилі з ШІМ з "плавними" фронтами.

Для вузла ключа під час перехідних процесів розмикання потрібна затримка напруги. Це забезпечує навантаження магнітного елемента під час прямого відновлення вихідного випрямляча. Для вузла вихідного випрямляча при його виключенні потрібна затримка струму. Цим обмежується сплеск струму відбитої хвилі, викликаний періодом зворотного відновлення випрямляча.

Демпфери.

Демпфери (snubber) являють собою пасивні ланки, які затримують підвищення сигналу напруги. Історично склалося так, що демпфери використовувалися для утримання силових пристроїв у межах області стійкої роботи при прямому і зворотному зсуві або для управління радіочастотним

випромінюванням від джерела живлення. Демпфери являють собою, по суті, коливальний контур з втратами (LC-ланка з опором R). Їх використання надало більше переваг, ніж понесених втрат. Напівпровідникові компоненти є сьогодні більш довговічними, і тому традиційна потреба в RLC-демпфері для захисту значно зменшилася, однак час від часу демпфер все ще використовують.

В області сучасних імпульсних джерел живлення з більшим ККД зусилля інженерів спрямовані на відновлення енергії від ланок формування сигналів і її повернення в кола живлення для подальшого використання. Тут і приходять на допомогу демпфери без втрат.

### 3.5 Боротьба з шумом і електромагнітними перешкодами [1,2]

Існує декілька типових джерел електромагнітних завад та шумів всередині імпульсного джерела живлення з ШІМ.

Першим основним джерелом шуму є кола живлення, що складаються із силових транзисторних ключів, силового трансформатора чи дроселя та конденсаторів вхідних згладжуючих фільтрів.

Необхідно розташовувати конденсатори вхідних згладжуючих фільтрів а також силові транзисторні ключі максимально близько до силового трансформатора, щоб мінімізувати довжину з'єднань. Крім того, оскільки вхідні електролітичні конденсатори мають погані високочастотні характеристики, необхідним є підключення паралельно до них керамічних чи плівкових конденсаторів.

Іншим джерелом шумових завад є вихідні кола перетворювача, зокрема вихідні випрямлячі, конденсатори вихідних згладжуючих фільтрів та вторинні обмотки трансформатора. Ці елементи створюють синфазні кондуктивні завади у вихідних колах блока живлення.

Корпус виробу повинен служити електромагнітним екраном для шуму, випромінюваного внутрішніми схемами. У конструкції корпуса слід використовувати магнітний матеріал на металевій основі. Це може бути залізо, сталь, нікель і т.п. Для пластикових корпусів є асортимент провідних фарб, які

можна використовувати для додаткового екранування корпусу від електромагнітних і радіоперешкод.

Принцип екранування від електромагнітних перешкод полягає в тому, щоб змусити протікати в поверхнях вихрові струми, щоб розвіювалася енергія шуму.

Фільтри кондуктивних електромагнітних завад [1,2,9] призначені для утримання високочастотного кондуктивного шуму всередині корпусу.

Фільтр синфазних перешкод, по суті, відфільтровує шум, створюваний між двома лініями електроживлення (Н1 і Н2). Схема такого фільтру представлена на рис. 3.4.

У фільтрі синфазних перешкод обмотки "трансформатора" знаходяться у фазі, але змінні струми, що протікають через обмотки, знаходяться не в фазі.

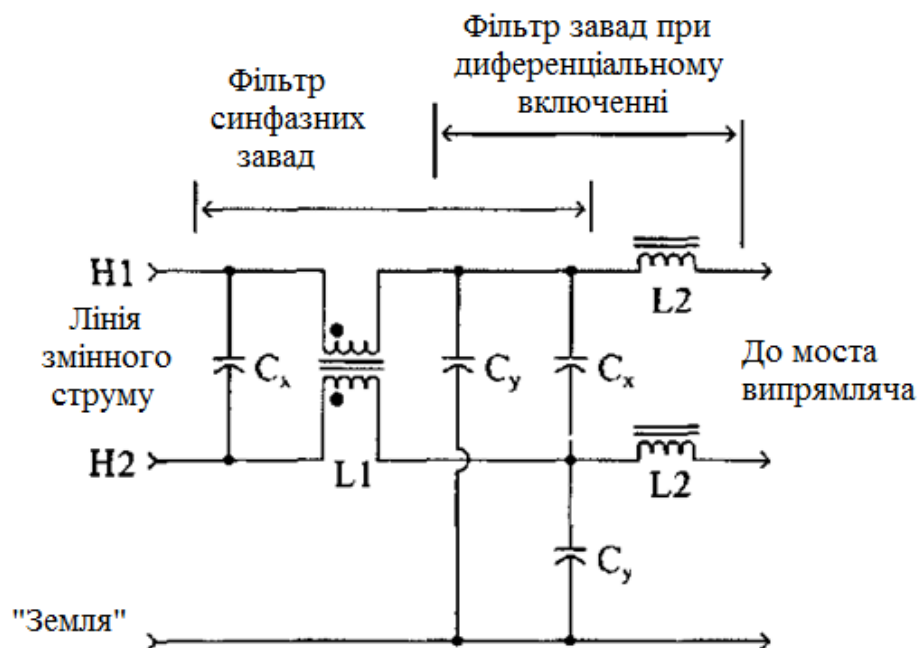


Рис. 3.4. Вхідний фільтр електромагнітних завад третього порядку

### 3.6 Висновки до розділу 3

В розділі встановлено, що існують рекомендації щодо вибору топології імпульсних блоків залежно від потужності, вартості та коефіцієнта корисної дії.

Для потужностей нижче 100-150 Вт рекомендованою є зворотньоходовою топологія, завдяки малому числу (а отже, і вартості) елементів і більш високому

ККД. При вихідній потужності від 150 до 500 Вт рекомендованою стає півмостова топологія, в якій вартість елементів вище, проте все ще в розумних межах. При потужностях понад 500 Вт до декількох кіловат використовується повна мостова топологія. Вона вимагає чотири ключі, два з яких мають "плаваючі" схеми управління, і її реалізація є найдорожчою, однак при таких рівнях вихідної потужності додаткові витрати необхідні.

Також проаналізовано методики формування сигналів для збільшення ККД імпульсного джерела живлення і основні втрати всередині імпульсного джерела живлення з ШІМ, зокрема: втрати на ключі, втрати на випрямлячеві, втрати, пов'язані з конденсаторами фільтрів, статичні втрати, гістерезисні втрати, втрати від вихрових струмів, резистивні втрати, основні паразитні елементи в перетворювачах та проаналізовано методики зменшення основних втрат

## РОЗДІЛ 4

ПРАКТИЧНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ПОТУЖНИХ ІМПУЛЬСНИХ  
ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

## 4.1 Імпульсний перетворювач постійного струму потужністю 1000 Вт

Нехай необхідно розробити імпульсний перетворювач постійного струму, що забезпечує напругою живлення відповідні блоки і вузли радіоелектронної апаратури. Технічні вимоги до блока живлення:

1. Кількість вихідних каналів живлення.....2;
2. Вихідна напруга блоку живлення по кожному каналу..... $\pm 60$  В;
3. Максимальний струм навантаження по кожному каналу.....до 8 А;
4. Максимальна споживана потужність, не більше.....1200 Вт;

На основі всього вище сказаного та враховуючи максимальну робочу потужність імпульсного перетворювача (1000 Вт) за основу побудови вибираємо структуру півмостового перетворювача та складаємо структурну схему, що зображена на рис. 4.1.

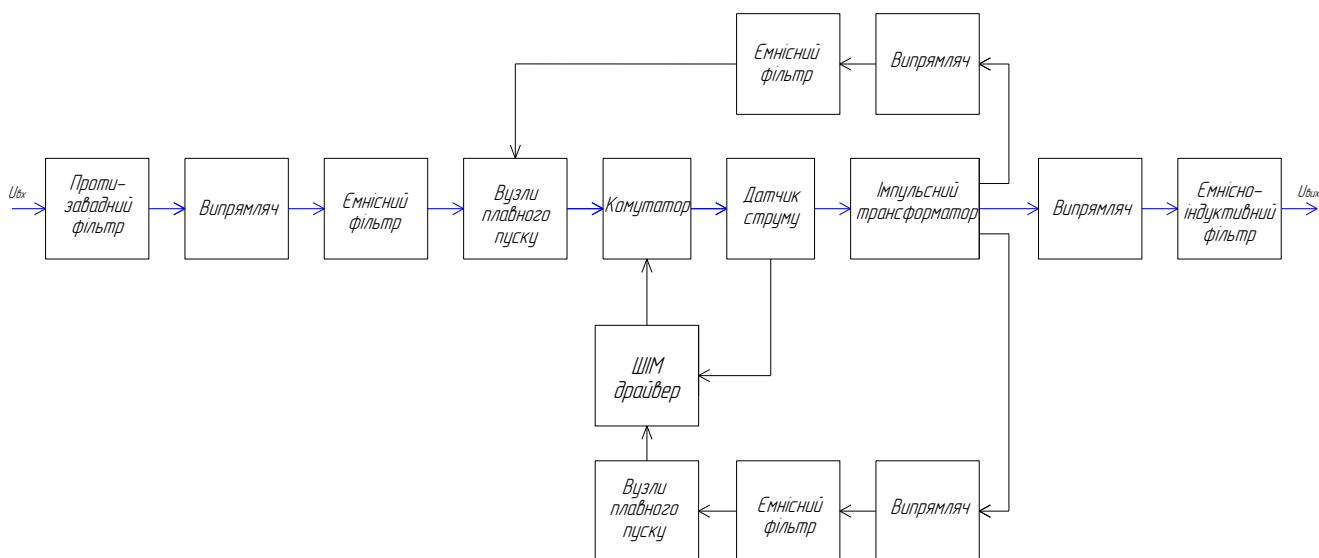


Рис. 4.1. Структурна схема імпульсного перетворювача

Відповідно до рис. 4.1, перетворювач включає в себе протизавадний фільтр для унеможливлення попадання в мережу електроживлення високочастотних завад, що є результатом роботи перетворювача, випрямляч, ємнісний фільтр, вузли плавного запуску, призначені для обмеження споживаного струму в момент включення перетворювача, комутатор, імпульсний трансформатор та випрямляч з ємнісним фільтром. Керується комутатор з допомогою ШІМ драйвера, для роботи якого також передбачено вузли плавного пуску. Для контролю і стабілізації струму споживання, і відповідно струму в навантаженні, використано датчик струму, сигнал з якого надходить на ШІМ драйвер, який змінюючи шпаруватість імпульсів сигналу керування комутаторами регулює величину струму в навантаженні (захист від короткого замикання по виходу). Вузли плавного пуску перетворювача і ШІМ драйвера живляться від окремих обмоток силового імпульсного трансформатора.

