

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія»
Кафедра електротехніки і електроенергетики

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

магістра

на тему

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИСОКОГО РІВНЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ БЕЗПЕКИ ЗА
РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ СИЛОВОГО МОДУЛЯ ЖИВЛЕННЯ ДЛЯ
ЗАРЯДКИ КОНДЕНСАТОРНИХ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ СИСТЕМ

(тема кваліфікаційної роботи)

Виконав: студент 2 маг. курсу, групи ДЕА-ЕБ23мг-1
Спеціальності: 141 Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка

_____/ Дмитро ВОРОВИК
(підпис) (ім'я та прізвище)

Керівник _____/ Юлія ОЛІЙНИК
(підпис) (ім'я та прізвище)

Рецензент _____/ Світлана АРТЮХ
(підпис) (ім'я та прізвище)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри _____/ Артем ЧЕРНЮК
(підпис) (ім'я та прізвище)

Нормоконтроль _____/ Юлія ОЛІЙНИК
(підпис) (ім'я та прізвище)

Секретар ЕК _____/ Ігор КИРИСОВ
(підпис) (ім'я та прізвище)

Харків – 2024 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ В. Н. КАРАЗІНА

Навчально – науковий інститут Українська інженерно-педагогічна академія
Кафедра електротехніки і електроенергетики
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітньо-професійна програма Енергетична безпека

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

(підпис)

К.Т.Н., доцент Артем ЧЕРНЮК
(науковий ступінь, вчене звання, ім'я, прізвище)

« ____ » _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу дипломну роботу
другого (магістерського) рівня вищої освіти
здобувачу вищої освіти Дмитру ВОРОВИКУ

1. Тема «Забезпечення високого рівня енергетичної безпеки за рахунок використання силового модуля живлення для зарядки конденсаторних енергозберігаючих систем»
затверджена наказом по університету № 4801-5/3345 від «12» жовтня 2024 р.

2. Термін здачі закінченої роботи «10» грудня 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи/проєкту: Напруга, потужність та ємність конденсаторних енергозберігаючих систем; характеристики силових модулів живлення (напруга живлення, вихідна потужність, ефективність), напруга та струм у різних точках системи.

4. Зміст роботи/проєкту (перелік питань, які належить розробити):
ВСТУП; РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СИСТЕМ НАКОПИЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ; РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ СХЕМ ЗАРЯДУ ЄМНІСНИХ НАКОПИЧУВАЧІВ ЕНЕРГІЇ; РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА СИСТЕМ ЗАРЯДУ ЄМНІСНИХ НАКОПИЧУВАЧІВ ЕНЕРГІЇ; ВИСНОВКИ

5.Перелік графічного матеріалу (презентаційний матеріал):
Слайди презентації

6. Консультант:

Розділ	Консультант	Підпис, дата		Оцінка (бали)
		Завдання видав	Завдання прийняв	

7. Дата видачі завдання «12» жовтня 2024 р.

Керівник

(підпис)

Юлія ОЛІЙНИК

(ім'я, прізвище)

Завдання прийняв до виконання

(підпис)

Дмитро ВОРОВИК

(ім'я, прізвище)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН-ГРАФІК
виконання кваліфікаційної дипломної роботи

№ з/п	Назва етапів роботи та питань, які мають бути розроблені відповідно до завдання	Термін виконання	Позначки керівника про виконання завдань
1	Визначення актуальності теми дослідження	12.10.24 – 15.10.24	
2	Проведення аналізу наукової літератури	16.10.24 – 23.10.24	
3	Виконання першого розділу дипломної роботи	24.10.24 – 01.11.24	
4	Виконання другого та третього розділу дипломної роботи	02.11.24 – 26.11.24	
5	Оформлення пояснювальної записки	27.11.24 – 07.12.24	

Студент (ка)

(підпис)

Дмитро ВОРОВИК

(ім'я, прізвище)

Нормоконтроль

(підпис)

Юлія ОЛІЙНИК

(ім'я, прізвище)

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ВСТУП

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СИСТЕМ НАКОПИЧЕННЯ
ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

1.1. Види систем накопичення електроенергії

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ СХЕМ ЗАРЯДУ ЄМНІСНИХ
НАКОПИЧУВАЧІВ ЕНЕРГІЇ

2.1. Застосування зарядних пристроїв у
електротехнологіях

2.2. Імпульсні джерела живлення

2.3. Влаштування силових вузлів імпульсних джерел
живлення

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА СИСТЕМ ЗАРЯДУ ЄМНІСНИХ
НАКОПИЧУВАЧІВ ЕНЕРГІЇ

3.1. Загальні відомості

3.2. Порівняльний аналіз методів перетворення енергії в
зарядних пристроях ємнісних накопичувачів енергії

3.3. Вимоги до зарядних пристроїв ємнісних
накопичувачів енергії

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3

ВИСНОВКИ Й РЕКОМЕНДАЦІЇ

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ЕЕ – електрична енергія

СНЕ – системи накопичення електричної енергії

ГІН- генератор імпульсної напруги

ІП- імпульсні джерела живлення

ККД- коефіцієнт корисної дії

ЕРС- електрорушійна сил

АС-DC– постійний струм/постійний струм

DC-DC – постійний струм/змінний струм

DC-АС – перетворювач або інвертор

ВФ1 – випрямлювач і фільтр вхідної напруги

І – інвертор

Т – імпульсний трансформатор

ВФ2 – випрямлювач і фільтр вихідної напруги

ЛЗ– ланцюг зворотного зв'язку

ДВЕЖ – джерело вторинного електроживлення

РЕФЕРАТ

до магістерської роботи на тему

«Забезпечення високого рівня енергетичної безпеки за рахунок використання силового модуля живлення для зарядки конденсаторних енергозберігаючих систем»

ВОРОВИКА ДМИТРА

Магістерська робота виконана на ____ сторінок, містить ____ таблиць, ____ рисунків, що характеризують результати дослідження, використано літературних джерел.

Забезпечення енергетичної безпеки є критичною задачею сучасної інфраструктури, особливо в умовах збільшення потреб у стійких джерелах живлення та ефективного накопичення енергії. Дана робота досліджує методи підвищення енергетичної безпеки за рахунок застосування силових модулів живлення для заряджання таких накопичувачів, що дозволяє підвищити ефективність зберігання електроенергії та стабільність її подачі в різних системах.

В магістерській роботі досліджено можливість підвищення енергетичної безпеки за допомогою впровадження ефективних систем заряджання ємнісних накопичувачів. Розроблена система заряджання з використанням силового модуля живлення демонструє високий рівень енергетичної ефективності та стабільності, що робить її перспективною для застосування в різних галузях промисловості та енергетики. Використання ємнісних накопичувачів та спеціалізованих зарядних схем значно підвищує надійність енергопостачання та сприяє зниженню втрат електроенергії.

ЕЛЕКТРИЧНА ЕНЕРГІЯ, СИСТЕМИ НАКОПИЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ, ГЕНЕРАТОР ІМПУЛЬСНОЇ НАПРУГИ, ІМПУЛЬСНІ ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ, ДЖЕРЕЛО ВТОРИННОГО ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ

ABSTRACT

to a master's thesis on

«Ensuring a high level of energy security through the use of a power supply module for charging capacitor energy-saving systems»

VOROVYK DMYTRO

The master's work is executed on ____ pages, contains ____ tables, ____ drawings, which characterize the results of research, additions, used literary sources.

Ensuring energy security is a critical task of modern infrastructure, especially in the face of increasing needs for sustainable power supplies and efficient energy storage.

This work explores methods of improving energy security through the use of power supply modules for charging such drives, which allows to increase the efficiency of electricity storage and the stability of its supply in various systems.

The Master's thesis explores the possibility of improving energy security through the introduction of effective charging systems for capacitive storage devices.

The developed charging system using the power supply module demonstrates a high level of energy efficiency and stability, which makes it promising for applications in various industries and energy. The use of capacitive storage and specialized charging circuits significantly increases the reliability of power supply and helps to reduce electricity losses.

ELECTRIC ENERGY, ELECTRIC ENERGY STORAGE SYSTEMS, PULSE VOLTAGE GENERATOR, PULSE POWER SUPPLIES, SECONDARY POWER SUPPLY

ВСТУП

Актуальність.

Основна відмінність електроенергетики від інших промислових галузей - неможливість зберігання виробленого нею товару у промислових масштабах. У кожен одиницю часу у цій галузі має вироблятися рівно стільки електроенергії, скільки потрібно споживачам.

Режим роботи будь-якої енергосистеми визначається насамперед ступенем навантаження її у бокі споживачів. Вночі споживання електроенергії значно знижується порівняно з денним, а вранці та ввечері - перевищує рівень середнього денного споживання. Постійні коливання навантаження призводять до того, що потужності, що генерують, значну частину часу працюють в економічно неоптимальному режимі.

Щоб забезпечити можливість компенсації пікових навантажень, необхідні або дорогі резервні потужності, що генерують, або складні географічно розподілені енергосистеми.

Існують три традиційні типи електростанцій: атомні (АЕС), теплові (ТЕС), гідроелектричні (ГЕС). Останніми роками до них додаються електростанції на поновлюваних джерелах: вітряні, сонячні, термальні. АЕС із міркувань безпеки не регулюють своє навантаження, ГЕС підходять для роботи з нерівномірним графіком навантаження, але не у всіх енергосистемах є ГЕС достатньої потужності. Основне навантаження щодо покриття нерівномірності добового споживання лягає на ТЕС. Це призводить до їхньої роботи у неекономічному режимі, збільшує витрату палива, підвищує вартість електроенергії.

Ефекти від накопичення:

✓ Використання накопичувачів дозволить оптимізувати графік навантаження на найдорожче обладнання, що генерує, що призведе до скорочення витрати вуглеводневого палива, збільшить надійність електропостачання.

✓ Накопичувачі дозволять створити енергетичний резерв без надмірної роботи потужностей, що генерують. Забезпечити спокійне проходження нічного мінімуму та денного максимуму навантажень.

✓ Виключаються перебої у живленні, створюється резерв у разі аварій. Електроенергія стає дешевшою.

✓ З'являється можливість накопичувати надлишки енергії від джерел розподіленої генерації та для індивідуальних резервів.

На сьогоднішній день 99% промислового накопичення та зберігання електроенергії забезпечують гідроакumuлюючі станції (ГАЕС). Вночі надлишки енергії використовуються ГАЕС для перекачування води у водосховища, а в моменти потреби в електроенергії ГАЕС використовують накопичену воду для генерації. Проте, їхнє будівництво потребує великих капітальних витрат і не скрізь можливе географічно.

До того ж, інерційність ГАЕС не дозволяє згладжувати короточасні піки навантаження.

Використовуються також накопичувачі на акумуляторних батареях, наприклад, на телефонних станціях як резервні джерела живлення. Дизельні підводні човни накопичують електроенергію в акумуляторах, а витрачають під час руху під водою.

Слід також згадати ємнісні накопичувачі, але вони мають малу питому ємність.

Гранична накопичена енергія в конденсатних батареях вбирається у 10 МДж. Накопичувачі на суперконденсаторах набули поширення як джерела живлення для запуску потужних дизельних двигунів.

Використання джерела живлення для заряджання ємнісних накопичувачів енергії є актуальною задачею та має ряд вагомих переваг, серед яких необхідно відмітити наступні.

✓ Ефективність і швидкість заряджання – майже всі сучасні джерела живлення здатні забезпечити високу швидкість заряджання ємнісних накопичувачів енергії завдяки їхній високій потужності. Це особливо

актуально в тих випадках, коли необхідно швидко накопичити енергію, наприклад, в електротранспорті або пристроях для зберігання енергії.

✓ Тривалість роботи та надійність - ємнісні накопичувачі енергії мають довгий термін служби і можуть витримувати багато циклів заряджання-розряджання без значної втрати ємності. Це робить їх привабливими для використання у важливих додатках, таких як безперебійні джерела живлення (UPS) та відновлювані джерела енергії.

✓ Екологічні аспекти - сучасні джерела живлення та ємнісні накопичувачі енергії можуть бути більш екологічно чистими порівняно з традиційними батареями. Вони містять менше шкідливих хімічних речовин і можуть бути більш енергоефективними.

✓ Інтеграція з відновлюваними джерелами енергії - ємнісні накопичувачі енергії ідеально підходять для інтеграції з відновлюваними джерелами енергії, такими як сонячні панелі та вітрові турбіни. Вони можуть швидко зберігати енергію, вироблену цими джерелами, для подальшого використання, коли необхідно.

✓ Інновації в технологіях зберігання енергії - розробка нових матеріалів та технологій для ємнісних накопичувачів енергії робить їх більш ефективними і доступними. Це, в свою чергу, стимулює розвиток нових рішень для заряджання та використання таких накопичувачів у різних сферах.

✓ Економічні переваги - завдяки їхньому довгому терміну служби і високій ефективності, використання ємнісних накопичувачів енергії може знижувати загальні витрати на обслуговування і експлуатацію систем зберігання енергії.

Таким чином, актуальність використання джерела живлення для заряджання ємнісних накопичувачів енергії обумовлена їхньою ефективністю, швидкістю заряджання, надійністю, екологічними перевагами, сумісністю з відновлюваними джерелами енергії, інноваціями у технологіях зберігання та економічними перевагами.

Мета роботи - розробити та обґрунтувати методи підвищення рівня енергетичної безпеки шляхом створення ефективної системи заряджання конденсаторних енергозберігаючих систем, використовуючи силовий модуль живлення, що дозволяє оптимізувати процес накопичення електричної енергії та підвищити стабільність і ефективність енергопостачання.

Завдання дослідження:

- Провести аналіз існуючих технологій накопичення електроенергії, особливо зосередившись на ємнісних накопичувачах.
- Дослідити та порівняти існуючі схеми заряджання конденсаторних накопичувачів з метою визначення оптимальних методів для енергозберігаючих систем.
- Розробити схему силового модуля живлення для заряджання ємнісних накопичувачів, яка забезпечить стабільне й ефективне накопичення електроенергії.
- Провести моделювання та експериментальні дослідження розробленої системи для оцінки її ефективності та можливостей впровадження в промислових умовах.
- Проаналізувати результати та розробити рекомендації щодо використання розробленої системи для підвищення рівня енергетичної безпеки.

Об'єкт дослідження - процеси заряджання та накопичення електроенергії у конденсаторних енергозберігаючих системах.

Предмет дослідження - технічні та конструктивні особливості застосування силового модуля живлення для заряджання ємнісних накопичувачів, а також методи підвищення ефективності цих систем для забезпечення енергетичної безпеки.

Магістерська кваліфікаційна робота на тему «Забезпечення високого рівня енергетичної безпеки за рахунок використання силового модуля живлення для зарядки конденсаторних енергозберігаючих систем»

складається з таких частин: перелік умовних позначень, вступ, три розділи, висновки, список посилань.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СИСТЕМ НАКОПИЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В СВІТІ

1.1. Види систем накопичення електроенергії

У вересні 2020 року було зауважено, що TVA планує запустити систему зберігання енергії потужністю 40 МВтч.

Управління долини Теннессі вперше набуде власної системи зберігання енергії на базі акумуляторних батарей. TVA оголосила, що встановлює сховище акумуляторних батарей поряд із промисловим комплексом у Вонорі (Vonore), штат Теннесі. Система зберігання енергії Vonore Battery використовуватиме літій-іонні акумулятори для зберігання 40 МВтч енергії.

Передбачається, що об'єкт Vonore буде розташований поруч із промисловими споживачами, які обслуговують Loudoun Utilities Board, і не вимагатиме додавання нових ліній електропередачі.

Vonore BESS буде першою системою зберігання батарей TVA, яка буде підключена до мережі, але не єдиною системою зберігання батарей у масштабі мережі, яку TVA використовуватиме. У лютому TVA оголосила про сонячний проект в окрузі Лоундс, штат Міссісіпі, в рамках своєї програми Green Invest, яка також включатиме 200 МВт-год акумуляторів енергії. Обидва проекти акумуляторів є частиною Інтегрованого ресурсного планування TVA у 2019 році.



Рисунок 1.1 - Система зберігання енергії на базі акумуляторних батарей

В Нідерландах в 2020 році введена в дію гібридна система накопичення енергії: Li-ion плюс маховики.

В Нідерландах введено в експлуатацію інноваційну гібридну систему накопичення енергії, що складається з літій-іонних акумуляторів виробництва швейцарської компанії Leclanché та механічних накопичувачів (маховиків) від голландського розробника S4 Energy.

Літій-іонні батареї потужністю 8,8 МВт та ємністю 7,12 МВт*год працюють разом із шістьма шістьма маховиковими системами KINEXT загальною потужністю 3 МВт. Потужність об'єкта розміром 9 ГВт використовується голландським системним оператором TenneT для підтримки стабілізації частоти в енергосистемі. Як зазначають розробники проекту, доповнення літій-іонних акумуляторів маховиками дозволить продовжити термін служби батарей як мінімум до 15 років та підвищить цінність системи загалом для TenneT.

За даними S4 Energy, KINEXT має масу 5000 кг і розкручується до швидкості 950 км/год. Ефективність пристрою сягає 92%. Швидкість відгуку менше 20 мілісекунд.

Голландія, яка кілька останніх десятиліть спиралася на природний газ, швидко збільшує потужність ВІЕ. Наприклад, сонячна енергетика країни зросла за підсумками 2019 р. до 7 ГВт, а офшорні вітрові електростанції до 2030 року вироблятимуть 40% електроенергії. У умовах ефективні системи накопичення енергії, звісно, є хорошим підмогою для системних операторів.



Рисунок 1.2 - Гібридна система накопичення енергії: Li-ion плюс маховики

У вересні 2020 року розроблено унікальну молекулу для зберігання сонячної енергії.

Дослідники з Університету Лінчепінга (LiU), Швеція, розробили молекулу, яка поглинає енергію сонячного світла та зберігає її у хімічних зв'язках. Можливе довгострокове використання молекули полягає в ефективному вловлюванні сонячної енергії та зберіганні її для подальшого використання. Результати дослідження опубліковані в Journal of the American Chemical Society (JACS).

Молекула може приймати дві різні форми: батьківську форму, яка може поглинати енергію сонячного світла, та альтернативну форму, в якій структура батьківської форми була змінена і стала набагато енергоємнішою, залишаючись при цьому стабільною. Це дозволяє ефективно зберігати енергію сонячного світла в молекулі.

