Міністерство освіти і науки України
Харківський національний автомобільно-дорожній університет
Механічний факультет
Кафедра метрології та безпеки життєдіяльності

ДИПЛОМНА РОБОТА
магістра

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ТА СПОСОБІВ ЗАРЯДКИ ЕЛЕКТРИЧНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Завідувач кафедри, к-т техн. наук, доц. О.І. Богатов
Нормоконтролер, к-т техн. наук М.В. Москаленко
Керівник, к-т техн. наук І.О. Сєрікова
Студент гр. ММ-61-21 В.Д. Горбунов

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

Харків - 2022

Харківський національний автомобільно-дорожній університет
Факультет Механічний
Кафедра: Метрології та безпеки життєдіяльності
Освітньо-кваліфікаційний рівень: магістр
Галузь знань: 15 «Автоматизація та приладобудування»
Спеціальність: 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри,
проф. Богатов О.І.
“____” _____2022 року

З А В Д А Н Н Я

НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ МАГІСТРА СТУДЕНТУ

Горбунову Владиславу Дмитровичу

1. Тема роботи: ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ТА СПОСОБІВ ЗАРЯДКИ ЕЛЕКТРИЧНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ,
керівник роботи Сєрікова Ірина Олексіївна, канд. техн. наук
затверджені рішенням Вченої ради МФ від 04.10.2022 р. № 102.
2. Строк подання студентом роботи: 15 грудня 2022 р.
3. Вихідні дані до роботи: коректор потужності, реактивна потужності, гармонійний аналіз, втрати енергії, ККД.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):
- теоретичне обгрунтовування вибраного напрямку;
- розробка структурної схеми системи;
- розробка електричної принципової схеми системи;
- вибір та розрахунок елементної бази системи;
- охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов’язкових креслень)
- зарядна система електромобіля (2-4 слайда);
- пасивне та активне корегування коефіцієнта потужності (1 слайд);
- вищі гармоніки в трифазних мережах (1 слайд);
- промислові коректори коефіцієнта потужності (1-2 слайда);
- діаграма струмі в схемі коректора коефіцієнта потужності (1 слайд);
- заряджальний пристрій з активним коректором потужності (1 слайд);
- охорона праці та безпека життєдіяльності (1слайд);
- економіка (1 сайд);
- висновки (1 слайд).

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Сєрікова І.О., доцент кафедри МБЖД		

7. Дата видачі завдання 5 жовтня 2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

	Назва етапів дипломної роботи магістра	Строк виконання етапів роботи
1	Стан питання	10.10.2022
2	Теоретичне обґрунтовування вибраного напрямку	24.10.2022
3	Фактори впливу напруги і струму на роботу електрообладнання	07.11.2022
4	Системи корекції коефіцієнта потужності	21.11.2022
5	Система захисту батарей від перерозряду	02.12.2022
6	Охорона праці та БЖД	05.12.2022
7	Редагування та оформлення пояснювальної записки, підготовка презентації	12.12.2022

Студент Горбунов В.Д.

Керівник роботи Сєрікова І.О.

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

РЕФЕРАТ

Дипломна робота: 93 с., 28 рисунків, 1 табл., додаток, 33 джерел.

ІМПУЛЬСНИЙ СТРУМ, КОРЕКТОР КОЕФІЦІЄНТА ПОТУЖНОСТІ, НЕСІНУСОІДАЛЬНІСТЬ НАПРУГІ, РЕАКТИВНА ПОТУЖНІСТЬ.

Об’єкт дослідження – підвищення коефіцієнту реактивної потужності.

Мета роботи – ефективне використання процесу зарядки електричних транспортних засобів.

Метод дослідження заснований на використанні системного підходу до проведення аналізу та синтезу зарядних пристроїв електричних транспортних засобів, на раціональному поєднанні теоретичних і експериментальних розробок та узагальненні наукових результатів, математичного моделювання.

Предмет дослідження – схеми коректорів коефіцієнту потужності.

Проведено аналіз існуючих систем, що знижують реактивну потужність в системах заряджання тягових акумуляторів електротранспорту. Обґрунтовано розробку мікроконтролерної системи керування зарядкою тягових акумуляторів електротранспорту зі стабілізацією зарядного струму. Розроблено мікроконтролерну систему, що складається з блоку генерації, потужних драйверів, датчику струму, робота якого заснована на ефекті Холлу та гальванічного розв’язання інформаційної шини.

Розроблено електричну принципову схему запропонованої системи, виконані необхідні розрахунки. Створено друковані плати модулів системи та зібрано діючий прототип пристрою.

Результати дипломної роботи можуть бути використані як у навчальному процесі, так і у виробничій діяльності.

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів ……..5
Вступ 6
1 Системи заряджання тягових акумуляторів електротранспорту 9
1.1 Контактні системи 9
1.2 Безконтактні системи 13
1.3 Вимоги до заряджання Li–Ion акумуляторів 18
1.4 Висновки по розділу 29
2 Зарядні пристрої для літій–іонних акумуляторних батарей 31
2.1 Проблеми вирівнювання заряду Li–Ion батарей 39
2.2 Висновки по розділу 40
3 Фактори впливу реактивної потужності 41
3.1 Наслідки коливань напруги 45
3.2 Вплив несиметрії напруги 46
3.3 Вплив несинусоїдальності напруги 48
3.4 Вплив вищих гармонік напруги і струму на роботу електрообладнання . 54
3.5 Висновки go розділу 58
4 Системи корекції коефіцієнта потужності 59
4.1 Аналіз схемотехнічних рішень 59
4.2 Розробка моделі зарядного пристрою 65
4.3 Висновки по розділу 70
5 Охорона праці 71
5.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів 72
5.2 Умови праці на робочому місці 72
5.3 Мікроклімат 73
Висновки 74
Перелік посилань 75
Додаток А Ілюстративний матеріал до дипломної роботи 78

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

АБ – акумуляторна батарея

АД – асинхронний двигун

ДВЗ – двигун внутрішнього згоряння

ЕП – електропривід

ККД - коефіцієнт корисної дії

ТЕД - тяговий електродвигун

ТРІСУ - транзисторно-імпульсну систему управління

ФПН - фаза постійної напруги

ЗП – зарядні пристрої

ЦП - цифровий процесор

СОФ - система забезпечення функціонування

СЗБ - стан заряду батарей

ККП - коректори коефіцієнта потужності

ШІМ - широтно-імпульсна модуляція

СЗС - спеціальні зарядні станції

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

ВСТУП

Відхилення коефіцієнта потужності від нормованих значень погіршують умови експлуатації електрообладнання енергопостачальних організацій і споживачів електроенергії, можуть призвести до значних збитків як в промисловості, так і в побутовому секторі, обумовлюють, як вже зазначалося, технологічний і електромагнітний збитки. Від електричних мереж систем електропостачання загального призначення живляться електроприводи (ЕП) різного призначення, розглянемо промислові та побутові ЕП.

Найбільш характерними типами електроприводів, що широко застосовуються на підприємствах різних галузей промисловості, є електродвигуни та прилади локального освітлення. Більше розповсюдження отримали електротермічні установки, а також напівпровідникові перетворювачі, що призначені для перетворення змінного струму в постійний. Для живлення двигунів постійного струму, в гальванічних процесах, для електролізу, при деяких видах зварювання застосовується постійний струм.

Електродвигуни застосовуються в технологічних процесах різних виробничих механізмів. В установках, що не потребують регулювання частоти обертання в процесі роботи, застосовуються електроприводи змінного струму: асинхронні та синхронні електродвигуни.

Застосування електродвигунів асинхронного і синхронного типу залежить від напруги живлення. Встановлено більш економічний діапазон. При напрузі до 1 кВ і потужності до 100 кВт раціональніше застосовувати двигуни асинхронні, а понад 100 кВт – двигуни синхронні, при напрузі до 6 кВ і потужності до 300 кВт - асинхронні, а вище 300 кВт - синхронні, при напрузі 10 кВ і потужності до 400 кВт.

Велике поширення асинхронних двигунів обумовлено їх простотою у виконанні та експлуатації і відносно невеликою вартістю.

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

Синхронні двигуни мають ряд переваг порівняно з асинхронними двигунами: зазвичай використовуються в якості джерел реактивної потужності, їх обертальний момент менше залежить від напруги на затисках, у багатьох випадках вони мають більш високий коефіцієнт корисної дії (ККД). Водночас синхронні двигуни є дорожчими і складнішими у виготовленні та експлуатації.

Установки електричного освітлення з лампами накалювання, люмінесцентними, дуговими, ртутними, натрієвими, ксеноновими застосовуються на всіх підприємствах для внутрішнього і зовнішнього освітлення, для потреб міського освітлення тощо.

Електрозварювання - це однофазне нерівномірне і несинусоїдальне навантаження з низьким коефіцієнтом потужності: 0,3 для дугового зварювання і 0,7 для контактного.

Зварювальні трансформатори та апарати малої потужності підключаються до мережі 380 В/220 В, більш потужні - до мережі від 6 кВ до 10 кВ.

Вентильні перетворювачі є споживачами реактивної потужності в силу специфіки їх регулювання (коефіцієнт потужності вентильних перетворювачів коливається від 0,3 до 0,8), це викликає відхилення напруги живлення в мережі; коефіцієнт спотворення синусоїдальності при роботі вентильних перетворювачів досягає понад 30 % на стороні 10 кВ напруги, що їх живить, на симетрію напруги в силу симетричності їх навантажень вентильні перетворювачі не впливають.

Причиною порушення умов роботи є установки електрозварювання. Зокрема, зварювальні агрегати, потужність яких в даний час досягає 1500 кВт в одиниці, викликають значно більші коливання напруги в електричних мережах, ніж, наприклад, пуск асинхронних двигунів з короткозамкнутим ротором. Крім того, ці коливання напруги відбуваються тривало і з широким діапазоном частот, в тому числі і в самому неприємному для установок електричного освітлення діапазоні (близько 10 Гц).

Електротермічні установки залежно від методу нагріву діляться на групи: дугові печі, печі опору прямої і непрямої дії, електронні плавильні печі,

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

вакуумні, шлакового переплаву, індукційні печі. Дана група ЕП також надає несприятливий вплив на живильну мережу, наприклад, дугові печі, які можуть мати потужність до 10 МВт, в даний час споруджуються як однофазні. Це призводить до порушення симетрії струмів і напружень (останнє відбувається у зв'язку з падіннями напруги живлення від струмів). Крім того, вентильні установки та дугові печі є нелінійними електроспоживачами з малою інерційністю. Тому вони призводять до несинусоїдальності струмів, а, отже, і напружень.

Сучасне електричне навантаження квартири (котеджу) характеризується широким спектром побутових ЕП, які за їх впливом і призначенням на електричну мережу живлення розділяються на групи: пасивні споживачі активної потужності (лампи накалювання, нагрівальні елементи обігрівачів, плит, прасок); ЕП з асинхронними двигунами, що працюють у трифазному режимі (привід ліфтів, насосів - у системі водопостачання та опалення тощо); ЕП з асинхронними двигунами, що працюють в однофазному режимі (привід компресорів холодильників, пральних машин та ін.); ЕП з колекторними двигунами (привід пилососів, електродрелів тощо); зварювальні агрегати змінного і постійного струму (для ремонтних робіт у майстерні тощо); випрямні пристрої (для зарядки акумуляторів тощо); радіоелектронна апаратура (телевізори, комп'ютерна техніка тощо); високочастотні установки (печі СВЧ тощо); лампи люмінесцентного освітлення.

Вплив кожного окремо взятого побутового ЕП незначний, сукупність же ЕП, що підключаються до шин 0,4 кВ трансформаторної підстанції, має істотний вплив на мережу, що живить.

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

1 СИСТЕМИ ЗАРЯДЖАННЯ ТЯГОВИХ АКУМУЛЯТОРІВ ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ

1.1 Контактні системи

На сьогодні людство досягло певних успіхів у сфері зарядки електричного транспорту, існують методи та різні способи реалізації цих методів.

Із цих методів можна виділити:

- контактний- активний;
- контактний-пасивний.

1.1 Контактний-пасивний метод

Суть цього методу полягає у тому що електричний транспорт має контактний пристрій та пристрій провідник, через який цей транспорт має пасивний (постійний) зв’язок з джерелом енергії.

Прикладом електротранспорту побудованому за цим методом є: тролейбус, трамвай та метро.

Тролейбус (Trolleybus) – це транспортний засіб, що використовує двопровідну схему живлення силового електроприводу від зовнішнього джерела (контактної мережі) та призначеного для перевезення людей чи вантажів.

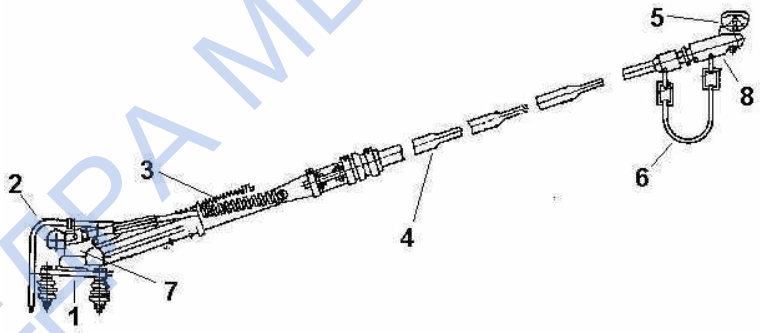
У тролейбусі застосовується тяговий електродвигун (ТЕД) – силовий агрегат тролейбуса, призначений для створення тягового зусилля, за допомогою якого рухається тролейбус. Конструктивно ТЕД постійного струму складається з кістяка (циліндричного або багатогранного), якоря з колектором, головних та додаткових полюсів, щіткових апаратів з графітовими електрощітками, вентилятора для охолодження, підшипникових щитів з підшипниками [1].

Електричний транспорт з застосуванням першого способу контактно-пасивного методу зарядки (тролейбус) зображено на рисунку 1.1.

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

Рисунок 1.1 – Електричний транспорт з застосуванням першого способу контактно-пасивного методу зарядки (тролейбус)

Пристроєм-приймачем для тролейбусу слугує два струмоприймача, які знаходяться на криші транспорту та з’єднані з тяговим приводом (рисунок 1.2).



1 - основа; 2 - дріт що з’єднує апарати тролейбусу; 3 - пружини, які призначені для надійного притиску; 4 - металева або пластмасова труба; 5 – голівка; 6 – башмаковловлювач; 7 - конструкція з'єднання труби та основи; 8 – башмак струмоприймача.

Рисунок 1.2 - Струмоприймач тролейбуса

Сам тяговий привід конструктивно складається з двох таких струмоприймачів, автоматичного вимикача, силового блоку з IGBT-транзисторами, регулятора, що управляє, блоку реостатів, дроселя (реактора радіоперешкод), контролерів ходу і гальма, панельного комп'ютера або комутаційного блоку для підключення зовнішнього персонального комп’ютера

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

та найголовнішого елементу цієї системи – силового блоку з IGBT-транзисторами, реалізація якого дозволила створити на транспорті транзисторно-імпульсну систему управління (ТРІСУ) [2].

Таким чином, принцип живлення/зарядки електричного транспорту реалізовано наступним чином: струмоприймачі (пристрій-провідник) одержують струм з контактного дроту(контактного пристрою), який знаходиться над тролейбусом, та передається на тяговий привід або ТРІСУ. Система працює за таким алгоритмом: при натисканні на пускову педаль (контролер ходу) спрацьовує датчик Холлу (принцип дії заснований на зміні значення потенціалу, підведеного до контролера, залежно від кута нахилу педалі), сигнал надходить на блок, який перетворює аналоговий сигнал в цифровий. З цього блоку сигнал надходить на мікропроцесорний регулятор тягового контейнера, звідки, своєю чергою, йдуть команди на плати управління (драйвери) силовими транзисторами. Драйвери керують транзисторами низьковольтною напругою від 4 В до 8 В і задають транзисторам певний режим роботи, за допомогою якого пропускається потрібний струм на ТЕД [4].

А так як всі сучасні ТРІСУ мають функцію рекуперації, то відповідно відбувається повернення тієї електричної енергії, яка виробляється ТЕД при гальмуванні, в контактну мережу. Ця енергія витрачається для живлення тролейбусів, що знаходяться поблизу, а також на власні потреби (живлення мотора компресора, мотора гідропідсилювача, обігрівачів кабіни і салону). Система управління має функцію автоматичного переходу з рекуперативного гальмування на реостатне і навпаки. Однак, основна частина електроенергії, що виділяється, гаситься в реостатах, перетворюючись при цьому в енергію теплову [3]. Ось таким чином відбувається живлення/зарядка електричного транспорту(тролейбусу) та всіх його систем.