#### 4.2 Схемо-технічні рішення побудови імпульсного блока живлення

За основу побудови використаємо міросхеми серії IR2153/ IR2155, що являють собою високовольтний ШІМ контролер з внутрішнім генератором. На базі такого контролера стає можливим організувати топології напівмостових імпульсних блоків живлення із робочою потужністю до 1,5 кВт та з мінімальною кількістю зовнішніх вузлів обв'язки. При цьому, мікросхеми цієї серії випускаються в малогабаритних корпусах PDIP-8 і SOIC-8:

Функціональні схеми таких контролерів наведені на рис. 4.2 та рис. 4.3):



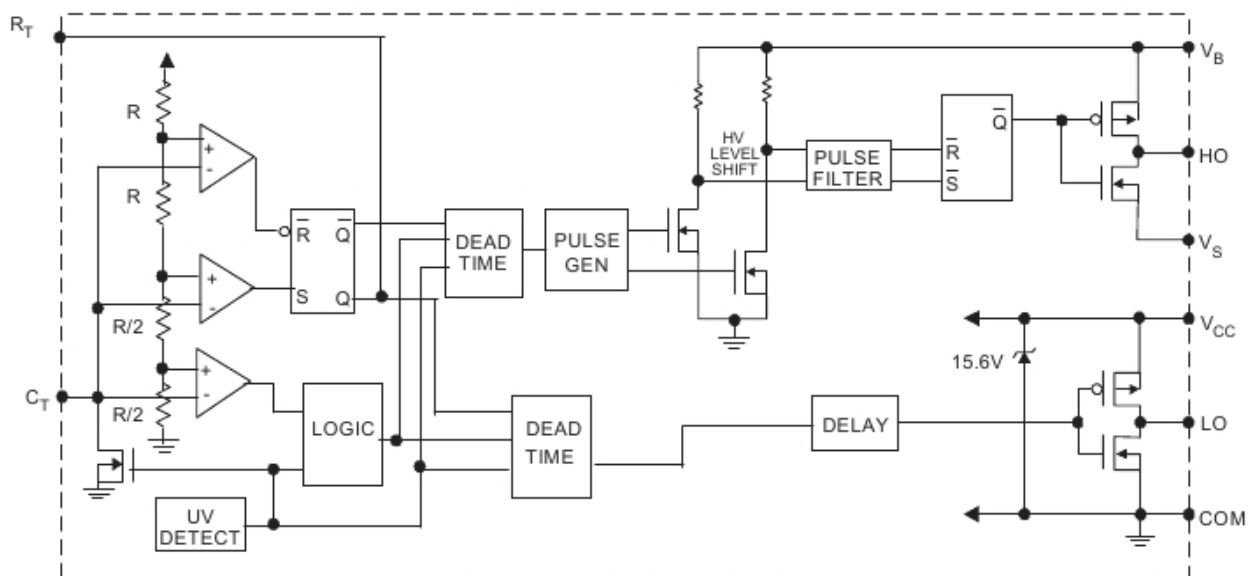


Рис. 4.2. Структурні елементи та функціональна схема контролера IR2153

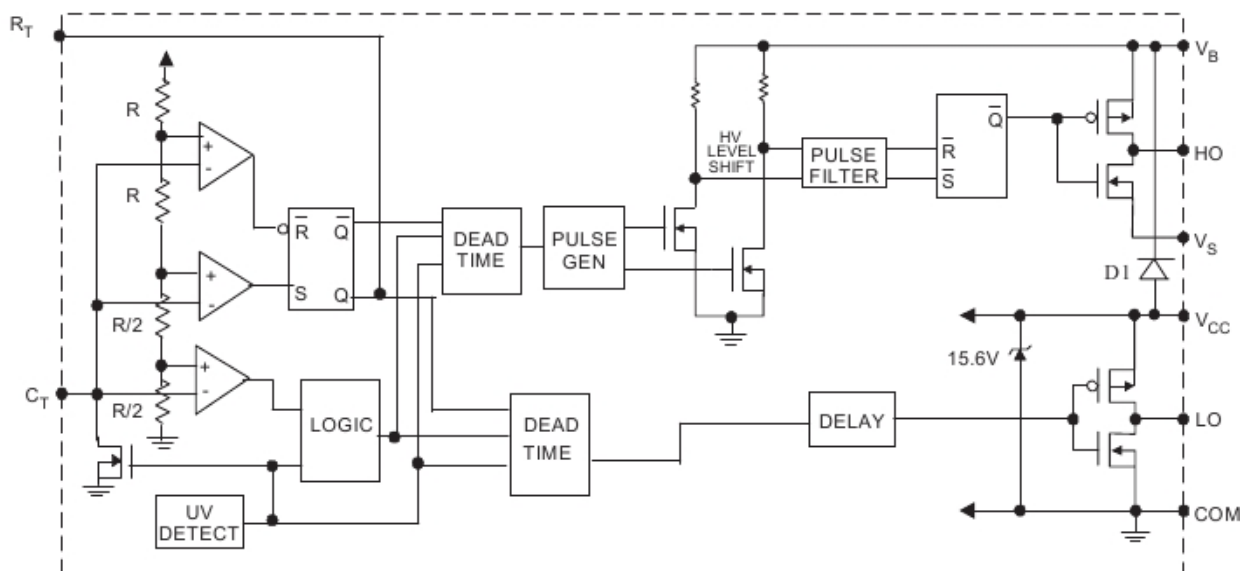


Рис. 4.3. Структурні елементи та функціональна схема контролера IR2153D

Проаналізуємо принцип роботи контролера. На рис. 4.4 наведені вузли резистивного подільника напруги, три операційні підсилювачі та RS-тригер.

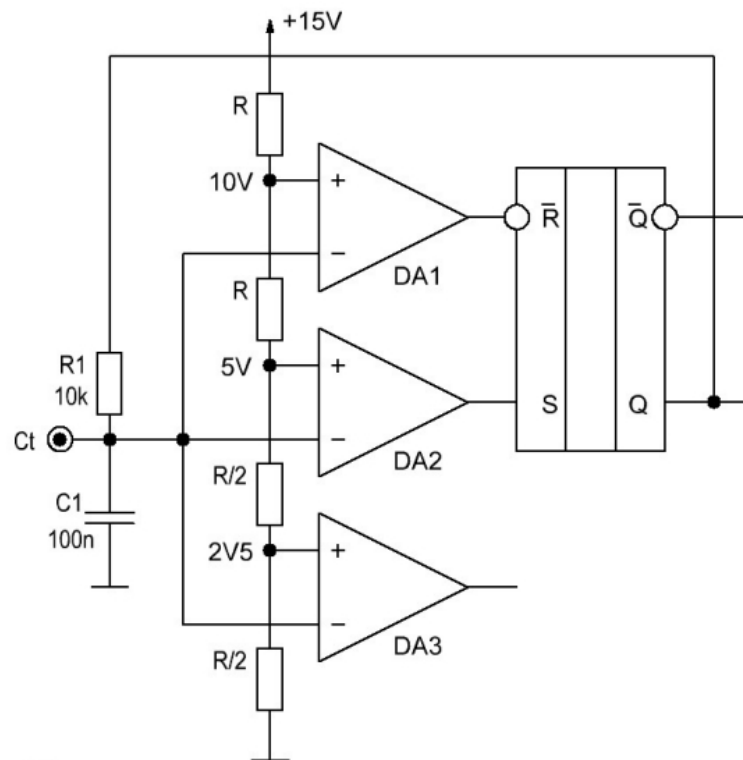


Рис. 4.4. Вузли резистивного подільника напруги, три операційні підсилювачі та RS-тригер контролера IR2153

В початковий момент часу конденсатор  $C_1$  є розряджений, на всіх інвертуючих входах операційних підсилювачів встановлений рівень нуля, а на неінвертуючих входах встановлено рівень додатної напруги з виходу резистивного подільника напруги.

Вхід R RS-тригера інвертується, а на вході S буде встановлено рівень логічної одиниці, що формує на виході RS-тригера логічну одиницю. При цьому, конденсатор  $C_t$  почне заряджатися через резистор  $R_1$ .

В момент часу, коли значення напруги на конденсаторові  $C_t$  перевищить рівень 5 В на виході другого операційного підсилювача буде встановлено рівень логічного нуля, а коли, продовжуючи заряджати цей конденсатор, напруга перевищить значення 10 В рівень логічного нуля з'явиться на виході першого операційного підсилювача DA1, що переведе вихід RS-тригера в стан логічного нуля. Конденсатор  $C_t$  почне розряджатися і коли значення напруги на ньому стане нижче значення в 10 В на виході першого операційного підсилювача знову з'явиться рівень логічної одиниці. Коли значення напруги на цьому конденсаторові стане менше 5 В логічна одиниця з'явиться на виході

другого операційного підсилювача і переведе вихід RS-тригера в стан логічної одиниці і процес заряджання конденсатора  $C_t$  повториться. Вигляд такого процесу наведено рис. 4.5.

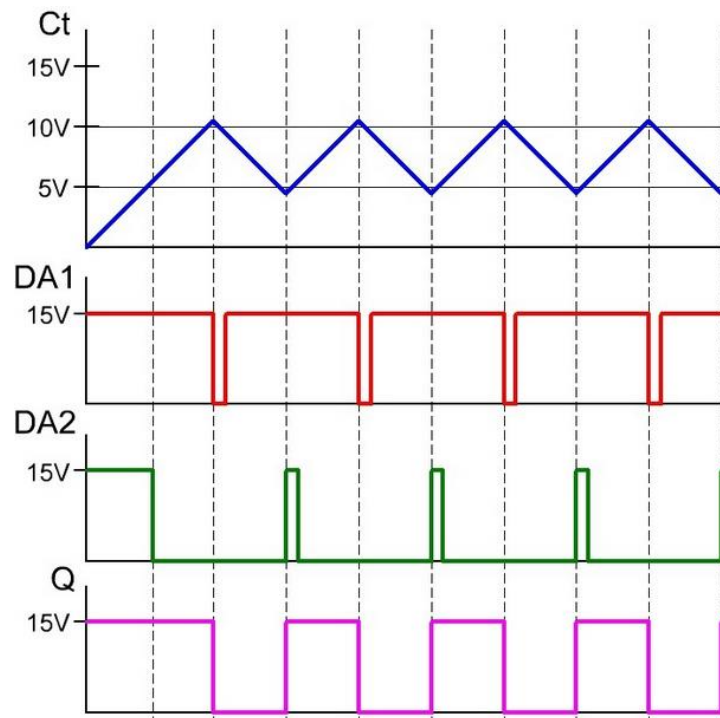


Рис. 4.5. Вигляд сигналів на окремих елементах контролера IR2153

Отже, на виходах RS-тригера утворюються протилежні по фазі, але однакові за тривалістю рівні логічної одиниці і нуля (рис. 4.6).

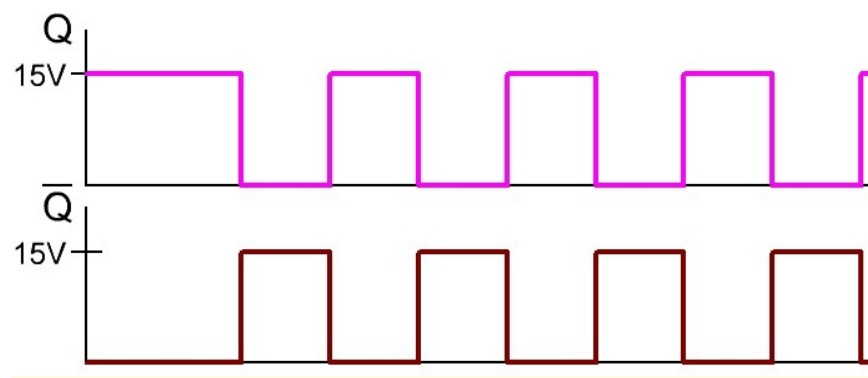


Рис. 4.6. Форми генерованих на виходах контролера IR2153 сигналів

Аналогами контролера IR2153 є контролери IR2151 і IR2155. Основні параметри цих контролерів наведено в табл. 4.1.