Молекула належить до групи, відомої як "молекулярні фотоперемикачі". Вони завжди доступні у двох різних формах, ізомерах, які різняться за своєю хімічною структурою. Ці дві форми мають різні властивості, і, у разі молекули, розробленої дослідниками LiU, ця різниця полягає у вмісті енергії. Більшість хімічних реакцій починається у стані, коли молекула має високу енергію і потім перетворюється на молекулу з низькою енергією. У новому дослідженні вчені надійшли навпаки – молекула з низькою енергією стає молекулою з високою енергією.

Тепер дослідники вивчать, як накопичена енергія може бути вивільнена з багатою енергією форми молекули якнайкраще.

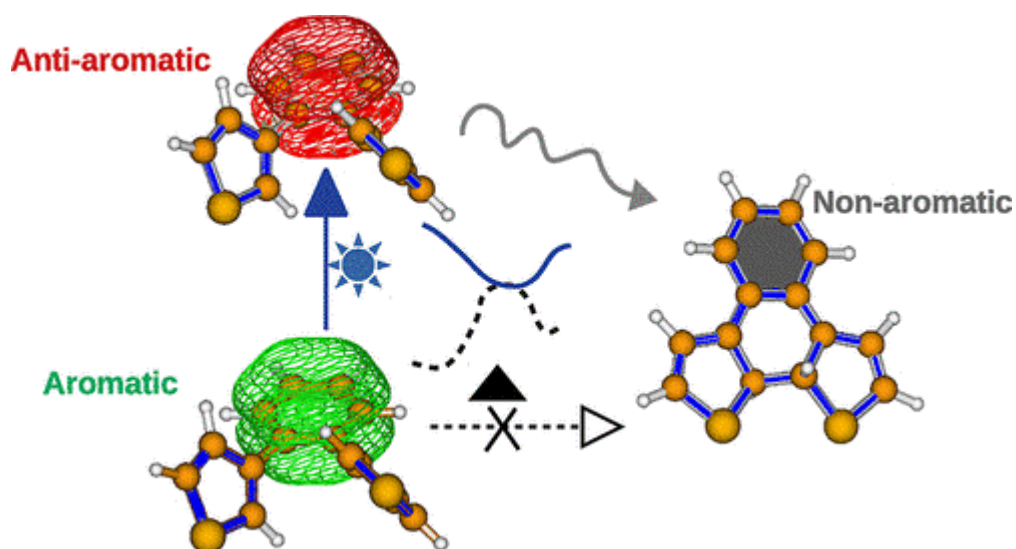


Рисунок 1.3 - Молекула для зберігання сонячної енергії

В Каліфорнії введено в дію в серпні 2020 року найбільшу у світі батареїну систему накопичення енергії потужністю 250 МВт.

Компанія LS Power ввела в експлуатацію найбільшу у світі систему накопичення енергії (СНЕ), в основі якої літій-іонні акумулятори. Розташований в окрузі Сан-Дієго (Каліфорнія), об'єкт Gateway Energy Storage має потужність 250 МВт.

Система, у якій працюють батареї LG Chem та інвертори SMA, спроектована компанією NEC. LS Power не називає ємність СНЕ, проте експерти оцінюють її в 1-1,5 ГВт * год, оскільки "рідко можна побачити великомасштабний накопичувач з тривалістю зберігання менше чотирьох-шостіх годин". Нова батарея буде задіяна для інтеграції зростаючих обсягів сонячної генерації в штаті Каліфорнія та підвищення надійності регіональної енергосистеми.

Gateway Energy Storage, мабуть, є найбільшим серед накопичувачів енергії на основі батареї у світі.



Рисунок 1.4. - Найбільша у світі батарейна система накопичення енергії
потужністю 250 МВт

В серпні 2020 року в США почалося будівництво літій-іонного меганакопичувача.

Pacific Gas & Electric та Tesla розпочали будівництво літій-іонної системи зберігання енергії 182,5 МВт/730 МВтч в окрузі Монтерей, Каліфорнія. PG&E володітиме об'єктом на своїй підстанції в Moss Landing, але проектування, будівництво та технічне обслуговування здійснюватимуться спільними зусиллями PG&E та Tesla.

Партнери вважають, що Moss Landing стане найбільшою у світі системою зберігання енергії на літій-іонних акумуляторах. Вона включас встановлення 256 акумуляторних блоків Tesla Megapack на 33 бетонних плитах. В одному блоці Megapack (який був випущений компанією минулого року та виробляється на гігафабриці Tesla в Неваді) може зберігатися до 3 МВт-год електроенергії. У кожному блоці поряд з акумуляторами розміщується обладнання для перетворення енергії. Крім того, разом із мегапакетами також будуть встановлені трансформатори та розподільні пристрої для підключення накопичувача енергії до системи передачі 115 кВ.

Ця система матиме ємність для зберігання та відправлення до мережі до 730 МВт-год енергії з максимальною видачею потужності 182,5 МВт протягом чотирьох годин у періоди високого попиту. Угода PG&E із Tesla передбачає можливість збільшення ємності системи до шести годин або 1,1 ГВт-год загалом.



Рисунок 1.5 - Літій-іонний меганакопичувач

Біо-батарея. Дослідники використовують бактерії для вироблення електроенергії. Існуючі електронні пристрої, що представлені на ринку, складаються з неорганічних матеріалів. Однак у лабораторіях готуються "мікроби-кіборги", які незабаром почнуть виробляти електрику. Дослідники з Технологічного інституту Карлсруе (KIT) вперше описали біогібридний матеріал із хорошою провідністю, який можна використовувати для виробництва «мікробної електрики». Що важливо, потік електронів в описаній ними біобатарей є керованим.

Бактерія *Shewanella oneidensis* відноситься до так званих екзоелектрогенних бактерій. Вони можуть генерувати електрони в процесі обміну речовин та транспортувати їх назовні клітини. Згідно з KIT, спроба зробити цю електрику придатною для використання завжди обмежувалася слабкою взаємодією організмів з електродом. На відміну від звичайних акумуляторів, матеріал у «біо-батарей» повинен не тільки проводити електрони до електрода, але в той же час оптимально пов'язувати якнайбільше

бактерій з електродом. Однак досі провідні матеріали, які можуть бути впроваджені бактерії, або були неефективними, або процеси, що проходять в них, не піддавалися контролю. Дослідники КІТ виявили рішення. Вони змогли розробити нанокompозитний матеріал, який підтримує зростання екзоелектрогенних бактерій та водночас проводить струм контрольованим чином. Вони створили пористий гідрогель, який складається з вуглецевих нанотрубок та наночастинок кремнезему (SiNPs), сплечених між собою нитками ДНК. Після формування основи структури матеріалу, до його складу було введено розчин, у якому містяться самі екзоелектрогенні бактерії *Shewanella oneidensis* та всі необхідні їм поживні речовини. Вирощування *Shewanella oneidensis* у провідних матеріалах показує, що екзоелектрогенні бактерії колонізують каркас, тоді як інші бактерії, такі як *Escherichia coli*, залишаються лише на поверхні матриці». Крім того, дослідницька група змогла довести, що чим більше бактеріальних клітин колонізує синтетичний матрикс, що проводить, тим більше збільшується потік електронів. Отриманий біогібридний композит залишався стабільним і показував електрохімічну активність протягом декількох днів, доводячи здатність ефективно проводити електрони, що виробляються бактеріями до електрода.

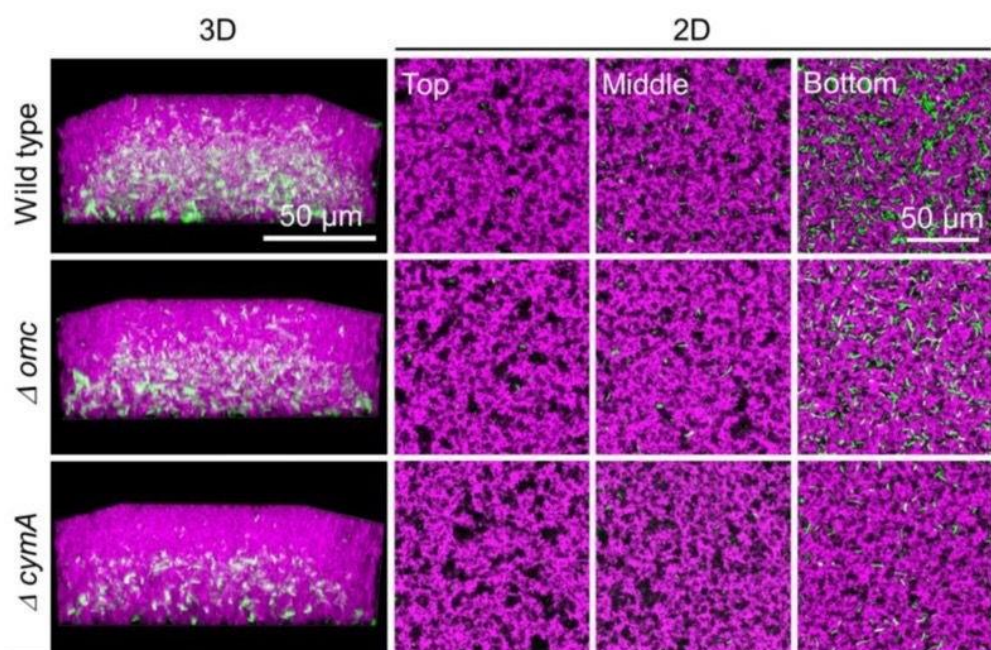


Рисунок 1.6. - Біо-батарея

У Великій Британії створюється нова гравітаційна система накопичення енергії.

Шотландський стартап Gravitricity оголосив про початок пілотного проекту гравітаційного накопичувача енергії на промисловому майданчику в порту Літ (Единбург), найбільшому закритому глибоководному порту Шотландії. Прототип потужністю 250 кВт використовуватиме два 25-тонні вантажі, підвішені на 16-метровій вежі на сталевих тросах. Вартість проекту складає 1 млн. фунтів стерлінгів.

Двомісячна програма випробувань має підтвердити модельні розрахунки та створити основу для першого повномасштабного проекту компанії потужністю 4 МВт, який збираються розпочати у 2021 році. Система Gravitricity промислового масштабу встановлюється над 150-1500-метровою шахтою. Електроенергія використовується для підняття вантажу (накопичення) та виробляється при його опусканні в шахту. Маса вантажів у промисловій системі Gravitricity, за даними компанії, може змінюватись від 500 до 5000 тонн. Компанія заявляє час відгуку – з нуля до повної потужності – не більше однієї секунди. Термін служби: 50 років без втрати продуктивності. Gravitricity планує впроваджувати свою технологію в шахтах, що вийшли з експлуатації, по всьому світу.

Гравітаційні накопичувачі – одна з перспективних технологій зберігання енергії, що тестується у різних країнах, але поки що не реалізована у промислових обсягах (ГАЕС – найближчий аналог гравітаційних СНЕ – ми тут не розглядаємо). Швейцарська компанія Energy Vault збирається поставити систему потужністю 4 МВт та ємністю 35 МВт*год для енергетичної компанії Tata Power.



Рисунок 1.7. - Гравітаційна система накопичення енергії

Total реалізує найбільший у Франції проект з акумулювання енергії.

Нафтогазовий гігант Total оголосив, що збудує у Франції накопичувач енергії потужністю 25 МВт і ємністю 25 МВт*год поблизу порту Дюнкерк. Це буде найбільша у країні система накопичення енергії на основі літій-іонних батарей.

Постачальником рішення є Saft, дочірня компанія Total. Система Intensium Max 20 High Energy складається з 11 контейнерів, що містять 2,3 МВт*год. Проект реалізується за результатами конкурсного відбору, проведеного французьким оператором RTE. Система накопичення енергії використовуватиметься для надання послуг швидкого резерву з метою підтримки стабільності французької енергосистеми.

Total підкреслює, що він створює портфель низьковуглецевих електроенергетичних проектів, на частку яких має припадати 15-20% продажів компанії до 2040 року.



Рисунок 1.8. - Накопичувач енергії потужністю 25 МВт і ємністю 25
МВт*год

ІВМ розробляє акумулятори з матеріалами з морської води, які можуть перевершити літій-іонні акумулятори.

Компанія ІВМ повідомила, що її фахівці розробили нову технологію виробництва та структуру акумуляторної батареї, яка за рядом показників перевершить популярні літій-іонні акумулятори. Більш того, як основні матеріали для виготовлення акумуляторів не знадобляться рідкісні та шкідливі для людини метали, такі як нікель і кобальт. Всі три ключові мінерали, необхідні для виготовлення чудо батарей, можна буде витягувати зі звичайної морської води.

Дослідження перебуває в ранній стадії розробки. Однак моделювання дозволяє очікувати, що нові матеріали для анодів, катодів і електроліту перспективних акумуляторів виявляться безпечнішими в плані ризику спалаху (у них висока температура займання), матимуть не меншу щільність запасу енергії, ніж літій-іонні акумулятори (800 Вт/л). та забезпечать дуже високу питому щільність потужності (від 10 000 Вт/л). При цьому заряд таких акумуляторів до 80% об'єму відбудуватиметься лише за 5 хвилин.

ІВМ вже уклала контракти на спільну розробку нового покоління акумуляторів та інфраструктури для їх вдосконалення та виробництва з Mercedes-Benz Research, Development North America, Central Glass та Sidus.

Такий великий союз на ранніх етапах розробки дозволяє припустити, що за бравурними заявами ІВМ стоїть щось вагоме і перспективне в відносно близькій перспективі.

Китай почав будувати найбільший у країні електрохімічний накопичувач.

Система накопичення енергії на 130,88 МВт/268,6 МВт*год стане найбільшою у КНР як за потужністю, так і за ємністю.

Китайський державний конгломерат China Energy Engineering Corp (СЕЕС) розпочав будівництво величезної системи накопичення енергії (СНЕ) у новому районі Цзянбей, Нанкін, у провінції Цзянсу. Компанія заявляє, що її накопичувач буде найбільшим у КНР за потужністю та ємністю. Інформація про конкретну технологію зберігання не розкривається, але ймовірно йдеться про літій-іонні акумулятори.

У лютому 2020 року китайський виробник li-ion батарей CATL встановив акумуляторну систему накопичення енергії ємністю 100 МВт*год, яка називалася тоді найбільшою в Китаї.

КНР веде масштабну роботу з розвитку промисловості зберігання енергії у країні. Будуються заводи з виробництва проточних акумуляторів гігаватного розміру, основні світові потужності з виробництва літій-іонних батарей концентруються у КНР. У країні прийнято загальнонаціональну стратегію розвитку систем накопичення енергії, а колосальні потужності сонячної та вітрової енергетики, розгорнуті в країні, підстобують їх впровадження.

Найближчим часом Китай змагатиметься зі США за звання найбільшого гравця в галузі зберігання енергії. Згідно з нещодавнім прогнозом Wood Mackenzie, ці дві країни спільно займуть 54% світового ринку СНЕ до 2024 року.

В Шотландії будується найбільша система зберігання енергії

Британська енергетична компанія Scottish Power планує побудувати накопичувач енергії потужністю 50 МВт для зберігання електрики, виробленої на 214 вітряках. Установка дозволить компанії накопичувати надлишки енергії, які генеруються при високій швидкості вітру, і використовувати їх у

безвітряну погоду, усуваючи, таким чином, головний недолік ВІЕ, що залежать від погоди. Як зазначає Guardian, цей проект стане найбільшою системою накопичення енергії у Великій Британії.

Будівництво накопичувача, що використовує літій-іонні акумулятори, розпочнеться на початку наступного року на вітровій електростанції Уайтлі у Шотландії. Завершити будівництво планується до кінця 2020 року. Подібні, але менш масштабні системи накопичення енергії з'являться ще щонайменше на шести об'єктах Scottish Power.

Лише кілька місяців тому компанія продала останні чотири газові електростанції в Англії, щоб повністю зосередитися на відновлюваних джерелах енергії. Проект гігантського накопичувача стане для Великобританії важливим кроком на шляху кліматичної нейтральності.

У штаті ЮТА планується створити найбільшу у світі мережу накопичення та зберігання енергії.

Першу в світі мережу, що акумулює енергію, побудує компанія Systems спільно з Magnum Development в американському штаті Юта. Її потужність складе 1 ГВт, що дозволить зберегти відновлювану енергію (ВЕ) тривалий час – кілька сезонів. Таким чином може вирішитись давня проблема – зберігання зайвого вироблення енергії.

Проект Advanced Clean Energy Storage (ACES) – це система акумулювання енергії з відновлюваних джерел. Передбачається, що обсягу енергії, що отримується, буде достатньо для того, щоб обслуговувати щорічно 150 тис домогосподарств. У мережі будуть застосовуватися кілька видів накопичувачів: інноваційні технології зберігання стисненого повітря, акумулятори, що мають високу ємність, а також твердооксидні паливні елементи.

Новий проект у разі його успішної реалізації зніме цілу низку проблем для регіону — накопичена відновлювана енергія зможе зберігатись у «законсервованому» вигляді кількох сезонів, але коли в ній з'явиться потреба, то її буде «розконсервовано».



Рисунок 1.9. - В штаті ЮТА планується створити найбільшу у світі мережу накопичення та зберігання енергії

Upside Group в травні 2019 року ввела в експлуатацію великий накопичувач енергії на основі свинцево-вуглецевих акумуляторів.

Німецька компанія Upside Group ввела в експлуатацію в Саксонії велику систему накопичення енергії для надання послуг первинного регулювання, одну з найбільших у Європі. Свинцево-вуглецевий накопичувач має потужність 16,4 мегават і ємність 25 мегават-годин. «Плановий термін служби цього проекту становить 20 років. На об'єкті, який був встановлений у мережі 20 кіловольт, використано загалом 10500 свинцево-вуглецевих (свинцево-карбонових) елементів вагою 90 кг кожен, розміщені у 18 контейнерів. Для перетворення змінного струму, що надходить із мережі, використовуються інвертори SMA.

Це другий такий великий проект Upside Group. На першому такого ж розміру також використовувалися свинцево-вуглецеві батареї. У стадії будівництва є ще один аналогічний накопичувач на 16,4 МВт/25 МВт*год. Як

зазначає компанія, «після оцінки різних технологій зберігання енергії» вона вибрала «перевірену технологію відомих виробників».