Метрополітен - міська залізниця, що має власний габарит, інженерно відокремлена від будь-якого іншого виду громадського транспорту та

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

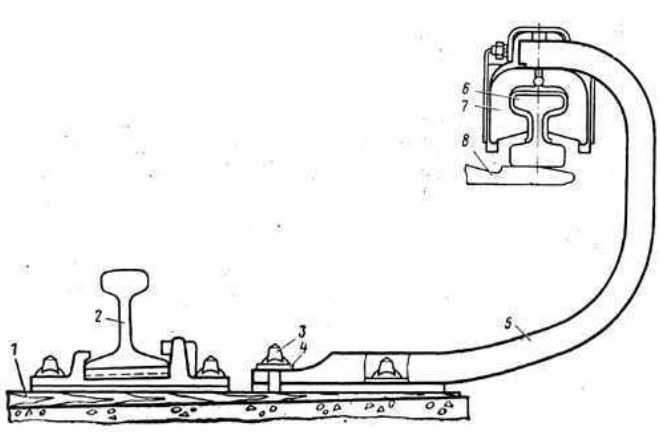
пішохідного руху та призначена для пасажирського руху, траспорт – потяг (рисунок 1.3).

Рисунок 1.3 – Електричний транспорт з застосуванням другого способу контактно-пасивного методу зарядки (потяг метрополітену)

Потяг метрополітену оснащений електричним двигуном змінного струму або асинхронним двигуном. Принцип роботи двигуна ґрунтується на магнетизмі. Якщо ми візьмемо постійний магніт і спробуємо крутити його поряд з мідним диском, то побачимо, як останній теж крутиться. Магніт збуджує в диску індукційні струми, які породжують магнітне поле, своєю чергою, що далі взаємодіє з полем магніту. Ця фізика втілена в асинхронному двигуні. Його основними деталями є статор та ротор, між якими є повітряний зазор. Вони також обладнані обмоткою збудження та магнітопроводом [7].

Пристроєм-приймачем для потягу метрополітену слугує контактна рейка, яка кріпиться за допомогою ізоляторів до кронштейнів, які в свою чергу монтуються на шпали ходових рейок (рисунок 1.4). Принцип живлення/зарядки електричного транспорту: так як було сказано, асинхронний двигун це за суттю електричний двигун, для живлення йому потрібен струм. А щоб з'явився струм, потрібні два полюси - позитивний та негативний. На торці платформи (зліва по руху поїзда) розташовується третя рейка, що знаходиться під напругою 825 В, її називають контактною.

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ



1 – шпала; 2 – колійна рейка; 3 – шуруп; 4 – шайба; 5 – опора-кронштейн; 6 – контактна рейка; 7 – вузол кріплення;8 – струмознімач.

Рисунок 1.4 – Підвіска контактної рейки

Вона виготовляється з м'якої сталі та кріпиться за допомогою фарфорових ізоляторів до кронштейнів (металевих опор). Кронштейни зазвичай встановлюються з відривом від 4,5 м до 5,4 м друг від друга. За формою вони нагадують квадратні дужки. Так ось ця рейка є плюсом, а звичайні рейки – мінусом. Саме на контактну рейку подається постійний струм із тягової підстанції. З парних рейок йде кабель, що відводить струм. Струм "знімається" та подається на сам асинхронний двигун з контактної рейки за допомогою двох струмоприймачів, які рухаються по ній аналогічно пантографу приміського потягу та розташованих на різних сторонах вагона [6].

1.2 Безконтактні системи

Система бездротового заряджання містить у собі:

- базову станцію;
- мобільні пристрої;
- перетворення енергії;
- зв'язок.

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

Базова станція містить один або кілька передавачів енергії, які складаються з передавальної котушки, що генерує змінне магнітне поле. Базові станції зазвичай мають плоску поверхню, тобто інтерфейсну поверхню, на яку може бути поміщено кілька пристроїв.

Це пристрої, які споживають індуктивну енергію. Це можуть бути смартфони або планшети, в яких є котушка, яка входить до складу приймача енергії. Цей приймач забезпечує живлення акумулятора. Блоки зв'язку та управління також знаходяться у приймачі енергії.

Передавач у базовій станції має у своєму складі блок перетворення енергії, який перетворює електричну енергію на бездротовий енергетичний сигнал. У той час, як приймачі в мобільних пристроях складаються з блоку захоплення енергії, який перетворює бездротовий енергетичний сигнал назад на електричну енергію.

Блок зв'язку та управління знаходиться у приймачах енергії, і цей зв'язок завжди супроводжується технологією за назвою модуляція.

Приймач у мобільному пристрої модулює навантаження шляхом перемикання резистора модуляції (Rm) або конденсатора модуляції (Cm).

Передавач в базовій станції демодулює відбите навантаження шляхом вимірювання струму первинної котушки (IP) або напруги первинної котушки (VP). Є дві котушки індуктивності: одна в передавачі, а інша у приймачі. Магнітне поле генерується за допомогою змінного струму в котушці передавача, а магнітне поле індукує напругу в котушці приймача. Тобто приймач у мобільному пристрої постачає енергію електромагнітного поля та перетворює її на електричний струм для зарядки акумулятора.

Методи вирівнювання котушок. Є два способи вирівнювання передавальних та приймальних котушок для передачі енергії:

- кероване позиціонування: тому що котушка передавача знаходиться у базовій станції, а котушка приймача – у мобільному пристрої, мобільний пристрій має бути поміщений на певне місце на поверхні базової станції;

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

- вільне позиціонування: при цьому образі не потрібно поміщати мобільний пристрій у певному місці на поверхні базової станції. Немає потреби у безпосередньому вирівнюванні з котушкою. При цьому способі для створення магнітного поля та індуктивної зарядки акумуляторів на місці розміщення приймальних котушок може використовуватися кілька котушок, що передають.

Усі приймачі можуть заряджатися у двох режимах:

- індуктивний режим;

- резонансний режим.

Режим роботи визначається передавачем. Розглянемо, як ці режими працюють.

Індуктивний режим. Для індуктивної зарядки передбачаються пов'язані системи. Для досягнення кращих результатів передавач повинен працювати на частоті, яка трохи відрізняється від частоти резонансної, тобто частоти приймача Qi. У цьому режимі відстань між передавачем та приймачем обмежується кількома міліметрами. Ці сильно пов'язані системи допомагають досягти високої енергетичної ефективності.

Коли котушки мають однакові розміри, і відстань між ними менша від їх діаметрів, вони, як кажуть, сильно пов'язані (рисунок 1.5). Тут відстань між котушками Z менша за діаметр котушок D.

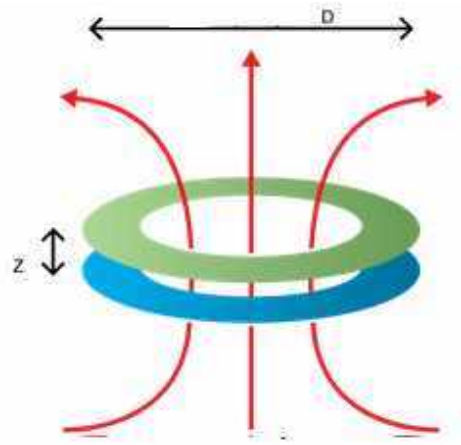


Рисунок 1.5 – Індуктивний режим

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

Резонансний режим. Коли система має слабопов'язані котушки, заряджання проводиться в резонансному режимі. Коли відстань між котушками приймача та передавача більша за діаметри котушок, магнітний зв'язок між котушками зменшується. На рисунку 1.6 зображена відстань Z між котушками більша, ніж діаметри котушок, а це послаблює магнітний зв'язок між ними.

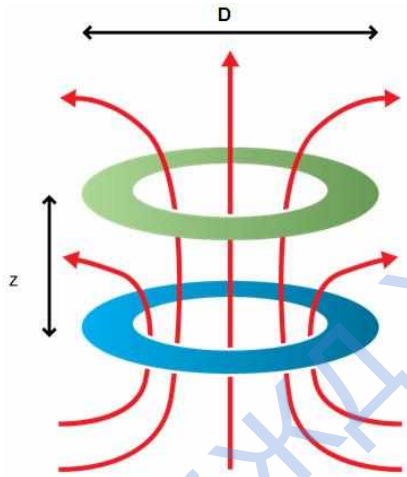


Рисунок 1.6 – Резонансний режим

Системи, які мають низький рівень зв'язку, повинні працювати на резонансній частоті приймача і мають нижчу ефективність передачі енергії.

Для бездротової зарядки найкраще підходять сильно пов'язані системи через потужну передачу енергії і з нижчим тепловиділенням. Це є перевагою для пристроїв, чутливих до температури, наприклад смартфонів. Недоліком таких систем є те, що сильно пов'язані котушки чутливі до порушення співвісності.

Слабозв'язані системи ефективні під час передачі низьких потужностей. Такі типи систем найкраще підходять для пристроїв, які мають сильну електромагнітну індукцію чи електрорушійну силу.

Бездротова зарядка Qi здатна забезпечити на виході приймача потужність до 5 Вт, тоді як зарядка середньої потужності може забезпечувати до 120 Вт. Крім того, під час процесу зарядки повинен бути включений зв'язок між

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

передавачем та приймачем; процес зарядки не запуститься без зв'язку, що дозволяє пристроям взаємодіяти.

У порівнянні з традиційною зарядкою, бездротова зарядка є повільнішою, але її перевага полягає в тому, що вона нешкідлива для людини, тому що бездротові зарядні пристрої випромінюють неіонізуючі випромінювання.

Переваги та недоліки бездротової зарядки. Бездротова зарядка має ряд переваг та недоліків.

До переваг віднесемо наступні:

- найбільша перевага бездротової технології полягає у сумісності між зарядними пристроями та мобільними телефонами від різних виробників;

- передається неіонізуюче випромінювання, яке не є небезпечним для людей;

- немає необхідності постійно підключати та вимикати пристрій для заряджання;

- усі сполуки захищені від корозії.

Як недоліки визначимо наступні:

- слабозв'язані системи мають низьку ефективність, що проявляється у більшому виділенні тепла;

- бездротова зарядка протікає повільніше, порівняно із звичайною зарядкою через кабель;

- складність та збільшення вартості виробництва.

Плагін-гібридні та повністю електричні автомобілі не досягнуть свого потенціалу доти, доки бездротові індукційні зарядні пристрої не стануть масовими. Автомобільні індуктивні зарядні системи вже існують на вторинному ринку, в тому числі для інтенсивного комерційного використання. Наприклад, Audi продемонструвала свою версію на концепті TT Offroad, а тепер опціонально запропонувало її на Q7 E-tron TDI (рисунок 1.7).

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

Рисунок 1.7 – Індуктивна зарядка

1.3 Вимоги до заряджання Li–Ion акумуляторів

Первинні елементи ("батарейки") з літієвим анодом з'явилися на початку 70–х років XX століття й швидко знайшли застосування завдяки великій питомій енергії й іншим перевагам. Таким чином, було здійснено давнє прагнення створити хімічне джерело струму з найбільш активним відновлювачем – лужним металом, що дозволило різко підвищити як робочу напругу акумулятора, так і його питому енергію. Якщо розробка первинних елементів з літієвим анодом увінчалася порівняно швидким успіхом, і такі елементи міцно зайняли своє місце як джерела живлення портативної апаратури, то створення літієвих акумуляторів натрапило на принципові труднощі, подолання яких зажадало більш 20 років.

Розглянемо хімічні процеси Li–Ion акумуляторів.

Революцію в розвитку літієвих акумуляторів, що перезаряджаються, зробило повідомлення про те, що в Японії розроблені акумулятори з негативним електродом з вуглецевих матеріалів. Вуглець виявився досить зручною матрицею для інтеркаляції літію.

Для того, щоб напруга акумулятора була достатньо великою, японські дослідники використовували як активний матеріал позитивного електрода

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

оксиди кобальту. Літерований оксид кобальту має потенціал близько 4 В щодо літієвого електрода, тому робоча напруга Li–Ion акумулятора має характерне значення 3 В й вище.

При розряді Li–Ion акумулятора відбуваються деінтеркаляція літію з вуглецевого матеріалу (на негативному електроді) і інтеркаляція літію в оксид (на позитивному електроді). При заряді акумулятора процеси йдуть у зворотному напрямку. Отже, у всій системі відсутній металевий (нуль–валентний) літій, а процеси розряду й заряду зводяться до переносу іонів літію з одного електрода на інший.

Процеси на негативному електроді Li–Ion акумулятора. У всіх Li–Ion акумуляторах, доведених до комерціалізації, негативний електрод виготовляється з вуглецевих матеріалів. Інтеркаляція літію у вуглецеві матеріали являє собою складний процес, механізм і кінетика якого в істотному ступені залежать від природи вуглецевого матеріалу й природи електроліту.

Вуглецева матриця, застосовувана в якості анода, може мати впорядковану шарувату структуру, як у природного або синтетичного графіту, неупорядковану аморфну або частково впорядковану (кокс, піролізний або мезофазний вуглець, сажа тощо). Іони літію при впровадженні розсовують шари вуглецевої матриці й розташовуються між ними, утворюючи інтеркалати різноманітних структур. Питомий обсяг вуглецевих матеріалів у процесі інтеркаляції–деінтеркаляції іонів літію міняється незначно.

Крім вуглецевих матеріалів як матриці негативного електрода вивчаються структури на основі олова, срібла і їх сплавів, сульфіди олова, фосфориди кобальту, композити вуглецю з наночастками кремнію.

Процеси на позитивному електроді Li–Ion акумулятора. Якщо в первинних літієвих елементах застосовуються різноманітні активні матеріали для позитивного електрода, то в літієвих акумуляторах вибір матеріалу позитивного електрода обмежений. Позитивні електроди літій–іонних акумуляторів

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

створюються винятково з літірованих оксидів кобальту або нікелю й з літій–марганцевих шпинелів.

У цей час у якості катодних матеріалів усе частіше застосовуються матеріали на основі змішаних оксидів або фосфатів. Показане, що з катодами зі змішаних оксидів досягаються найкращі характеристики акумулятора. Освоюються й технології покриттів поверхні катодів тонкодисперсними оксидами.

При заряді Li–Ion акумулятора відбуваються реакції на позитивних пластинах

$$LiCoO_2 \rightarrow Li_{1-xcoo2} + xli^+ + xe^-$$

на негативних пластинах

$$C + xli^+ + xe^- \rightarrow Clix.$$

При розряді відбуваються зворотні реакції. Процес заряду демонструється на рисунку 1.8.

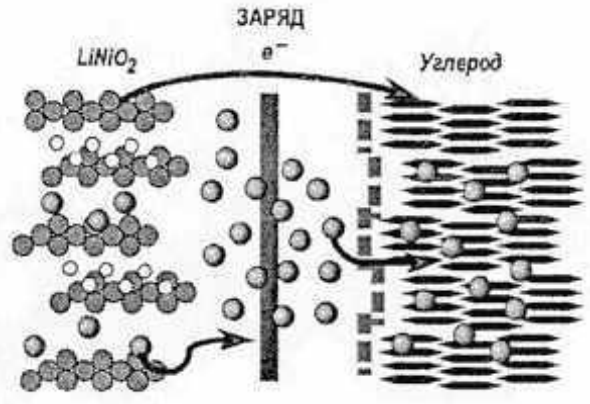


Рисунок 1.8 – Процес заряду літій–іонного (Li–Ion) акумулятора

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

Конструктивно Li–Ion акумулятори, як і лужні (Ni–Cd, Ni–Mn), проводяться в циліндричному й призматичному варіантах. У циліндричних акумуляторах згорнутий у вигляді рулону пакет електродів і сепаратора вміщений у сталевий або алюмінієвий корпус, з яким з'єднаний негативний електрод. Позитивний полюс акумулятора виведений через ізолятор на кришку. Призматичні акумулятори проводяться складанням прямокутних пластин одна на одну. Призматичні акумулятори забезпечують більш щільне впакування в акумуляторній батареї, але в них потужніше, чим у циліндричних, підтримувати стискальні зусилля на електроди. У деяких призматичних акумуляторах застосовується рулонне складання пакета електродів, який скручується в еліптичну спіраль (рисунок 1.9). Це дозволяє об'єднати якості двох описаних вище модифікацій конструкції. Деякі конструктивні заходи звичайно вживають і для попередження швидкого розігріву й забезпечення безпеки роботи Li–Ion акумуляторів. Під кришкою акумулятора є пристрій, що реагує на позитивний температурний коефіцієнт збільшенням опору, і інше, яке розриває електричний зв'язок між катодом і позитивною клемою при підвищенні тиску газів усередині акумулятора вище припустимої границі.