## Технічні параметри контролерів IR215X

Мікросхема	Максимальна напруга драйвера	Напруга живлення старту	Напруга живлення стопа	Максимальний струм для зарядки затворів силових транзисторів / час наростання	Максимальний струм для зарядки затворів силових транзисторів / час спадання	Напруга внутрішнього стабілітрона
IR2151	600 В	7,7...9,2 В	7,4...8,9 В	100 мА / 80...120 нс	210 мА / 40...70 нс	14,4...16,8 В
IR2153	600 В	8,1...9,9 В	7,2...8,8 В	не вказано / 80...150 нс	не вказано / 45...100 нс	14,4...16,8 В
IR2155	600 В	7,7...9,2 В	7,4...8,1 В	210 мА / 80...120 нс	420 мА / 40...70 нс	14,4...16,8 В

Будуємо схему електричну принципову на основі схемних рішень побудови двотактних півмостових перетворювачів та схем електричних принципових проаналізованих вище перетворювачів. Схема електрична принципова імпульсного блока живлення наведена на рис. 4.7.

Перетворювач виконаний на мікросхемі IR2155 і містить системи м'якого старту як по первинному живленню, так і по вторинному, має захист від перевантаження. Проблема управління потужними силовими транзисторами вирішена використанням емітерних повторювачів на транзисторах VT1 і VT2, які розряджають ємність затворів потужних транзисторів через себе.

Подібне форсування закриття силових транзисторів дозволяє використовувати досить потужні екземпляри, такі як IRFPS37N50A, SPW35N60C3, не кажучи вже про IRFP360 і IRFP460.

У момент включення напруга на діодний міст первинного кола живлення подається через резистор R1, оскільки контакти реле КА1 розімкнуті. Далі напруга, через R10 подається на мікросхему і через R15 і R16 на вивід обмотки реле. Однак напруга збільшується поступово – C18 досить великої ємності. З

другої обмотки реле напруга надходить на стабілітрон і тиристор VS2. Як тільки напруга досягне 13 В, її вже буде достатньо, щоб пройшовши 12-ти вольтовий стабілітрон відкрити VS2. Тут слід нагадати, що IR2155 стартує при напрузі живлення приблизно 9 В, отже на момент відкриття VS2 через IR2155 вже буде генерувати імпульси, тільки в первинну обмотку вони потраплятимуть через резистор R14 і конденсатор C15, оскільки друга група контактів реле K1 теж розімкнута. Це істотно обмежить струм заряду конденсаторів фільтрів вторинного живлення. Як тільки тиристор VS2 відкриється на обмотку реле буде подано напругу і обидві контактні групи замкнуться. Перша зашунтує струмообмежуючий резистор R1, а друга – R14 і C15.

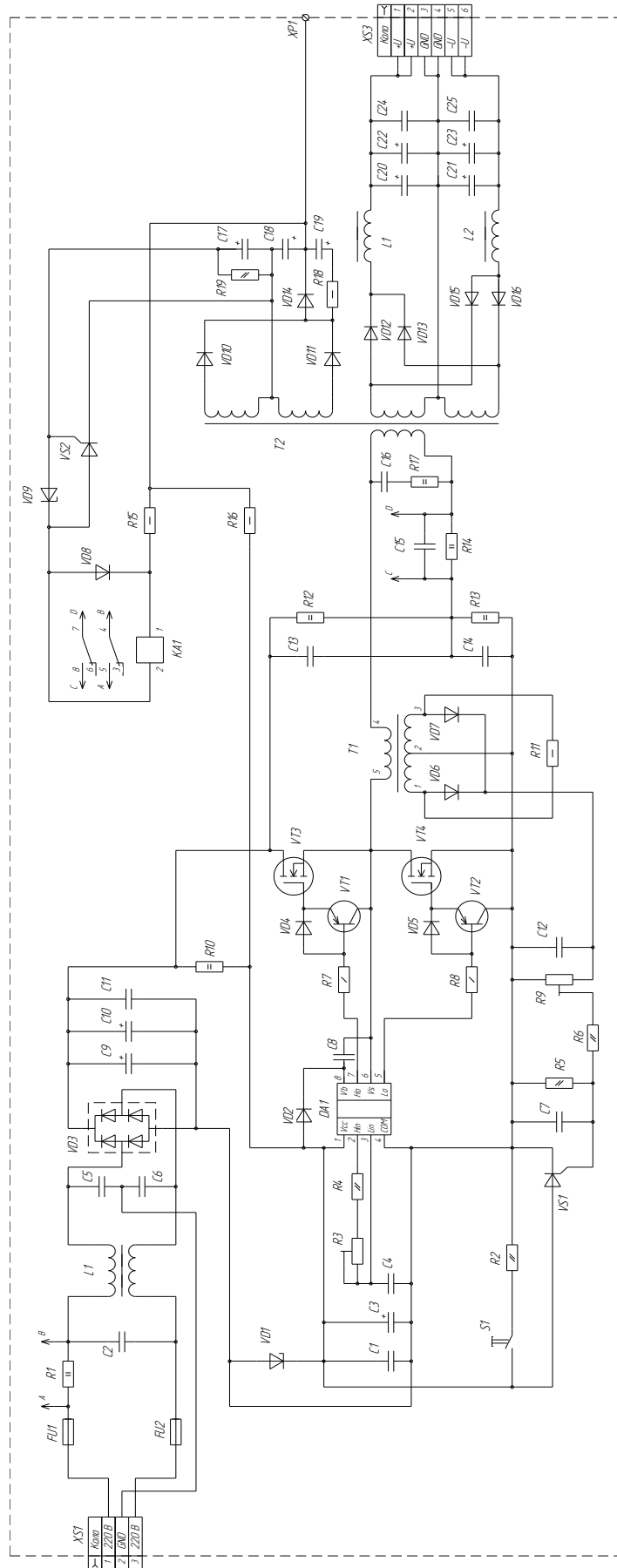


Рис. 4.7. Схема електрична принципова блока живлення

На силовому трансформаторі є додаткова обмотка і випрямляч на діодах VD10 і VD11 з яких і буде живитися реле і мікросхема. R18 служить для обмеження струму вентилятора примусового охолодження, який може під'єднуватись до контакту XP1. Перелік елементів наведено в додатку Б.

#### 4.3 Висновки до розділу 4

В розділі проведено проектування імпульсного блока живлення потужністю 1000 Вт. За основу побудови вибираємо структуру півмостового перетворювача. За основу блока живлення використано міросхему IR2153/IR2155. Враховуючи усі описані раніше методи підвищення ефективності блоків живлення в отриманому варіанті ціна і якість знаходяться на оптимальному рівні.

## РОЗДІЛ 5

### СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

#### 5.1 Метрологічне забезпечення наукового дослідження

Згідно закону України "Про метрологію та метрологічну діяльність" та ДСТУ 2681-94, метрологічне забезпечення – це установлення та застосування метрологічних норм і правил, а також розроблення, виготовлення та застосування технічних засобів, необхідних для досягнення єдності і потрібної точності вимірювань.

Технічною основою метрологічного забезпечення є:

- система державних еталонів одиниць фізичних величин, яка забезпечує їх відтворення з найвищою точністю;
- система робочих еталонів і зразкових ЗВТ, за допомогою яких здійснюється передача розмірів одиниць фізичних величин робочим ЗВТ;
- система стандартних зразків складу та властивостей речовин та матеріалів, що забезпечує відтворення одиниць фізичних величин, які характеризують склад і властивості речовин і матеріалів;
- система робочих ЗВТ, які використовуються під час розроблення, виробництва, випробувань та експлуатації продукції, наукових досліджень та інших видів діяльності.

Основною метою метрологічного забезпечення є поліпшення якості продукції, підвищення ефективності виробництва, використання матеріальних цінностей та енергетичних ресурсів, а також наукових досліджень.

При проведенні повірки повинні дотримуватися такі умови:

- температура навколишнього повітря ( $20 \pm 5$ ) °С;
- атмосферний тиск від 97,3 до 105,3 кПа (від 730 до 790 мм. рт. ст.);
- відносна вологість повітря (65 + 15)%;



- на робочому місці для зменшення електромагнітних перешкод видаляються мережеві кабелі та шнури приладів від схеми перевірки і вхідних ланцюгів ЕК на відстань не менше 1 м;

- потрібно видалити від робочого місця джерела електромагнітних перешкод, що впливають на роботу засобів повірки. [5]

## 5.2 Програмне забезпечення для розв'язування наукової задачі

Система Matlab (скорочення від Matrix Laboratory - матрична лабораторія) є інтерактивною комп'ютерною системою для виконання інженерних і наукових розрахунків, орієнтовану на роботу з масивами даних. Система припускає можливість звернення до програм, які написані на мовах FORTRAN, C і C++.

Привабливою особливістю системи є те, що вона містить вбудовану матричну і комплексну арифметику. Система підтримує виконання операцій з векторами, матрицями і масивами даних, реалізує сингулярний і спектральний розклади, підтримує роботу з поліномами алгебри, вирішення нелінійних рівнянь і задач оптимізації, інтеграція функцій в квадратурі, чисельна інтеграція диференціальних і різницевих рівнянь, побудова різноманітних видів графіків, тривимірних поверхонь і ліній рівня. В ній реалізовано зручне операційне середовище, яке дозволяє формулювати проблеми і отримувати рішення в звичайній математичній формі, не вдаючись до рутинного програмування.

Основний об'єкт системи Matlab - прямокутний числовий масив (матриця), який допускає комплексні елементи. Використання матриць не вимагає явної вказівки їх розмірів.

Система Matlab виконує операції з векторами і матрицями навіть в режимі безпосередніх обчислень без якого-небудь програмування. Нею можна користуватися як найпотужнішим калькулятором, в якому разом із звичайними арифметичними і алгебраїчними діями можуть використовуватися такі складні операції, як повернення матриці, обчислення її власних значень і векторів,

вирішення систем лінійних рівнянь алгебри і багато іншого. Проте, характерна основна особливість системи - легкість її модифікації і адаптації до конкретних задач користувача. Користувач може ввести в систему будь-яку нову команду, оператор або функцію і користуватися потім ними так само просто, як і вбудованими операторами і функціями.

В базовий набір слів системи входять: спецзнаки; знаки арифметичних і логічних операцій; арифметичні, тригонометричні і деякі спеціальні математичні функції; функції швидкого перетворення Фур'є і фільтрації; векторні і матричні функції; засоби для роботи з комплексними числами; оператори побудови графіків в декартовій і полярній системах координат, тривимірних поверхонь і тому подібне. Matlab надає користувачеві великий набір готових засобів (більше половини з них - зовнішні розширення у вигляді m-файлів).

Matlab має широкі можливості для роботи з сигналами, для розрахунку і проектування аналогових і цифрових фільтрів, для побудови їх частотних, імпульсних і перехідних характеристик. В наявності і засоби для спектрального аналізу та синтезу, зокрема, для реалізації прямого і зворотного перетворення Фур'є. Завдяки цьому система досить зручна для проектування електронних пристроїв.

Робота в середовищі Matlab може здійснюватися в двох режимах:

- в режимі калькулятора, коли обчислення здійснюються відразу після набору чергового оператора або команди Matlab; при цьому значення результатів обчислення можуть привласнюватися деяким змінним, або результати виходять безпосередньо, без привласнення (як в звичайних калькуляторах);

- шляхом виклику імені програми, написаної на мові Matlab, заздалегідь складеної і записаної на диску, яка містить всі необхідні команди, що забезпечують введення даних, організацію обчислень і виведення результатів на екран (програмний режим).

У обох режимах користувачеві доступні практично всі обчислювальні можливості системи, зокрема по виведенню інформації в графічній формі.

Програмний режим дозволяє зберігати розроблені обчислювальні алгоритми і, таким чином, повторювати обчислення при інших вхідних даних.

Середовище Matlab має надзвичайно потужні засоби для проведення цифрової обробки сигналів, що може бути використано для обробки сигналів на виході вимірювального блоку. Розглянемо можливості Matlab в цьому плані.