До переваг свинцево-вуглецевих акумуляторів відносять велику глибину розряду, порівняно з літій-іонними батареями, та підвищену швидкість зарядки порівняно із звичайними свинцево-кислотними. В економічному плані системи на основі свинцево-вуглецевих батарей поки що вважаються привабливішими. Upside Group також наголошує на надійності та безпеці своїх рішень.



Рисунок 1.10 - Великий накопичувач енергії на основі свинцево-вуглецевих акумуляторів

Отже, аналізуючи все вище згадане, можна зробити висновки.

Зберігання електроенергії набуває все більшої актуальності в сучасному світі, зокрема у зв'язку з такими факторами:

1. **Збільшення використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ):** Сонячна та вітрова енергія є нестабільними джерелами, оскільки їх вироблення залежить від погоди і часу доби. Зберігання енергії дозволяє згладжувати ці коливання, забезпечуючи безперебійне постачання електроенергії.

2. **Підвищення стабільності електричних мереж:** Зберігання енергії може допомогти зменшити навантаження на мережі під час пікових періодів споживання, уникати перевантажень і знижувати ризики відключень.

3. **Зменшення витрат на енергопостачання:** Використання систем зберігання енергії дозволяє зменшувати необхідність у використанні резервних потужностей і підвищувати ефективність роботи енергосистем, що знижує витрати на виробництво і постачання електроенергії.

4. **Забезпечення енергонезалежності:** Системи зберігання енергії дозволяють окремим користувачам (наприклад, власникам будинків з сонячними панелями) зберігати вироблену електроенергію для власного споживання, зменшуючи залежність від централізованих мереж.

5. **Інтеграція електротранспорту:** З розвитком електромобілів зростає потреба в ефективних системах зберігання енергії, які можуть не лише заряджати транспортні засоби, а й забезпечувати стабільність енергосистеми через можливість двостороннього обміну енергією.

6. **Розвиток технологій зберігання енергії:** Сучасні технології, такі як літій-іонні акумулятори, суперконденсатори, водневі паливні елементи та інші, стають все більш доступними та ефективними, що робить зберігання енергії економічно вигідним і привабливим для різних секторів економіки.

Таким чином, зберігання електроенергії є критично важливим для підвищення ефективності, надійності та стійкості енергетичних систем у контексті сучасних викликів і тенденцій розвитку енергетики.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1:

Системи накопичення електроенергії (СНЕ) відіграють ключову роль в сучасній енергетиці, дозволяючи зберігати надлишкову електроенергію для подальшого використання. Вони забезпечують стабільність енергосистем, оптимізують використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) і підвищують енергонезалежність. Нижче наведено огляд основних типів СНЕ та їх особливості.

Основні типи систем накопичення електроенергії

Акумуляторні системи (Battery Energy Storage Systems, BESS):

- ✓ Літій-іонні батареї: Найпоширеніший тип акумуляторів завдяки високій енергетичній щільності, тривалому терміну служби та швидкому заряджанні/розряджанні. Використовуються в широкому спектрі застосувань, від домашніх систем до великих промислових установок.

- ✓ Нікель-металгідридні (NiMH) та свинцево-кислотні батареї: Використовуються в деяких нішах, таких як резервні джерела живлення та в автомобільній промисловості. Свинцево-кислотні батареї дешевші, але мають меншу тривалість життя та енергетичну щільність.

- ✓ Натрій-сірчані батареї: Використовуються для великих енергосистем через високу ємність та ефективність, але потребують високих температур для роботи.

Теплові системи накопичення:

- ✓ Накопичення тепла в розплавлених солях: Використовується в сонячних теплових електростанціях (CSP), де сонячне тепло зберігається в розплавлених солях і може бути використане для виробництва електроенергії навіть уночі.

- ✓ Зберігання тепла в твердих матеріалах: Використовуються для опалення та в деяких промислових процесах.

Механічні системи накопичення:

- ✓ Гідроакумулюючі електростанції (ГАЕС): Найбільший і найпоширеніший метод зберігання енергії. Вода перекачується в резервуар на

висоті, коли є надлишок електроенергії, і спускається через турбіни для виробництва електрики, коли потрібна додаткова потужність.

- ✓ Компресія повітря (CAES): Енергія зберігається через стискання повітря в підземних резервуарах, яке потім розширюється і приводить в дію турбіни для виробництва електроенергії.

- ✓ Інерційні накопичувачі (Flywheels): Використовують кінетичну енергію обертання ротора, щоб зберігати та швидко виділяти електроенергію. Підходять для забезпечення стабільності мережі та короткочасних потреб.

Хімічні системи накопичення:

- ✓ Водневі паливні елементи: Виробляють електроенергію шляхом окислення водню. Водень може бути отриманий з надлишкової електроенергії через електроліз і зберігатися для подальшого використання.

- ✓ Реакторні потоки (Flow batteries): Складаються з двох резервуарів з рідинами, що містять електроліти, які циркулюють через реактор і генерують електроенергію. Вони забезпечують тривале зберігання і можуть бути масштабованими.

Що стосується переваг систем накопичення електричної енергії, то необхідно відмітити наступні.

- ✓ Підвищення надійності та стабільності електричних мереж.

- ✓ Оптимізація використання ВДЕ, зменшення залежності від викопного палива.

- ✓ Зниження витрат на енергозабезпечення та підвищення енергоефективності.

Наряду з перевагами розвиток систем накопичення електроенергії стискається з такими труднощами, як:

Висока вартість деяких технологій, особливо на ранніх стадіях впровадження.

- ✓ Необхідність масштабування виробництва для зниження вартості.

✓ Обмежений термін служби деяких систем та проблеми з утилізацією, особливо для акумуляторів.

Системи накопичення електроенергії активно розвиваються завдяки зростанню попиту на відновлювану енергію та потребі в підвищенні стабільності енергосистем. Останні інновації включають покращення в області літій-іонних батарей, розробку нових матеріалів для термальних систем, а також впровадження інтелектуальних мереж (smart grids), що оптимізують інтеграцію та використання систем накопичення енергії.

Загалом, розвиток СНЕ є ключовим для переходу до більш стійкої та екологічно чистої енергетики.

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ СХЕМ ЗАРЯДУ ЄМНІСНИХ НАКОПИЧУВАЧІВ ЕНЕРГІЇ

Силовий блок джерела живлення для зарядки ємнісних накопичувачів енергії (або конденсаторів) є спеціалізованим пристроєм, який забезпечує безпечну та ефективну зарядку конденсаторів. Такі блоки часто використовуються у пристроях, де потрібне швидке накопичення та розряд енергії, наприклад, імпульсних лазерах, фотоапаратах зі спалахом та інших високовольтних додатках.

Основні компоненти та характеристики:

Джерела живлення: Зазвичай це високовольтні джерела живлення, здатні подавати напругу, що відповідає номінальній напрузі конденсаторів. Вони можуть бути як постійного струму (DC), так і змінного струму (AC) з випрямленням.

Випрямлячі та фільтри: Використовуються для перетворення AC на DC та для згладжування вихідної напруги.

Регулятори напруги: Забезпечують стабільну вихідну напругу, потрібну для безпечної зарядки конденсаторів.

Захист від перенапруги та перевантаження: Включає запобіжники, варистори та схеми відключення для запобігання пошкодженню конденсаторів та самого блоку живлення.

Керування зарядом: Мікроконтролери або спеціалізовані схеми можуть використовуватися для контролю процесу заряджання, запобігаючи перегріву та забезпечуючи оптимальні умови заряджання.

Принцип роботи:

Заряджання: При подачі напруги на конденсатор через силовий блок джерела живлення починається процес накопичення заряду на обкладинках конденсатора. Струм заряджання зменшується в міру збільшення заряду на конденсаторі.

Контроль процесу зарядки: Сучасні блоки живлення оснащені схемами контролю, які стежать за рівнем напруги на конденсаторі та відповідно регулюють подачу струму для запобігання перевантаженню та перегріву.

Захист та безпека: У разі виникнення несправностей (наприклад, короткого замикання або перегріву) блок живлення автоматично вимикається або знижує напругу для захисту компонентів.

Застосування:

Лазерні установки: Швидке заряджання конденсаторів для імпульсного живлення лазерів.

Фотоспалахи: Швидке заряджання конденсаторів для живлення потужних світлодіодів або ксенонових ламп.

Електромагнітні гармати та прискорювачі: Використання високоенергетичних конденсаторів для створення потужних імпульсів.

Отже, силові блоки джерела живлення для заряджання ємнісних накопичувачів є критично важливими компонентами в системах, що потребують швидкого та ефективного заряджання конденсаторів. Вони забезпечують стабільність, безпеку та ефективність роботи таких систем.

2.1. Застосування зарядних пристроїв у електротехнологіях

Електротехнології із застосуванням імпульсних генераторів

Наразі розроблено велику кількість електротехнологій, що ґрунтуються на використанні імпульсних генераторів.

Імпульс, що має високу напругу та сильний імпульсний струм, створює високу миттєву енергію. Наприклад, електроімпульсне буріння полягає в наступному. Внутрішня частина металевої коронки, яка виконує роль негативного електрода електроімпульсного бура, виконана у вигляді еліптичного параболоїда. У центрі бура розміщена позитивний електрод. При подачі розряду на поверхні ґрунту з'являється дуже великий тиск, що призводить до подрібнення каменів на дрібніші шматки. Для здійснення електроімпульсного розряду порожнина бура заповнюється технічною водою.

Зруйновані та роздроблені шматки кам'яного ґрунту видаляються проточною водою.

Згідно з великою кількістю досліджень електроімпульсне буріння є найбільш перспективним для надглибоких свердловин. Його ефективність та швидкість буріння слабо залежать від глибини. Низький зношування долота знижує кількість обходів бурового інструменту і поряд з високою швидкістю електроімпульсного буріння в твердих породах (близько 6, 7 м/год) робить цей метод найбільш вигідним.

Деякі автори розглядають можливість проектування та використання свердловинного генератора на основі лінійного імпульсного трансформатора (ЛПТ-генератора) для електроімпульсного буріння гірських порід. Попередні лабораторні випробування на різних зразках гірських порід показали, що генератор ЛПТ забезпечує на 30% більше високу питому потужність порівняно з генераторами Маркса, традиційно використовуваними у цій технології.

Конструкція генератора ЛПТ досить проста і допускає меншу кількість перемикачів, що підвищує його надійність та термін служби.

Електроімпульсне різання гірських порід проводиться так. Відкіл відбувається під дією пружнопластичних хвиль, викликаних розвитком та розширенням контрагованого плазмового каналу пробую, що впроваджується за певних умов у тверде тіло. Незважаючи порівняно низьку швидкість розширення каналу (0.1 – 0.3 швидкості звуку), розміри області полів напруг та зони руйнувань доходять до одиниць сантиметрів. Пружнопластичні хвилі створюють тиск до 100 кбар, причому основні руйнування відбуваються під дією зусиль, що розтягують.

Канал пробую є інструментом, який може бути використаний для руйнування діелектричних та напівпровідних непластичних матеріалів при дроблення, різання та буріння.

При дослідженнях електророзрядного різання використовувалися різакі, які прорізали щілину, що дорівнює довжині електродної системи. Різання

довгих щілин проводилося циклічно. Застосовувалися дві конструкції різаків: пластинчастий та багатострижневий. Дуже перспективним є електроімпульсний (ЕІ) спосіб руйнування та буріння гірських порід. Руйнівним інструментом ЕІ способу є плазма каналу розряду в товщі породи. У самій сутності ЕІ способу закладено можливість досягнення вищої ефективності руйнування проти механічними способами. Комбінуючи, поєднуючи різні способи, отримують нові.

У всіх перерахованих технологіях використовуються генератори високовольтних імпульсів, які можуть будуватися за кількома типами схем.

Імпульсні генератори за схемою Маркса

Потужний прямокутний імпульс має широке застосування у наукових дослідженнях та промисловості. Він дуже сприятливий у потужних мікрохвильових, рентгенівських та лазерних дослідженнях через покращення якості електронного пучка. Однак за допомогою існуючого генератора Маркса або твердотільного пульсатора важко генерувати кілька сотень кіловольт або більш потужних прямокутних імпульсів тривалістю в кілька сотень наносекунд через обмеженість механізму чи властивості перемикачів. Наприклад, типовий генератор Маркса може видавати загасаючий синусоїдальний імпульс. Для генераторів Маркса на основі напівпровідникових ключів найменша тривалість визначається часом увімкнення та вимикання перемикача, яке завжди більше $1\mu s$.

Генератор використовується як елемент накопичення енергії при відносно низьких напругах, і при включенні імпульс заряджає лінію

передачі високою напругою, що є типовим для його застосування.

Генератор Маркса є ємнісною схемою накопичення енергії, яка заряджається до заданого рівня напруги, а потім швидко розряджається, швидко доставляючи свою енергію на навантаження з дуже високими рівнями потужності. У типовій схемі Маркса використовуються резистори для зарядки N конденсаторів паралельно до напруги V , як показано на рисунку 1.1. При

спрацюванні першого перемикача падіння напруги, яке збільшує напруги на інших перемикачах, викликаючи ланцюгову реакцію самовідтворення.

Потім конденсатори на мить перемикаються в послідовну конфігурацію, подаючи на навантаження імпульс напруги, теоретично рівний сумі напруги на конденсаторах, як показано на малюнку 2. Вихідний перемикач присутній для ізоляції навантаження під час заряджання Маркса та забезпечення повного максимального монтажу. перед тим, як енергія буде передана навантаженню. Зарядні резистори вирівнюють вихідну напругу джерела заряду під час запалювання, забезпечуючи гальванічну розв'язку.

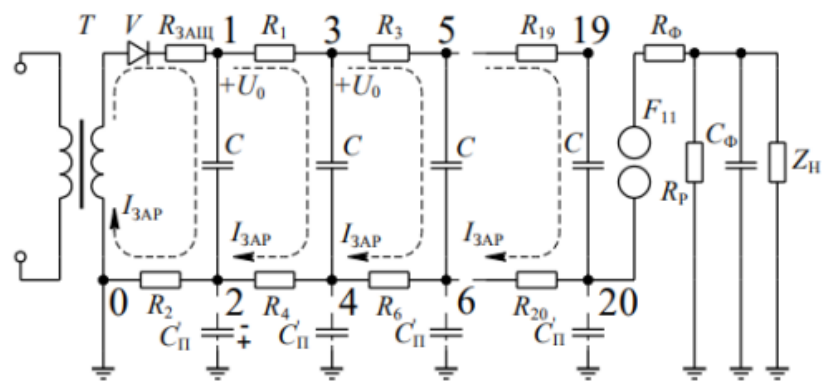


Рисунок 2.1. - Схема заряду генератора Маркса

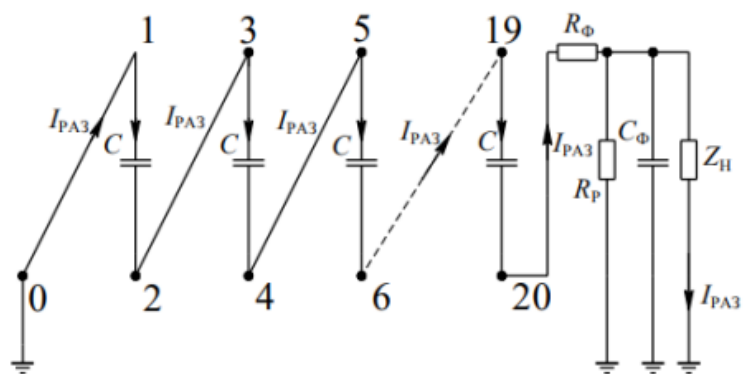


Рисунок 2.2. - Схема розряду генератора Маркса

Сучасні системи накопичення енергії використовують генератори Маркса для подачі енергії напругою до 30 МВ електричних імпульсів із наростанням.

Генератори на основі імпульсного трансформатора

Інший варіант побудови імпульсного генератора – використання потужних височастотних імпульсних трансформаторів. Схема одного з таких генераторів показана на рисунку 1.3.

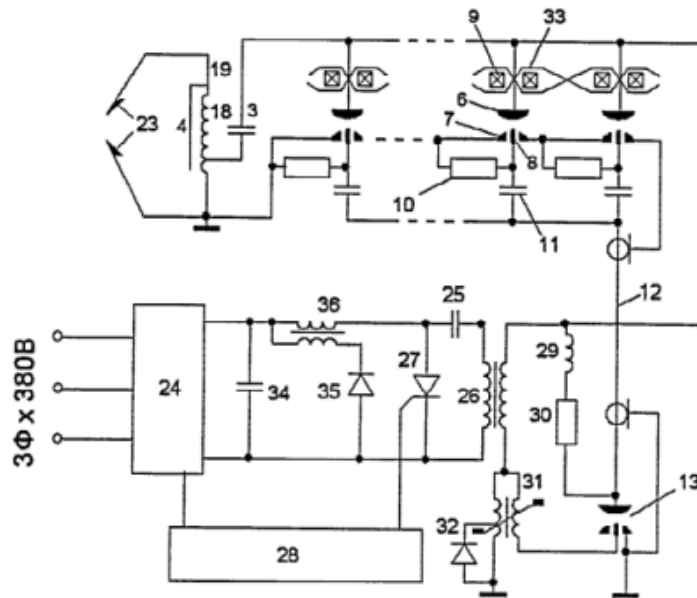


Рисунок 2.3 – Схема ГН з урахуванням імпульсних трансформаторів

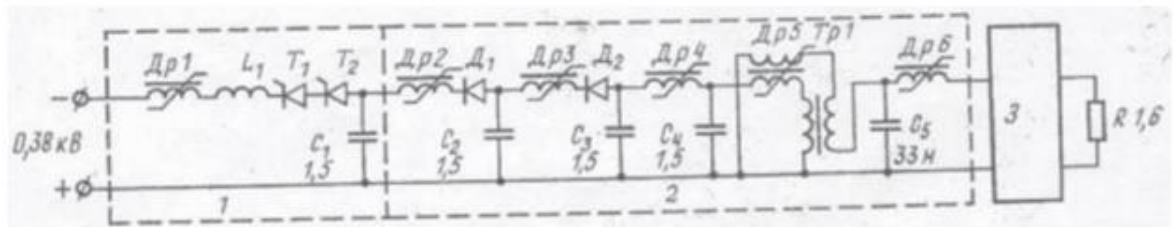
Генератор призначений для використання в електророзрядних технологіях, таких як дезінтеграція гірських порід, зняття поверхневого шару залізобетонних конструкцій, дроблення дрібнодисперсних частинок у розчинах тощо. потужними іскровими розрядами, канал яких впроваджується у тверде тіло, руйнуючи його. Генератор містить багатоканальний іскровий розрядник, ємнісний накопичувач та імпульсний трансформатор, розміщені в одному циліндричному корпусі та з'єднані послідовно. При цьому кожен іскровий проміжок багатоканального іскрового розрядника має керуючим електродом, з'єднаним через резистор (10) із заземленим електродом і через конденсатор (11) та кабель (12) з анодом додатково введеного стартового розрядника (13).