Рисунок 1.9 - Пристрій призматичного літій–іонного (Li–Ion) акумулятора з рулонною скруткою електродів

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

Для підвищення безпеки експлуатації Li–Ion акумуляторів у складі батареї обов'язково застосовується також і зовнішній електронний захист, ціль якої не допустити можливість перезаряду й перерозряду кожного акумулятора, короткого замикання й надмірного розігріву.

Більшість Li–ion акумуляторів виготовляють у призматичних варіантах, оскільки основне призначення Li–Ion акумуляторів – забезпечення роботи стільникових телефонів і ноутбуків. Як правило, конструкції призматичних акумуляторів не уніфіковані й більшість фірм-виробників стільникових телефонів, ноутбуків і подібного, не допускають застосування в пристроях акумуляторів сторонніх фірм.

Різнойменні електроди в літієвих й літій–іонних акумуляторах розділяються сепаратором з пористого поліпропілену.

Конструкція Li–Ion і інших літієвих акумуляторів, як і конструкція всіх первинних джерел струму ("батарейок") з літієвим анодом, відрізняється абсолютною герметичністю. Вимога абсолютної герметичності визначається як неприпустимістю витікання рідкого електроліту (негативно діючого на апаратуру), так і неприпустимістю влучення в акумулятор кисню й пар води з навколишнього середовища. Кисень і пари води реагують із матеріалами електродів і електроліту й повністю виводять акумулятор з ладу.

Технологічні операції виробництва електродів і інших деталей, а також складання акумуляторів проводять в особливих сухих кімнатах або в герметичних боксах в атмосфері чистого аргону. При складанні акумуляторів застосовують складні сучасні технології зварювання, складні конструкції виводів і подібне.

Характеристики Li–Ion акумуляторів. Сучасні Li–Ion акумулятори мають високі питомі характеристики: від 100 Вт·год/кг до 180 Вт·год/кг і від 250 Вт·год/л до 400 Вт·год /л. Робоча напруга від 3,5 В до 3,7 В.

Якщо ще кілька років назад розроблювачі вважали досяжною ємність Li–Ion акумуляторів не вище декількох ампер–годин, то зараз більшість проблем,

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

що обмежують збільшення ємності, вирішена й багато виробників стали випускати акумулятори ємністю в сотні ампер–годин.

Сучасні малогабаритні акумулятори працездатні при струмах розряду до 2 А, потужні – від 10 А до 20 А. Інтервал робочих температур: від мінус 20 °С до 60 °С. Однак багато виробників уже розробили акумулятори, працездатні при мінус 40 °С. Можливе розширення температурного інтервалу в область більш високих температур.

Саморозряд Li–Ion акумуляторів становить від 4 % до 6 % за перший місяць, потім – суттєво менше: за 12 місяців акумулятори втрачають від 10 % до 20 % запасеної ємності. Втрати ємності в Li–Ion акумуляторів у кілька разів менше, чим у нікель–кадмієвих акумуляторів, як при 20 °С, так і при 40 °С. Ресурс 500-1000 циклів.

Заряд Li–Ion акумуляторів. Li–Ion акумулятори заряджаються в комбінованому режимі: спочатку при постійному струмі (у діапазоні від 0,2 А до 1 А) до напруги від 4,1 В до 4,2 В (залежно від рекомендацій виробника), далі при постійній напрузі. Перша стадія заряду може тривати близько 40 хв, друга стадія довше. Більш швидкий заряд може бути досягнутим при імпульсному режимі.

У початковий період, коли тільки з'явилися Li–Ion акумуляторні батареї, що використовують графітову систему, було потрібно обмеження напруги заряду з розрахунку 4,1 В на елемент. Хоча використання більш високої напруги дозволяє підвищити енергетичну щільність, окисні реакції, що відбувалися в елементах такого типу при напругах, що перевищують поріг 4,1 В, приводили до скорочення їхнього терміну служби. Згодом цей недолік ліквідували за рахунок застосування хімічних добавок, і в цей час Li–Ion елементи можна заряджати до напруги 4,20 В. Припустиме відхилення напруги становить лише близько ± 0,05 В на елемент.

Li–Ion акумуляторні батареї промислового й військового призначення повинні мати більший термін служби, чим батареї для комерційного

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

використання. Тому для них гранична напруга кінця заряду становить 3,90 В на елемент. Хоча енергетична щільність (кВт·год/кг) у таких батарей нижче, підвищений термін служби при невеликих розмірах, малій вазі й більш висока в порівнянні з батареями інших типів енергетична щільність Li–Ion батарей поза конкуренцією.

При заряді Li–Ion акумуляторних батарей струмом 1 А час заряду становить від 2 год до 3 год Li–ion батарея досягає стану повного заряду, коли напруга на ній стає рівною напрузі відсічення, а струм при цьому значно зменшується й становить приблизно 3 % від початкового струму заряду.

При підвищенні струму заряду Li–Ion батареї час заряду не скорочується. Хоча при більш високому струмі заряду напруга на батареї наростає швидше, етап підзарядки після завершення першого етапу циклу заряду триває довше.

У деяких типах зарядних пристроїв для заряду літій–іонної акумуляторної батареї потрібен час 1 год і менше. У таких зарядних пристроях етап 2 виключений, і батарея переходить у стан готовності відразу після закінчення етапу 1. У цій точці Li–Ion батарея буде заряджена приблизно на 70 %, і після цього можлива додаткова підзарядка.

Етап 1 – через акумулятор протікає максимально припустимий струм заряду, поки напруга на ньому не досягне граничного значення;

Етап 2 – максимальна напруга на акумуляторі досягнута, струм заряду поступово знижується доти, поки він повністю не зарядиться. Момент завершення заряду наступає, коли величина струму заряду знизиться до значення 3 % від початкового;

Етап 3 – періодичний заряд, що компенсує, проводиться при зберіганні акумулятора, орієнтовно через кожні 500 год зберігання.

Етап струминної підзарядки для Li–Ion акумуляторів не застосуємо через те, що вони не можуть поглинати енергію при перезаряді. Більше того, струминна підзарядка може викликати металізацію літію, що робить роботу акумулятора нестабільною. Напроти, коротка підзарядка постійним струмом

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

здатна компенсувати невеликий саморозряд Li–Ion батареї й компенсувати втрати енергії, викликані роботою її пристрою захисту. Залежно від типу зарядного пристрою й ступені саморозряду Li–Ion батареї така підзарядка може виконуватися через кожні 500 год, або 20 днів. Звичайно її слід здійснювати при зниженні напруги холостого ходу до 4,05 В/елемент і припиняти, коли воно досягне 4,20 В/елемент.

Отже, Li–Ion акумулятори мають низьку стійкість до перезаряду. На негативному електроді на поверхні вуглецевої матриці при значному перезаряді стає можливим осадження металевого літію (у вигляді дрібно роздробленого моховитого осаду), що володіє великою реакційною здатністю до електроліту, а на катоді починається активне виділення кисню. Виникає погроза теплового розгону, підвищення тиску й розгерметизації. Тому заряд Li–Ion акумуляторів можна вести тільки до напруги, рекомендованої виробником. При збільшеній зарядній напрузі ресурс акумуляторів знижується.

Безпечній роботі Li–Ion акумуляторних батарей повинна приділятися серйозна увага. В Li–Ion батареях комерційного призначення є спеціальні пристрої захисту, що запобігають перевищенню напруги заряду вище певного граничного значення. Додатковий елемент захисту забезпечує завершення заряду, якщо температура батареї досягне 90 °С. Найбільш зроблені по конструкції батареї мають ще один елемент захисту – механічний вимикач, який спрацьовує при збільшенні внутрішнього корпусного тиску батареї. Вбудована система контролю напруги настроєна на дві напруги відсічення – верхнє й нижнє значення.

Є й виключення – Li–Ion акумуляторні батареї, у яких пристрої захисту взагалі відсутні. Це акумуляторні батареї, до складу яких входить марганець. Завдяки його наявності, при перезаряді реакції металізації анода й виділення кисню на катоді відбуваються настільки повільно, що стало можливим відмовитися від застосування пристроїв захисту.

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

Схоронність Li–Ion акумуляторів. Усі літієві акумулятори характеризуються досить гарною схоронністю. Втрата ємності за рахунок саморозряду від 5 % до 10 % у рік. Показники, що приводяться, слід розглядати як деякі номінальні орієнтири. Для кожного конкретного акумулятора, наприклад, розрядна напруга залежить від струму розряду, рівня разрядженості, температури; ресурс залежить від режимів (струмів) розряду й заряду, температури, глибини розряду; діапазон робочих температур залежить від рівня виробітку ресурсу, припустимих робочих напруг тощо.

До недоліків Li–Ion акумуляторів слід віднести чутливість до перезарядів і перерозрядів, через це вони повинні мати обмежники заряду й розряду.

Типовий вид розрядних характеристик Li–Ion акумуляторів зображений на рисунках 1.10. та 1.11. З рисунків видно, що з ростом струму розряду розрядна ємність акумулятора знижується незначно, але зменшується робоча напруга. Такий же ефект з'являється при розряді при температурі нижче 10 °С. Крім цього, при низьких температурах має місце початкове осідання напруги.

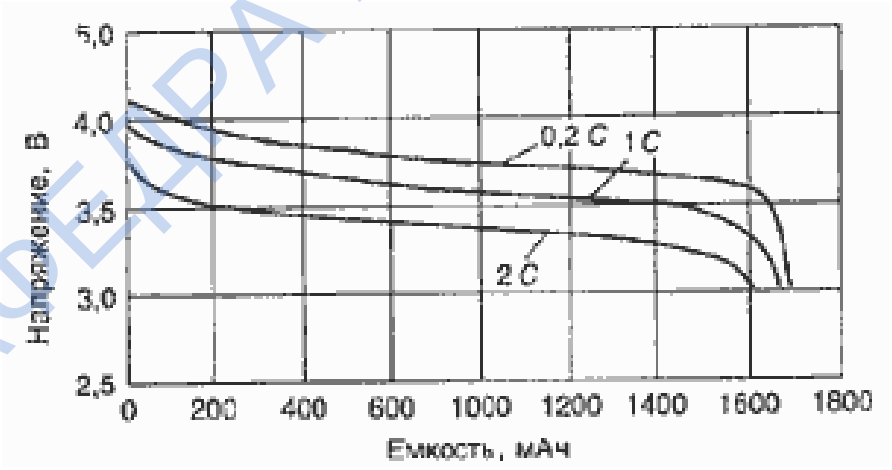


Рисунок 1.10 - Розрядні характеристики Li–Ion акумулятора при різних струмах

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

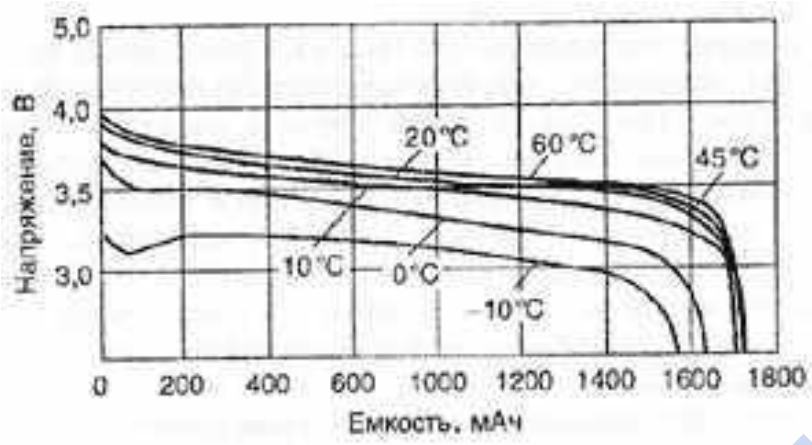


Рисунок 1.11 – Розрядні характеристики Li–Ion акумулятора при різній температурі

Що стосується експлуатації Li–Ion акумуляторів взагалі, то, враховуючи всі конструктивні й хімічні способи захисту акумуляторів від перегріву й необхідність зовнішнього електронного захисту акумуляторів від перезаряду й перерозряду, можна вважати проблему безпеки експлуатації Li–Ion акумуляторів вирішеною. А нові катодні матеріали часто забезпечують ще більшу термічну стабільність Li–Ion акумуляторів.

Безпека Li–Ion акумуляторів. При розробці літієвих і літій–іонних акумуляторів, як і при розробці первинних літієвих елементів, питанню безпеки зберігання й використання приділяється особлива увага. Усі акумулятори мають захист від внутрішніх коротких замикань (а в окремих випадках – і від зовнішніх коротких замикань). Ефективним способом такого захисту є застосування двошарового сепаратора, один із шарів якого виготовляється не з поліпропілену, а з матеріалу, аналогічного поліетілену. У випадку короткого замикання (наприклад, через проростання дендритів літію до позитивного електрода) за рахунок локального розігріву цей шар сепаратора підплавлюється й стає непроникним, запобігаючи, таким чином, подальшому проростанню дендритів.

Пристрої захисту Li–Ion акумуляторних батарей. Li–Ion акумуляторні батареї комерційного призначення мають найбільш зроблений захист серед усіх

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

типів батарей. Як правило в схемі захисту Li–Ion батарей використовується ключ на польовому транзисторі, який при досягненні на елементі батареї напруги 4,30 В відкривається й тим самим перериває процес заряду. Крім того, наявний термозапобіжник при нагріванні батареї до 90 °С від'єднує коло її навантаження, забезпечуючи в такий спосіб її термальний захист. Існують також інші пристрої захисту. Деякі акумулятори мають вимикач, який спрацьовує при досягненні граничного рівня тиску усередині корпусу, рівного 1034 кПа (10,5 кг/м^2), і розриває коло навантаження. Є й схема захисту від глибокого розряду, яка стежить за напругою акумуляторної батареї й розриває коло навантаження, якщо напруга знизиться до рівня 2,5 В на елемент.

Внутрішній опір схеми захисту акумуляторної батареї мобільного телефону у включеному стані становить від 0,05 Ом до 0,1 Ом. Конструктивно вона складається із двох ключів, з'єднаних послідовно. Один з них спрацьовує при досягненні верхнього, а іншої – нижнього порога напруги на батареї. Загальний опір цих ключів фактично створює подвоєння її внутрішнього опору, особливо якщо батарея полягає всього лише з одного акумулятора. Батареї живлення мобільних телефонів повинні забезпечувати більші струми навантаження, що можливо при максимально низькому внутрішньому опорі батареї. Таким чином, схема захисту являє собою перешкоду, що обмежує робочий струм Li–Ion батареї.

У деяких типах Li–Ion батарей, що використовують у своєму хімічному складі марганець, що й полягають із 1–2 елементів, схема захисту не застосовується. Замість цього в них установлений усього лише один запобіжник. І такі батареї є безпечними через їхні малі габарити й невеликі ємності. Крім того, марганець досить терпимий до порушень правил експлуатації Li–Ion батареї. Відсутність схеми захисту зменшує вартість Li–Ion батареї, але привносить нові проблеми.

Механізми, що приводять до зменшення ємності Li–Ion акумуляторів.

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

При циклiруванні Li–Ion акумуляторів серед можливих механізмів зниження ємності найбільше часто розглядаються наступні:

– руйнування кристалічної структури катодного матеріалу (особливо $LiMn_2O_4$);

– розшарування графіту;

– нарощування плівки, що пасивує, на обох електродах, що приводить до зниження активної поверхні електродів і блокуванню дрібних пор;

– осадження металевого літію;

– механічні зміни структури електрода в результаті об'ємних коливань активного матеріалу.

Для Li–Ion акумуляторів вдається описати тільки якісну зміна їх електричних і експлуатаційних параметрів у процесі експлуатації.

Підвищення температури експлуатації (у межах робочого інтервалу) може збільшити швидкість побічних процесів, що зачіпають границю розділу електрод–електроліт, і трохи підвищити швидкість зменшення розрядної ємності із циклами.

1.4 Висновки по розділу

У результаті пошуків найкращого матеріалу для катода сучасні Li–Ion акумулятори перетворюються в ціле сімейство хімічних джерел струму, що помітно різняться друг від друга як енергоємністю, так і параметрами режимів заряду/розряду. Це, у свою чергу, вимагає істотного збільшення інтелектуальності схем контролю, які до теперішнього часу стали невід'ємною частиною акумуляторних батарей та пристроїв живлення, в іншому випадку можливе ушкодження (у тому числі необоротне) як батарей, так і пристроїв. Завдання ускладнюється ще й тим, що розроблювачі намагаються максимально повно використовувати енергію акумуляторів, домагаючись підвищення часу автономної роботи при мінімально займаному джерелом живлення обсязі й вазі.