Цифрова обробка сигналів традиційно включає створення засобів чисельного перетворення масиву заданого (зміряного в дискретні моменти часу) процесу зміни деякої неперервної фізичної величини з метою одержання з нього корисної інформації про іншу фізичну величину, що міститься в зміряному сигналі.

Фізична величина, що є корисною (що несе в собі необхідну інформацію), рідко має таку фізичну форму, що може бути безпосередньо зміряною. Зазвичай вона представляє лише деяку складову (сторону, частину, межу) деякої іншої фізичної величини, яка може бути безпосередньо зміряна. Зв'язок між цими двома величинами позначимо введенням ланки, яку назовемо "первинним перетворювачем" (ПП). Зазвичай закон перетворення відомий заздалегідь, інакше відновити інформаційну складову надалі було б неможливим. Первинний перетворювач вносить залежність сигналу, який може бути зміряний, від деяких інших фізичних величин. Внаслідок цього вихідна його величина містить, окрім корисної інформаційної складової, інші, шкідливі складові або риси, що спотворюють корисну інформацію. І, хоча залежність виходу ПП від цих інших величин також відома, проте унаслідок неконтрольованої можливої зміни останніх з часом, часто важко спрогнозувати їх вплив на спотворення корисної складової. Назвемо ПП, що вноситься, шкідливу складову шумом ПП.

Хай утворена таким чином безпосередньо вимірювана величина вимірюється деяким вимірювачем. Будь-який реальний вимірювач вносить власні спотворення до вимірюваної величини і додаткових залежностей від деяких інших фізичних величин, що не є об'єктом вимірювання.

Назвемо ці спотворення шумами вимірювача. Не обмежуючи спільності, вважатимемо, що вихідною величиною вимірювача є електричний сигнал

(зміряна величина), який можна надалі досить просто перетворювати електричними пристроями.

Для здійснення цифрової обробки зміряна величина має бути перетворена в дискретну форму за допомогою спеціального пристрою, який містить екстраполятор і аналого-цифровий перетворювач (АЦП).

Перший проводить фіксацію окремого поточного значення зміряної величини в окремі моменти часу через певний постійний проміжок часу, званий дискретом часу. Другий переводить це значення в цифрову форму, яка дозволяє надалі здійснювати перетворення за допомогою цифрових ЕОМ. Хоча обидва пристрої можуть вносити при таких перетвореннях власні спотворення до вихідного (дискретного) сигналу, проте ними зазвичай нехтують, оскільки в більшості випадків ці додаткові спотворення значно менші шумів ПП і вимірювача.

Щоб на основі отриманого дискретизованого сигналу отримати корисний сигнал, потрібно розрахувати і створити пристрій (програму для ЕОМ), який здійснював би такі перетворення вхідного дискретного в часі сигналу, щоб на його виході спотворення, внесені шумами ПП і вимірювача були мінімізовані в деякому розумінні. Цей пристрій називають фільтром.

У загальному випадку створення (проекткування) фільтру є задачею невизначеною, яка конкретизується лише на основі попередніх отриманих знань про закономірність утворення вимірюваної величини (моделі ПП), про модель утворення зміряної величини з вимірюваної (моделі вимірювача), про характеристики зміни в часі шкідливих фізичних величин, що впливають на утворення вимірюваної і зміряної величин, і закономірностей їх впливу на спотворення корисної інформації.

Оскільки моделі ПП і вимірювача можуть бути досить різноманітними, традиційно задачу фільтрації вирішують тільки для деяких найбільш поширених на практиці видів таких моделей, найчастіше - для лінійних моделей.

У загальному випадку процес створення фільтру розкладається на такі етапи:

- на основі апріорної інформації про моделі ПП і вимірювача і про характеристики шумів, а також про задачі, які повинен вирішувати фільтр, вибирається деякий тип фільтру з відомих, теорія проектування яких розроблена;

- на основі конкретних числових даних розраховуються числові характеристики вибраного типу фільтру (створюється конкретний фільтр);

- перевіряється ефективність виконання розробленим фільтром поставленого перед ним завдання; для цього необхідне зімітувати на ЕОМ дискретний сигнал, що містить корисну (інформаційну) складову з накладеними на неї передбаченими шумами ПП і вимірювача, "пропустити" його через побудований фільтр і порівняти отриманий на виході сигнал з відомою (в даному випадку) корисною його складовою; різниця між ними характеризуватиме похибки вимірювання на виході фільтру;

- оскільки в реальних умовах деякі характеристики шумів можуть відрізнитися від прийнятих при проектуванні (створенні фільтру), не зайвими стають випробування ефективності роботи фільтру в умовах наближеніших до реальних, ніж прийняті при проектуванні.

Пакет Signal Processing Toolbox (надалі скорочено Signal) призначений для здійснення операцій по трьом останнім з вказаних етапів. Він дозволяє проектувати (розраховувати конкретні числові характеристики) цифрові і аналогові фільтри по необхідних амплітудно- і фазо-частотних їх характеристиках, формувати послідовності типових часових сигналів і обробляти їх спроектованими фільтрами. У пакет входять процедури, що здійснюють перетворення Фур'є, Гільберта, а також статистичний аналіз. Пакет дозволяє розраховувати кореляційні функції, спектральну щільність потужності сигналу, оцінювати параметри фільтрів по зміряних відліках вхідної і вихідної послідовностей.

У пакеті Signal передбачено декілька процедур для створення послідовності даних, що представляють деякі одиночні імпульсні процеси типових форм.

Процедура `rectpuls` забезпечує формування одиночного імпульсу прямокутної форми. Вираз вигляду:

$$y = \text{rectpuls}(t, w),$$

дозволяє утворити вектор  $y$  значень сигналу такого імпульсу одиничної амплітуди, шириною  $w$ , що центрується відносно  $t=0$  по заданому вектору  $t$  моментів часу. Якщо ширина імпульсу  $w$  не вказана, її значення за умовчанням набуває рівним одиниці. імпульсів

Формування імпульсу трикутної форми одиничної амплітуди можна здійснити за допомогою процедури `tripuls`, вираз якої має вигляд

$$y = \text{tripuls}(t, w, s).$$

Аргументи  $y$ ,  $t$  і  $w$  мають той же сенс. Аргумент  $s$  ( $-1 < s < 1$ ) визначає нахил трикутника. Якщо  $s=0$ , або не вказаний, трикутний імпульс має симетричну форму.

### 5.3 Висновки до розділу 5

В розділі розглянуто питання метрологічного забезпечення наукового дослідження та побудови прикладного програмного забезпечення для розв'язування наукової задачі.

## РОЗДІЛ 6

### ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

#### 6.1 Науково-технічна актуальність науково-дослідної роботи

Наукові дослідження, які є основою наступних стадій інноваційних процесів, класифікують по трьом видам: фундаментальні, пошукові та прикладні.

Фундаментальні дослідження проводять з метою отримання систематизованих даних щодо певної науково-технічної проблеми, виявлення нових закономірностей і принципів розвитку світу, обґрунтування нових понять, створення нових теорій.

Пошукові дослідження розвивають фундаментальні розробки з метою їх практичної використання, тобто вони спрямовані на конкретний науково-технічний результат.

Прикладні наукові дослідження, в свою чергу, базуються на пошукових і проводяться для розробки нових чи удосконалення існуючих технологічних процесів; створення матеріалів з особливими властивостями; принципово нових зразків машин, обладнання, приладів, оснащення, високотехнологічних наукомістких виробництв.

І, нарешті, розробки – технологічні, дослідно-конструкторські, проектні, організаційні роботи, які включають створення техніко-економічної документації для освоєння нововведень (нових технологій, нової продукції та виробництв, споруд, прогресивних методів організації та управління виробництвом) та їх дослідно-експериментального випробування.

Основне завдання економічного обґрунтування – довести, що тема досліджень, яку опрацьовує магістрант, має, перш за все, наукову, технічну, а також економічну, соціальну або екологічну значущість і сприяє тим самим зростанню темпів науково-технічного прогресу в цілому. З цією метою акцентується увага на масштабах виробництва і використання продукції, на

підвищення якості або удосконалення виробництва якої направлена тема магістерської роботи.

У разі, коли дослідження має фундаментальний або фундаментально-пошуковий характер необхідно висвітлити науково-технічне значення даної сфери знань та перспективи, які розкривають дослідження по темі магістерської роботи.

Ця частина економічного розділу повністю формується на основі критичного опрацювання фахових публікацій останніх років, які присвячені питанням, що стосуються теми дослідження. Всі викладки цієї частини повинні спиратись на конкретні кількісні оцінки експлуатаційних та технологічних властивостей матеріалів та виробів, обсягів їх виробництва та використання, режимів технологічних процесів, ринкової вартості виробів та технологічних матеріалів, сировини, енергоресурсів тощо з відповідним посилками в тексті на першоджерела.

Результатом цього розділу має стати чітко сформульована науково-технічна проблема, на вирішення якої повинна бути направлена дана дослідницька робота. Таким чином, сформульована проблема і тема науково-дослідницької роботи повинні знаходитись у логічній єдності між собою.

## 6.2 Розрахунок витрат на проведення науково-дослідної роботи

Розрахунок усіх витрат організації-виконавця НДР, пов'язаних з виконанням теми, дає можливість встановити її собівартість або кошторисну вартість. Кошторис розробляє виконавець робіт на основі календарного плану проведення досліджень і затверджує замовник або орган, що забезпечує фінансування робіт. Як правило, кошторис складається до початку виконання робіт і тому називається плановим.

Встановлення величини витрат на проведення робіт по темі в розрізі типових статей кошторисної вартості (калькуляції собівартості) НДР наводяться нижче.



6.2.1 Витрати на оплату праці. Витрати за цією статтею включають заробітну плату безпосередніх виконавців теми, а заробітна плата адміністративно-управлінського персоналу, працівників дослідних виробництв включаються в кошторисну вартість теми через статтю «Накладні витрати». Крім цього, слід враховувати, що для тем, які фінансуються за рахунок держбюджету прибуток не планується і тому в дану статтю витрат включається тільки основна заробітна плата (без премій та інших виплат, що здійснюються із прибутку). Витрати на оплату праці розраховують на основі даних про трудомісткість окремих робіт по темі (табл. 1.1) та посадових окладів безпосередніх їх виконавців.

Загальна трудомісткість робіт, що виконуються безпосередньо студентом (інженером - дослідником), визначається навчальним планом відповідного напрямку підготовки.

Таблиця 6.1

## Трудомісткість робіт по темі НДР

Найменування робіт по темі дослідження	Трудомісткість за виконавцями, людино-днів					
	Провідний науковий співробітник	Старший науковий співробітник	Молодший науковий співробітник	Інженер	Лаборант	Студент
1. Уточнення та конкретизація завдань по темі дослідження	1	1	1	–	–	–
2. Аналіз науково-технічних публікацій з теми	1	–	2	–	–	1
3. Розроблення математичної моделі	2	2	2	–	–	–
4. Розроблення методу опрацювання	1	3	1	–	–	–
5. Експериментальні дослідження	2	2	2	2	2	2
6. Формування звіту по НДР	4	4	4	4	4	2
Разом за виконавцями теми	11	12	12	6	6	5

Подальші розрахунки витрат на оплату праці проводиться за алгоритмом, зрозумілим із табл. 6.2.

Середньоденна заробітна плата за категоріями виконавців розраховується шляхом ділення їх посадового місячного окладу на 21,2 (де 21,2 – усереднене число робочих днів за місяць).