Заземлений електрод є кришкою багатоканального іскрового розрядника (2). Ємнісний накопичувач (3) виконаний із паралельно з'єднаних циліндричних конденсаторів (14). Порівняно з іншими схемами генераторів,

дана схема має збільшену крутість фронту імпульсу, малий хвильовий опір, підвищену надійність та ресурс генератора.

Генератор на магнітних ланках стиснення

Генератори стиснення є одними з найпривабливіших джерел одноразової компактної імпульсної потужності, доступних сьогодні через їх високу щільність енергії та мобільності. Ще один варіант схеми високовольтного генератора базується на використанні магнітних ланок стиснення. Структурна схема магнітного генератора наносекундних імпульсів (як і схема мікросекундного діапазону) складається з трьох основних частин, 1-генератора вихідних імпульсів, 2-магнітних ланок стиснення, 3-формуєчного пристрою (рисунок 2.4.).



1 - генератор вихідних імпульсів; 2 - ланки стиснення з трансформатором; 3 - формує пристрій (T_1) T_2 -ТЧІ-100-10-668, D_1 D_2 -ВЧ-200-10, C_1 C_3 -слюдяні 9КВ);

Рисунок 2.4- Схема генератора

Крім того, генератор може містити додаткові вузли, пристрої узгодження з навантаженням, загострення фронту, трансформації імпульсів. Для забезпечення роботи генератора необхідні також джерела живлення з фільтром, системи запуску, джерела живлення та елементи розв'язки ланцюгів підмагнічування, система охолодження тощо.

Всі перераховані вище схеми ГІН потребують наявності первинного зарядного пристрою, як правило, напругою кілька одиниць-десятків кіловольт. Ці зарядні пристрої є важливим компонентом схем ГІН, від яких залежить надійність всієї установки.

2.2. Імпульсні джерела живлення

Зарядні пристрої на базі мережевого трансформатора

Найбільш простий та надійний спосіб побудови зарядного пристрою полягає у використанні підвищуючого трансформатора промислової частоти (рисунок 1.5).

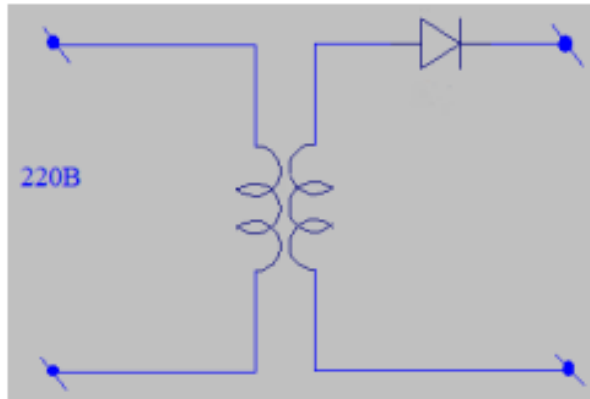


Рисунок 2.5. - Схема мережного зарядного пристрою

Трансформатор застосовують у випрямлячах. Випрямлення струму напруги струму здійснюється діодом. У деяких випадках можливе використання мостового випрямляча або випрямляча з подвоєнням вихідної напруги.

Імпульсні джерела живлення

Протягом багатьох років лінійні джерела живлення змінного / постійного струму перетворюють потужність змінного струму з енергосистеми постійна напруга для роботи побутової техніки чи освітлення. Потреба у джерелах меншого розміру для потужних додатків означає, що лінійні джерела живлення стали використовуватися в конкретних промислових та медичних цілях, де вони все ще необхідні через їх низький рівень шуму. Але на зміну їм прийшли імпульсні джерела живлення, тому що вони менші, ефективніші і здатні витримувати більшу потужність. На рисунку 2.6. показано загальне перетворення змінного струму (AC) у постійний (DC) в імпульсному джерелі живлення.

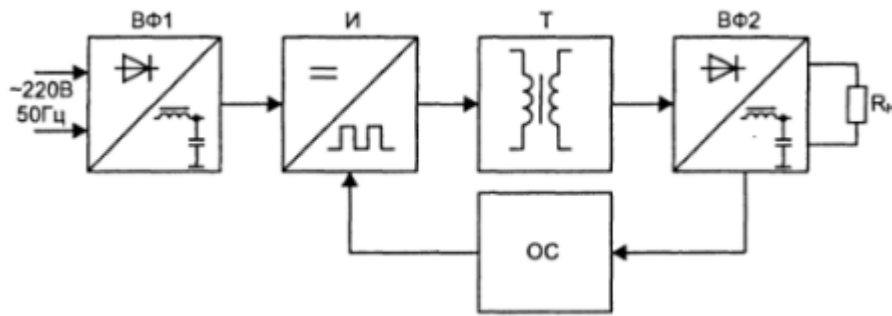


Рисунок 2.6- Структурна схема імпульсного джерела живлення: ВФ1 - випрямляч та фільтр вхідної напруги; І – інвертор; Т – імпульсний трансформатор; ВФ2 – випрямляч та фільтр вихідної напруги; ОС – ланцюг зворотного зв'язку

Випрямлення на вході

Випрямлення - це процес перетворення змінної напруги на постійне. Випрямлення вхідного сигналу – це перший крок у імпульсних джерелах живлення змінного/постійного струму. Прийнято вважати, що постійна напруга - це пряма, непохитна лінія постійної напруги, на кшталт тієї, що виходить із батареї. Однак те, що визначає постійний струм (DC), це односпрямований потік електричного заряду. Це означає, що напруга тече в одному напрямку, але не обов'язково постійно.

Випрямлення можна досягти за допомогою пасивного напівмостового випрямляча для усунення негативної половини синусоїдальної хвилі за допомогою діода. Діод дозволяє струму текти через нього під час позитивної половини хвилі, але блокує струм, коли він тече у протилежному напрямку. Після випрямлення результуюча синусоїда матиме низьку середню потужність і зможе ефективно забезпечувати живлення пристроїв. Набагато ефективнішим методом було б змінити полярність негативної напівхвилі та зробити її позитивною. Цей метод називається двонапівперіодним випрямленням, і для нього потрібно всього чотири діоди в бруківці конфігурації. Така конструкція підтримує стабільний напрямок струму незалежно від полярності вхідної напруги.

Повністю випрямлена хвиля має більш високу середню вихідну напругу, ніж напруга, створювана напівмостовим випрямлячем, але це ще дуже далеко від постійної форми хвилі постійного струму, необхідної для живлення електронних пристроїв. Хоча це хвиля постійного струму, її використання для живлення пристрою було б неефективним через форми хвилі напруги, яка дуже швидко та дуже часто змінює значення. Це періодична зміна напруги постійного струму називається пульсацією - зменшення або усунення пульсацій має вирішальне значення для ефективного джерела живлення.

Найпростіший і найчастіше використовуваний метод зменшення пульсацій - це використання великого конденсатора на виході випрямляча, що називається накопичувальним конденсатором або фільтром, що згладжує. Конденсатор накопичує напругу під час піку хвилі, а потім забезпечує навантаження струмом до тих пір, поки його напруга не стане менше, ніж зараз хвиля випрямленої напруги. Результуюча форма сигналу набагато ближча до бажаної форми і може вважатися напругою постійного струму без компонента змінного струму. Цей остаточний сигнал напруги тепер можна використовувати для живлення пристроїв постійного струму.

Все це призводить до того, що середня за період комутації потужність, що розсіюється в ключовому транзисторі, виявляється набагато меншою, ніж у лінійному регуляторі. Малі втрати в силових ключах призводять до зменшення або повного виключення радіаторів, що охолоджують.

Поліпшення масогабаритних характеристик джерела живлення обумовлено насамперед тим, що із схеми джерела живлення виключається силовий трансформатор, що працює на частоті 50 Гц. Замість нього в схему вводиться високочастотний трансформатор або дросель, габарити і маса яких набагато менша за низькочастотний силовий трансформатор.

До недоліків імпульсних джерел живлення зазвичай відносять:

- ✓ складність схеми;
- ✓ наявність високочастотних шумів та перешкод;

✓ збільшені пульсації вихідної напруги; великий час виходу на робочий режим.

Далі розглянемо варіанти схемної реалізації блоків імпульсного джерела, наведені рисунку 2.6.

2.3. Влаштування силових вузлів імпульсних джерел живлення

Вхідний випрямляч

За кількістю випрямлених напівхвиль розрізняють однонапівперіодні та двонапівперіодні випрямлячі. За кількістю фаз напруги живлення розрізняють однофазні, двофазні, трифазні та шестифазні випрямлячі. Найпростіша схема однонапівперіодного випрямляча складається тільки з одного випрямляючого струму елемента (діода). На виході - пульсуючий постійний струм. На промислових частотах (50—60 Гц) немає широкого застосування, так як для живлення апаратури потрібні згладжуючі фільтри з великими величинами ємності та індуктивності, що призводить до збільшення габаритно-вагових характеристик випрямляча. Однак схема однонапівперіодного випрямлення знайшла дуже широке поширення в вихідних ланцюгах імпульсних блоків живлення з частотою змінного напруги понад 10 кГц, що широко застосовуються в сучасній побутовій та промисловій апаратурі.

Двонапівперіодний випрямляч може будуватися по мостовій або напівмостовій схемі.

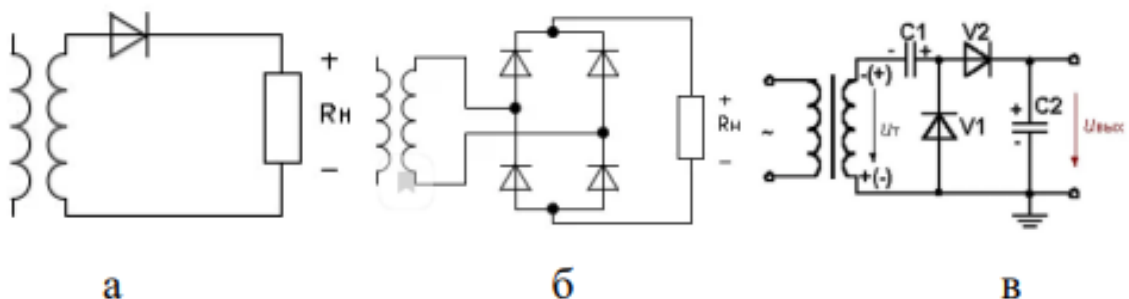


Рисунок 2.7- Схеми випрямлячів: а) однонапівперіодна; б) мостова; в) та, що подвоює;

Інвертори

Силові перетворювачі за останні десятиліття стали сприятливою технологією для широкого спектру промислових застосувань, головним чином завдяки вищій ефективності та продуктивності. Топології перетворювачів, такі як матричний перетворювач змінного струму, циклоконвертори, інвертори джерела струму, інвертори з комутацією навантаження, перетворювачі постійного струму, перетворювачі постійного струму та діодні або тиристорні випрямлячі охоплюють широкий спектр різних застосувань номінальної потужності. Зокрема, перетворювачі постійного/змінного струму, широко відомі як інвертори джерела напруги (VSI), використовуються для живлення широкого спектра застосувань у безперервному енерговитратному суспільстві з високою ефективністю, надійністю, економічністю та можливістю досягнення високої номінальної потужності зі зменшеними пасивними фільтрами.

Багата різноманітність промислових застосувань потребує інверторів, які мають дуже різні показники потужності, вихідні частоти, напівпровідникові прилади, кількість фаз, працюють на різних рівнях напруги/струму і навіть мають різні типи та кількість джерел постійного струму (струм або напруга). Таким чином, протягом багатьох років, особливо в останнє десятиліття, було розроблено широкий спектр різних топологій для додатків середньої напруги, щоб задовольнити потреби та виконати специфікації кожної ніші.

Інвертори можуть будуватися за бруківкою або напівмостовою схемою (рисунок 1.8). Гідність напівмостового перетворювача полягає в низькому зворотному напрузі, прикладеному до кожного ключового транзистору в стані відсічення, приблизно рівному постійному напрузі живлення перетворювача. Це дозволяє використовувати напівмостові перетворювачі при високій напрузі живлення.

Для мостового перетворювача (на відміну від напівмостового) відмінно підходить режим керування зі зворотним зв'язком по струму. До недоліків мостового перетворювача слід віднести складніший драйвер ключів і ризик

виникнення наскрізного струму, що виникає при перемиканні ключів верхнього та нижнього плечей.

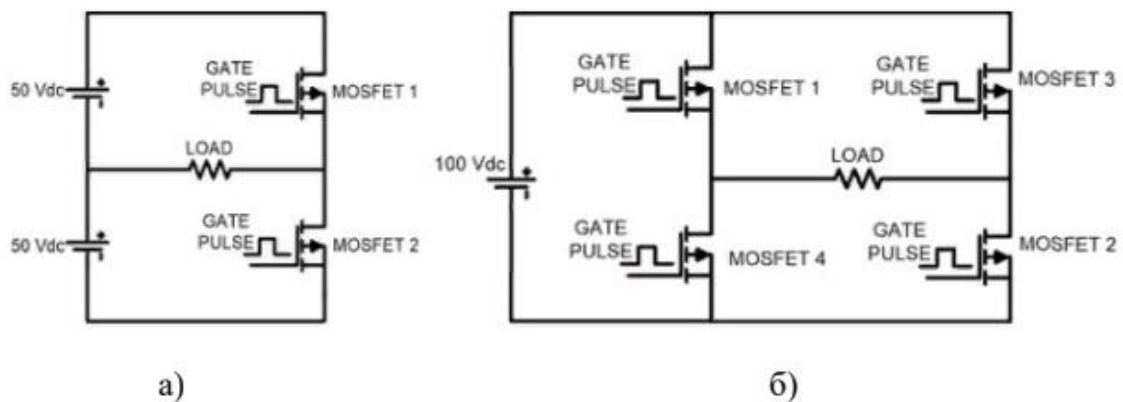


Рисунок 2.8- Схеми інверторів: а) мостовий; б) напівмостовий

Імпульсний трансформатор

Високочастотні трансформатори не можуть бути зроблені на магнітопроводі з електротехнічної сталі, тому що в цьому випадку буде відбуватися розігрів сердечника індукційними струмами. Для високочастотних трансформаторів використовують магнітопроводи з магнітодіелектриків, таких як ферит, альсифер та пермалою. Найбільше поширення мають ферити завдяки доступній вартості, високій міцності, широкому діапазону частот та оптимальним електротехнічним характеристикам.

Щоб виготовити імпульсний вихідний трансформатор на феритовому сердечнику на потрібну потужність необхідно провести розрахунок. Спочатку потрібно визначитись із потужністю, яку необхідно отримати на виході трансформатор. Вибрати відповідний магнітопровід можна за допомогою таблиць у довідниках, де вказані розміри, площа перерізу магнітопроводу, площа вікна та потужність, яку «теоретично» можна отримати від сердечника.

Вихідний випрямляч

В однотактних імпульсних перетворювачах вихідні випрямлячі найчастіше будують за схемою однапівперіодного випрямляча, оскільки

основна енергія передається саме на одній напівхвилі. Для двотактних перетворювачів доцільно використовувати двонапівперіодні схеми.

Найчастіше використовують мостові випрямлячі.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2:

В розділі «Аналіз схем заряду ємнісних накопичувачів енергії» було розглянуто різні підходи та технології, які використовуються для зарядки ємнісних накопичувачів енергії в контексті сучасних електротехнологій.

Зарядні пристрої відіграють критично важливу роль в ефективному та надійному зарядженні ємнісних накопичувачів енергії, забезпечуючи оптимальні режими заряду та мінімізуючи втрати енергії.

Використання сучасних зарядних пристроїв сприяє підвищенню енергоефективності та надійності систем, особливо в умовах зростання вимог до стабільності та якості енергопостачання.

Було розглянуто імпульсні джерела живлення (ІДЖ) стали одним із найбільш ефективних засобів забезпечення живлення для зарядних пристроїв, завдяки їх високій ефективності, компактності та здатності працювати з широким діапазоном напруг.

Аналіз схем ДЖ показує, що вони дозволяють ефективно заряджати ємнісні накопичувачі енергії, знижуючи теплові втрати і забезпечуючи стабільний струм заряду.

Силові вузли імпульсних джерел живлення грають ключову роль у забезпеченні ефективного перетворення енергії та її стабільного подання на ємнісні накопичувачі.

Використання сучасних компонентів, таких як MOSFET-транзистори та високочастотні трансформатори, дозволяє зменшити габарити та підвищити ККД пристроїв, що є критичним для мобільних і компактних систем.

Надійне проектування та оптимізація силових вузлів забезпечує стійкість системи до перевантажень і короткочасних стрибків напруги, що є важливим для збереження тривалого терміну служби ємнісних накопичувачів.

Загалом, проведений аналіз показав, що правильний вибір і проектування схем заряду ємнісних накопичувачів енергії, з використанням сучасних імпульсних джерел живлення та оптимізованих силових вузлів, є ключовим для забезпечення ефективної роботи електротехнологічних систем. Це сприяє

підвищенню енергоефективності, зниженню витрат на експлуатацію та збільшенню надійності енергетичних рішень.

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА СИСТЕМ ЗАРЯДУ ЄМНІСНИХ НАКОПИЧУВАЧІВ ЕНЕРГІЇ

3.1. Загальні відомості

Вирішенню проблеми перетворення низьковольтної постійної напруги у високовольтне для заряду та розряду ємнісних накопичувачів енергії присвячено багато статей та досліджень. Але розробка пристроїв для заряду ємнісних накопичувачів енергії з високими технічними характеристиками є складним науково-технічним завданням.