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

Це дозволяє досягти істотних конкурентних переваг. При використанні катодів з нових матеріалів розроблювачі акумуляторів далеко не відразу досягають тих же конструкційних і експлуатаційних характеристик, що й у випадку з більш традиційними катодами. У підсумку нові акумулятори часто мають значні обмеження діапазону умов експлуатації. Мало того, останнім часом на ринок крім традиційних виробників акумуляторних гнізд і батарей – Sanyo, Panasonic і Sony – дуже активно пробиваються нові виробники, по більшій частині з Китаю. На відміну від традиційних виробників, вони поставляють продукцію із суттєво більшим розкидом параметрів у межах однієї технології або навіть однієї партії. Це пов'язане з їхнім бажанням конкурувати в основному за рахунок низької ціни продукції, що часто приводить до економії на дотриманні вимог технологічного процесу.

Отже, у цей час істотно зростає важливість інформації, надаваної "розумними акумуляторами": ідентифікація акумулятора, температура акумулятора, залишковий заряд і припустима перенапруга. За словами Хікока, якщо розроблювачі готових пристроїв будуть конструювати підсистему живлення, що враховує як умови експлуатації, так і параметри гнізд, це дозволить нівелювати відмінності в параметрах акумуляторів і підвищити ступінь волі для кінцевих користувачів, що надасть їм можливість вибирати не тільки рекомендовані виробником пристрої, але й акумулятори інших компаній.

Відзначимо, що виробники акумуляторів докладають великих зусиль до розробки катодів на основі літієвих з'єднань, які дозволили б Li–Ion акумуляторам замінити Ni–Cd у пристроях з великим споживаним струмом.

У цій сфері представляється перспективним використання катодів на основі $LiMn_2O_4$.

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

2 ЗАРЯДНІ ПРИСТРОЇ ДЛЯ ЛІТІЙ–ІОННИХ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ

Процедура заряду літій-іонних акумуляторних батарей (АБ) ділиться на два етапи [8]. Перший - заряд постійним струмом, другий - заряд при постійній напрузі й падаючому струмі. Етап I характеризується досить низьким струмом заряду. Він застосовується, коли напруга на акумуляторах в АБ нижче деякого встановленого значення (наприклад, 2,5 В). Також етап I необхідний, якщо батарею заряджають при низьких температурах, скажемо, нижче +5 °С. Це робиться для «розігріву» електродних мас і переходу в номінальний режим заряду. Малий струм заряду забезпечує поступовий вихід активних електродних матеріалів на задані рівні напруги, при яких вони штатно функціонують. Необхідно відзначити, що даний етап часто виключають із циклу заряду батареї, і процес починається відразу з етапу I.

На етапі I заряд здійснюється постійним струмом. При цьому напруга на батареї зростає. Струм заряду звичайно виміряється в частках номінальної ємності гнізд АБ ($C_н$). Для нормальної роботи акумулятора номінальний струм заряду звичайно вибирають у межах від 0,2 $C_н$ до 0,5 $C_н$, прискорений – від 0,5 $C_н$ до 1 $C_н$ і вище. Максимально припустимий струм заряду для того або іншого акумулятора можна довідатися в документації виробника.

Етап II має на увазі заряд при постійній напрузі й падаючому струмі. Струм падає до певного значення, заряд уважається завершеним при зменшенні струму заряду менш від 0,1 $C_н$ до 0,05 $C_н$. При номінальному режимі заряду (0,2 $C_н$) на цьому етапі батарея набирає від 5 % до 10 % ємності. Після закінчення подачі струму заряду на батарею напруга на її гніздах падає від 0,05 В до 0,1 В.

Тримати акумулятори тривалий час при кінцевій напрузі заряду (наприклад, від 4,2 В до 4,25 В для кобальтата літію) не рекомендується. Тому, після фази падаючого струму бажане заряд припинити [5].

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

Тривалість фази постійної напруги (ФПН) при падаючому струмі залежить від струму заряду. Чим вище струм заряду, тем вона більше, для струму заряду I2 > I1 час ФПН t3 > t1. Час заряду падаючим струмом також залежить від ступеня деградації акумуляторів. Чим вище деградація й внутрішній опір, тим більше тривалість фази падаючого струму при тому самому струмі заряду (t2 > t1).

Зарядні пристрої (ЗП) у загальному підрозділяють на універсальні й виготовлені під конкретну акумуляторну батарею. Реалізувати викладений вище алгоритм заряду (без етапу I) можна за допомогою звичайного лабораторного джерела живлення, що має регулювання обмеження по струму. Недоліком даного способу є необхідність споживачеві самостійно виставляти струм і кінцеву зарядну напругу. Також установлене, що деякі джерела живлення можуть збиватися в процесі роботи в режимі стабілізації струму, і встановлена кінцева напруга мимовільна небагато зміниться, що вимагає додаткової уваги при заряді АБ.

В універсальних ЗП користувачеві пропонується вибрати не кінцеву напругу заряду, а кількість послідовно з'єднаних гнізд і їхній тип. Струм заряду встановлюється користувачем або розраховується в ЗП виходячи з ємності АБ. Звичайно універсальні ЗП розраховані на певний діапазон послідовно з'єднаних гнізд (як правило, від 1 до 7), мають можливість вибору струму заряду (наприклад, від 0,1 А до 10 А) і типу гнізд (Lifepo$_4$, Lipolymer і т.д.).

До якостей таких ЗП можна віднести широкий діапазон батарей, що заряджаються, що досить зручно при наявності декількох акумуляторних батарей різного призначення, а до недоліків - певну складність експлуатації. Користувачеві необхідно ретельно вивчити інструкцію для експлуатації, щоб правильно виконати заряд АБ того або іншого типу. Ще один недолік — відносна дорожнеча таких ЗП. Універсальні зарядні пристрої для АБ невеликої ємності (до 20 А·год) показані на рисунку 2.1.

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

Рисунок 2.1 – Універсальні ЗП для Li–Ion – батарей

У набагато меншому ступені описані недоліки, властиві ЗП, спроектованим під конкретну АБ. Такі зарядники мають мінімум індикаторів і не вимагають додаткової уваги в процесі роботи. Користувач просто підключає батарею до приладу для заряду й періодично дивиться на індикацію. Якщо світиться червоний індикатор - іде заряд, зелений - АБ зарядилася. Такий ЗП виготовляється як окремий самостійний блок, призначений для використання з конкретною батареєю. За простоту у використанні доводиться розплачуватися недоліком мобільності й доступності, тобто якщо в цей момент у користувача при собі немає ЗП, то зарядити батарею іншими засобами не представляється можливим.

Проблема доступності частково вирішується за допомогою рознесення високовольтної й низьковольтної частин ЗП. Так, зарядні пристрої, показані на рисунку 2.1, мають низьковольтний вхід живлення, розрахований на напругу бортової мережі автомобіля від 11 В до 15 В. У польових умовах не знадобиться джерело напруги 220 В, а досить бортової 12 В мережі. Подібні ЗП в основному застосовуються для заряду батарей усіляких радіокерованих моделей, які часто

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

експлуатуються на відкритій місцевості. Для заряду в домашніх умовах існує додатковий перетворювач 220 В AC в 15 В DC (показаний у правому верхньому куті рисунку, у лівому нижньому куті зображений ЗП, що має два входи: 220 В AC і 15 В DC).

Існує два типи зарядних пристроїв - зовнішні й вбудовані. До класу зовнішніх відносяться всі ЗП, описані вище. Вбудовані ЗП розташовуються безпосередньо в корпусі додатка. Зовнішнім тут залишається тільки блок живлення або перетворювач напруги, наприклад з 220 В AC в 5 В DC. Саме так реалізоване завдання для сучасних планшетів і мобільних телефонів. Практично всі вони заряджаються за допомогою вбудованого в них ЗП від напруги 5 В через USB–рознімання. При такому розв'язку немає необхідності щоразу виготовляти ЗП під конкретну модель додатка: пристрій простий розташовується усередині приладу, а заряд походить від стандартного зовнішнього блоку живлення з USB–рознімання (220 В AC в 5 В DC) або від USB–порту комп'ютера. При масовому випуску блоки живлення мають мінімальну вартість, що знижує й вартість самого додатка. На рисунку 2.2 показаний ліхтар (тильна сторона) для використання на відпочинку, на природі, що має USB–рознімання. Він комплектується літій– іонною батареєю й заряджається від мережі.

Рисунок 2.2 – Ліхтар з USB–рознімання для зарядки мобільних додатків

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

Напруга 12 В DC, через USB–рознімання ліхтаря дозволяє підзарядити мобільний телефон, навігатор тощо. Це досить зручно в польових умовах. Ємності внутрішньої батареї досить для 8 год безперервної роботи 3 Вт світлодіода або на кілька підзарядок мобільного телефону або навігатора.

Якістю вбудованих ЗП є відносно низька вартість усього комплекту, використання стандартних блоків живлення й можливість заряду додатка від широкого кола джерел. До недоліків можна віднести тверді вимоги по тепловиділенню, займаному обсязі й ваги (щоб вони не обтяжували виріб). Інакше кажучи, вбудовані ЗП повинні мати високі питомі характеристики й високий ККД, щоб при експлуатації додаток в остаточному підсумку не викликав труднощів у споживача.

Вбудованому ЗП часто доводиться підбудовуватися під потужність зовнішнього джерела живлення. Наприклад, користувач може підзаряджувати свій мобільний телефон від стандартного USB–порту комп'ютера, чия навантажувальна здатність обмежена 0,5 А, або від спеціального зарядного USB–порту, який може видати до 1,5 А. Необхідність управляти споживаною від джерела потужністю породжує наступний поділ ЗП – керовані й некеровані. Описані вище ЗП – некеровані в тому розумінні, що струм заряду задається постійний й до фази постійної напруги залишається незмінним. Керовані ЗУ можуть самостійно, без участі ззовні, виставляти необхідний струм заряду. Зокрема, пристрій може мати два входи для підключення зовнішніх джерел: 12 В DC для заряду від бортової мережі автомобіля й 5 В DC для заряду від USB–рознімання. У такому випадку, якщо підключене джерело 12 В DC, струм заряду можна встановити вище, наприклад 1,5 А. Якщо ж підключене джерело 5 В DC - тоді 0,5 А, при цьому пристрій визначення джерела заряду установлює необхідний струм. У такому додатку є один вбудований ЗП, але сама можливість управляти зарядним струмом розширює доступність джерел і здешевлює додаток (немає необхідності у двох вбудованих ЗП). Якщо ж є всього одне рознімання для підключення різних по характеристиках джерел живлення, то

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

для визначення потужності, яку можна відбирати для заряду, ЗП доводиться діяти по певних алгоритмах.

Найчастіше визначити потужність, яку здатне віддати джерело, можна за допомогою інформаційного обміну. Наприклад, при заряді від UBS–рознімання комп'ютера або USB–хаба із зовнішнім живленням є можливість запросити доступне значення струму по каналу інформаційного обміну. Саме такий спосіб реалізують усі поважаючі себе виробники пристроїв, підзаряджаюючи від USB–рознімання, щоб уникнути струмового перевантаження останнього.

Деякі виготовлювачі блоків живлення, оснащених USB–рознімання, надають можливість судити про максимальну потужність по напрузі на виводах, призначених для інформаційного обміну (D+ і D-). Такий спосіб гарний у тих випадках, коли ЗП з метою здешевлення не укомплектований контролером, який міг би запросити значення струму. Зарядний пристрій просто замірить напруга на виводах D+/D- за допомогою АЦП або компаратора, що набагато простіше й дешевше в реалізації.

Керовані ЗП можуть використовуватися при перерозподілі потужності усередині додатка. Скажемо, до додатка підключають різні пристрої, у тому числі зовнішні АБ для підзарядки. У такому випадку, маючи обмежену вхідну потужність, цифровий процесор (ЦП) здатний знизити струм заряду своєї, внутрішньої батареї, надавши можливість у першу чергу зарядитися зовнішнім. Перерозподіл енергії між декількома джерелами усередині єдиного приладу поліпшує його масо–габаритні показники. Однак, такі розв'язки зустрічаються досить рідко.

Керування струмом заряду використовується не тільки для оптимізації, що відбирається потужністю при заряді. Це буває потрібно, якщо акумуляторна батарея розбалансована, коли по тим або іншим причинам різні гнізда мають різний ступінь заряду - наприклад, після тривалого зберігання. Дана функція ніяк не пов'язана з розподілом потужності або оптимізацією потужності, що

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

відбирається, і використовується як самостійна для розв'язку свого завдання, хоча й несе все ту ж функцію керування струмом заряду.

Якщо ступінь зарядженості гнізд АБ значно різниться, то збалансувати їх (так щоб до кінця заряду всі гнізда мали однаковий ступінь заряду) за один цикл заряду номінальним струмом не вдасться. У такому випадку можна знизити струм заряду, щоб він був порівняний зі струмами балансу [10, 11]. При цьому час заряду збільшиться, але наприкінці заряду батарея буде повністю збалансована. Як правило, завдання керування струмом заряду покладає на систему забезпечення функціонування (СОФ) АБ (в іноземних джерелах — BMS). Якщо буде потреба СОФ АБ повинна подати команду на зниження струму заряду або безпосередньо в ЗП, або через ЦП додатки. На рисунку 2.3 та 2.4 у структурних схемах СОФ АБ не показані, але вони завжди присутні в літій–іонних батареях для забезпечення безпечної експлуатації [8]. На рисунку 2.3 зображена батарея ТОВ «СЕТЕЛ», що має вбудований керований ЗП, дана АБ випускається серійно.

Рисунок 2.3 – АБ фірми ТОВ «СЕТЕЛ» із вбудованим керованим ЗП

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

СОФ АБ має послідовний інтерфейс RS–485, що дозволяє управляти струмом заряду командами від зовнішнього процесора для перерозподілу струмів усередині додатка. Струмом заряду управляє й сама СОФ АБ при балансуванні. На фото видні балансувальні резистори пасивної системи балансу, керованої від СОФ, а також радіатор вбудованого ЗП, розташованого на платі СОФ.

У загальному випадку ЗП можуть комплектуватися додатковими опціями - розширеною панеллю індикації для відображення процесів заряду, таких як напруга, струм, температура гнізд АБ, різниця напруг гнізд тощо (рисунок 2.4).

Рисунок 2.4 – ЗП з розширеною індикацією

Крім того, зарядні пристрої можуть мати вбудовану, тобто зовнішню щодо батареї систему балансу й можливість розрядити батарею на внутрішнє навантаження для визначення діючої ємності акумулятора. Зарядні пристрої можуть мати додаткові функції, до них належить підготовка АБ до зберігання: заряд до певного значення напруги, при якому повинна зберігатися АБ, заряд до повної збалансованості АБ, тест гнізд АБ на предмет їх заміни, можливість

КАФЕДРА МБКД ХНАДУ

підключення до ПК для виводу докладної інформації про процес заряду/розряду батареї і її стані й багато чого іншого

2.1 Проблеми вирівнювання заряду Li–Ion батарей

Вирівнювання заряду батарей забезпечує довгий час роботи й продовжує термін служби. Звичайно в будь–якій системі, що полягає з декількох послідовно включених батарей, виникає проблема розбалансування заряду окремих батарей. Вирівнювання заряду – це метод проектування, що дозволяє збільшити безпеку експлуатації батарей, час роботи без підзарядки й термін служби. Новітні мікросхеми захисту батарей і покажчики заряду компанії Texas Instruments – BQ2084, сімейства BQ20ZXX, BQ77PL900 і BQ78PL114, представлені у виробничій лінійці компанії, – необхідні для реалізації цього методу.

Перегрів або перезаряд прискорюють зношування батареї й можуть викликати запалення або навіть вибух. Програмно–апаратні засоби захисту зменшують небезпеку. У блоці з багатьох батарей, включених послідовно (звичайно такі блоки застосовуються в лептопах і медичнім устаткуванні) існує можливість розбалансування батарей, що веде до їхньої повільної, але неухильної деградації.