Таблиця 6.2

## Розрахунок витрат на оплату праці

Посада виконавців теми	Планова трудомісткість, люд-днів	Заробітна плата, грн		
		Посадовий місячний оклад	Середньоденна зарплата	Усього за виконавцями
1.Провідний науковий співробітник	11	4847	228,63	2514,93
2.Старший науковий співробітник	12	3768	177,74	2132,88
3. Молодший науковий співробітник	13	2036	96,04	1248,52
4. Інженер	6	1902	89,72	538,32
5. Лаборант	6	1470	69,34	416,04
6. Студент	5	1470	69,34	346,7
Разом оплата праці з теми				7196,39

6.2.2 Відрахування на соціальні заходи. До цієї статті витрат належать виплати у вигляді єдиного соціального внеску, які здійснює організація – виконавець теми в пенсійний фонд в розмірі 37,26%, що становить 2681,37 грн. від загальних витрат на оплату праці.

Базою вказаного нарахування слугують загальні витрати на оплату праці по темі (табл.6.2).

6.2.3 Обладнання, необхідне для проведення досліджень. В даній статті враховують вартість усіх видів матеріалів, необхідних для проведення НДР, з вирахуванням вартості зворотних відходів.

Тематика дослідницьких робіт, які виконуються на факультеті контрольно-вимірювальних та радіокомп'ютерних систем, передбачає використання, перш за все, комп'ютерної діагностичної системи, комп'ютерів для опрацювання кардіосигналів сигналів та формування матеріалів звітності, оргтехніки та інші.

Розрахунки зведено за формою у табл.6.3

Таблиця 6.3

Розрахунки витрат на обладнання

Найменування обладнання	Одиниця виміру	Кількість	Ринкова ціна за одиницю, грн	Сума,грн.
1. ПК (системний блок, монітор, клавіатура, мишка, кабель живлення)	шт	1	9300	9300
2. Принтер лазерний	шт	1	1800	1800
3. Кабель для підключення до ПК	шт	1	100	100
Загальні витрати на матеріали				11200

6.2.4 Енергоносії для проведення досліджень. На підприємстві електроенергія використовується для освітлення, живлення медобладнання, комп'ютерної техніки та оргтехніки.

$$Z_{cm} = \sum_{i=1}^n P_i \cdot k_i \cdot t_i \cdot C_i, \quad (6.1)$$

де  $P_i$  – витрата  $i$ -го виду матеріального ресурсу, натуральні одиниці;

$C_i$  - ціна за одиницю  $i$ -го виду матеріального ресурсу, грн;

$k_i$  – коефіцієнт використання потужності  $i$ -го виду матеріального ресурсу;

$t_i$  – час роботи  $i$ -го виду матеріального ресурсу;

$i$  - вид матеріального ресурсу;

$n$  - кількість видів матеріальних ресурсів.

Якщо для проведення НДР використовується електрообладнання, то необхідно розрахувати витрати на електроенергію за формою (6.1), наведеною в таблиці 6.4.

Таблиця 6.4

Витрати на електроенергію

Найменування обладнання	Паспортна потужність, Вт	Коефіцієнт використання потужності	Час роботи обладнання для розробку АІС, год	Ціна електроенергії, Грн/ (кВт/год)	Сума, грн.
ПК (системний блок, монітор, клавіатура, мишка, кабель живлення)	200	0,15	100	1,72	5160
Принтер лазерний	500	0,25	3	1,72	645
Лампи розжарювання (освітлення)	100	0,85	10	1,72	1462
РАЗОМ витрати на електроенергію					7267

6.2.5 Витрати на службові відрядження. Дані витрати складаються із фактичних витрат на службові відрядження штатних працівників, зайнятих виконанням НДР: витрат на проїзд до місця відрядження і назад; витрат на проживання у готелі; добових витрат, які розраховуються на кожний день перебування у відрядженні, враховуючи час перебування в дорозі, та деякі інші.

Під час виконання НДР здійснюються ряд відряджень, які пов'язанні із доповідями на конференціях, які наведено у таблиці 6.5.

Таблиця 6.5

## Приблизні витрати на службові відрядження

Тип відрядження	Кількість	Приблизна вартість відрядження
Конференція	5	1200
Здача звітів НДР	1	400
Впровадження результатів НДР	3	500
Всього	–	2100

6.2.6. Розроблення планової калькуляції кошторисної вартості теми. Планова калькуляція вартості проведення досліджень по темі складається на підставі виконаних розрахунків та нормативних даних (табл.6.6).

Таблиця 6.6

## Планова калькуляція кошторисної вартості НДР

Найменування статей витрат	Сума, грн	Обґрунтування
1	2	3
1.Витрати на оплату праці	7196,39	Відповідно до розрахунків
2.Відрахування на соціальні заходи	2681,37	Відповідно до діючих загальнодержавних нормативів
3.Обладнання для проведення досліджень	11200	Відповідно до розрахунків
4.Енергоносії для проведення досліджень	7267	Відповідно до розрахунків
5.Витрати на службові відрядження	2100	Відповідно до розрахунків
6.Інші невраховані прямі витрати по темі	3044,48	10% від суми прямих розрахованих витрат по темі
7.Кошторисна вартість теми	33489,24	Сума попередніх статей

Кінцевим результатом науково-дослідницьких робіт є досягнення наукового, науково-технічного, економічного, соціального, екологічного та інших видів ефектів.

Науковий ефект від виконання теми передбачає приріст наукових знань у певній сфері науки, а науково-технічний ефект характеризує можливість використання цих наукових знань в інших наукових напрямках та при розробці принципово нових технічних рішень. Економічний ефект відображає потенціал НДР в досягненні кращого співвідношення результатів виробництва до витрат і має прогнозний характер. Соціальний ефект заводиться до збільшення числа робочих місць, поліпшення умов праці та побуту, скорочення тривалості робочого тижня, розвитку охорони здоров'я, науки, культури, освіти. Екологічний ефект полягає в поліпшенні стану навколишнього середовища, зменшенні електромагнітного та іонізуючого випромінювання тощо.

### 6.3. Науково-технічна ефективність науково-дослідної роботи

Економічна оцінка фундаментальних і пошукових НДР у вартісному вимірі, як правило, неможливо, бо ймовірність доведення результатів таких досліджень до конкретного практичного застосування невелике. Для таких досліджень рекомендується визначати науковий та науково-технічний ефект, який враховує результати наукових досліджень та їх значущість для прискорення науково-технічного прогресу та розвитку національної економіки.

Науковий та науково-технічний ефект рекомендується оцінювати коефіцієнтом науково-технічної ефективності ( $E_{нт}$ ) за допомогою формули:

$$E_{нт} = \frac{\sum B_i \cdot B_{ij}}{\sum B_i \cdot B_{ij}^{\max}}, \quad (6.2)$$

де  $B_i$  – нормативні значення коефіцієнтів вагомості факторів науково-технічної ефективності (табл. 6.7);

$B_{ij}$  – середнє значення балу, який виставляється експертами  $i$ -му фактору;

$B_{ij}^{\max}$  – максимально можливе значення балу (табл. 6.8);

$i$  – порядковий номер фактору;

$j$  – відповідна характеристика  $i$ -го фактора.

Нормативні значення коефіцієнтів вагомості факторів науково-технічної ефективності наведені в табл. 6.7.

Таблиця 6.7

Нормативні значення коефіцієнтів вагомості факторів  
науково-технічної ефективності

Фактори ( $i$ )	Коефіцієнти вагомості ( $B_i$ )
1.Новизна очікуваних або одержаних результатів	0,25
2.Глибина наукового опрацювання	0,16
3.Ступінь ймовірності успіху	0,09
4.Перспективність використання результатів	0,25
5.Масштаб можливої реалізації результатів	0,15
6.Завершеність одержаних результатів	0,10
Разом	1,00

Характеристика факторів науково-технічної ефективності НДР наведена в табл. 6.8.

Таблиця 6.8

Характеристика факторів науково-технічної ефективності НДР

Фактор наукової та науково-технічної ефективності	Характеристика фактора	Оцінка фактора	
		Якісна	Бальна $A_{ij}^{\max}$
1	2	3	4
1.Новизна одержаних або передбачуваних результатів	Одержані принципово нові результати, раніше невідомі в науці, розроблена нова теорія, відкрита нова закономірність	Висока	10
	Встановлені деякі часткові закономірності, методи, способи,	Середня	7

	які дозволяють створити принципово нові види техніки		
	Позитивне вирішення поставлених задач на підставі простих узагальнень, аналіз зв'язків між факторами, розповсюдження відомих наукових принципів на об'єкти	Недостатня	3
	Опис окремих елементарних фактів, передача та поширення отриманих раніше результатів, реферативні огляди	Тривіальна	1

*Продовження таблиці 6.8*

1	2	3	4
2.Глибина наукового опрацювання	Проведена значна кількість експериментів по нетрадиційним методикам, виконані складні теоретичні розрахунки, підтверджені експериментальними даними	Істотна	10
	Проведена обмежена кількість розрахунків по відомих методикам, виконані теоретичні розрахунки невисокої складності, частково перевірені експериментальними даними	Середня	6
	Проведена недостатня кількість експериментів, виконані прості теоретичні розрахунки без експериментальної перевірки	Несуттєва	1
3.Ступінь ймовірності успіху	Висока ймовірність повного вирішення поставлених задач НДР	Значна	10
	Середня ймовірність вирішення більшості експериментальних або теоретичних задач	Помірна	6
	Низька ймовірність вирішення поставлених задач, отримання позитивних результатів сумнівне	Незначна	1
4.Масштаб використання результатів	Результати можуть бути використані в багатьох наукових напрямках, мають значення для розвитку суміжних наук	Широкий	10
	Результати можуть бути використані в конкретному науковому напрямку при розробці нових технічних рішень, спрямованих на суттєве підвищення продуктивності суспільної праці	Достатньо широкий	8
	Результати будуть використані при проведенні наступних НДР, при розробці нових технічних рішень в конкретній галузі	Достатній	5



5. Ступінь реалізації результатів	Строк впровадження, роки:	Висока	10
	До 2	Середня	7
	До 4	Достатня	4
	До 6	Недостатня	2
6. Завершення одержаних результатів	Більше 6	Висока	10
	Авторське свідоцтво, стаття в фаховому виданні, методика, інструкція, класифікатор, стандарти, нормативи.	Середня	8
	Технічне завдання на прикладну НДР	Достатня	6
	Рекомендації, розгорнутий аналіз, пропозиції	Недостатня	3
	Огляд, інформаційне повідомлення		

Кількісна оцінка факторів науково-технічної ефективності НДР здійснюється експертним шляхом за десятибальною шкалою і визначається як середньоарифметичне. Отримані результати зводять за формою табл. 6.9.

Таблиця 6.9

## Результати розрахунків науково-технічної ефективності НДР

Фактори науково-технічної ефективності	Характеристика фактора	Розрахунок $B_{ij}$			$B_{ij}^{\max}$
		Експертні оцінки		$B_{ij}$	
		1	2		
1. Новизна очікуваних або одержаних результатів	Встановлені деякі часткові закономірності, методи, способи, які дозволяють створити принципово нові види техніки	3	3	3	10
2. Глибина наукового опрацювання	Проведена обмежена кількість розрахунків по відомим методикам, виконані теоретичні розрахунки невисокої складності, частково перевірені експериментальними даними	6	6	6	10
3. Ступінь ймовірності успіху	Середня ймовірність вирішення більшості експериментальних або теоретичних задач	6	6	6	10
4. Перспективність використання результатів	Результати можуть бути використані в багатьох наукових напрямках, мають	10	10	10	10

	значення для розвитку суміжних наук				
5. Масштаб можливої реалізації результатів	До 2 років	10	10	10	10
6. Завершеність одержаних результатів	Рекомендації, розгорнутий аналіз, пропозиції	6	6	6	10

Розраховане за формулою 6.2 значення  $E_{нт}$  буде відображати рівень наукової та науково-технічної ефективності конкретної теми фундаментального чи пошукового дослідження:

$$E_{нт} = \frac{0.25 \cdot 3 + 0.16 \cdot 6 + 0.09 \cdot 6 + 10 \cdot 0.25 + 10 \cdot 0.15 + 6 \cdot 0.1}{1 \cdot 10} = 0,685 .$$

Загальну оцінку магістерської НДР можна здійснити, користуючись даними табл. 6.10.