В деяких роботах розглядається структурна схема системи електроживлення імпульсного навантаження. Характеристики імпульсного навантаження та наявної розробника системи електропостачання, як правило, не узгоджені. Тому виникає необхідність включення між системою електропостачання (в даному випадку — це джерело низьковольтної постійної напруги) та навантаженням додаткового пристрою, яке називають джерелом вторинного електроживлення (ДВЕЖ).

Його завданням і є узгодження характеристик системи електропостачання та навантаження. Найбільш загальна структура ДВЕЖ з ємнісним накопичувачем енергії (ЕНЕ), наведена на рис. 3.1, як і будь-який пристрій перетворювальної техніки, містить енергетичну частину та систему управління (СУ). В енергетичну частину, у свою чергу, входять три функціональні частини: власне ємнісний накопичувач енергії, зарядний пристрій (ЗП) та розрядний пристрій (РП).

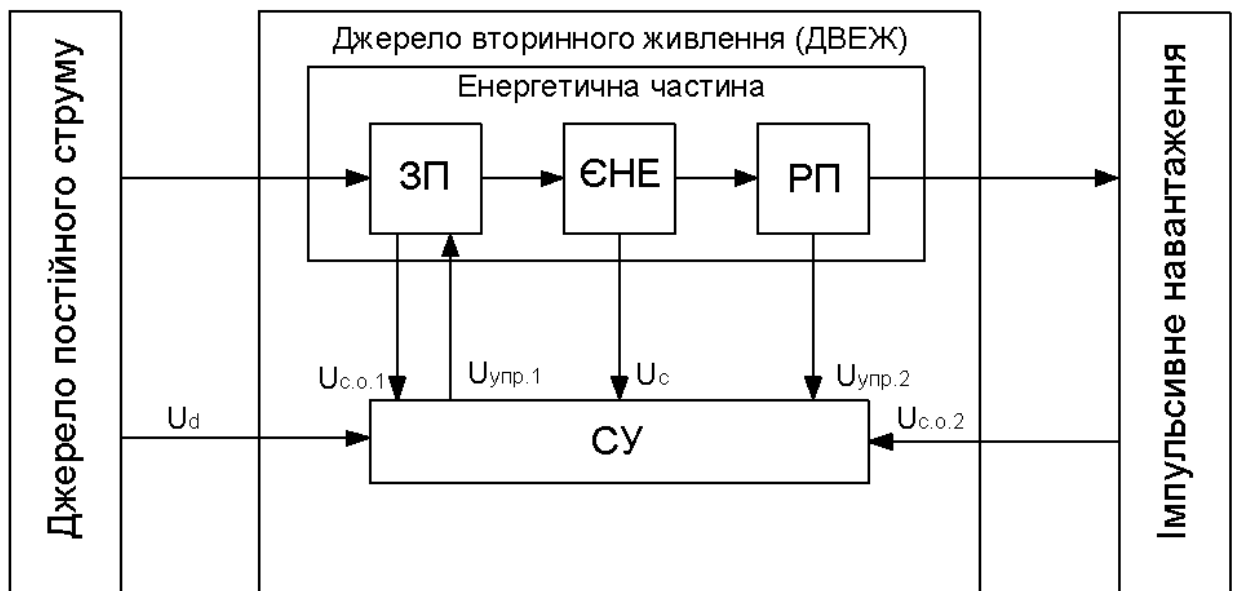


Рисунок 3.1. – Структурна схема системи живлення імпульсного навантаження

При цьому функцію узгодження характеристик ДВЕЖ із системою електропостачання виконують ЗП та ЄНЕ, а функцію узгодження з характеристиками імпульсного навантаження — РП та ЄНЕ.

В даному випадку ДВЕЖ призначений для живлення імпульсних навантажень і побудований так, що ЗП та РП функціонують на різних інтервалах часу та слабо взаємодіють між собою.

Вплив процесів у розрядному контурі на процеси в зарядному виявляються у зміні лише одного параметра-напруги на ЄНЕ на початку зарядного процесу. Тому процеси заряду та розряду ЄНЕ можна розглядати незалежно.

Система управління обробляє сигнали, що надходять, як правило, по чотирьох каналах вхідної інформації (U_d , $U_{0.c1}$, U_c , $U_{0.c2}$) та формує керуючі сигнали на входах двох блоків енергетичної частини - ЗП і РП каналів несе інформацію про вхідну напругу U_d , яке може змінюватися у процесі роботи з різних причин. Сигнал $U_{0.c1}$ інформує про стан зарядного пристрою на даний момент часу. Залежно від типу та принципової схеми ЗП як

$U_{0.c1}$ використовується один або кілька параметрів, що характеризують стан ЗП.

Сигнал U_c містить інформацію про енергію, запасену в ємнісному накопичувачі на даний момент часу, який використовується для коригування зарядного процесу. Система управління здійснює аналіз сигналу U_c і порівняння цього сигналу з теоретично отриманою величиною.

Відповідно до різниці цих величин здійснюється корекція процесу заряду. Крім цього, система управління забезпечує режими роботи елементів та вузлів системи, що гарантують їхню надійну роботу. Сигнал $U_{0.c2}$ несе інформацію про стан навантаження. В цьому випадку він може бути найпростішим і призначений для блокування ЗПУ на час розряду ємнісного накопичувача.

На підставі отриманої інформації СУ формує узгоджені керуючі впливи $U_{упр1}$ і $U_{упр2}$, що визначають всі параметри зарядного процесу: закон зміни зарядного струму, алгоритми включення секцій ЗП (якщо вони є), час відключення ЗП від ЄНЕ на час його розряду тощо.

Кожна із складових частин структури, наведеної на рис. 3.1, (за винятком ЄНЕ) не є обов'язковою для всіх випадків застосування ДВЕП.

Зі структурної схеми (рис. 3.1) випливає, що основним елементом системи заряду ємнісних накопичувачів енергії є зарядний пристрій.

Основні вимоги, які пред'являються ЗП, зводяться до того що, що має забезпечувати більш рівномірне, ніж це зумовлено навантаженням, споживання енергії від джерела постійного струму. Крім цього, ЗП має забезпечувати узгодження напруги системи електропостачання з напругою на ЄНЕ наприкінці інтервалу заряду.

(В даному випадку напруга системи енергопостачання дорівнює 20 В, а напруга на ЄНЕ в кінці інтервалу заряду дорівнює 100–200 кВ.) ЗУ має забезпечувати відключення ЄНЕ від системи енергопостачання на час його розряду та реалізацію необхідних алгоритмів управління, як за енергетичними, так і за динамічними характеристиками (здатність пропускати необхідну кількість енергії при заданих тимчасових обмеженнях).

Так як зарядні пристрої входять до класу систем силової електроніки, на них повною мірою поширюються вимоги, що пред'являються до таких систем: високий ККД, мала маса, невеликий об'єм, високі показники надійності.

3.2. Порівняльний аналіз методів перетворення енергії в зарядних пристроях ємнісних накопичувачів енергії

Аналіз різних зарядних пристроїв ємнісних накопичувачів енергії показує, що основний елемент ефективних ЗП - це ланка, що здійснює перетворення постійного струму на змінний, тобто ланка змінного струму. Різні варіанти реалізації цієї ланки визначають методи перетворення енергії, будучи одночасно основою для класифікації зарядних пристроїв ємнісних накопичувачів.

Розглянемо можливі методи перетворення енергії у зарядних пристроях ємнісних накопичувачів відповідно до структурної схеми, наведеної на рис. 3.2, де на рівні «Перетворення енергії» наведено два класи пристроїв: з механічним перетворенням енергії та з електричним перетворенням енергії. На рівні "Отримання змінної напруги" для класу пристроїв з механічним перетворенням енергії виділено машинні генератори, а для класу пристроїв з електричним перетворенням енергії - переривники та інвертори.

Оскільки отримання високих напруг безпосередньо на виході, як машинних генераторів, так і переривників та інверторів, утруднено, на структурній схемі наведено методи підвищення змінної напруги, які здійснюються за допомогою резонансних контурів, трансформаторів та діодно-ємнісних помножувачів напруги. Усі перелічені методи підвищення змінної напруги передачі енергії ємнісному накопичувачу вимагають застосування випрямлячів.

У разі, якщо величина отриманої після випрямляча напруги недостатня, у блок-схемі на рівні «Підвищення постійної напруги» застосовується генератор імпульсної напруги (ГІН).

Відокремлені на блок-схемі методи отримання високої постійної напруги за допомогою п'єзоперетворювачів та електростатичних перетворювачів, оскільки при використанні цих методів етапи «Отримання змінної напруги», «Підвищення змінної напруги», «Отримання постійної напруги» не потрібні.

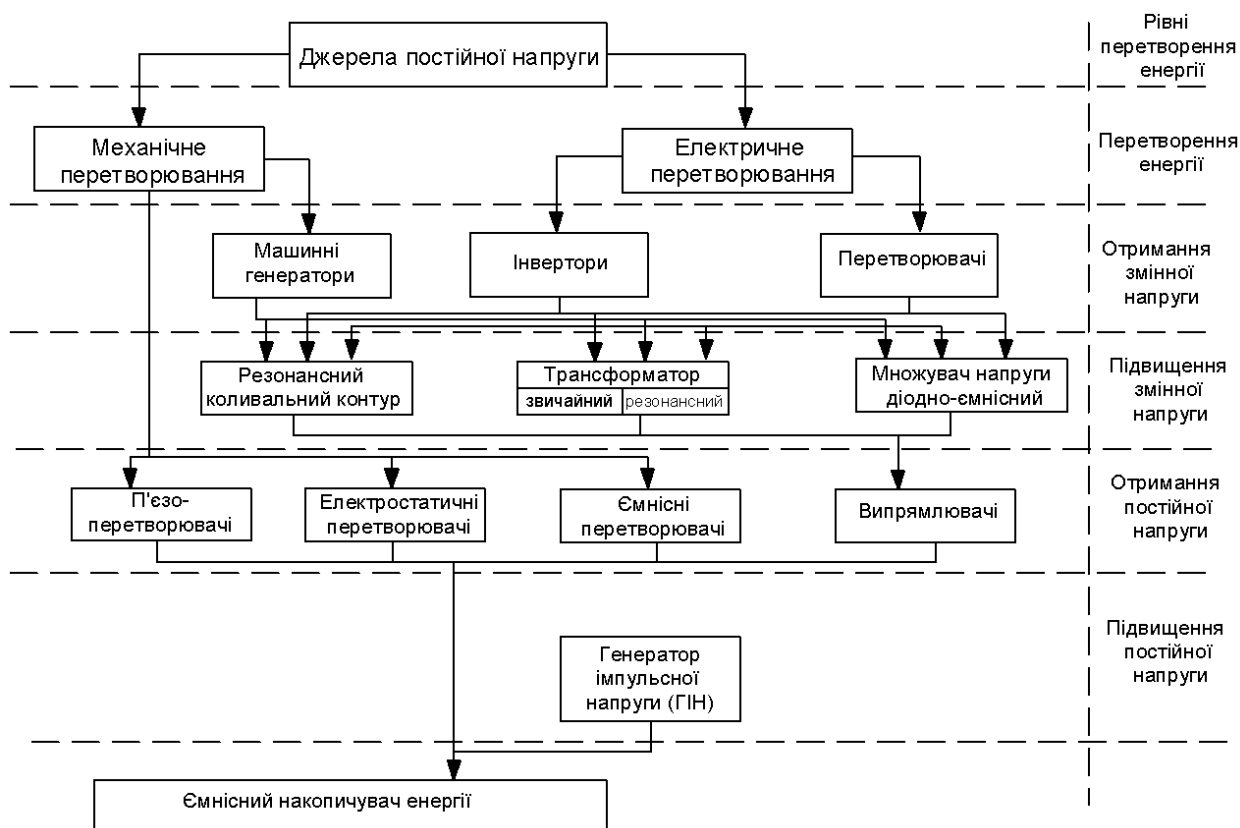


Рисунок 3.2. - Структурна схема методів перетворення енергії в ЗП ЄНЕ

В ряді випадків для збільшення коефіцієнта посилення зарядного пристрою за напругою можливе касадне включення деяких елементів структурної схеми, що розглядається.

Аналіз різних шляхів від джерела постійної напруги до ємнісного накопичувача за структурною схемою (рис. 3.2) призводить до перерахування можливих методів перетворення енергії в зарядних пристроях ємнісних накопичувачів.

Порівняльний аналіз різних методів перетворення енергії, а також схем зарядних пристроїв можна проводити за такими критеріями:

- ✓ коефіцієнт посилення напруги;

- ✓ час заряду ємнісного накопичувача;
- ✓ коефіцієнт корисної дії;
- ✓ маса;
- ✓ габарити;
- ✓ надійність;
- ✓ схибленість;
- ✓ керованість;
- ✓ стійкість до випромінювання;
- ✓ проміжні рівні перетворення енергії;
- ✓ поєднання з проміжними рівнями перетворення енергії.

Таблиця 3.1. - Експертні оцінки методів перетворення енергії

Критерії	Методи перетворення енергії та їх оцінки			
	Механічне перетворення		Електричне перетворення	
	П'єзо, електростатичні, ємнісні перетворювачі	Машинні генератори	Інвертори	Переривники
Коефіцієнт посилення за напругою	0	-	+	-
Час заряду ємнісного накопичувача	-	-	+	+
Коефіцієнт корисної дії	-	-	+	+
Маса	-	-	+	+
Габарити	-	-	+	+
Надійність	0	-	+	+
Перешкодозахищеність	+	+	-	-
Керованість	-	+	+	+
Стійкість до випромінювання	-	+	-	-
Проміжні рівні перетворення енергії	+	-	-	-
Поєднання з проміжними	+	+	+	-

рівнями перетворення енергії				
------------------------------------	--	--	--	--

На даному етапі розгляду неможливо визначити чисельні значення наведених критеріїв, оскільки йдеться про класи технічних пристроїв, і окремі пристрої всередині кожного класу при оцінці їх за наведеними критеріями, по-перше, можуть істотно відрізнятися один від одного, і, по-друге, чисельні значення перерахованих критеріїв для конкретних пристроїв у повному обсязі, як правило, не встановлені. Їх визначення для кожного пристрою є самотійним завданням.

Слід також зазначити, що питання про незалежність наведених критеріїв або про ступінь та характер їхньої залежності необхідно вирішувати у кожному конкретному випадку.

Тому проведемо розгляд можливих методів перетворення енергії в зарядних пристроях методом експертних оцінок з використанням трибальної шкали: «+» – перевага, «-» – недолік, «0» – не визначено.

В таблиці 3.1 наведено експертні оцінки основних методів перетворення енергії, що представлені на структурній схемі (рис. 3.2).

Як окремий клас розглядаються п'єзoeлектричні, електростатичні та ємнісні перетворювачі енергії. До основних їх переваг належить висока схибленість і відсутність або мінімальна кількість рівнів проміжного перетворення енергії. До недоліків слід віднести наявність рівнів перетворення електричної енергії в механічну та зворотне перетворення, що знижує оцінки за такими критеріями, як час заряду ємнісного накопичувача, ККД, маса, габарити, керованість.

Дещо більша кількість переваг порівняно з щойно розглянутими методами перетворення енергії в зарядних пристроях має метод, заснований на застосуванні машинних генераторів, які (з використанням проміжних рівнів перетворення енергії) можуть забезпечити перешкода і відносно високу стійкість до випромінювання. Переважним серед аналізованих методів

перетворення енергії в зарядних пристроях, відповідно до проведеної експертної оцінки, є метод, заснований на застосуванні автономних інверторів, основні недоліки якого обмежуються низькою схибленістю і стійкістю до випромінювання, а також необхідністю застосування проміжних рівнів перетворення енергії — для отримання необхідного посилення за напругою.

Метод перетворення енергії, заснований на застосуванні переривників, програє інверторному методу в ККД та ефективності сполучення з пристроями проміжних рівнів перетворення енергії.

3.3. Вимоги до зарядних пристроїв ємнісних накопичувачів енергії

Деякі автори розглядають структурну схему, що визначає чинники, що впливають на основні показники зарядного пристрою (рис. 3.3).

В цій структурній схемі встановлюються взаємозв'язки між такими показниками зарядного пристрою, як ККД, коефіцієнт використання джерела живлення, маса, обсяг і структура, та параметрами енергетичної частини ЗП, алгоритмами управління та режимом заряду ЄНЕ.

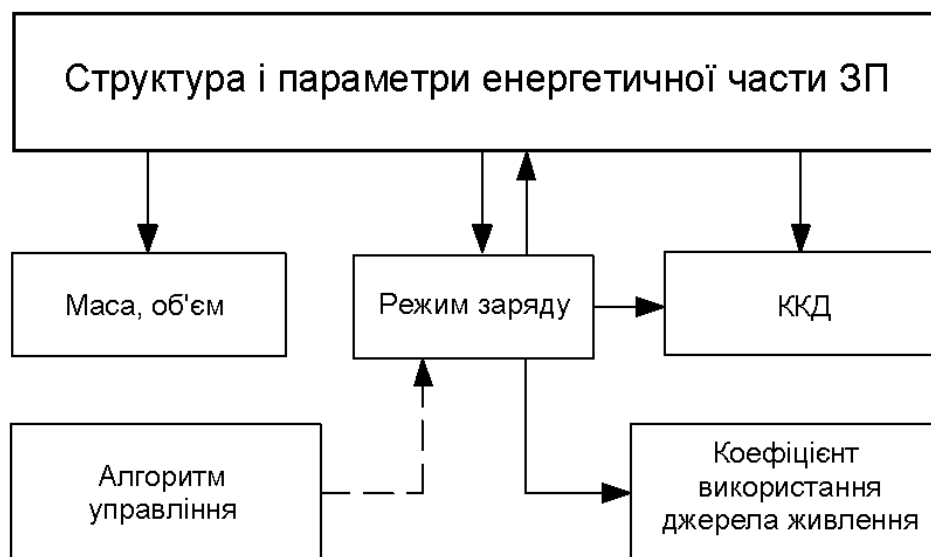


Рисунок 3.3. - Фактори, що впливають на основні показники зарядного пристрою

Режими роботи різних елементів ЗП визначаються насамперед сукупністю часових залежностей струмів у силових ланцюгах ЗП, тобто режимом заряду. Однак режим заряду — не єдиний фактор, що впливає на показники ЗП, сам він залежить від інших первинних факторів.