Не існує двох однакових батарей, завжди є невеликі відмінності в стані заряду батарей (СЗБ), саморозряду, ємності, опорі й температурних характеристиках, навіть якщо мова йде про батареї однакових типів, від одного виробника й навіть із однієї виробничої партії. При формуванні блоку з декількох батарей виробник звичайно підбирає схожі по СЗБ батареї за допомогою порівняння напруг на них. Однак відмінності в параметрах окремих батарей однаково залишаються, а згодом можуть і зрости. Більшість зарядних пристроїв визначає повний заряд по сумарній напрузі всього ланцюжка послідовно включених батарей. Тому напруга заряду окремих батарей може варіюватися в широких межах, але не перевищувати граничного значення напруги, при якому

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

включається захист від перезаряду. Однак у слабкій ланці – батареї з малою ємністю або більшим внутрішнім опором, напруга може бути вище, чим на інших повністю заряджених батареях. Дефектність такої батареї виявиться пізніше при тривалому циклі розряду. Висока напруга такої батареї після завершення заряду свідчить про її прискорену деградацію. При розряді по тим же причинам (великий внутрішній опір і мала ємність) на цій батареї буде найменша напруга. Сказане означає, що при заряді на слабкій батареї може спрацювати захист від перенапруги, у той час як інші батареї блоку ще не будуть заряджені повністю. Це приведе до недовикористання ресурсів батарей.

2.2 Висновки по розділу

Зарядні пристрої для літій–іонних АБ можуть бути різного виконання, але всі вони реалізують стандартний алгоритм заряду. Крім того, ЗП можуть брати на себе додаткові функції, що полегшують експлуатацію функціонування, що й продовжують строк літій–іонної акумуляторної батареї.

Використання зарядних пристроїв для літієвих акумуляторів потребує розробки блоку вирівнювання заряду між елементами, що декілька ускладнює їхні схемні рішення.

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

3 ФАКТОРИ ВПЛИВУ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

Відхилення напруги мають великий вплив на роботу асинхронних двигунів (АД), які є поширеними споживачами електроенергії в промисловості.

При коливанні напруги змінюється механічна характеристика АД - залежність його обертального моменту М від ковзання s або частоти обертання (рисунок 3.1). З достатньою точністю можна вважати, що обертальний момент асинхронного двигуна є пропорційний квадрату напруги на його затискачах.

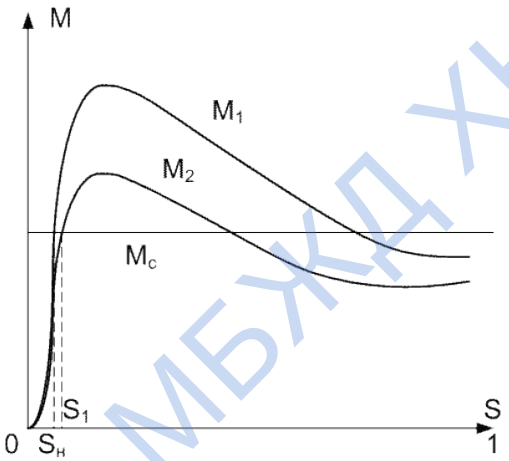


Рисунок 3.1 – Залежність механічної характеристики електродвигуна при номінальній (М1) і зниженій (М2) напругах

При зниженні напруги зменшується обертальний момент і частота обертання ротора двигуна, оскільки його ковзання збільшується. Зменшення частоти обертання залежить також від залежності зміни моменту опору Мс (на рисунку 3.1 Мс прийнятий постійним) і від завантаження двигуна. Залежність частоти обертання ротора двигуна від напруги можна висловити

$$n = n_c\left(1 - k_3 \frac{U_{ном}^2}{U^2} S_{ном}\right)$$

де n_c - синхронна частота обертання;

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

$k_з$ - коефіцієнт завантаження двигуна;

$k_з$ $U_{ном}$,$S_{ном}$- номінальні значення напруги і ковзання відповідно.

З формули видно, що при малих завантаженнях двигуна частота обертання ротора буде більшою за номінальну частоту обертання (при номінальному завантаженні двигуна). У цих випадках зниження напруги не призводять до зменшення продуктивності технологічного обладнання, оскільки зниження частоти обертання двигунів нижче номінальної не відбувається.

Зниження напруги для двигунів з повним навантаженням призводить до зменшення частоти обертання. Так як ефективність механізмів залежить від частоти обертання електродвигуна, то на затискачах цих електродвигунів необхідно підтримувати електричну напругу не нижче номінальної. При зниженні напруги на затискачах електродвигунів з повним навантаженням момент опору буде перевищувати обертальний момент, це призводить до зупинки електродвигуна. Двигун необхідно відключити від мережі.

Невелика напруга погіршує умови пуску електродвигуна, оскільки при цьому зменшується його пусковий момент.

Практичний інтерес становить залежність від напруги на виводах електродвигуна споживаної активної і реактивної потужності, тому з точки зору нагріву більш небезпечні негативні відхилення напруги в розглянутих межах.

Також призводить до помітного зростання реактивної потужності зниження напруги, яка втрачається в трансформаторах, АД та реактивних опорах розсіювання ліній.

Збільшення споживаної реактивної потужності з’являється внаслідок підвищення напруги на затискачах електродвигуна. Зі зменшенням коефіцієнта завантаження електродвигуна зростає споживання реактивної потужності. Взагалі на кожен відсоток підвищення напруги споживана реактивна потужність збільшується на 3 % і більше (в основному за рахунок збільшення струму холостого ходу двигуна), що в свою чергу призводить до збільшення втрат активної потужності в елементах електричної мережі.

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

Лампи накалювання характеризуються номінальними параметрами: потрібна потужність $P_{ном}$, світловим потоком $F_{ном}$, світловою віддачею $\eta_{ном}$ (рівною відношенню випромінюваного лампою світлового потоку до її потужності) і середнім номінальним терміном служби $T_{ном}$.Еті показники значною мірою залежать від напруги на висновках ламп накалювання.

З кривих на рисунку 3.2 витікає, що при зниженні напруги значно помітно падає світловий потік. При підвищенні напруги живлення вище номінального збільшується потужність лампи P, світловий потік F і світлова віддача h, але різко знижується термін служби ламп T і в результаті вони виходять з ладу. При цьому має місце перевитрата електроенергії.

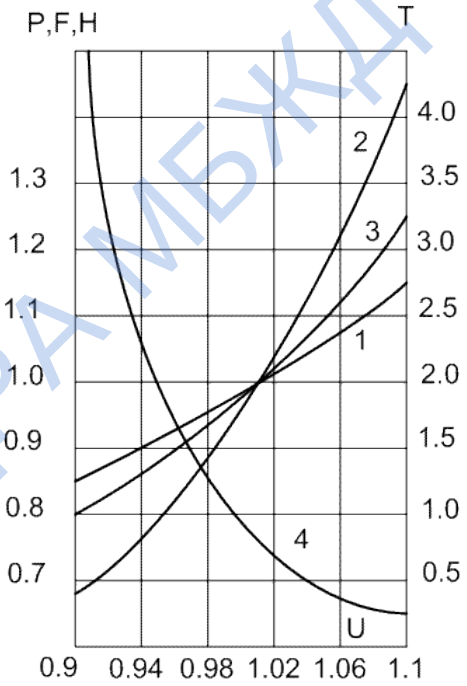


Рисунок 3.2 - Залежність характеристик ламп накалювання від напруги

1 - споживана потужність, 2 - світловий потік, 3 - світлова віддача, 4 - термін служби.

Зміни напруги живлення приводять до відповідних коливань світлового потоку і освітленості, це в кінцевому підсумку впливає на стомлюваність людини і продуктивність праці.

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

Люмінесцентні лампи мають меншу чутливість до відхилень напруги. З підвищеною напругою світловий потік і споживана потужність збільшуються, а при зниженні - зменшуються, але не в такій мірі як у ламп накалювання. При зниженому напруженні умови запалювання люмінесцентних ламп погіршуються, тому термін їх служби, визначений розпиленням оксидного покриття електродів, скорочується як при негативних, так і при позитивних відхиленнях напруги.

При коливаннях напруги живлення на 10 % термін дії люмінесцентних ламп знижується на 25 %. Недоліком люмінесцентних ламп є споживання реактивної потужності, що зростає зі збільшенням напруги та підводиться до них.

На якість роботи і термін служби побутової електронної техніки (телевізори, радіоприймачі, телефонно-телеграфний зв'язок, комп'ютерна техніка) негативно впливають відхилення напруги.

В склад вентильних перетворювачів включають систему автоматичного керування постійного струму методом фазового управління. Кут регулювання автоматично збільшується при підвищенні напруги в мережі, а при зниженні - зменшується. Підвищення електричної напруги на 1 % веде до збільшення споживання перетворювачем реактивної потужності на 1,4 %, це призводить до зменшення коефіцієнта потужності. Також інші показники тиристорних перетворювачів поліпшуються з підвищенням напруги, вигідно підвищувати напругу на їх виводах в межах допустимих значень.

До відхилень напруги чутливі електричні печі. Пониження напруги електродугових печей на 7 % подовжує процес плавки сталі у 1,5 рази. Підвищення напруги вище 5 % веде до перевитрати електроенергії.

Погано впливають на роботу електрозварювальних машин відхилення напруги: якщо для машин точкового зварювання при зміні напруги на 15 % виходить 100% брак продукції.

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

3.1 Наслідки коливань напруги

Освітлювальні прилади, особливо лампи накалювання та електронна техніка відносяться до числа ЕП, надзвичайно чутливих до коливань напруги.

Вплив коливань напруги живлення на освітлювальні установки, що впливають на зір людини, визначається стандартом. Флікер-ефект (миготіння джерел освітлення) викликає психологічний ефект, неприємний для людини, стомлення зору та організму в цілому. Це знижує продуктивність праці та веде до травматизму.

На око людини сильний вплив роблять миготіння з частотою 10 Гц, тому допустимі коливання напруги в цьому діапазоні мінімальні - менше 0,5 %.

При однакових коливаннях напруги негативний вплив ламп розжарювання проявляється в значно більшій мірі, ніж газорозрядних ламп. Коливання напруги більше 10% можуть призвести до згасання газорозрядних ламп. Запалювання залежно від типу ламп відбувається з затримкою або через декілька секунд і хвилин.

Коливання електричної напруги зменшують термін служби електронної апаратури напруги і порушують нормальну роботу: телевізорів, телефонно-комп'ютерної техніки, радіоприймачів рентгенівських установок, радіостанцій, телеграфного зв'язку, телевізійних станцій тощо.

При коливаннях напруги (більше 15 %) порушуються умови роботи електродвигунів, з відповідним відключенням працюючих двигунів відпадають контакти магнітних пускачів.

Коливання напруги з розмахом від 10 % до 15 % призводять до виходу з роботи батарей конденсаторів та напівпровідникових перетворювачів.

Вплив коливань напруги на окремі приймачі електроенергії вивчені ще недостатньо. Це ускладнює техніко - економічний аналіз при проектуванні та експлуатації систем електропостачання з різко змінними навантаженнями.

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

3.2 Вплив несиметрії напруги

Несиметрія напруг, як вже зазначалося, викликається найчастіше наявністю несиметричного навантаження. Несиметричні струми навантаження, що протікають по елементах системи електропостачання, викликають у них несиметричні падіння напруги. Внаслідок цього на виводах електроспоживачів з'являється несиметрична система напружень. Відхилення напруги живлення електроспоживачів перевантаженої фази можуть перевищити допустимі значення, в той час як відхилення напруги у електроспоживачів інших фаз будуть знаходитися в нормованих межах. Крім погіршення режиму напруги у електроспоживачів при несиметричному режимі істотно погіршуються умови роботи як самих ЕП, так і всіх елементів мережі, знижується надійність роботи електрообладнання і системи електропостачання в цілому.

Дія несиметричного режиму порівняно з симетричним якісно відрізняється для таких поширених трифазних електроспоживачів, як асинхронні електродвигуни. Напруга зворотної послідовності має для них особливе значення. Опір зворотної послідовності електродвигунів приблизно дорівнює опору загальмованого двигуна і, отже, в 5 - 8 разів менше опору прямої послідовності. Тому навіть невелика несиметрія напружень викликає значні струми зворотної послідовності. Струми зворотної послідовності накладаються на струми прямої послідовності і викликають додатковий нагрів статора і ротора (особливо масивних частин ротора), що призводить до прискореного старіння ізоляції та зменшення наявної потужності двигуна (зменшення к. п. двигуна). Так, термін служби повністю завантаженого асинхронного двигуна, що працює при несиметрії напруги 4 %, скорочується в 2 рази. При несиметрії напруги 5 % наявна потужність двигуна зменшується від 5 % до 10 %.

При несиметрії напруг мережі в синхронних електродвигунах поряд з нагрівом статора і ротора та виникненням додаткових втрат активної потужності можуть виникнути небезпечні вібрації в результаті появи знакоперемінних

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

обертальних моментів і тангенціальних сил, що пульсують з подвійною частотою мережі. При значній несиметрії вібрація може виявитися небезпечною, а особливо при недостатній міцності і наявності дефектів зварних сполук. Якщо несиметрія струмів не перевищує 30 %, то як правило, небезпечні перенапруги в елементах конструкцій, не виникають.

Правила технічної експлуатації електричних мереж і станцій в Україні вказують, що "тривала робота синхронних компенсаторів і генераторів при нерівних струмах фаз допускається, якщо різниця струмів не перевищує 20 % струму статора для гідрогенераторів і 10 % для турбогенераторів номінального. При цьому струми у фазах не повинні перевищувати номінальних значень. При невиконанні цих умов необхідно вживати спеціальних заходів щодо зменшення несиметрії.

Збільшення втрат активної потужності може бути неприпустимо з точки зору нагріву у разі наявності струмів зворотної та нульової послідовності збільшують сумарні струми в окремих фазах елементів мережі. Струми нульової послідовності протікають постійно через заземлювачі. При цьому додатково збільшується опір заземлених пристроїв. Це неприпустимо з точки зору роботи релейного захисту, а також через посилення впливу на низькочастотні установки зв'язку та влаштування залізничного блокування.

Режими роботи багатофазних напівпровідникових випрямлювачів значно погіршує несиметрія напруги: значно збільшується пульсація випрямленого напруження, погіршуються умови роботи системи імпульсно-фазового управління тиристорних перетворювачів.

Конденсаторні установки при несиметрії навантажень нерівномірно завантажуються реактивною потужністю по фазах, що унеможливлює повне використання встановленої конденсаторної потужності. Слід зазначити, що конденсаторні установки в цьому випадку посилюють вже існуючу несиметрію, оскільки видача реактивної потужності в мережу у фазі з найменшою напругою

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

буде меншою, ніж в інших фазах (пропорційно квадрату напруги на конденсаторній установці).

Несиметрія напружень значно впливає і на однофазні ЕП, якщо фазні напруги нерівні, то, наприклад, лампи розжарювання, підключені до фази з більш високою напругою, мають більший світловий потік, але значно менший термін служби порівняно з лампами, підключеними до фази з меншою напругою. Несиметрія напружень ускладнює роботу релейного захисту, веде до помилок при роботі лічильників електроенергії тощо.

3.3 Вплив несинусоїдальності напруги

При підведенні до затискачів синусоїдальної напруги електроприводи з нелінійними вольт-амперними характеристиками споживають з мережі несинусоїдальні струми. Струми вищих гармонік проходять по елементам мережі та створюють падіння напруги в опорах елементів та призводять до змін форми кривої напруги в вузлах електричної мережі. Тому ЕП з нелінійною вольт-амперною характеристикою називають джерелами вищих гармонік.

При роботі потужних керованих напівпровідникових перетворювачів виникають серйозні порушення в електричній мережі.

Залежно від схеми випрямлення вентильні перетворювачі генерують в мережу такі гармоніки струму: при 6-фазній схемі - до 19-го порядку; при 12-фазній схемі - до 25-го порядку включно.

Коефіцієнт спотворення синусоїдальності кривої напруги в мережах з електродуговими сталеплавильними і руднотермічними печами визначається в основному 2, 3, 4, 5, 7-ю гармоніками.

Коефіцієнт спотворення синусоїдальності кривої напруги установок дугового і контактного зварювання визначається в основному 5, 7, 11, 13-ю гармоніками.

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

Струми 3-й і 5-й гармонік газорозрядних ламп становлять 10 і 3% від струму 1-ї гармоніки. Ці струми збігаються за фазою у відповідних лінійних проводах мережі і, складаючись у нульовому проводі мережі 380/220 В, обумовлюють струм у ньому, майже рівний струму у фазному проводі. Іншими гармоніками для газорозрядних ламп можна знехтувати.