Таблиця 6.10

Загальна оцінка наукової та науково-технічної ефективності  
фундаментальних та пошукових НДР

Загальна оцінка наукової та науково-технічної ефективності		Можливі рекомендації по результатам виконання НДР
Розраховане значення $E_{нт}$	Загальна якісна оцінка ефективності	
0,91-1,00	Відмінно	Оформлення авторського свідоцтва, публікація у фаховому виданні, продовження досліджень по даній тематиці
0,76-0,90	Дуже добре	
<b>0,61-0,75</b>	<b>Добре</b>	<b>Рекомендації можуть бути сформульовані після ретельного аналізу отриманих результатів</b>
0,36-0,60	Достатня	Переглянути технічне завдання у разі продовження досліджень по даній темі
Менш 0,35	Незадовільна	Здійснити всебічний аналіз отриманих результатів по темі

#### 6.4 Висновки до розділу 6

У розділі на підставі виконаних розрахунків та нормативних даних встановлено, що планова калькуляція вартості проведення досліджень по темі становить 33489,24 грн., а кількісна оцінка науково-технічна ефективність науково-дослідної роботи, яка здійснюється експертним шляхом за десятибальною шкалою і визначається як середньоарифметичне, що складає 0,685 від максимального числа 1, а рекомендації по результатам виконання НДР можуть бути сформульовані після ретельного аналізу отриманих результатів.

## РОЗДІЛ 7

### ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

#### 7.1 Охорона праці

##### 7.1.1 Заходи електробезпеки при роботі з виробом

При роботі з виробом необхідно дотримуватись загальні правила техніки безпеки. Залежно від способу захисту обслуговуючого персоналу від удару електричним струмом блок живлення можна віднести до I або II класу відповідно до діючого стандарту.

Правила техніки безпеки:

- при підозрі на несправність під час підготовки блоку до роботи необхідно відключити його від мережі електроживлення (знеструмити). Несправний блок категорично забороняється експлуатувати. Підозріння на несправність виникає із-за виникнення підозрілих шумів, тріску, запахів і тому подібне.

- заземлення на труби опалювання і водопроводу не можна вважати задовільним, оскільки завжди є вірогідність, що в іншому приміщенні на цю ж трубу заземлений блок із значним витоком струму, який може поширитися на пацієнта і обслуговуючий апаратуру персонал.

- якщо одночасно використовується декілька блоків, вони повинні мати одну точку заземлення. Не можна підключати блоки до землі послідовно, в цьому випадку утворюється "петля" заземлення, по якій циркулюють струми витоку.

- заміна патронів, вилок і інших з'єднувачів повинна робитися лише фахівцями, хоча на перший погляд робота здається дуже простою.

##### 7.1.2 Надання першої медичної допомоги при електроударах

Першу допомогу потерпілому від удару електричним струмом потрібно надавати максимально швидко і правильно. Необхідно, насамперед, людину, що постраждала, звільнити від струму, оскільки тривалість дії впливає на тяжкість електротравми. Перш за все треба відключити подачу електроенергії

до місця події за допомогою рубильника або вимикача. Якщо вимикача поруч немає, а напруга живлячої лінії не перевищує 1000 В (напруга в побутових електричних мережах не перевищує 220 В), то звільняють потерпілого за допомогою сухого предмету не провідного електрика: палиці, дошки, сухої частини одягу, наприклад підлоги піджака або коміра куртки. Відтягаючи потерпілого за одяг, потрібно потурбуватися про власну ізоляцію. Для цієї мети підійде сухий шарф, надітий на руку, суконна або шкіряна кепка; можна встати на гумовий автомобільний килимок або прихопити нею потерпілого; можна перерубати дроти сокирою з сухою дерев'яною рукояткою. Перурабати або перекушувати дроти необхідно поодиноці, кожен фазу окремо. При напрузі в мережі вище 1000 В слід надіти діелектричні рукавички і боти, діяти ізолюючою штангою або виробити замикання дротів накоротко, накинувши на них гнучкий дрід, що має чималий перетин, аби не перегорів при виникненні струму короткого замикання. Іншими словами, потрібне спеціальне устаткування.

У всіх випадках удару електричним струмом потрібно викликати швидку медичну допомогу. Якщо потерпілий в свідомості, але був в непритомності, або якщо знаходиться в несвідомому стані, але дихання і пульс збережені, то його треба положити, розстібнути одяг, зігріти тіло і створити спокійну обстановку довкола. Аби потерпілий не захлинувся від блювоти, голову необхідно обернути набік. Коли потерпілий приходить в свідомість, йому забороняють підійматися і ходити до приїзду швидкої медичної допомоги. Зазвичай таких потерпілих доставляють в стаціонарне відділення і декілька днів спостерігають за їх станом.

Якщо після звільнення від дії електричного струму потерпілий не дихає або дихання у нього рідке, неглибоке, і шкірні покриви поступово синіють, то необхідно провести штучне дихання. Дихання з рота в рот або з рота в ніс забезпечують вступ в легені рятованого необхідної кількості повітря, придатного для дихання. Вдування повітря здійснюється через марлю або носову хустку. При цьому методі штучного дихання видно, чи потрапляє

повітря в легені рятованого, на вдиху у нього підіймаються ребра, а видих відбувається пасивно, за рахунок природної еластичності грудної клітки.

## 7.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях

### 7.2.1 Пожежна безпека

Пожежа - неконтрольоване горіння поза спеціальним вогнищем, яке призводить до матеріальної шкоди.

Пожежна безпека – стан об'єкта, при якому з регламентованою ймовірністю виключається можливість виникнення та розвиток пожежі і впливу на людей її небезпечних факторів, а також забезпечується захист матеріальних цінностей.

Причинами пожеж та вибухів на підприємстві є порушення правил і норм пожежної безпеки, невиконання Закону “Про пожежну безпеку”.

Небезпечними факторами пожежі і вибуху, які можуть призвести до травми, отруєння, загибелі або матеріальних збитків є відкритий вогонь, іскри, підвищена температура, токсичні продукти горіння, дим, низький вміст кисню, обвалення будинків і споруд.

За стан пожежної безпеки на підприємстві відповідають її керівники, начальники цехів, майстри та інші керівники.

На підприємствах існує два види пожежної охорони: професійна і воєнізована. Воєнізована охорона створюється на об'єктах з підвищеною небезпекою. Крім того на підприємствах для посилення пожежної охорони організуються добровільні пожежні дружини і команди, добровільні пожежні товариства і пожежно-технічні комісії з числа робітників та службовців. При Міністерстві внутрішніх справ існує управління пожежної охорони (УПО) і його органи на місцях. До складу УПО входить Державний пожежний нагляд який здійснює:

Контроль за станом пожежної безпеки

Розробляє і погоджує протипожежні норми і праила та контролює їх виконання в проектах і безпосередньо на об'єктах народного господарства

Проводить розслідування і облік пожеж

Організовує протипожежну профілактику.

Протипожежна профілактика – це комплекс організаційних і технічних заходів, які спрямовані на здійснення безпеки людей, на попередження пожеж, локалізацію їх поширення, а також створення умов для успішного гасіння пожежі.

Відповідальним керівником робіт по ліквідації пожеж і аварій на підприємстві є головний інженер. Начальник структурного підрозділу, в якому виникла пожежа, є відповідальним виконавцем робіт по її ліквідації.

Протипожежні вимоги до будинків і споруд

Виходячи з властивостей речовин і матеріалів, умов їх застосування і обробки і у відповідності із ОНТП 24-86 “Визначення категорій приміщень і будівель по вибухопожежній і пожежній небезпеці” приміщення по вибухопожежній і пожежній небезпеці діляться на п'ять категорій – А, Б, В, Г, Д.

До категорії А належать приміщення, де перебувають спалімі та легкозаймисті рідини з температурою спалаху, що не перевищує 28°C, а також речовини і матеріали здатні вибухати і горіти при взаємодії з водою, киснем або одне з одним; при утворенні вибухонебезпечних сумішей розвивається розрахунковий надлишковий тиск вибуху 5 кПа.

До категорії Б належать приміщення, в яких є пил та волокна, легкозаймисті рідини з температурою спалаху понад 28°C та спалімі рідини в такій кількості, що можуть утворюватися вибухонебезпечні пилоповітряні та пароповітряні суміші, при займанні яких розвивається розрахунковий надлишковий тиск вибуху 5 кПа.

До категорії В належать приміщення, де перебувають спалімі та важкоспалімі рідини, тверді спалімі та важкоспалімі речовини та матеріали (в тому числі пил та волокна), а також речовини і матеріали які здатні при

взаємодії з водою, киснем повітря та одне з одним тільки горіти (за умови, що ці приміщення не відносяться до категорії А чи Б).

До категорії Г належать приміщення, в яких є неспалимі речовини та матеріали в гарячому, розпеченому або розплавленому стані, а також спалимі гази, рідини та тверді речовини, які спалюються або утилізуються як паливо; процес їх обробки супроводжується виділенням променевої теплоти, іскор та полум'я.

До категорії Д належать приміщення, в яких є неспалимі речовини та матеріали у холодному стані.

На розвиток пожежі у приміщеннях та спорудах значно впливає здатність окремих будівельних елементів чинити опір впливу тепла, тобто їх вогнестійкість.

Вогнестійкість – здатність будівельних конструкцій чинити опір дії високої температури, утворенню наскрізних тріщин та поширенню вогню в умовах пожежі і виконувати при цьому свої звичайні експлуатаційні функції. Вогнестійкість конструкцій будівель характеризується межею вогнестійкості.

Межа вогнестійкості – це час, на протязі якого конструкція може витримати дію вогню, а потім вже починається деформація.

Всі будівлі і споруди за ступенем вогнестійкості за СНиП 2.01.02-85 поділяють на 5 ступеней.

Будинок може належати до того або іншого ступеня вогнестійкості, якщо значення меж вогнестійкості і меж поширення вогню усіх конструкцій не перевищує значень вимог СНиП 2.01.02-85.

#### 7.2.2 Вплив електромагнітних коливань на біооб'єкт

Джерелами електромагнітних полів (ЕМП) є: атмосферна електрика, радіовипромінювання, електричні і магнітні поля Землі, штучні джерела (пристрої ТВЧ, радіомовлення і телебачення, радіолокація, радіонавігація й ін.). Джерелами випромінювання електромагнітної енергії є могутні телевізійні і радіомовні станції, промислові установки високочастотного нагрівання, а також багато вимірювальних, лабораторних приладів.



Джерелами випромінювання можуть бути будь-які елементи, які включені у високочастотний ланцюг.

Струми високої частоти створюють у повітрі випромінювання, що мають ту ж електромагнітну природу, що й інфрачервоне, видиме, рентгенівське і гамма-випромінювання. Розходження між цими видами енергії - у довжині хвилі і частоті коливань, а виходить, і у величині енергії кванта, що складає електромагнітне поле.

Промислова електротермія, у якій застосовуються струми радіочастот для електротермічної обробки матеріалів і виробів (зварювання, плавка, кування, загартування, пайка металів; сушіння, спікання і склеювання неметалів), широке впровадження радіоелектроніки в народне господарство дозволяють значно поліпшити умови праці, знизити трудомісткість робіт, домогтися високої економічності процесів виробництва. Однак електромагнітні випромінювання радіочастотних установок, впливаючи на організм людини в дозах, що перевищують припустимі, можуть бути причиною професійних захворювань. В результаті можливі зміни нервової, серцево-судинної, ендокринної і інших систем організму людини.