Першу групу первинних факторів, що впливають на показники ЗП, являють собою внутрішні параметри та схема енергетичної частини ЗП (рис. 3.3). В ЗП з некерованим зарядним процесом показники визначаються лише факторами цієї групи, причому вони впливають на показники як безпосередньо (Вирази для різних показників входять внутрішні параметри: величини індуктивностей, ємностей тощо), так і побічно, визначаючи часові залежності струмів, напруг у різних ланцюгах ЗП. Зміна тимчасових залежностей струмів призводить до зміни різних функціоналів цих залежностей (діючих, максимальних, середніх значень), які визначають усі основні показники ЗП.

В ЗП з керованим зарядним процесом на показники діє друга група первинних чинників, визначається алгоритмом управління зарядним процесом. Вплив цих чинників визначається лише впливом їх у зарядний режим (рис. 3.3). Найбільш поширеними алгоритмами управління зарядним процесом прийнято вважати наступні алгоритми:

- з постійним зарядним струмом;
- з постійною потужністю, що споживається від джерела;
- з мінімальним часом заряду;
- з максимальним ККД.

Масо-габаритні параметри ЗП у вирішальній мірі залежать від схеми та внутрішніх параметрів його енергетичної частини, тому досліджувати вплив зарядного режиму на ці показники можна тільки для певного, не надто широкого класу.

На рівні отримання змінної напруги (рис. 3.2) за результатами експертної оцінки відповідно до застосованих критеріїв доцільним є застосування інверторів. Відомо, що інвертори являють собою велику групу пристроїв

силової електроніки, що забезпечують перетворення постійної напруги в змінну і мають широкий спектр функціональних характеристик.

Зарядний пристрій, як правило, крім автономного інвертора, включає такі функціональні блоки, як струмообмежуючі елементи і дозатори енергії.

На першому рівні вибору схеми впливом цих блоків можна знехтувати. Виходячи з цього, сформулюємо вимоги до схем автономних інверторів, призначених для роботи в зарядних пристроях ЄНЕ:

- ✓ забезпечення стійкої роботи схеми інвертора в діапазоні зміни параметрів навантаження від короткого замикання (розряджена накопичувальна ємність) до холостого ходу (цілком заряджена накопичувальна ємність);
- ✓ максимально можливе і регульоване розгойдування напруги в інверторі;
- ✓ максимально можлива (для заданих типів вентилів) потужність, яка знімається з одного конструктивного модуля;
- ✓ коефіцієнт корисної дії;
- ✓ завадостійкість;
- ✓ можливість роботи без реактивних комутуючих елементів;
- ✓ дозування енергії силовою схемою;
- ✓ перевантажувальна здатність;
- ✓ можливість реалізації різних траєкторій заряду ЄНЕ;
- ✓ надійність.

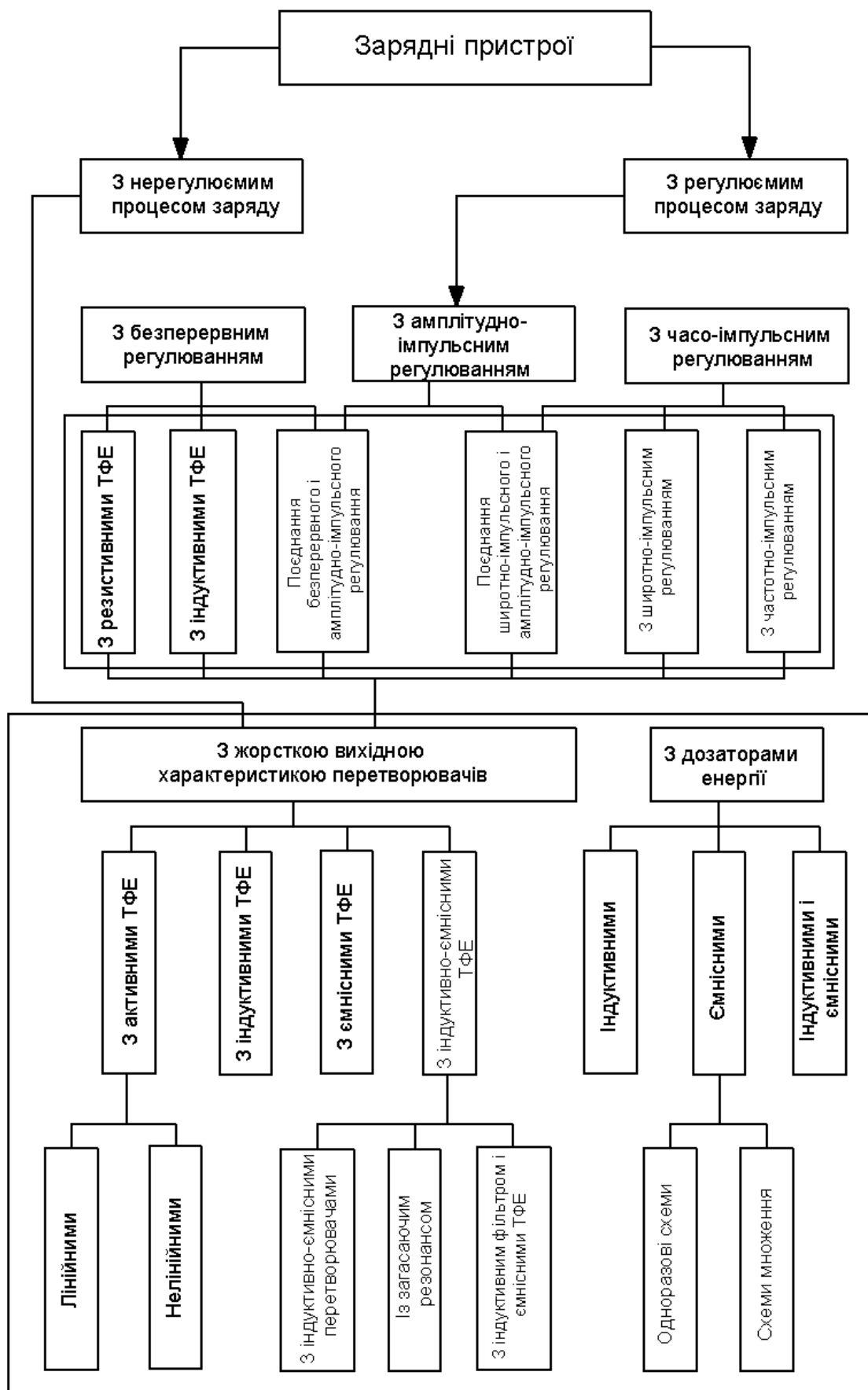


Рисунок 3.4. - . Класифікація зарядних пристроїв ємнісних накопичувачів

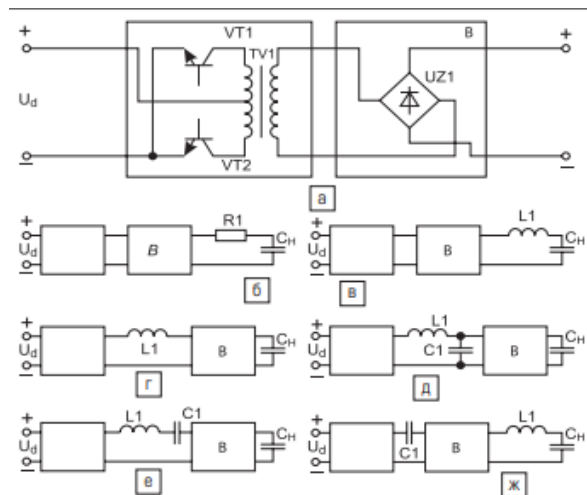


Рисунок 3.5. - Схеми зарядних пристроїв на базі перетворювачів із жорсткими вихідними характеристиками з різними ТФЕ:

а) базова схема; б) схема з резистивними ТФЕ; в) схема з індуктивним ТФЕ в ланцюзі постійного струму; г) схема з індуктивним ТФЕ в ланцюзі змінного струму; д-е) схеми з індуктивно + ємнісними ТФЕ; ж) схема з індуктивним та ємнісним ТФЕ, рознесених по ланцюгах пере+ змінного та постійного струму

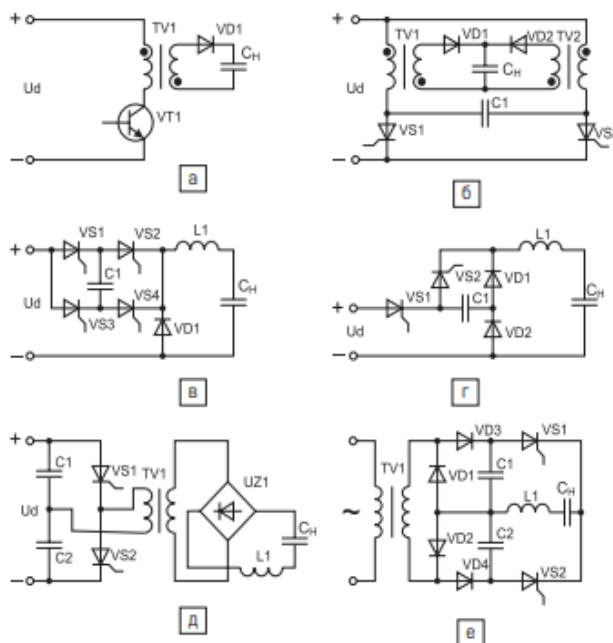


Рисунок 3.6. - Схеми зарядних пристроїв з індуктивними та ємнісними дозаторами, які є схемними елементами перетворювачів

3.4. Класифікація зарядних пристроїв та їх схемні рішення

Класифікація зарядних пристроїв подібна до класифікації базових перетворювачів змінної або постійної напруги в постійне, що мають крім іншого елементи, властиві зарядним пристроям. Ці елементи, способи регулювання струму в ЗУ, основні типи базових перетворювачів та можливі їх поєднання класифікуються структурною схемою, яка застосовується залежно від параметрів ЄНЕ та джерел живлення (рис. 3.4).

Вибираючи за основу дану класифікацію, розглянемо подані види ЗП з урахуванням вимог технічного завдання.

Простими є нерегульовані перетворювачі, до яких належать некеровані випрямлячі та інвертори з постійним алгоритмом роботи на ЄНЕ. Найбільш поширені серед них перетворювачі із жорсткою вихідною характеристикою. Для використання перетворювачів з жорсткою вихідною характеристикою як ЗУ їх необхідно доповнити струмоформуючими елементами (ТФЕ), які обмежують струм у різних ланцюгах ЗУ залежно від вимог.

Найбільш простим та універсальним ТФЕ може бути резистор, який включається послідовно до зарядного ланцюга ЄНЕ, проте використання резистивного ТФЕ пов'язане з великими втратами енергії, тому його використання обмежене малопотужними ЗП (рис. 3.5 б).

Кращими показниками володіють ТФЕ на реактивних елементах: індуктивності, ємності або їх поєднання (рис. 3.5 в-ж). Але, на відміну від резистивних ТФЕ, вони застосовуються, як правило, у ланцюгах змінного струму.

Найкращих показників можна досягти у схемах із загасаючим резонансом.

Інший клас базових перетворювачів представляють устрою, де ЄНЕ — складова ЗП. Величина енергії, що передається до ЄНЕ, визначається, тобто дозується, параметрами схемних елементів перетворювача (рис. 2.6 а-е), тому вони називаються перетворювачами з дозаторами енергії. Це енергія

комутувальних елементів, що передається в навантаження перетворювачів, з вимушеною або природною комутацією.

Сюди відноситься схема ЗП з помножувачами напруги (рис. 3.7 а-в), в яких ємності помножувача є дозаторами.

Однак даний клас перетворювачів ЗУ не дозволяє забезпечити коефіцієнт посилення за напругою (K_u) $K_u > 10^2$. Необхідність заряду ЄНЕ до напруги, що значно перевищує напругу джерел живлення ($K_u = 103 \dots 104$), визначає, як правило, використання трансформаторів, які найбільш ефективно використовуються в ЗУ із регульованим процесом заряду. До цього класу ЗП належать тиристорні регулятори змінної напруги (рис. 3.8), а також напівпровідникові інвертори із широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ) вихідної напруги. До них також відносяться амплітудно-імпульсні регулятори (АІР), вони реалізуються у вигляді регулюючих транзисторів або дроселів, що підмагнічуються, і трансформаторів (рис. 3.9), які можуть входити до складу ЗП на базі інверторів з жорсткою вихідною характеристикою 2.

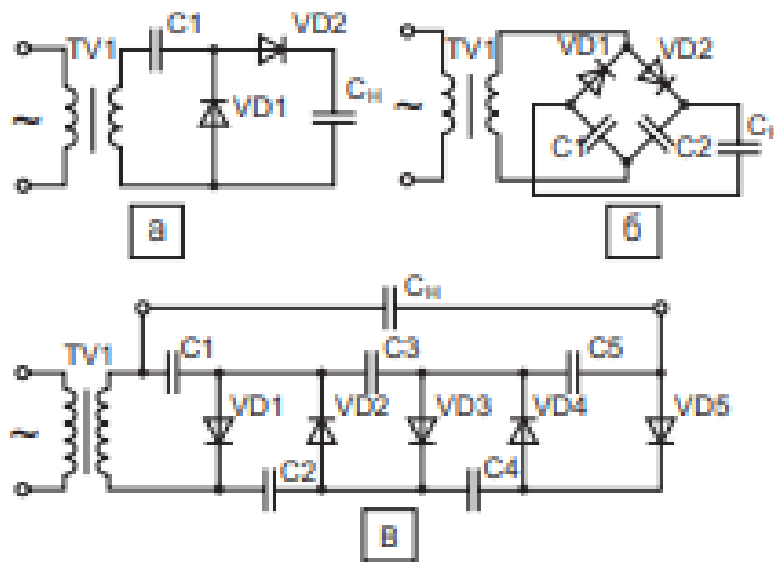


Рисунок 3.7. - Схеми зарядних пристроїв з ємнісними дозаторами та множенням вихідної напруги

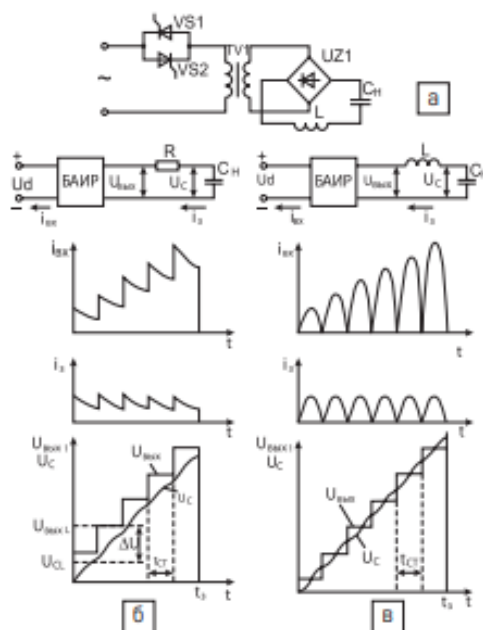


Рисунок 3.8. - Схеми та часові діаграми для зарядних пристроїв з імпульсним регулюванням зарядного процесу:

а) при імпульсно + фазовому регулюванні; б) при амплітудно+фазовому регулюванні та резистивному струмоформуванні; в) при амплітудно+імпульсному регулюванні та індуктивному струмоформуванні

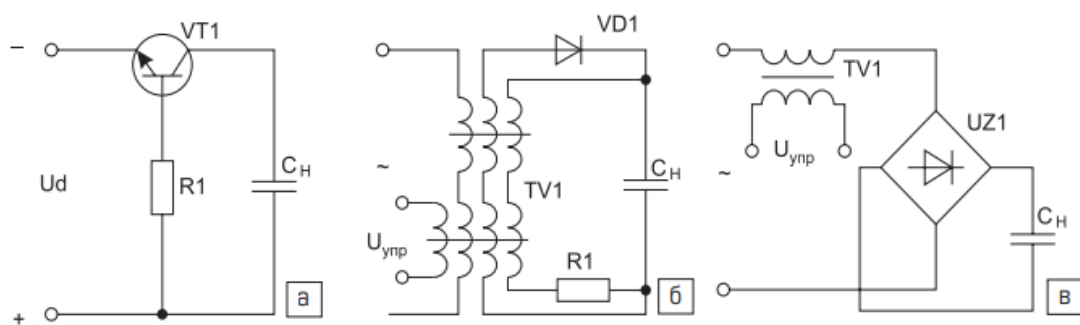


Рисунок 3.9. - Схеми зарядних пристроїв з безперервним регулюванням зарядного процесу

Це інвертори з жорсткою вихідною характеристикою, але живляться від джерела з вихідною напругою, що регулюється.

Клас регульованих ЗП досить широкий, до нього входять і ЗП з групою інверторів, вихідні випрямлячі яких включені послідовно, а алгоритм роботи побудований так, що в міру заряду ЄНЕ до першого інвертора по черзі

підключаються інші, а сумарна напруга на виході збільшується ступінчасто. Регулюючий елемент стабілізує струм у межах одного ступеня, що зменшує втрати в регулювальному елементі або ТФЕ та підвищує загальний ККД ЗП.

Слід виділити ЗП з фазовим регулюванням, коли два джерела змінної напруги з однією частотою інвертування, що працюють на одне навантаження, протягом часу заряду ЄНЕ змінюють фазу вихідної напруги відносно один одного від протифазної до синфазної за заданим алгоритмом (рис. 3.10 – 3.11).