Дослідження кривої струму намагання трансформаторів, включених в мережу синусоїдальної напруги, показали, що при тристрижневому сердечнику і сполуках обмоток U/U; i/U; в електричній мережі є всі непарні гармоніки, в тому числі гармоніки, кратні трьом. Гармоніки, кратні трьом, обумовлені несиметрією старанних струмів за фазами:

$$I_{\mu A} = I_{\mu C} \approx 1.5 I_{\mu B}.$$

Чинне значення витребовуючого струму трансформатора:

$$I_{\mu} = (I_{\mu A} + I_{\mu B} + I_{\mu C}) / 3.$$

Якщо на введення трансформаторів подається несинусоїдальна напруга виникають додаткові складові вищих гармонік струму. Трансформатори ГПП дають 5-ту гармоніку невеликої величини.

Загалом несинусоїдальні режими мають ті самі недоліки, що й несиметричні.

Додаткові втрати активної потужності у всіх елементах системи електропостачання викликають вищі гармоніки струму і напруги: електричних машинах, трансформаторах, в лініях електропередачі, статичних конденсаторах, тому що опори цих елементів залежать від частоти.

Так, наприклад, ємнісний опір конденсаторів, що встановлюються з метою компенсації реактивної потужності, з підвищенням частоти підвідної напруги

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

зменшується. Тому, якщо в напрузі живлячої мережі є вищі гармоніки, то опір конденсаторів на цих гармоніках виявляється значно нижчим, ніж на частоті 50 Гц. Відомі випадки, коли на підприємствах з розвиненою кабельною мережею напругою від 6 кВ до 10 кВ батареї конденсаторів опиняються в режимі резонансу струмів (або близьких до цього режиму) на частоті будь-якої з гармонік, що призводить до небезпечного перевантаження їх за струмом.

Вищі гармоніки викликають:

– погіршення коефіцієнта потужності електроспоживачів;

– паразитні поля і електромагнітні моменти в синхронних і асинхронних двигунах, які погіршують механічні характеристики і ККД машини. В результаті незворотних фізико-хімічних процесів, що протікають під впливом полів вищих гармонік, а також підвищеного нагріву струмоведучих частин спостерігається;

– погіршення або порушення роботи комп'ютерної техніки, пристроїв автоматики, телемеханіки та інших пристроїв з елементами електроніки;

– порушення роботи самих вентильних перетворювачів при високому рівні вищих гармонік;

– прискорене старіння ізоляції електричних машин, трансформаторів, кабелів;

– похибки вимірювань індукційних лічильників електроенергії, які призводять до неповного обліку споживаної електроенергії;

– наявність вищих гармонік несприятливо позначається на роботі не тільки електрообладнання споживачів та в електронних пристроях в енергосистемах;

– для деяких установок (система імпульсно-фазового управління вентильними перетворювачами, комплектні пристрої автоматики та ін.) допустимі значення окремих гармонік струму (напруги) вказуються виробником у паспорті виробу.

Крива напруги живлення електроспоживачів не повинна містити вищих гармонік у встановленому режимі роботи електромережі. Слід підкреслити, що в умовах роботи ЕП, несинусоїдальність напруги проявляється спільно з діями

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

інших впливових факторів і тому необхідно розглядати всю сукупність факторів спільно.

Вимоги стандарту до відхилень частоти навантаження обумовлені впливом частоти на хід технологічних процесів виробництва та режими роботи електрообладнання, і техніко-економічні показники роботи підприємств.

Електромагнітна складова втрат обумовлена збільшенням втрат активної потужності в електричних мережах і зростанням споживання активної і реактивної потужностей. Зниження частоти на 1 % збільшує втрати в електричних мережах на 2 %.

Технологічна складова шкоди викликана в основному недовипуском промисловими підприємствами своєї продукції та вартістю додаткового часу роботи підприємства для виконання завдання. Згідно з експертними оцінками значення технологічного збитку на порядок вище електромагнітного.

Більшість основних технологічних ліній мають у своєму обладнанні механізми з постійним і вентиляторним моментами опорів, а їх приводами служать асинхронні двигуни. Продуктивність технологічних ліній залежить від частоти обертання двигуна, а частота обертання роторів двигунів пропорційна зміні частоти мережі.

Через споживану механізмами активну потужність може бути виражена ступінь впливу частоти на продуктивність ряду механізмів

$$P = af^n.$$

де a - коефіцієнт пропорційності, залежний від типу механізму;

f - частота мережі;

n - показник ступеня.

ЕП можна розбити на наступні групи залежно від значень показника ступеня n:

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

- механізми з вентиляторним моментом опору – димососи, відцентрові насоси, вентилятори тощо; для них n = 3; на ТЕС, КЕС, АЕС зазвичай це двигуни насосів живильної води, циркуляційних насосів, димових вентилятоів, маслонасосів тощо;

- механізми з постійним моментом опору - металорізальні верстати поршневі насоси, компресори тощо; для них n = 1;

- механізми, для яких n = 3,5-4 - відцентрові насоси, що працюють з великим статичним напором (протитиском), наприклад, поживні насоси.

ЕП 2-ї і 3-ї груп, що схильні до впливу частоти, мають регулювальні можливості, завдяки яким споживана ними потужність з мережі залишається практично незмінною.

Двигуни власних потреб електростанцій найбільш чутливі до зниження частоти. Це приводить до зменшення продуктивності та супроводжується зниженням потужності генераторів та дефіцитом активної потужності і зниженням частоти (лавина частоти).

Печі опору, лампи накалювання та дугові електричні печі на зміну частоти майже не реагують.

Відхилення частоти негативно впливають на роботу електронної техніки: відхилення частоти понад 0,1 Гц призводить до яскравих і геометричних фонових спотворень телевізійного зображення, зміни частоти від 49,9 Гц до 49,5 Гц тягне за собою майже чотириразове збільшення допустимого розмаху телевізійного сигналу до фонової перешкоди.

На термін служби обладнання, що містить елементи зі сталлю (електродвигуни, трансформатори, реактори зі сталевим магнітопроводом) впливає знижена частота в електричній мережі.

Підтримка нормальної частоти, що відповідає вимогам стандарту є технічним, а не науковим завданням, основний шлях вирішення якого - введення генеруючих потужностей з метою створення резервів потужності в мережах енергопостачальних організацій.

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

У системах електропостачання загального призначення знайшли застосування електронні та мікроелектронні системи управління, мікропроцесори та ЕВМ, що призвело до зниження рівня помехостійкості систем управління ЕП і різкого зростання кількості їх відмов. Вплив електромагнітних перехідних перешкод, що виникають при електромагнітних перехідних процесах в мережах енергосистем і в міських та промислових електричних мережах є основною причиною відмов. Тривалість протікання перехідних процесів становить від декількох періодів струму промислової частоти до декількох секунд, а ефективна смуга частот перешкод може досягати десятків мегагерц.

Провали та імпульси напруги, короткочасні перенапруги є характеристикою електромагнітних перехідних перешкод.

Електромагнітні перехідні перешкоди супроводжуються провалами напруги та виникають, в основному, при однофазних коротких замиканнях повітряних ліній внаслідок перекриття ізоляції. Ці пошкодження усуваються при короткочасному відключенні з подальшим автоматичним повторним включенням або самоліквідуються. Причиною виникнення провалів напруги є міжфазні замикання, що виникають в результаті атмосферних явищ, а також відключення конденсаторів та ліній живлення. Кількість провалів напруги з глибиною до 20 % досягає в розподільних мережах від 55 % до 60 %. Понад 60 % зупинок механізмів припадає на провали напруги з глибиною понад 20 %.

Причиною виникнення електромагнітних перехідних перешкод у системах електропостачання загального призначення можуть бути перенапруги, які виникають при комутаціях батарей конденсаторів і резонансних фільтрів при однофазних замиканнях на землю, при відключенні ненавантажених кабельних ліній і трансформаторів, при одночасній комутації контактів вимикачів.

До зниження надійності функціонування складних електронних систем управління і зростання числа відмов призводить збільшення потужності енергосистем і кількості повітряних ліній, що застосовуються для підвищення надійності електропостачання промислових підприємств.

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

Коли негативний вплив нелінійних, несиметричних і ударних навантажень скомпенсовано за допомогою відповідних коригувальних пристроїв при відключенні того чи іншого пристрою має місце взаємозалежність відмов елементів. Появу несиметрії, коливань і гармонік напруги, які раніше компенсувалися, що загрожує виникненням помилкових спрацьовувань релейних захистів, аварійним виходом з ладу електрообладнання та іншими аналогічними негативними наслідками викликає вихід з ладу швидкодіючого статичного компенсатора.

3.4 Вплив вищих гармонік напруги і струму на роботу електрообладнання

Струми гармонік в трьох фазах не повністю компенсують один одного через нерівність амплітуд і фазових кутів і впливають на телекомунікації виникаючим при цьому струмом нульової послідовності (аналогічно струмам замикання на землю і струмам в землі від тягових систем).

Вплив може бути також викликаний самими струмами гармонік у фазах внаслідок відмінності відстаней від фазних проводів до розташованих поблизу ліній телекомунікації.

Такі типи впливу зменшуються вибором трас ліній, при неминучих перетинах ліній вплив виникає. Особливо сильно воно проявляється в разі вертикального розташування проводів лінії електропередачі і при транспозиції проводів лінії зв'язку поблизу від лінії електропередачі.

При великих відстанях (більше 100 м) між лініями струм нульової послідовності виявляється основним впливовим фактором, При зниженні номінального напруження лінії електропередачі вплив падає, але воно виявляється помітним через використання загальних опор або траншів для прокладання силових ліній низької напруги і ліній зв'язку.

Компенсація реактивної потужності дозволяє значно економити паливно-енергетичні ресурси та грошові кошти. Її визначають за показаннями реактивних

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

лічильників. Активна потужність характеризує інтенсивність перетворення електричної енергії в теплову, механічну, світлову тощо. Реактивна потужність характеризує інтенсивність обміну потужності між генератором і споживачем; електрична енергія при цьому не перетворюється.

Для промислових об'єктів промислових підприємств характерно помітне перевищення реактивної потужності над активною. Втрати енергії, як відомо, пропорційні квадрату повного струму. Реактивні навантаження обумовлюють значні втрати енергії. Для підвищення економічності електропостачання підприємства та його цехів, поліпшення якості напруги та підвищення продуктивності електрифікованого обладнання необхідно зменшувати ці навантаження.

Зменшення реактивних навантажень в умовах експлуатації досягають в результаті організаційно-технічних заходів, головним чином застосування компенсуючих пристроїв.

При недостатній компенсації проходження реактивних навантажень по лініях електропередач і через трансформатори призводить до зменшення їх пропускної здатності, втрат енергії та напруги у всіх елементах схеми електропостачання. Наслідком цього є підвищена витрата паливно-енергетичних ресурсів і необхідність додаткових витрат на розширення електростанцій, збільшення встановленої потужності силових трансформаторів і перерізу провідників.

Для підвищення економічності електропостачання промислових підприємств необхідно прагнути до зменшення споживаної реактивної потужності до значень, що задаються енергосистемою.

Для підвищення коефіцієнта потужності шляхом поліпшення роботи електроустановок без застосування компенсуючих пристроїв проводяться наступні заходи:

– упорядкування технологічного процесу підприємства, що веде до поліпшення енергетичного режиму обладнання;

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

– застосування синхронних електродвигунів замість асинхронних тієї ж потужності, коли це можливо за умовами технологічного процесу;

– заміна малозавантажених асинхронних двигунів двигунами меншої потужності;

– зниження напруги у двигунів, що систематично працюють з малим завантаженням;

– обмеження холостого ходу двигунів;

– заміна малозавантажених трансформаторів; трансформаторами меншої потужності.

Електродвигун для робочої машини слід підбирати відповідно до режиму її роботи, враховуючи допустиме перевантаження двигуна.

У всіх випадках бажано вибирати електродвигун з більш високим номінальним коефіцієнтом потужності. Там, де це можливо, необхідно віддавати перевагу двигунам з більшою швидкістю обертання і з короткозамкнутим ротором, що обертається на підшипниках качання.

Якщо електродвигуни вже встановлені і можливість їх заміни виключається, то для підвищення коефіцієнта потужності рекомендується переглянути технологію виробництва і по можливості модернізувати механізми. Наприклад, якщо на шпалорізках, лісопильних рамах, торцівках двигуни завантажені не повністю, їх завантаження можна збільшити, підвищивши швидкість пилення, збільшивши швидкість подачі, у зв'язку з чим підвищиться їх продуктивність.

Заміна незавантажених асинхронних електродвигунів двигунами меншої номінальної потужності не завжди доцільна. Пояснюється це тим, що у електродвигунів меншої потужності при інших рівних параметрах номінальний к. п. д. нижче, тому після заміни втрати в двигуні можуть виявитися вище, ніж до заміни. Як показують підрахунки і досвід, при середньому завантаженні двигуна на 45 % від номінальної потужності заміна доцільна завжди. Якщо ж завантаження знаходиться в межах від 45 % до 70 %, то доцільність заміни

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

повинна бути перевірена розрахунком. При завантаженнях вище 70 % заміна в більшості випадків недоцільна, тим більше, що це пов'язано з витратою на демонтаж встановленого електродвигуна і монтаж замінюючої його машини.

Помітну роль у режимі роботи електродвигунів відіграє сталість напруги. На малопотужних електростанціях іноді підтримують напругу вище номінального, що призводить до збільшення струму холостого ходу, а отже, до збільшення реактивної потужності. Тому для підвищення коефіцієнта потужності необхідно підтримувати номінальну напругу.

З метою підвищення коефіцієнта потужності особливу увагу слід звертати на якість ремонту електродвигунів.

Зміни коефіцієнта потужності і ККД короткозамкнутого асинхронного електродвигуна при включенні обмоток статора зіркою і трикутником двигуна знижує коефіцієнт потужності, тому необхідно стежити, щоб у відремонтованому двигуні збереглися: колишнє число послідовно з'єднаних витків у фазі; сумарний поперечний переріз обмотки фази, тобто сума перерізів проводів усіх паралельних гілок; колишній повітряний зазор. Якщо після ремонту виявиться, що повітряний зазор збільшився більш ніж на 15 % проти норми, такий двигун використовувати не рекомендується.

Значні результати в підвищенні природного коефіцієнта потужності підприємства можна отримати при більш раціональному використанні трансформаторів. Оскільки основна частина реактивної потужності, яка споживається трансформатором, припадає на потужність холостого ходу, рекомендується по можливості відключати трансформатори на час холостого ходу. Слід замінювати трансформатори, завантаження яких становить 30 % і менше; в інших випадках доцільність заміни або перестановки трансформаторів визначається розрахунком. При цьому слід мати на увазі, що підвищення коефіцієнта завантаження трансформатора до 0,6 призводить до помітного підвищення коефіцієнта потужності, а при подальшому збільшенні коефіцієнта завантаження від 0,6 до 1 коефіцієнт потужності поліпшується незначно.

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

3.5 Висновки по розділу

Зарядні блоки з нелінійними вольт-амперними характеристиками споживають з мережі несинусоїдальні струми при підведенні до їх затисків синусоїдальної напруги. Струми вищих гармонік, проходячи по елементах мережі, створюють падіння напруги в опорах цих елементів і, накладаючись на основну синусоїду напруги, призводять до спотворень форми кривої напруги в вузлах електричної мережі. У зв'язку з цим зарядні блоки з нелінійною вольт-амперною характеристикою часто називають джерелами вищих гармонік.

Найбільш серйозні порушення КЕ в електричній мережі мають місце при роботі потужних керованих вентильних перетворювачів.

Залежно від схеми випрямлення вентильні перетворювачі генерують в мережу такі гармоніки струму: при 6-фазній схемі - до 19-го порядку; при 12-фазній схемі - до 25-го порядку включно.

Для корекції форми ЕРС необхідно використовувати коректори потужності.

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

4 СИСТЕМИ КОРЕКЦІЇ КОЕФІЦІЄНТА ПОТУЖНОСТІ

4.1 Аналіз схемотехнічних рішень

Розвиток і широке поширення імпульсних методів перетворення електричної енергії призвело до появи малопотужних побутових і промислових електроприладів з спотвореною формою або не нульовим фазовим зрушенням споживаного від мережі струму (лампи денного світла, електродвигуни, телевізори, комп'ютери, мікрохвильові печі тощо). Різке збільшення кількості таких споживачів позначається на їх електромагнітній сумісності та енергосистемах загалом [12, 13]. У 2001 році був прийнятий стандарт IEC-1000-3-2, згідно з яким будь-яка електротехнічна продукція потужністю понад 200 Вт, що підключається до мережі змінного струму, повинна мати активний характер вхідного опору, тобто коефіцієнт потужності має дорівнювати одиниці.