Дія електромагнітних полів на організм людини виявляється у функціональному розладі центральної нервової системи; суб'єктивні відчуття при цьому - підвищена стомлюваність, головні болі і т.д. Первинним проявом дії електромагнітної енергії є нагрівання, що може привести до змін і навіть до ушкоджень тканин і органів. Механізм поглинання енергії досить складний. Можливий також перегрів організму, зміна частоти пульсу, судинних реакцій. Поля надвисоких частот можуть впливати на очі, що приводить до виникнення катаракти (помутніння кристалика). Багаторазові повторні опромінення малої інтенсивності можуть приводити до стійких функціональних розладів центральної нервової системи. Ступінь біологічного впливу електромагнітних полів на організм людини залежить від частоти коливань, напруженості й інтенсивності поля, тривалості його впливу. Біологічний вплив полів різних діапазонів неоднаковий. Зміни, що виникають в організмі під впливом електромагнітних полів, найчастіше оборотні.

В результаті тривалого перебування в зоні дії електромагнітних полів настають передчасна стомлюваність, чи сонливість порушення сну, з'являються часті головні болі, настає розлад нервової системи й ін. При систематичному опроміненні спостерігаються стійкі нервово-психічні захворювання, зміна кров'яного тиску, уповільнення пульсу, трофічні явища (випадання волосся, ламкість нігтів і т.п.).

Аналогічний вплив на організм людини робить електромагнітне поле промислової частоти в електроустановках надвисокої напруги. Інтенсивні електромагнітні поля викликають у працюючих порушення функціонального стану центральної нервової системи, серцево-судинної системи і периферичної крові. При цьому спостерігається підвищена стомлюваність, млявість, зниження точності робочих рухів, зміна кров'яного тиску і пульсу, виникнення болів у серці (звичайно супроводжується аритмією), головні болі.

Передбачається, що порушення регуляції фізіологічних функцій організму обумовлено впливом поля на різні відділи нервової системи. При цьому підвищення збудливості центральної нервової системи відбувається за рахунок рефлекторної дії поля, а гальмівний ефект - за рахунок прямого впливу поля на структури головного і спинного мозку. Вважається, що кора головного мозку, а також проміжний мозок особливо чутливі до впливу поля.

Поряд з біологічною дією електричне поле обумовлює виникнення розрядів між людиною і металевим предметом, що має інший, чим людина, потенціал. Якщо людина стоїть безпосередньо на землі чи на струмопровідній заземленій підставі, то потенціал її тіла практично дорівнює нулю, а якщо вона ізольована від землі, то тіло виявляється під деяким потенціалом, що досягає іноді декількох кіловольт.

Очевидно, що дотик людини, ізольованої від землі, до заземленого металевого предмета, так само як і дотик людини, що має контакт із землею, до металевого предмета, ізольований від землі, супроводжується проходженням через людину в землю розрядного струму, що може викликати хворобливі відчуття, особливо в перший момент. Частий дотик супроводжується іскровим розрядом. У випадку дотику до ізольованого від землі металевому предмету

великої довжини (трубопровід, дротова огорожа на дерев'яних стійках і т.п. чи великого розміру металевий дах дерев'яного будинку й ін.) сила струму, що проходить через людину, може досягати значень, небезпечних для життя.

### 7.2.3 Вплив електричного струму на біооб'єкт

Електричний струм, проходячи через тіло людини, зумовлює перетворення поглинутої організмом електричної енергії в інші види і спричиняє термічну, електролітичну, механічну і біологічну дію.

Найбільш складною є біологічна дія, яка притаманна тільки живим організмам. Термічний і електролітичний вплив властиві будь-яким провідникам.

Термічний вплив електричного струму характеризується нагріванням тканин аж до опіків.

Статистика свідчить, що більше половини всіх електротравм становлять опіки. Вони важко піддаються лікуванню, тому що глибоко проникають у тканини організму. В електроустановках напругою до 1 кВ найчастіше спостерігаються опіки контактного виду при дотиканні тіла до струмопровідних частин. При проходженні через тіло людини електричного струму в тканинах виділяється тепло (Дж) в кількості:

$$Q = I_l^2 \cdot R_l \cdot t,$$

де  $I_l$  – струм, який проходить через тіло людини, А;  $R_l$  – опір тіла людини, Ом;  $t$  – час проходження струму, с.

Опіки можливі при проходженні через тіло людини струму більше 1А. Тільки при великому струмі тканини, які уражаються, нагріваються до температури 60-700 °С і вище, при якій згортається білок і з'являються опіки.

Майже у всіх випадках включення людини в електричний ланцюг на її тілі і в місцях дотикання спостерігаються “електричні знаки” сіро-жовтого кольору круглої або овальної форми.

При опіках від впливу електричної дуги можлива металізація шкіри частками металу дугової плазми. Уражена ділянка шкіри стає твердою, набуває кольору солей металу, які потрапили в шкіру.

Електролітична дія струму виявляється у розкладанні органічної рідини, в тому числі крові, яка є електролітом, та в порушенні її фізико-хімічного складу.

Біологічна дія струму виявляється через подразнення і збудження живих тканин організму, а також порушення внутрішніх біологічних процесів.

Механічна дія струму призводить до розриву тканин організму внаслідок електродинамічного ефекту, а також миттєвого вибухоподібного утворення пари з тканинної рідини і крові.

Внаслідок дії електричного струму або електричної дуги виникає електротравма. Електротравми умовно поділяють на загальні і місцеві. До місцевих травм належать опіки, електричні знаки, електрометалізація шкіри, механічні пошкодження, а також електрофтальмія (запалення очей внаслідок впливу ультрафіолетових променів електричної дуги).

Загальні електротравми називають також електричними ударами. Вони є найбільш небезпечним видом електротравм. При електричних ударах виникає збудження живих тканин, судомне скорочення м'язів, параліч м'язів опорно-рухового апарату, м'язів грудної клітки (дихальних), м'язів шлуночків серця.

Розрізняють три ступені впливу струму при проходженні через організм людини (змінний струм):

- відчутний струм – початок болісних відчуттів (до 0-1,5 мА);
- невідпускний струм – судоми і біль, важке дихання (10-15 мА);
- фібриляційний струм – фібриляція серця при тривалості дії струму 2-3с, параліч дихання (90-100 мА).

Змінний струм небезпечніший за постійний. При струмі 20-25 мА пальці судомно стискають узятий в руку предмет, який опинився під напругою, в м'язи передпліччя паралізуються і людина не може звільнитися від дії струму. У багатьох паралізуються голосові зв'язки: вони не можуть покликати на допомогу.

Має значення місце протікання струму через тіло і особливо місця входу і виходу струму. Із можливих шляхів проходження струму через тіло людини найбільш небезпечним є той, при якому вражається головний мозок (голова-руки, голова-ноги), серце і легені (руки-ноги). Але відомі випадки смертельних уражень електричним струмом, коли струм зовсім не проходив через серце, легені, а йшов, наприклад, через палець або через дві точки на гомілці. Це пояснюється існуванням на тілі людини особливо уразливих точок, які використовують при лікуванні голкотерапією.

При ураженні електричним струмом насамперед необхідно надати потерпілому першу долікарську допомогу.

## РОЗДІЛ 8

### ЕКОЛОГІЯ

#### 8.1 Актуальність екологічних проблем

Враховуючи глобальні та регіональні екологічні чинники і сучасні екологічні проблеми, заважаючи на зростання потреб суспільства у використанні природних ресурсів, на асі нагальним стає охорона навколишнього середовища.

Наприкінці ХХ ст. дія генеруючих екологічну кризу чинників, зумовлених зростанням кількості населення та активізацією виробничої діяльності із застосуванням найновіших досягнень науково-технічного прогресу при низькій екологічній свідомості, набула справді руйнівної сили. Все частіше виникає загроза кліматичних аномалій, поширюються незнані досі хвороби, зростає смертність у продуктивному, працездатному віці. Нині від екологічного забруднення навколишнього середовища людей гине більше, ніж їх загинуло під час минулих великих воєн.

Екологічна криза вже ступила на поріг третього тисячоліття, призводячи до загибелі джерел, великих і малих річок, деградації Чорного і Азовського морів, забруднення Дніпровських та інших водосховищ, озер та ставків. Через діяльність промислових підприємств і транспорту потерпають від задухи міста, від хімічного забруднення та ерозії втрачають родючість орні землі, збільшується кількість кислотних опадів, назавжди зникають деякі види рослин і тварин. Хворіють і вмирають люди, зменшується народжуваність, а серед тих, хто з'являється на світ – все більша кількість дітей із вродженими вадами, вадами розвитку, розумово відсталих та неповноцінних.

Біосфера сьогодні не спроможна подолати навалу екологічного бруду, її хворий, отруєний організм вже не здатний до ефективного самоочищення, саморегулювання й самовідновлення – він продовжує забруднюватися, що призводить до жахливих катаклізмів.

Відвернення глобальної екологічної кризи, відновлення природи сьогодні є найважливішим завданням людської спільноти. Вирішення цієї нагальної проблеми потребує відповідних змін в екологічній стратегії і тактиці, і, в першу чергу, в свідомості людей, вихованні в них екологічного світогляду та запровадження екологічної освіти.

## 8.2 Шкідливий вплив на довкілля при виготовленні блоку живлення

Технологічний процес виробництва блоків живлення складається з ряду типових операцій, що використовуються при виготовленні радіоапаратури будь-якого виду:

- штампування металічних частин корпусу;
- травлення друкованої плати;
- свердління отворів;
- промивка друкованих плат;
- маркування фарбою, покриття лаком;
- пайка, флюсування.

Кожна з вище перерахованих операцій використовує в своєму процесі хімічні речовини, залишки, відходи або випари які потребують нейтралізації для зменшення впливу на навколишнє середовище і здоров'я людей.

Механічні операції виготовлення деталей корпусу, штампування, свердління отворів друкованої плати створюють, перш за все, теплове забруднення, залишки використаних матеріалів: пластмаси, металеві стружки, металевого пилю, абразивного пилю, мономерів та органічних компонентів.

Операція травлення друкованої плати включає в себе нанесення захисної маски, а травлення покриття кислотними розчинами. Травлення такими розчинами потребує використання води для промивки, а це забруднює воду сполуками міді. Злив такої води заборонений, бо вона є небезпечною для оточуючого середовища.

Операція промивки друкованих плат в своєму процесі використовує спирто-бензинову суміш. При цьому в повітря виділяються пари спирту і бензину.

Великої уваги, в плані екології, потребують операції пайки друкованих плат. В процесі пайки використовуються переважно олов'яно-свинцевий припой та флюс – каніфоль. Як результат, в повітря попадають пари олова і свинцю, які є дуже шкідливими для навколишнього середовища.

Операція лакування і фарбування потребує використання лаку та, в основному, фарб на нітроемалевій основі. Сушка деталей після лакування проводиться в сушильних шафах (має місце надлишок тепла, який необхідно відводити) або на повітрі. В кожному випадку виділяються шкідливі випари розчинників лаку (епоксидні смоли), які потребують нейтралізації.

### 8.3 Заходи охорони довкілля при промислових процесах

Одним з важливих при плануванні виробництва блоку живлення та розробці технології виготовлення складових частин апарату є оцінка і розрахунок впливу процесу на навколишнє середовище. Порівнюється величина граничнодопустимих норм і концентрацій з об'ємами викидів, що утворюються в процесі виробництва, плануються і впроваджуються заходи по зменшенні відходів для кожної операції технологічного процесу.