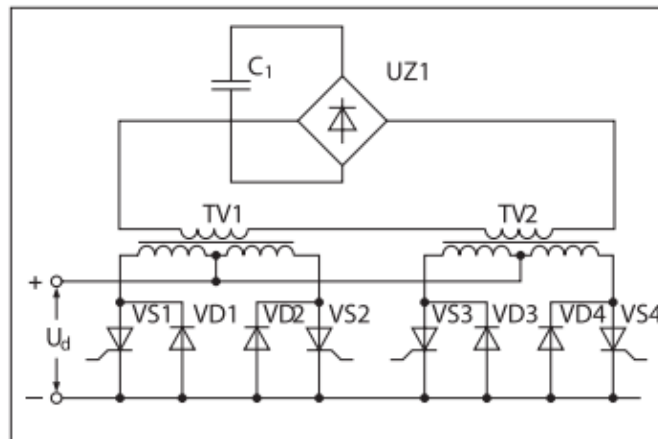


Рисунок 3.10. - Регулювання потужності навантаження здвоєним однофазним інвертором

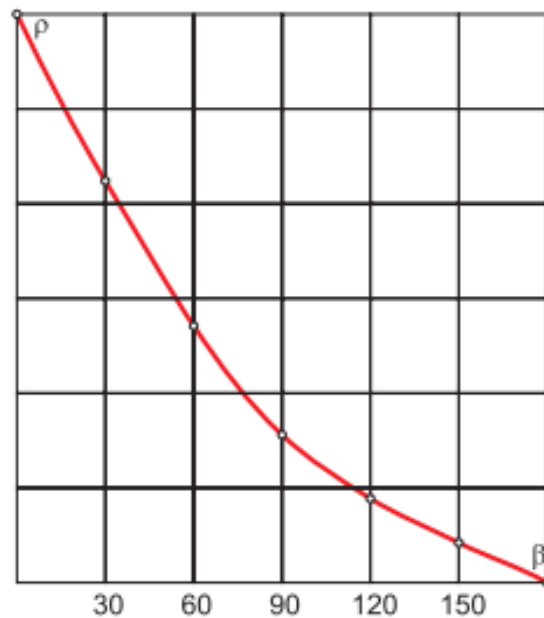


Рисунок 3.11. - Залежність вихідної потужності інвертора від кута регулювання β

Інший принцип закладено в регульованих ШІМ-інверторах, коли група з n інверторів працює із фазовим зсувом π/n . У цьому випадку реалізується два принципи регулювання: безперервного та амплітудно-імпульсного регулювання, коли на виході n послідовно включених випрямлячів струм у початковий момент регулюється тривалістю імпульсів, потім зі збільшенням тривалості їх амплітуда спочатку подвоюється, а при тривалості $t = \pi/2$ амплітуда зростає в n разів (рис. 3.12 – 3.13).

Перелічені способи регулювання процесу заряду ЄНЄ найчастіше використовуються комплексно, тобто у поєднанні тих чи інших способів. Це дозволяє використовувати переваги кожного із способів та зменшити притаманні їм недоліки.

Як ми вже згадували, значне підвищення вихідної напруги досягається застосуванням вихідних трансформаторів. Відповідно до представленої структурної схеми класифікації ЗП процес заряду може регулюватись як на первинній, так і на вторинній стороні трансформатора. До того ж застосування трансформаторів дозволяє підсумовувати вихідні напруги кількох джерел змінної напруги.

Було проаналізовано ЗП різних типів. Результати аналізу зведені в таблицю 3.2. У ній представлені характеристики ЗП за масо-габаритними параметрами, коефіцієнт корисної дії та коефіцієнт використання джерела K_i .

Узагальнюючи результати аналізу, можна дійти невтішного висновку: найкращими показниками по досліджуваним параметрам має ЗП з урахуванням перетворювача з вихідним трансформатором.

Обмеження за масо-габаритними показниками ЗП змушують розробників застосовувати у складі ЗП напівпровідникові перетворювачі, які, як видно, з таблиці, знижують масо-габаритні показники, збільшують ККД та коефіцієнт використання джерела. Вивчення робіт у цій області доводить: застосування перетворювачів підвищеної частоти дозволяє не лише знизити масо-габаритні показники ЗП, а й з високою точністю керувати процесом заряду.

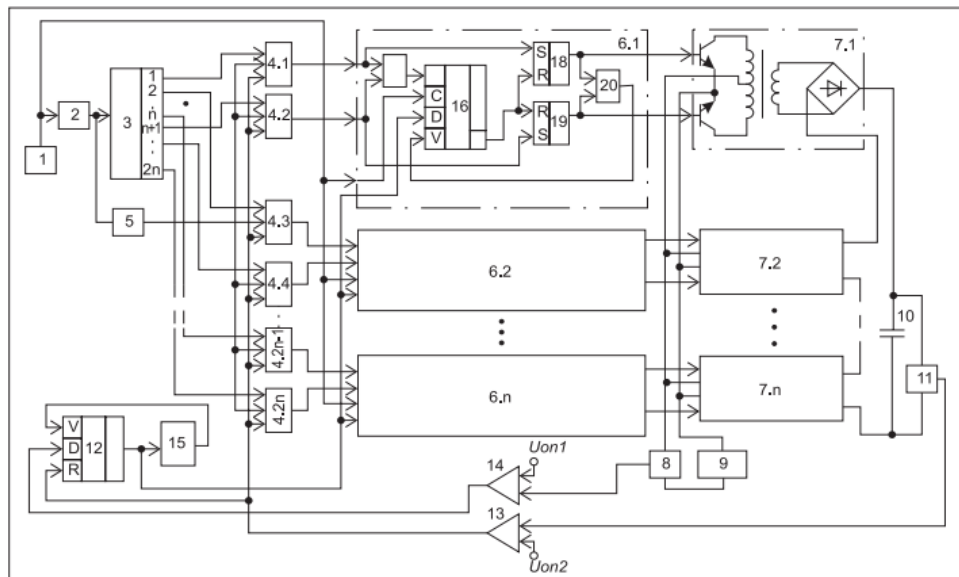


Рисунок 3.12. - Схема каскадного ЗУ із ШІМ+регулюванням вхідного струму

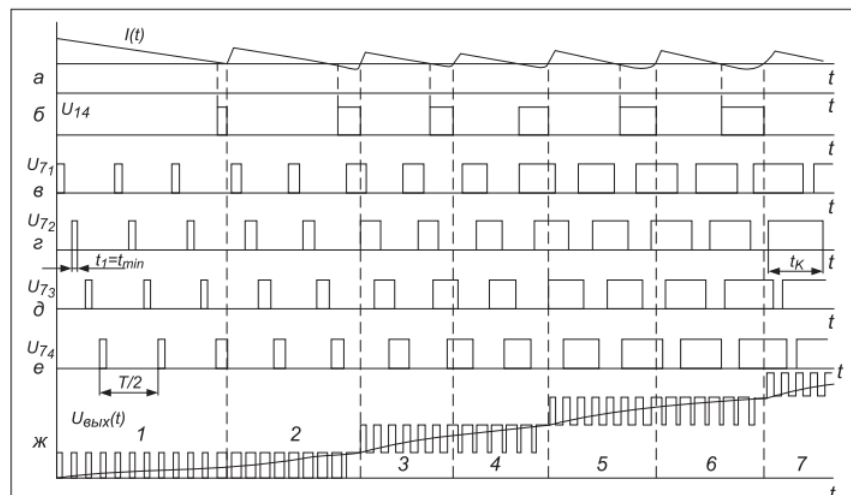


Рисунок 3.13. - Алгоритм зміни вихідної напруги в залежності від зміни тривалості вихідних імпульсів

Таблиця 3.2. - Порівняння різних способів на зарядний режим ЗП

Пристрій	Спосіб дії	М, г	η	K_U
Базовий перетворювач	Транзисторний перетворювач постійної напруги на постійне	2000	0,935	1,0
Нерегульовані ЗУ	З резистивним ТФЕ	10200	0,365	0,57
	З індуктивним ТФЕ	30500	0,84	0,64
Регульовані ЗУ під час заряджання постійним	Безперервне регулювання	16600	0,48	1,0
	Час-імпульсне регулювання	7300	0,891	0,5
	Амплітудно-імпульсне регулювання з резистивним ТФЕ	5350	0,893	0,5

зарядним струмом	Поєднання АІР та ВІР (при 15 ступенях)	2940	0,902	0,5
	Поєднання АІР та НР (при 15 ступенях)	3310	0,856	0,5
Регульовані ЗУ з ІР та НР у різних режимах	Режим постійної споживаної потужності	4550	0,844	1,0
	Компромісний режим	3570	0,854	0,84

2.5. Порівняльний аналіз функціональних вузлів зарядних пристроїв.

Вибір схем для поглибленого аналізу

При всьому різноманітті схем напівпровідникових перетворювачів обмеження, закладені в технічному завданні, вимагають від розробників при аналізі переваг та недоліків кожної зі схем перетворювачів перенести її на нову елементну базу та матеріали та спроектувати перетворювач, який максимально задовольняє встановленим умовам. Зважаючи на все вищевикладене, перейдемо до розгляду конкретних схемних рішень.

Однотактні та двотактні інвертори

Розглянемо схему інвертора на тиристорі. Цей тип інверторів знайшов широке застосування як джерело живлення у технологічних пристроях плавки та термообробки металів промислових підприємств через свою простоту і надійність при значному діапазоні потужностей. Його робота описана в багатьох публікаціях і однією з останніх є. Замінивши зворотний клапан керуванням ключем і підключивши вихідний трансформатор через дозувальну ємність, у певному діапазоні частот можна досягти значного збільшення напруги на первинній обмотці вихідного трансформатора за рахунок резонансних явищ у комутуючому контурі (рис. 2.14).

Потужність перетворювача визначається встановленою потужністю комутуючих елементів та клапанів. Заданий алгоритм заряду СНЕ витримується за допомогою зміни частоти імпульсів, що управляють, і вибору комутувальних елементів. Однак при низьких значеннях напруги живлення виникають значні втрати у тиристорі при інвертуванні великих потужностей.

Крім того, для роботи даної схеми потрібен вхідний дросель із значними масо-габаритними показниками.

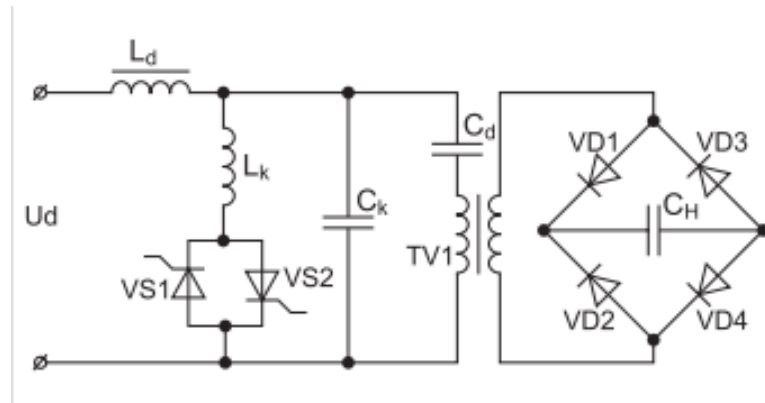


Рисунок 3.14. - Однофазний тиристорний інвертор із ємнісним дозатором енергії

Виключити вхідний дросель можна, замінивши тиристор повністю керованим ключем. Ця схема зберігає всі переваги тиристорного інвертора і, крім того, дозволяє значно підвищити частоту інвертування, що призводить до зниження ваги ємності, що комутує, і трансформатора, а регулювання струму заряду здійснюється схемою управління інвертора.

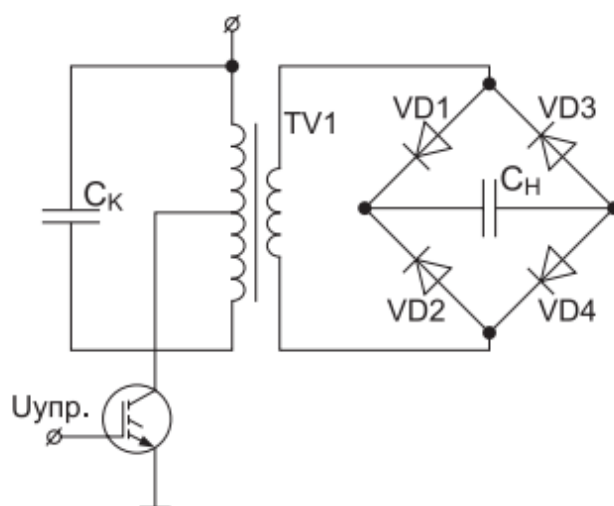


Рисунок 3.15 - Однофазний транзисторний інвертор із резонансним контуром

Двотактний транзисторний інвертор (рис. 16), на відміну від однотактного, має кращі масо-габаритні показники вихідного трансформатора, ККД та рівномірне завантаження джерела живлення. При низьких вхідних напруг його ККД досягає величини 0,85. Перетворювачі, зібрані за двотактною схемою, були успішно використані ЗП модульної конструкції. Вибір частоти перемикання транзисторів та використання додаткових реактивних елементів дозволяє значно підвищити напругу на первинній обмотці трансформатора за рахунок резонансних явищ, що виникають у його контурі (рис. 2.16 б), та компенсувати втрати від паразитних ємностей, що неминуче виникають у трансформаторах з великим коефіцієнтом трансформації.

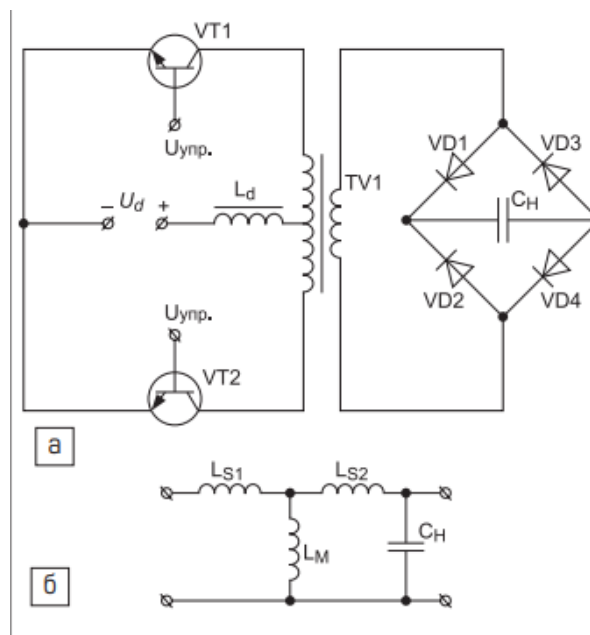
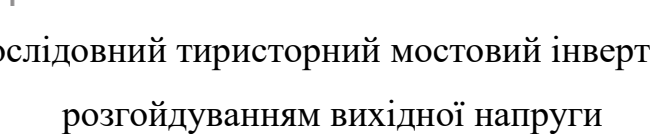


Рисунок 3.16. - а) Двотактний транзисторний інвертор; б) еквівалентна схема трансформатора

Мостові та напівмостові інвертори

Мостові транзисторні та тиристорні інвертори застосовують у тих випадках, коли потужність перетворення значна. У мостових інверторах найбільше ефективно використовується вихідний трансформатор, тому його



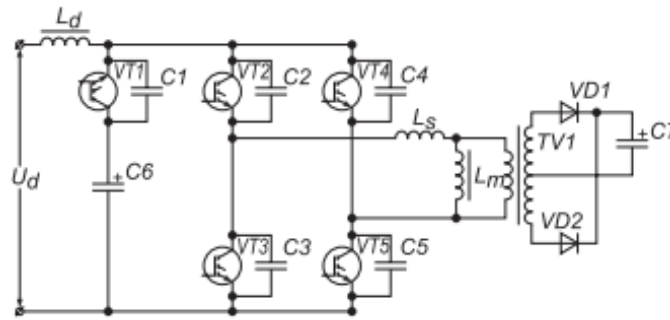


Рисунок 3.18 - Мостовий інвертор на транзисторах з розгойдуванням вихідної напруги за допомогою паразитних індуктивностей та ємностей вихідного трансформатора

На рис. 3.18 представлена схема транзисторного перетворювача з розгойдуванням вихідної напруги за рахунок паразитних реактивних елементів вихідного трансформатора та регульованого повернення енергії в джерело.

Напівмостові інвертори так само, як і мостові, досить широко використовуються в промисловості. У них кількість ключів зменшено до двох, на 3-й та 4-й ключі замінені конденсаторами. У напівмостовому інверторі напруга на трансформаторі складає половину напруги живлення, але, на відміну від мостового та двотактного інверторів, розділові ємності можуть бути як дозуючими елементами, так і елементами резонансного контуру, що іноді є кращим при виборі такого типу інверторів.

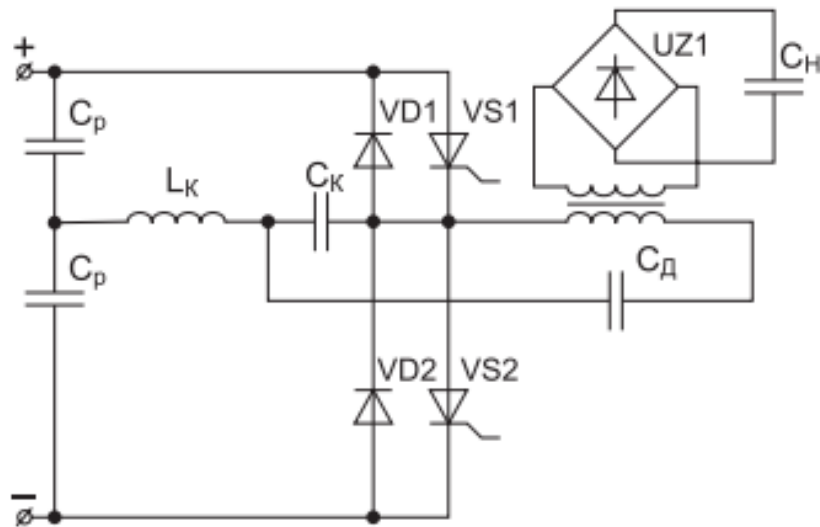


Рисунок 3.19 - Напівмостовий тиристорний інвертор з дозатором енергії та резонансним контуром

На рис. 3.19 представлено ЗП на тиристорах, виконане за напівмостовою схемою з резонансним контуром і керованим зворотним вентилем, який дозволяє змінювати рівень розгойдування резонансного контуру в міру заряду накопичувальної ємності. Дозуюча ємність виключає режим КЗ та регулює величину зарядного струму.

У тих випадках, коли масо-габаритні показники відіграють головну роль, напівмостові інвертори виконуються на транзисторах. На рис. 3.20 представлена схема транзисторного перетворювача постійної напруги з високочастотним резонансним інвертором.

Існує спосіб каскадного включення трансформаторів, коли для досягнення високого коефіцієнта трансформації $K_T \geq 10^4$ первинну обмотку одного трансформатора підключають до вторинної обмотки іншого.

У цьому сумарний коефіцієнт трансформації $K_\Sigma = K_{T1} \times K_{T2}$.

Аналіз кращих схем інверторів

Проведений аналіз ЗП показав, що досягнення вихідного коефіцієнта посилення ЗП за напругою $10^3 - 10^4$ можна здійснити за допомогою проміжної ланки перетворення постійного струму низької напруги в змінний струм, з

подальшим трансформуванням і випрямленням з метою одержання постійного струму високої напруги.