Для підвищення коефіцієнту потужності в даний час використовують пасивні і активні коректори коефіцієнта потужності (ККП). Перші застосовують при незмінних навантаженнях, шляхом введення компенсуючих реактивностей (наприклад, конденсатори для ламп денного світла), другі володіють більш широким спектром застосування. Розглянемо спрощену схему активного коректора, що наведена на рисунку 4.1.

На цьому рисунку R, R - датчик вхідної напруги (ДН), R - датчик струму (ДТ). Індуктивність L, ключ VT1, діод VD1 і конденсатор C утворюють імпульсний підвищувальний стабілізатор напруги. Робота ККП пояснюється епюрами на рисунку 4.1,б. Замикання транзистора VT1 відбувається в момент часу, коли напруга на виході датчика струму ДТ стає рівним нулю (тобто при нульовому струмі в індуктивності L). Розмикання транзистора VT1 відбувається в момент часу, коли лінійно наростаюча напруга з датчика струму стає рівною напруженості ДН, що змінюється за синусоїдальним законом.

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

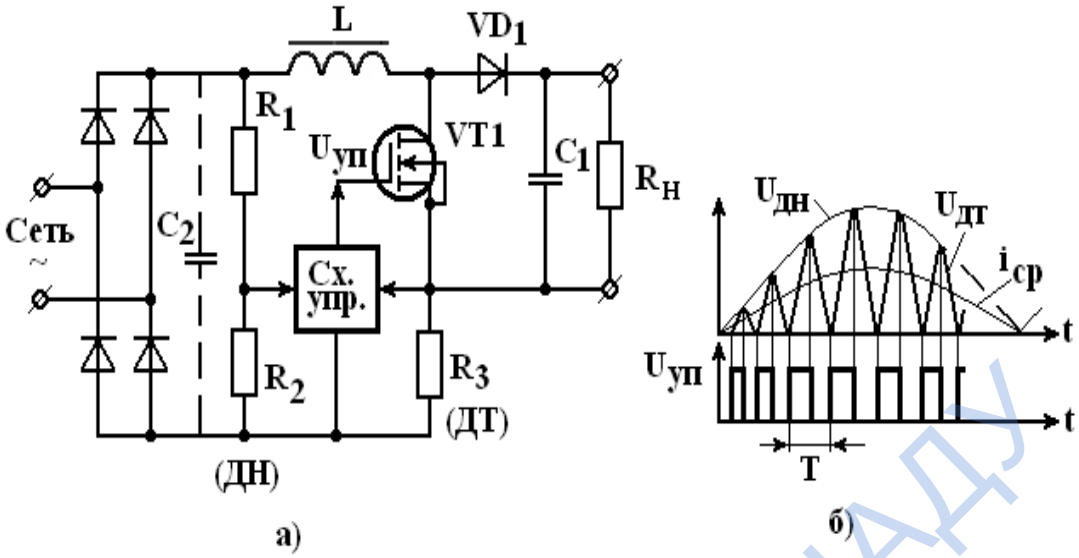


Рисунок 4.1 - Схема спрощена активного ККП

Після розмикання транзистора струм в індуктивності починає спадати, індуктивність розряджається на навантаження через діод VD1, ДП і мережу. При нульовому значенні струму транзистор знову замикається. Далі процес повторюється. Частота комутації ключа перевищує частоту мережі становить 100 кГц. Усереднений струм і в індуктивності і споживаний від мережі, повторює форму напруги мережі. За високою частотою роботи ключа мережу шунтують конденсатором С (зазвичай це частки мікрофарадів). Можна додатково ввести зворотний зв'язок по вихідній напрузі і забезпечити попередню стабілізацію. Очевидно, що робота ККП можлива, якщо амплітуда вхідної напруги менше напруги на конденсаторі С (з урахуванням відхилень). Для напруги мережі 220 В (амплітуда 311 В), вихідну напругу ККП приймають рівним 400 В.

У розглянутій вище схемі ККП використовується, так званий, метод граничного управління. Він найбільш простий в реалізації, але розмикання ключа проводиться при значному струмі, що пов'язано з істотними втратами потужності.

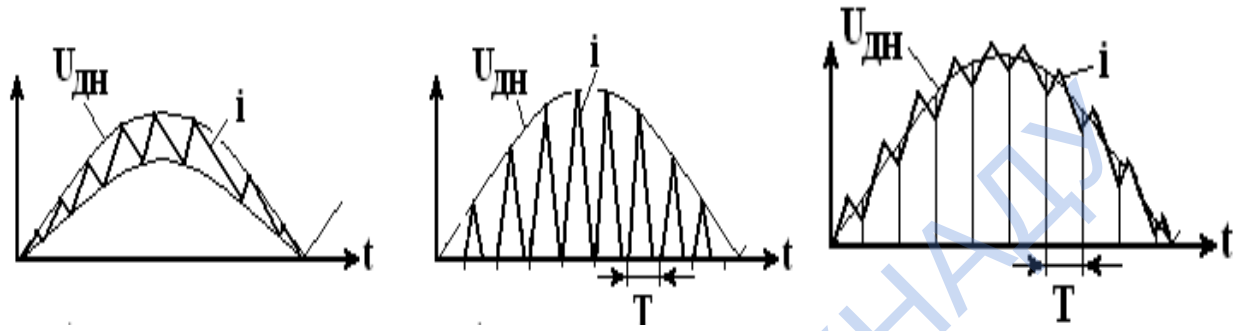
Відомі й інші методи управління ключем у ККП [27]:

- керування піковим значенням струму;

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

- метод розривних струмів з ШІМ;
- керування середнім значенням струму.

Сутність цих методів пояснюється епюрами (рисунок 4.2 а, б, відповідно).



а б в

Рисунок 4.2 - Керування ключем у ККП

Управління з пікового значення струму (рисунок 4.2, а) привабливо за малими зворотними перешкодами (в мережу) і малими кидками струму через ключ, але має місце зміна частоти і жорстка комутація силового діоду.

Управління методом розривних струмів з широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ) (рисунок 4.2, а). Реалізація цього методу близька до методу граничного управління, але відрізняється постійною частотою комутації. Гідністю є проста схема управління, але розривні струми дроселя стають додатковим джерелом перешкод. Управління за середнім значенням струму (дивись рисунок 4.2, в) проводиться при незмінній частоті, а наявність інтегратора для усереднення струму підвищує перешкоду системи управління. Зазвичай пікове значення пульсацій струму дроселя знаходиться в межах 20 % від середнього значення і саме цей метод управління застосовують у коректорах на потужності понад 300 Вт.

Існують не тільки однофазні, а й трифазні коректори коефіцієнта потужності. Силовий контур трифазного ККП з одним керованим ключем

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

приведений на рисунку 4.3, а на рисунку 4.4 та 4.5 показані епюри, що пояснюють роботу.

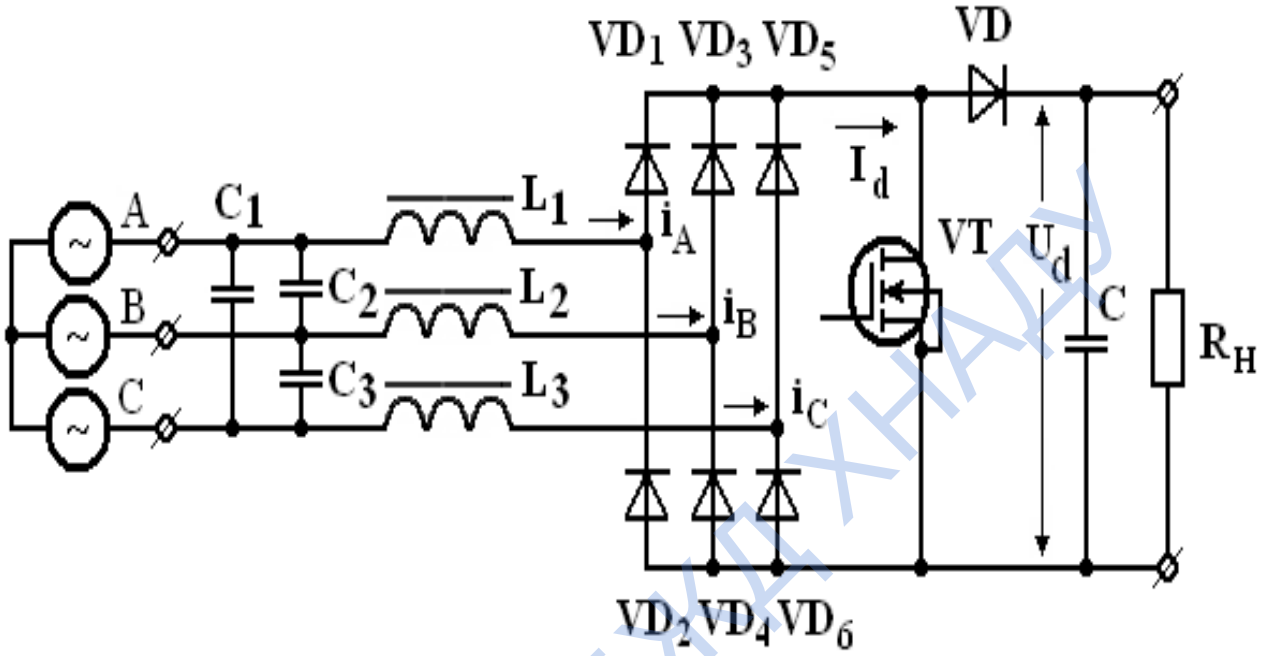


Рисунок 4.3 - Силовий контур трифазного ККП

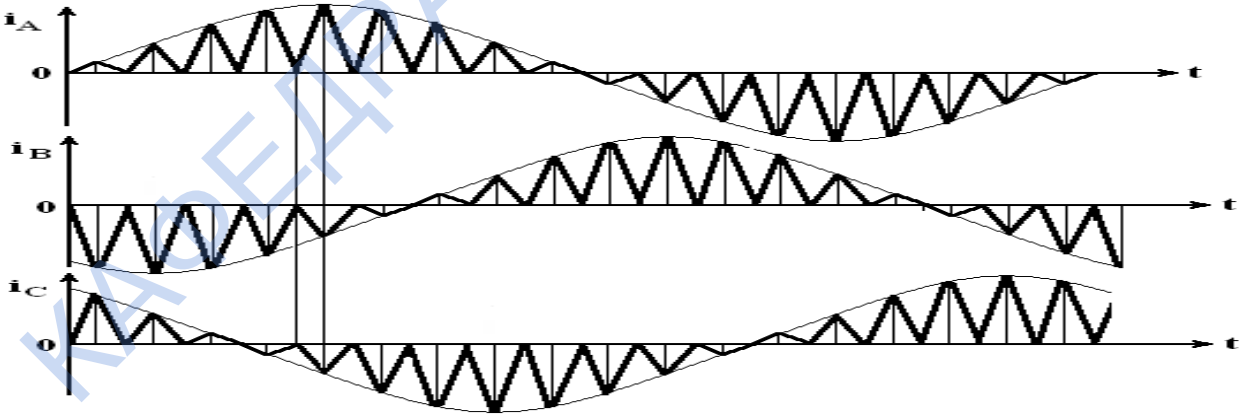


Рисунок 4.4 - Епюри струмів реакторів L1,L2,L3 трифазного ККП

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

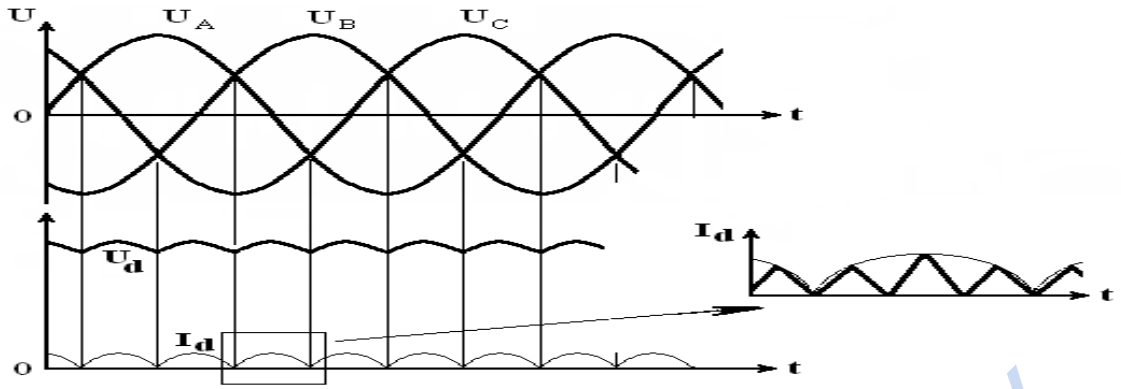


Рисунок 4.5 - Епюри основних процесів трифазного ККП

Керування ключем проводиться аналогічно однофазному коректору. У розглянутих схемах ККП, останній пропускає всю потужність навантаження. Це послідовний коректор і його елементна база стримує збільшення вихідної потужності. ККП може бути побудований і за ампердобавочною схемою - включення активного фільтру струму паралельно навантаженню. У цьому випадку, встановлена потужність елементів активного фільтра, призначеного для компенсації тільки потужності спотворень від вищих гармонік вхідного струму, буде на рівні, визначеному коефіцієнтом гармонік цього струму (наприклад, 0,3 для трифазної мостової схеми і 0,15 для дванадцятифазної схеми випрямлення) [7]. Структурна схема такого ККП наведена на рисунку 4.6.

Принцип компенсації вищих гармонік у кривій струмі, що споживається від мережі, пояснюється епюрами (рисунок 4.7). Для наочності форма струму навантаження прийнята прямокутною. Коректор формує різність між гармонікою струму мережі і фактичним струмом навантаження

$$i_{j\,K} = i_{j\,1} - i_j$$

де j - індекс фази (A, B або C);

i - перша гармоніка струму фази $j_{.J\,1}$

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

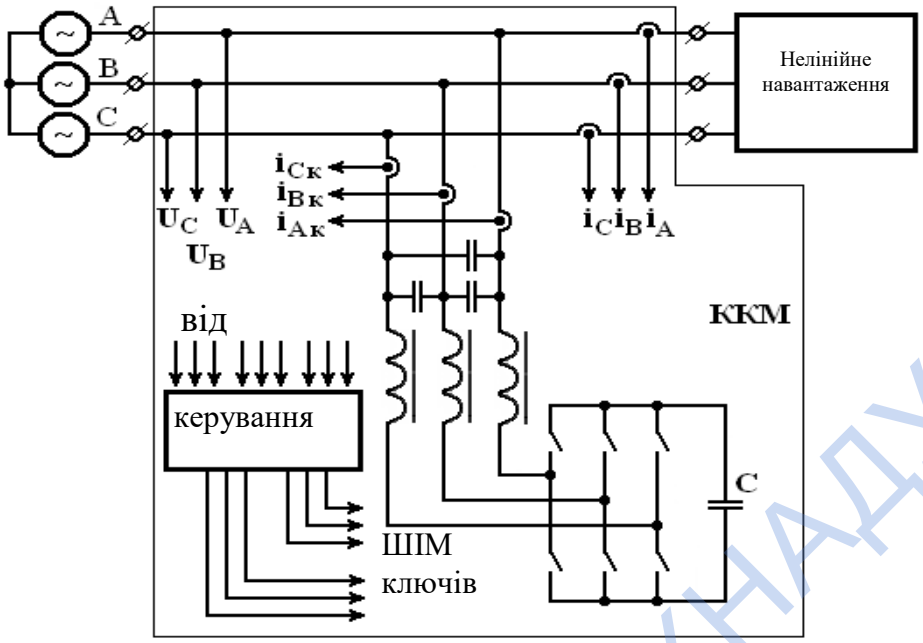


Рисунок 4.6 – Схема структурна паралельного трифазного ККП

Схема керування коректором зазвичай базується на широтно-імпульсній модуляції.