Оскільки важливим є раціональне використання води для промивки в процесі травлення друкованих плат (та в інших операціях), створюють спеціальне каскадне використання води в спеціальних ваннах. Такий захід дає помітну економію води. Воду, забруднену іонами міді, очищають багатьма методами. Основним є реагентна очистка, в процесі якої додається реагент (гідроксид кальцію), що зв'язує мідь. Далі вода фільтрується і, для раціонального використання, знову використовується в технологічному процесі. Використовується також спосіб коагуляції – очищення води від колоїдних розчинів, що сприяє укрупненню частинок міді. Далі використовуються фільтри.



Процес, де наявні механічні операції, що створюють теплове, пилове забруднення, потребують наявності протяжно-витяжної вентиляції, зволоження повітря робочої зони. Вентиляційна система обладнується системою фільтрів, які затримують шкідливі для навколишнього середовища пил і тепло.

Операції лакування і фарбування друкованих плат, при виробництві проєктованого приладу, використовують методи нанесення матеріалу, які дозволяють зменшити до мінімуму викиди (нанесення пензликом малими кількостями). Крім того дані операції виконуються на спеціально обладнаних витяжною вентиляцією ділянках і закритих приміщеннях.

Оскільки операція пайки друкованих плат розділена на багато операцій (пайка окремих елементів), які виконуються на окремих робочих місцях, кожен робоче місце обладнується витяжною вентиляцією. Для зменшення шкідливих викидів в атмосферу (парів свинцю) використовується потужна вентиляційна система, яка складається з кількох ступенів.

Використання найновіших досягнень елементної бази при виробництві проєктованого приладу дозволило скоротити до мінімуму кількість дискретних елементів, для встановлення яких необхідно було б використати надлишок матеріалів.

З метою захисту довкілля ефективним є введення в дію окремих виробничих потужностей з охорони навколишнього середовища, до них відносяться:

- станції для очищення стічних вод;
- системи оборотного водопостачання;
- установки для вловлювання і знешкодження шкідливих речовин з повітря;
- підприємства і полігони з утилізації, знешкодження і захоронення токсичних промислових, побутових та інших відходів.

Оскільки безвідходне виробництво на даному етапі НТР неможливе, необхідно створювати ефективне очищення та утилізацію відходів виробництва, раціонально використовувати матеріали та природні ресурси, оскільки вони є запорукою існування всього живого на Землі.



## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

За результатами виконання кваліфікаційної роботи магістра можна зробити наступні висновки:

1. Проаналізовано лінійні та імпульсні блоки живлення і дано їх порівняння. Встановлено, що при підвищенні якості блоків живлення збільшується і їх собівартість. Тому актуальною є задача вибору оптимального співвідношення ціни та якості блока живлення, що і буде визначатися як ефективність блока живлення. Також розглянуто блоки живлення як складні системи і проаналізовано такі параметри як складність і якість, оскільки вони будуть визначати в кінцевому випадку ефективність блока живлення.

2. Проведено аналіз типів імпульсних перетворювачів постійного струму, зокрема однокітних прямоходових і зворотньоходових, двокітних півмостових і повних мостових, а також квазірезонансних. Встановлено, що рекомендується перший тип використовувати при потужностях до 100-150 Вт, півмостові перетворювачі – при потужностях 200-1000 Вт, мостові та квазірезонансні – на вищих потужностях.

3. Встановлено, що існують рекомендації щодо вибору топології імпульсних перетворювачів постійного струму залежно від потужності, вартості та коефіцієнта корисної дії. Для потужностей нижче 100-150 Вт рекомендованою є зворотньоходова топологія, завдяки малому числу (а отже, і вартості) елементів і більш високому ККД. При вихідній потужності від 150 до 500 Вт рекомендованою стає півмостова топологія, в якій вартість елементів вище, проте все ще в розумних межах. При потужностях понад 500 Вт до декількох кіловат використовується повна мостова топологія. Вона вимагає чотири ключі, два з яких мають "плаваючі" схеми управління, і її реалізація є найдорожчою, однак при таких рівнях вихідної потужності додаткові витрати необхідні.

4. Проаналізовано методики формування сигналів для збільшення ККД імпульсного перетворювача постійного струму і основні втрати всередині імпульсного джерела живлення з ШІМ, зокрема: втрати на ключі, втрати на

випрямлячеві, втрати, пов'язані з конденсаторами фільтрів, статичні втрати, гістерезисні втрати, втрати від вихрових струмів, резистивні втрати, основні паразитні елементи в перетворювачах та проаналізовано методики зменшення основних втрат

5. Проведено проектування імпульсного перетворювача постійного струму потужністю 1000 Вт. За основу побудови вибираємо структуру півмостового перетворювача. За основу блока живлення використано міросхему IR2153/ IR2155. Враховуючи усі описані раніше методи підвищення ефективності блоків живлення в отриманому варіанті ціна і якість знаходяться а оптимальному рівні.

1. Импульсные источники питания. Теоретические основы проектирования и руководство по практическому применению / Мэк Р. / Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2008 – 272 с.
2. Источники питания. Расчет и конструирование / Браун М. / Пер. с англ. – К.: «МК-Пресс», 2007 – 288 с.
3. <http://buklib.net/books/37218/> Методики визначення ефективності
4. <https://uk.wikipedia.org/wiki/Ефективність>
5. <https://uk.wikipedia.org/> Теорія складності обчислень
6. <https://uk.wikipedia.org/wiki/> Якість продукції
7. Источники электропитания радиоэлектронной аппаратуры / Березин О.К., Костиков В.Г., Шахнов В.А. – М.: «Три Л», 2000. – 400 с.
8. Е.М. Макаев. «Основы радиоэлектроники», Москва, «Радио и связь», 1990.
9. Семенов Б.Ю. Силовая электроника для любителей и профессионалов.- М.:СОЛОН Р, 2001. - 321с.
10. Полупроводниковые приемно-усилительные устройства:Справ, радиолюбителя/ Р.М. Терещук, К.М. Терещук, С.А. Седов. - 4-е изд., стер.- Киев: Наук. думка, 1988,-800с.: ил.-Библиогр.: с. 765-800.
11. П. Хоровиц, У. Хилл. Искусство схемотехники. 2.М: Мир, 1986. - 590 с.
12. Основа теории транзисторов и транзисторных схем. / И.П.Степаненко. - М., «Энергия», 1977. – 672 с.
13. Мощные полупроводниковые приборы. Транзисторы: Справочник. / Б. А. Бародин, В. М. Ломакин, В. В. Мокряком и др.; Под ред. А.В. Голомедова. - М., «Радио и связь», 1985. – 560 с.
14. Полупроводниковые приборы. Транзисторы: Справочник. / В.А. Аронов, А. В. Баюков, А. А.Зайцев и др. Под общей редакцией Н. Н. Горюнова - М., «Энергоиздат», 1982. – 904 с.

15. Транзисторы для аппаратуры широкого применения: Справочник. / К. М. Бережнева, Е. И. Гантман, Т. И. Давыдова и др. Под общей редакцией Б.Л. Перельман – М., «Радио и связь», 1981. – 656 с.
16. Источники электропитания на полупроводниковых приборах. Проектирование и расчет/С. Д. Додик, Ю. Я. Дусавицкий, К. Б. Мазель и др.; Под ред. С. Д. Додика и Е. И. Гальперина. — М: Сов. радио, 1969. — 448 с.
17. Мелешин В. И. Энергетические соотношения в ключевых преобразователях постоянного напряжения. — В сб. Электронная техника в автоматике. Выл. 9/Под ред. Ю. И. Конева. — М.: Сов. радио, 1977, с. 83 — 98.
18. Мелешин В. И., Конев Ю. И. Миниатюризация преобразователя переменного напряжения в стабилизированное постоянное. — В сб.: Электронная техника в автоматике. Вып. 7 / Под ред. Ю. И. Конева. — М.: Сов. радио, 1975, с. 36 — 45.
19. Лоскутов, А.Ю.; Михайлов, А.С. (2007). Основы теории сложных систем. Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований. – 620 с.
20. Лазарев, Ю. Начала программирования в среде Matlab : учеб пособ. // Ю. Лазарев. – Киев – НТУУ “КПИ”, 2003. – 425 с.
21. Ануфриев, И.Е. MATLAB 7. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 1104 с.
22. Вайнштейн, С.Я., Безпека і охорона праці на підприємствах машинобудування. – К.: Техніка, 1967.
23. Охрана окружающей среды: учеб. для техн. спец. вузов под ред Белова С.В. – М.: В/ш, 1996.
24. Кучерявий, В.П. Екологія :Підручник – Львів: Світ, 2001 – 500 с: іл.

# ДОДАТКИ

УДК 621.311.6

О. Голояд, А. Шурхай, І. Делів

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ІМПУЛЬСНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ  
ПОСТІЙНОГО СТРУМУ**

UDC 621.311.6

O. Goloyad, A. Shurhai, I. Dediv

(Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ukraine)

**INCREASING THE EFFICIENCY OF PULSE CONVERTERS**

Інтенсифікація сучасного виробництва є неможливою без прискореного розвитку приладобудування, обчислюваної техніки, радіотехніки. Каталізатором розвитку цих галузей є розвиток електроніки і мікроелектроніки. Особлива роль в розвитку радіоелектроніки належить джерелам живлення – пристроям, які забезпечують електронні пристрої електричною енергією для їх живлення. Особлива увага приділяється вторинним джерелам електроживлення.

В зв'язку з надзвичайно широкою областю використання джерел живлення існує велика різноманітність їх типів. По принципу роботи джерела живлення можуть бути гальванічними, електричними, термоелектричними, механічними, п'єзоелектричними, комбінованими.

Класичним вторинним джерелом живлення є трансформаторний. У загальному випадку він складається з понижуючого трансформатора або автотрансформатора, у якого первинна обмотка розрахована на мережеву напругу. Потім встановлюється випрямляч, що перетворює змінну напругу в постійну. У більшості випадків випрямляч складається з одного діода (однопівперіодний випрямляч) або чотирьох діодів, що утворюють діодний міст (двохпівперіодний випрямляч). Іноді використовуються й інші схеми, наприклад, в випрямлячах з подвоєнням напруги. Після випрямляча встановлюється фільтр, що згладжує коливання (пульсації). Зазвичай він являє собою просто конденсатор великої ємності.

Особливу роль відіграють вторинні джерела живлення з перетворенням напруги – імпульсні перетворювачі постійного струму. Це дає можливість споживачу значно зменшити габаритні розміри джерела живлення, знизити рівень пульсації вихідної напруги із-за підвищення частоти, яка поступає на вхід випрямляча. Однак існує застаріла класифікація та рекомендації щодо вибору структури та схеми-технічних рішень побудови імпульсних перетворювачів постійного струму, зокрема і потужних, внаслідок чого зменшується їх ефективність, що визначається оптимальним співвідношенням показників якості роботи джерела живлення із економічними показниками його собівартості.

Тому обґрунтування принципів побудови імпульсних перетворювачів постійного струму, зокрема потужних, для підвищення їх ефективності із паралельним забезпеченням оптимальної складності та собівартості є актуальною задачею.

**Література**

1. Импульсные источники питания. Теоретические основы проектирования и руководство по практическому применению / Мзк Р. / Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2008 – 272 с.
2. Источники питания. Расчет и конструирование / Браун М. / Пер. с англ. – К.: «МК-Пресс», 2007 – 288 с.
3. Семенов Б.Ю. Силовая электроника для любителей и профессионалов. – М.: СОЛОН Р, 2001. – 321 с.
4. Источники электропитания радиоэлектронной аппаратуры / Березин О. К., Костиков В. Г., Шахнов В. А. – М.: «Три Ль», 2000. – 400 с.