Таким чином, до розгляду приймалися напівпровідникові перетворювачі постійного струму, які дозволяють отримати розгойдування напруги на первинній обмотці вихідного трансформатора.

Для проведення порівняльного аналізу було зроблено такі обмеження:

- ✓ робочі струми транзисторних ключів – 400 А;
- ✓ робочі струми тиристорних ключів – 1000 А;
- ✓ робоча частота перетворювача – 5000 Гц;
- ✓ напруга джерела живлення - 20 В постійного струму.

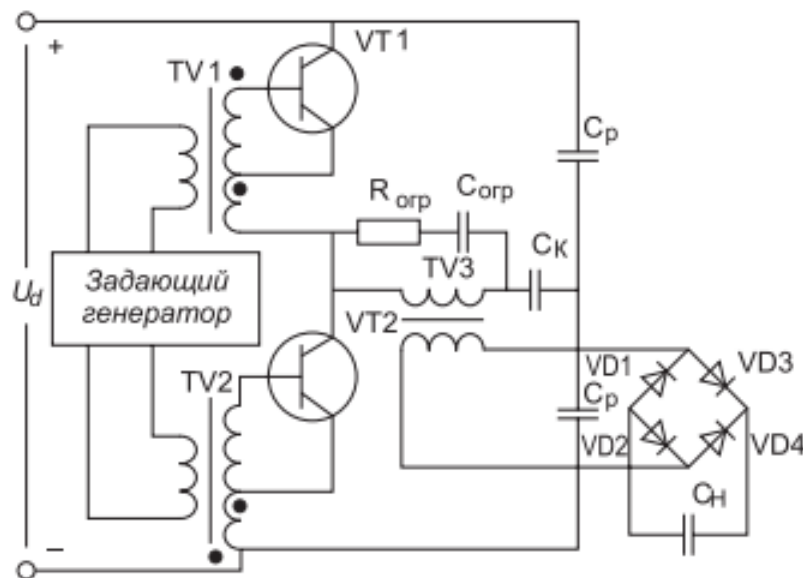


Рисунок 3.20 - Напівмостовий перетворювач постійної напруги з високочастотним резонансним інвертором

Аналіз проводиться за такими критеріями:

- ✓ одинична потужність – потужність, що знімається з одного конструктивного модуля без паралельного включення силових ключів;
- ✓ масо-габаритні показники трансформатора – масо-габаритні показники вихідного трансформатора одного модуля;

✓ переривчастість вхідного струму – рівномірність споживання вхідного струму протягом періоду робочої частоти інвертора при обмеженій величині індуктивності вхідного дроселя та ємності фільтра;

✓ втрати в ключах — втрати потужності, пов'язані з прямим падінням напруги у відкритому стані ключа та його комутаційні втрати;

✓ коефіцієнт корисної дії;

✓ перевантажувальна здатність - здатність інвертора витримувати короточасні перевантаження струмом в аварійних режимах до спрацьовування захисту;

✓ стійкість до перешкод — здатність функціонування перетворювача за заданим алгоритмом в умовах перешкод заданого рівня;

✓ використання реактивних комутувальних елементів — необхідність використання додаткових елементів, без яких функціонування перетворювача неможливе;

✓ регульована розгойдування - можливість регулювання величини напруги на вихідному трансформаторі за заданим алгоритмом;

✓ дозування енергії силовою схемою – можливість підтримки заданої величини струму споживання за допомогою елементів перетворювача без зміни алгоритму роботи перетворювача.

Перетворювачі з точки зору визначення обмежень за пропонованими критеріями, оцінимо кожен з цих перетворювачів за трибальною шкалою. При цьому "дуже добре" позначимо двома плюсами; "добре" - одним плюсом; "задовільно" - мінусом.

В результаті проведеного огляду схем напівпровідникових перетворювачів за трибальною шкалою складено таблицю 2.3.

Провівши експертну оцінку за встановленими критеріями, можна зробити такі висновки.

Найбільш прийнятними схемами перетворювачів є:

1. Двотактний транзисторний перетворювач модульної конструкції з каскадним включенням вихідних обмоток та введенням реактивних елементів для створення резонансного контуру.

2. Мостовий тиристорний інвертор з резонансним контуром.

3. Мостовий транзисторний інвертор із резонансним контуром.

Застосування одноктактних та напівмостових інверторів проблематичне та потребує додаткової оцінки при математичному моделюванні.

Таблиця 3.3. - Оцінка інверторів за деякими критеріями

Критерії оцінки	Тип інвертора							
	Однотактний тиристорний	Однотактний транзисторний	Двухтактний транзисторний інвертор	Двухтактний тиристорний інвертор	Мостовий тиристорний інвертор	Мостовий транзисторний інвертор	Напівмостовий тиристорний інвертор	Напівмостовий транзисторний інвертор
Одинична потужність	+	-	+	++	++	+	+	-
Масо-габаритні параметри трансформатора	-	-	+	+	++	++	+	+
Уривчастість вхідного струму	-	-	++	++	++	++	++	++
Втрати в ключах	+	+	++	++	+	+	-	-
ККД	-	-	++	++	-	-	-	-
Перевантажувальна здатність	++	+	+	++	++	+	++	+
Перешкодостійкість	++	++	-	+	+	-	+	-
Відсутність реактивних комутуючих елементів	-	+	+	-	-	+	-	+
Регульована розгойдування	+	+	-	-	+	+	+	+
Дозування енергії силової схеми	++	++	+	+	+	+	++	++

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3:

В розділі 3 «Розробка систем заряду ємнісних накопичувачів енергії» було здійснено детальний аналіз та розробку підходів до проектування зарядних систем для ємнісних накопичувачів енергії.

Розробка систем заряду ємнісних накопичувачів енергії вимагає врахування специфічних характеристик цих накопичувачів, таких як висока ємність, тривалий час зберігання енергії та здатність швидкого розряду.

Основними завданнями при розробці є забезпечення стабільного та ефективного процесу заряду, мінімізація втрат енергії та забезпечення довготривалого терміну служби компонентів системи.

Було проведено порівняльний аналіз різних методів перетворення енергії, які використовуються в зарядних пристроях для ємнісних накопичувачів. Серед розглянутих методів, найефективнішими виявилися методи з використанням імпульсних перетворювачів, які забезпечують високу ефективність перетворення та можливість гнучкого налаштування параметрів заряду.

Крім того, було визначено, що методи з низькими рівнями шумів та втрат енергії мають значні переваги в контексті забезпечення надійності та стабільності роботи зарядних систем.

Встановлено основні вимоги до зарядних пристроїв, серед яких важливе місце займають висока ефективність перетворення енергії, здатність до роботи в широкому діапазоні напруг, надійність, компактність і безпечність експлуатації.

Окремо підкреслено важливість забезпечення стабільного струму заряду, який відповідає характеристикам ємнісних накопичувачів, а також захисту від перевантажень та інших небажаних режимів роботи.

Забезпечення відповідності екологічним стандартам та зменшення впливу на навколишнє середовище також є важливими аспектами при розробці сучасних зарядних пристроїв.

Таким чином, проведений аналіз і розробка методів зарядки ємнісних накопичувачів енергії дозволили виділити ключові вимоги та підходи, які забезпечують ефективність, надійність і тривалий термін експлуатації таких систем. Отримані результати сприяють вдосконаленню існуючих рішень і розробці нових, більш досконалих зарядних пристроїв для різних застосувань в електротехнологіях.

ВИСНОВКИ Й РЕКОМЕНДАЦІЇ:

Системи накопичення електроенергії (СНЕ) відіграють ключову роль в сучасній енергетиці, дозволяючи зберігати надлишкову електроенергію для подальшого використання. Вони забезпечують стабільність енергосистем, оптимізують використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) і підвищують енергонезалежність. Нижче наведено огляд основних типів СНЕ та їх особливості.

Основні типи систем накопичення електроенергії

Акумуляторні системи (Battery Energy Storage Systems, BESS):

- ✓ Літій-іонні батареї: Найпоширеніший тип акумуляторів завдяки високій енергетичній щільності, тривалому терміну служби та швидкому заряджанні/розряджанні. Використовуються в широкому спектрі застосувань, від домашніх систем до великих промислових установок.

- ✓ Нікель-металгідридні (NiMH) та свинцево-кислотні батареї: Використовуються в деяких нішах, таких як резервні джерела живлення та в автомобільній промисловості. Свинцево-кислотні батареї дешевші, але мають меншу тривалість життя та енергетичну щільність.

- ✓ Натрій-сірчані батареї: Використовуються для великих енергосистем через високу ємність та ефективність, але потребують високих температур для роботи.

Теплові системи накопичення:

- ✓ Накопичення тепла в розплавлених солях: Використовується в сонячних теплових електростанціях (CSP), де сонячне тепло зберігається в розплавлених солях і може бути використане для виробництва електроенергії навіть уночі.

- ✓ Зберігання тепла в твердих матеріалах: Використовуються для опалення та в деяких промислових процесах.

Механічні системи накопичення:

- ✓ Гідроакумуляуючі електростанції (ГАЕС): Найбільший і найпоширеніший метод зберігання енергії. Вода перекачується в резервуар на

висоті, коли є надлишок електроенергії, і спускається через турбіни для виробництва електрики, коли потрібна додаткова потужність.

- ✓ Компресія повітря (CAES): Енергія зберігається через стискання повітря в підземних резервуарах, яке потім розширюється і приводить в дію турбіни для виробництва електроенергії.

- ✓ Інерційні накопичувачі (Flywheels): Використовують кінетичну енергію обертання ротора, щоб зберігати та швидко виділяти електроенергію. Підходять для забезпечення стабільності мережі та короткочасних потреб.

Хімічні системи накопичення:

- ✓ Водневі паливні елементи: Виробляють електроенергію шляхом окислення водню. Водень може бути отриманий з надлишкової електроенергії через електроліз і зберігатися для подальшого використання.

- ✓ Реакторні потоки (Flow batteries): Складаються з двох резервуарів з рідинами, що містять електроліти, які циркулюють через реактор і генерують електроенергію. Вони забезпечують тривале зберігання і можуть бути масштабованими.

Що стосується переваг систем накопичення електричної енергії, то необхідно відмітити наступні.

- ✓ Підвищення надійності та стабільності електричних мереж.

- ✓ Оптимізація використання ВДЕ, зменшення залежності від викопного палива.

- ✓ Зниження витрат на енергозабезпечення та підвищення енергоефективності.

Наряду з перевагами розвиток систем накопичення електроенергії стискається з такими труднощами, як:

Висока вартість деяких технологій, особливо на ранніх стадіях впровадження.

- ✓ Необхідність масштабування виробництва для зниження вартості.

✓ Обмежений термін служби деяких систем та проблеми з утилізацією, особливо для акумуляторів.

Системи накопичення електроенергії активно розвиваються завдяки зростанню попиту на відновлювану енергію та потребі в підвищенні стабільності енергосистем. Останні інновації включають покращення в області літій-іонних батарей, розробку нових матеріалів для термальних систем, а також впровадження інтелектуальних мереж (smart grids), що оптимізують інтеграцію та використання систем накопичення енергії.

Загалом, розвиток СНЕ є ключовим для переходу до більш стійкої та екологічно чистої енергетики.

В розділі «Аналіз схем заряду ємнісних накопичувачів енергії» було розглянуто різні підходи та технології, які використовуються для зарядки ємнісних накопичувачів енергії в контексті сучасних електротехнологій.

Зарядні пристрої відіграють критично важливу роль в ефективному та надійному зарядженні ємнісних накопичувачів енергії, забезпечуючи оптимальні режими заряду та мінімізуючи втрати енергії.

Використання сучасних зарядних пристроїв сприяє підвищенню енергоефективності та надійності систем, особливо в умовах зростання вимог до стабільності та якості енергопостачання.

Було розглянуто імпульсні джерела живлення (ІДЖ) стали одним із найбільш ефективних засобів забезпечення живлення для зарядних пристроїв, завдяки їх високій ефективності, компактності та здатності працювати з широким діапазоном напруг.

Аналіз схем ІДЖ показує, що вони дозволяють ефективно заряджати ємнісні накопичувачі енергії, знижуючи теплові втрати і забезпечуючи стабільний струм заряду.

Силові вузли імпульсних джерел живлення грають ключову роль у забезпеченні ефективного перетворення енергії та її стабільного подання на ємнісні накопичувачі.

Використання сучасних компонентів, таких як MOSFET-транзистори та високочастотні трансформатори, дозволяє зменшити габарити та підвищити ККД пристроїв, що є критичним для мобільних і компактних систем.

Надійне проектування та оптимізація силових вузлів забезпечує стійкість системи до перевантажень і короткочасних стрибків напруги, що є важливим для збереження тривалого терміну служби ємнісних накопичувачів.

Загалом, проведений аналіз показав, що правильний вибір і проектування схем заряду ємнісних накопичувачів енергії, з використанням сучасних імпульсних джерел живлення та оптимізованих силових вузлів, є ключовим для забезпечення ефективної роботи електротехнологічних систем. Це сприяє підвищенню енергоефективності, зниженню витрат на експлуатацію та збільшенню надійності енергетичних рішень.

В розділі «Розробка систем заряду ємнісних накопичувачів енергії» було здійснено детальний аналіз та розробку підходів до проектування зарядних систем для ємнісних накопичувачів енергії.

Розробка систем заряду ємнісних накопичувачів енергії вимагає врахування специфічних характеристик цих накопичувачів, таких як висока ємність, тривалий час зберігання енергії та здатність швидкого розряду.

Основними завданнями при розробці є забезпечення стабільного та ефективного процесу заряду, мінімізація втрат енергії та забезпечення довготривалого терміну служби компонентів системи.

Було проведено порівняльний аналіз різних методів перетворення енергії, які використовуються в зарядних пристроях для ємнісних накопичувачів. Серед розглянутих методів, найефективнішими виявилися методи з використанням імпульсних перетворювачів, які забезпечують високу ефективність перетворення та можливість гнучкого налаштування параметрів заряду.

Крім того, було визначено, що методи з низькими рівнями шумів та втрат енергії мають значні переваги в контексті забезпечення надійності та стабільності роботи зарядних систем.

Встановлено основні вимоги до зарядних пристроїв, серед яких важливе місце займають висока ефективність перетворення енергії, здатність до роботи в широкому діапазоні напруг, надійність, компактність і безпечність експлуатації.

Окремо підкреслено важливість забезпечення стабільного струму заряду, який відповідає характеристикам ємнісних накопичувачів, а також захисту від перевантажень та інших небажаних режимів роботи.

Забезпечення відповідності екологічним стандартам та зменшення впливу на навколишнє середовище також є важливими аспектами при розробці сучасних зарядних пристроїв.

Таким чином, проведений аналіз і розробка методів зарядки ємнісних накопичувачів енергії дозволили виділити ключові вимоги та підходи, які забезпечують ефективність, надійність і тривалий термін експлуатації таких систем. Отримані результати сприяють вдосконаленню існуючих рішень і розробці нових, більш досконалих зарядних пристроїв для різних застосувань в електротехнологіях.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ:

1. Нова енергетична стратегія України: безпека, енергоефективність, конкуренція [Електронний ресурс]: проект. - Київ, 2015. - Режим доступу:<http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/doccatalog/document?id=245032412>. - URL.
2. Сердюк Б. М. Використання показників SAIDI, SAIFI для економічної оцінки надійності електропостачання промислових підприємств [Електронний ресурс] / Б. М. Сердюк, А. А. Ліщук // Ефективна економіка. — 2012. — № 2. — Режим доступу: \www/URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=957>
3. Постанова НКРЕКП від 25.05.2017 № 685. Режим доступу: http://www.nerc.gov.ua/data/filearch/Materialy_zasidan/2017/traven/25.05.2017.
4. Звіт про результати діяльності у 2015 році [Електронний ресурс]// <http://www.nerc.gov.ua/data/id=19733.-URL>.
5. Електричні мережі та системи: підручник [для студентів електроенергет. спец. ВНЗ, аспірантів, викл. і спеціалістів відповід. профілю] / М. С. Сегеда ; М-во освіти і науки України.
6. Aneke M, Wang M. Energy storage technologies and real life applications and a state of the art review. Apple Energy 2016; 179:350-377.
7. S. Koohi-Kamali, V.V. Tyagi, N.A. Rahim, N.L. Panwar, H. Mokhlis, Emergence of energy storage technologies as the solution for reliable operation of smart power systems: A review, Renewable & Sustainable Energy Reviews, 25 (2013) 135 - 165. 5. Hydro-accumulating power station [Electronic resource]. – 2022. – Access mode: https://uk.wikipedia.org/wiki/Hydroaccumulative_electrical_station
8. Gravity battery [Electronic resource]. – 2022. – Access mode: <https://cutt.ly/sCRKGMV>
9. Gravitational energy storage [Electronic resource]. – 2021. – Access mode: <https://habr.com/ru/post/377425/>

10. Energy Vault EV1 CDU Production Bricks & Hooks 0031 [Electronic resource]. – 2022. – Access mode: <https://www.energyvault.com/photo-gallery>
11. National association of oil and gas service [Electronic resource]. – 2022. – Access mode: <https://nangs.org/news/renewables/90-metrovyy-gravitatsionnyy-akkumulyator-reshit-problemy-alyternativnoyenergetiki>
12. F. Schüth, Energy Storage Strategies, in: R. Schlögl (Ed.) Chemical Energy Storage, Hubert & Co. GmbH & Co. KG, Göttingham, Berlin, 2013, pp. 35 - 47.
13. T.M.I. Mahlia, T.J. Saktisahdan, A. Jannifar, M.H. Hasan, H.S.C. Matseelar, A review of available methods and developments on energy storage; technology update, Renewable & Sustainable Energy Reviews, 33 (2014) 532 - 545.
14. J.M. Carrasco, L.G. Franquelo, J.T. Bialasiewicz, E. Galvan, R.P.C. Guisado, M.A. Prats, J.I. Leon, N. Moreno-Alfonso, Power-Electronic Systems for the Grid Integration of Renewable Energy Sources: A survey, IEEE Transactions on Industrial Electronics 53 (2006) 1002 - 1016.
15. A.S. Biris, A.R. Biris, D. Lupu, D. Buzatu, J. Darsey, M.K. Muzumder, Use of carbon nanostructures for hydrogen storage for environmentally safe automotive applications, in: Proc. 39th IEEE-IAS Annual meeting, 2004, pp. 953 - 956.