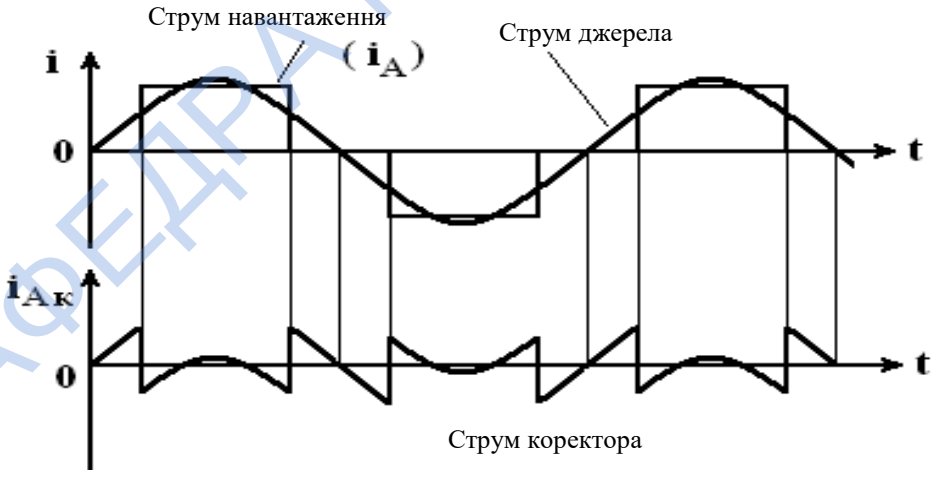


Рисунок 4.7 - Компенсація вищих гармонік струму

Як окремі елементи електронної техніки, схеми управління коректорами вперше були випущені в 1989 р. фірмою Mikro Linear (LM 4812). Потім розробками зайнялися Siemens, Motorola та ін. В даний час є широке сімейство

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

ІМБ для управління імпульсними джерелами, поєднаними з ККМ і реалізують той чи інший метод управління.

4.2 Розробка моделі зарядного пристрою

Батареї електромобілів можуть бути заряджені повільно від 8 год до 10 год уночі, коли міські електричні мережі мало завантажені, або швидко на спеціальних зарядних станціях (СЗС) від 15 хв до 30 хв струмом у кілька сотень амперів. Сьогодні освоєні три технології заряду акумуляторних батарей електромобілів:

–технологія 1-го рівня (стандартний заряд). Акумулятор заряджається від стандартної побутової мережі (110 В для США) струмом від 6 А до 12 А впродовж від 15 год до 20 год. Сполучна розетка повинна бути надійно підключена й заземлена;

–технологія 2-го рівні (швидкий заряд). Акумулятор заряджається від однофазної побутової мережі струмом близько 30 А від 3 год до 10 год. Розетки встановлюються в приватних гаражах або на суспільних автостоянках. До аналогічної мережі підключаються потужні побутові прилади типу електроосушителів або електроплит;

–технологія 3-го рівні (прискорений або форсований заряд). Акумулятор заряджається від трифазної мережі струмом 400 А за від 15 хв до 20 хв. Стандартні зарядні пристрої споживають потужність від 160 кВт до 200 кВт і повинні розміщатися на спеціальних зарядних станціях.

Зарядний пристрій містить коло підключення до мережі змінного струму, випрямляч, регулятор зарядного струму (напруги), систему керування зарядом (звичайно мікропроцесорну) для контролю за рівнем заряду, параметрами батареї, відключення при виникненні аварійної ситуації.

Зарядний пристрій може розміщатися на борті електромобіля. У цьому випадку бортовий комп'ютер управляє процесом заряду, а мережа змінного

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

струму підключається до електромобіля. Це характерно для пристроїв 1-го рівня й пристроїв 2-го рівні з безпосереднім підключенням.

Стаціонарний зарядний пристрій монтується в настінній шафі або на стенді. Регульована постійна напруга подається безпосередньо на акумулятори електромобіля. Це характерно для технології третього рівня.

У гібридних системах електромобіль може підключатися до мережі змінного струму або до стаціонарних зарядних пристроїв.

При безпосередньому підключенні зарядний пристрій приєднується до електромобіля власним кабелем або кабелем електромобіля з потужним фотополяриметром розніманням у металевому захисному корпусі. Металеве рознімання приблизно таке ж, як і для зовнішніх побутових приладів. Основні вимоги: високий ступінь захисту, здатність витримувати неправильне підключення й вандалізм. Будь-яка несправність рознімання визначається системою захисту, що відключає в цьому випадку напругу.

При підключенні з гальванічною розв'язкою використовується магнітний зв'язок між обмотками спеціального високоточного трансформатора, первинна обмотка якого розміщена на зарядній станції (зарядній колонці), а вторинна – на електромобілі. При передачі енергії відстань між частинами трансформатора забезпечується мінімальним для гарного індуктивного зв'язку обмоток.

У зарядному пристрої напруга мережі змінного струму промислової частоти 50 Гц та 60 Гц випрямляється й фільтрується. Потім постійна напруга перетворюється в інверторі в змінну підвищеної частоти. Підвищення частоти в інверторі від 25 кГц до 40 кГц дозволяє зменшити масогабарити трансформатора й витрату міді в обмотках. Регулювання енергії виробляється в інверторі або випрямлячі (рисунок 4.8).

Змінна напруга підвищеної частоти випрямляється вже на борті електромобіля й подається на акумуляторну батарею для заряду.

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

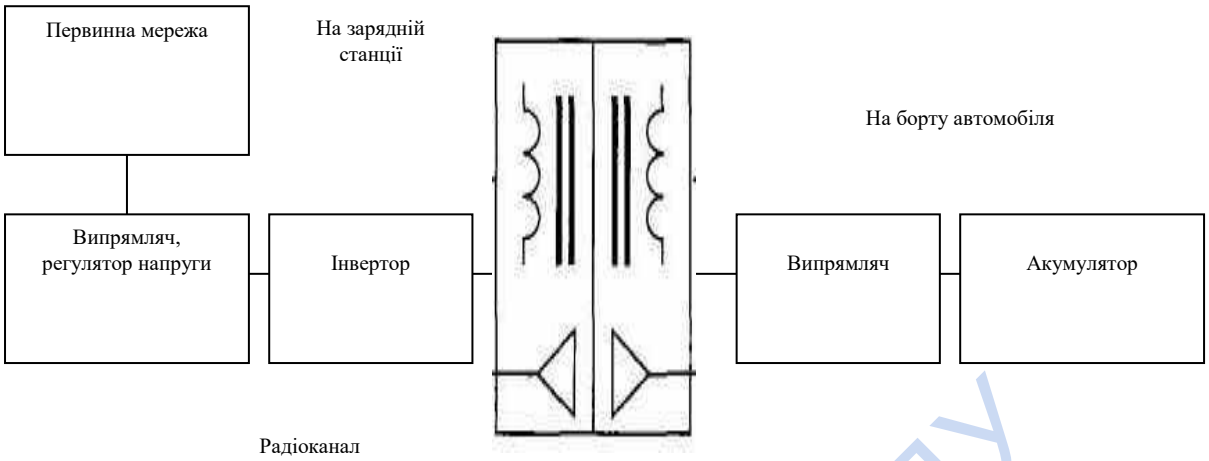


Рисунок 4.8 – Підключення з гальванічною розв'язкою

Підключення з гальванічною розв'язкою може бути використане для різних режимів заряду. Наприклад, електромобіль Chevrolet S 10 випускається з бортовим зарядним пристроєм потужністю 6,6 кВт із індуктивною розв'язкою й часом заряду від 2,5 год до 3 год від однофазної мережі. Для прискорення заряду використовується трифазна мережа, при цьому споживається потужність від 150 кВт до 160 кВт.

Зарядний пристрій звичайно контролює ступінь заряду акумуляторної батареї й час до закінчення заряду. Користувач вставляє термінал стаціонарного зарядного пристрою в спеціальний приймач на борті електромобіля. По закінченні заряду термінал автоматично виштовхується із приймача. Система управляється мікропроцесорами по обидва боки. Службовий зв'язок виробляється через радіоканал в 915 МГц. Є конструкції, де електромобіль наїжджає на шафу зарядного пристрою таким чином, щоб первинна (стаціонарна) обмотка й вторинна (на автомобілі) виявилися індуктивно зв'язаними. Основною зручністю такої системи є відсутність гальванічного зв'язку електромобіля з електричною мережею, це підвищує електробезпеку.

Основним елементом будь-якого бортового зарядного пристрою є керований випрямляч, що регулює напругу на акумуляторній батареї при заряді.

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

У найпростішому випадку це однофазна тиристорна схема з фазним керуванням. Трансформатор підвищує сіткову напругу (110 В або 220 В) до необхідного рівня. Як правило, перетворювальна частина зарядного пристрою використовується також як контролер для керування тяговим електродвигуном. Крім тиристорів як комутуючі елементи використовуються силові польові або біполярні транзистори.

Зарядні станції звичайно добре захищені. Мікропроцесори контролюють струм і напругу заряду. У випадку перевантажень по струму, замикань, несправності заземлення й інших аварійних ситуаціях подача електроенергії припиняється, користувач інформується про несправність.

Суспільні зарядні станції є потужними споживачами електроенергії. На них для підвищення коефіцієнта потужності застосовуються спеціальні коригувальні електронні ланцюги для компенсації втрат в індуктивностях перетворювальних каскадів. На рисунку 4.9 наведено середній графік споживаної потужності на добу.

Рисунок 4.9 – Добовий графік споживання електроенергії

Виходячи с цього, зарядку доцільно проводити вночі. При цьому струм заряду буде дорівнювати від 25 А до 30 А.

Моделювання розробленої схеми було проведено в пакеті MicroCAP 7 (рисунок 4.10).

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

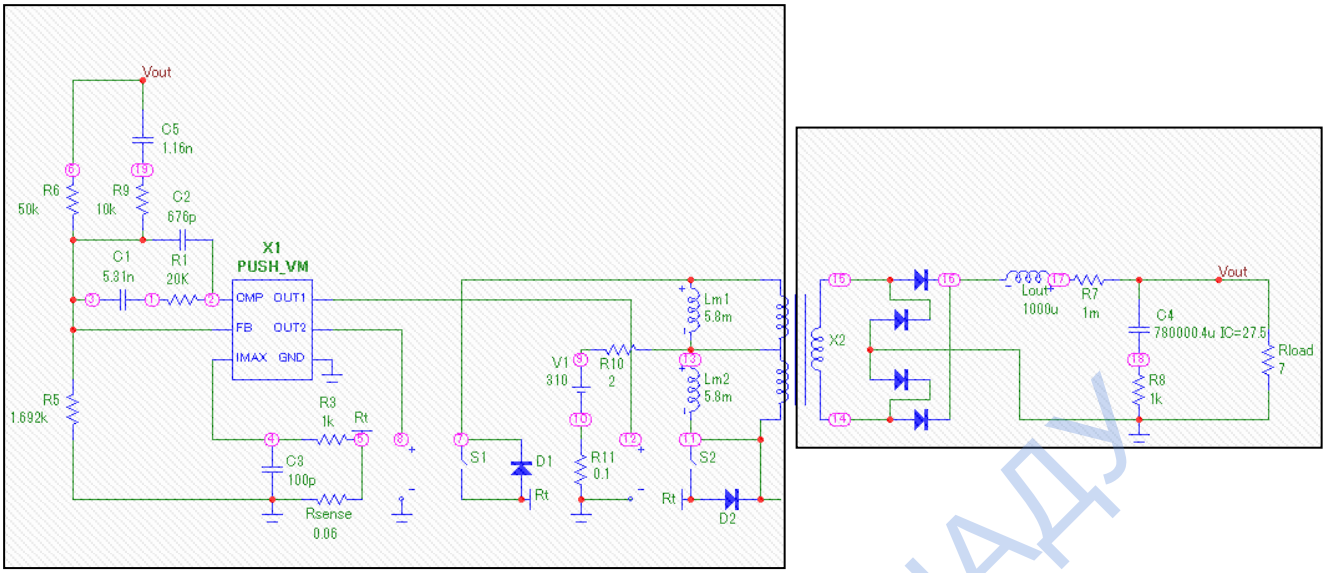


Рисунок 4.10 – Імітаційна модель джерела живлення заряджального модулю в пакеті MicroCAP 7

В лівому прямокутнику наведено схему випромінювача енергії, в правому – схему приймача. Коефіцієнт передавання встановлювався параметрами індуктивного зв’язку.

На рисунку 4.11 наведено результати моделювання в пакеті MicroCAP 7.

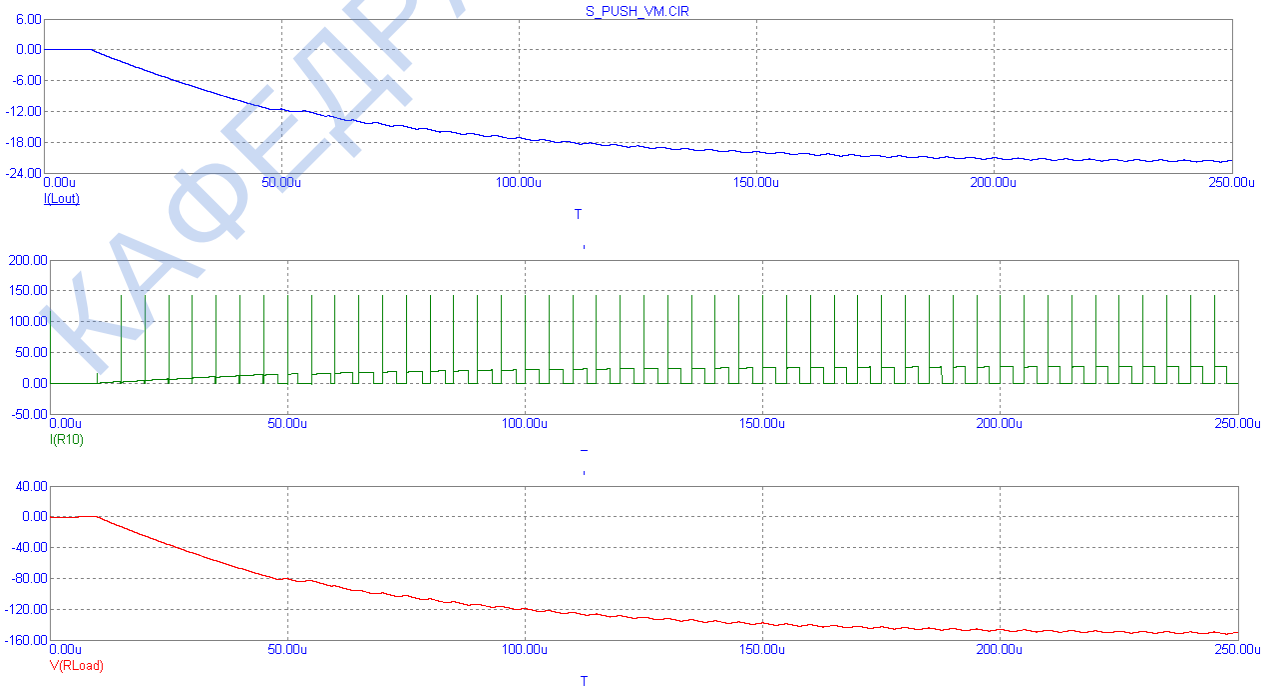


Рисунок 4.11 – Діаграми роботи зарядного пристрою

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

4.3 Висновки по розділу

Застосування імітаційної моделі джерела живлення заряджального модулю дозволяє провести моделювання її режимів роботи.

Використання перетворювачів напруги під управлінням спеціалізованих мікросхем дозволяє значно спростити схемні рішення.

Втрати енергії на електронних елементах схеми можливо значно зменшити, якщо застосовувати сучасну елементну базу з кращими характеристиками.

Заміна керованого випрямляча синхронним випрямлячем дозволяє підвищити ефективність роботи та знизити втрати в блоці випрямлення зарядних пристроїв.

Для створення сучасних зарядних станцій з відкритою архітектурою необхідно застосовувати мікроконтролері системи. Це дозволить інтеграцію окремих постів заряджання в єдину інформаційну мережу з моніторингом та контролем необхідних параметрів.

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

Метою цього розділу дипломної роботи магістра є визначення шкідливих і небезпечних виробничих факторів при розробці, налагодженні й експлуатації розробленого пристрою, а також розробка заходів, які спрямовані на створення умов праці, які відповідають вимогам норм і стандартів по охороні праці та техніки безпеки.

Особлива увага буде приділено факторам, які можуть подіяти на працездатність монтажника й наладчика. А також необхідно провести аналіз безпеки проведення робіт. Це пов'язане з тим, що при виконанні цих робіт необхідно виконувати пайку, проводити виміри режимів роботи схеми, налагодження, контроль та інше.

Шкідливі фактори та способи їхнього усунення при експлуатації автомобіля наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Шкідливі фактори та способи їхнього усунення при експлуатації автомобіля

Підвищений рівень електромагнітних випромінювань. При роботі системи попереднього нагрівання виникають підвищені рівні електромагнітного випромінювання	Екранування феромагнітними матеріалами
Підвищена яскравість світла. Під час руху автомобіля часто сонце потрапляє в очі, що викликає тимчасове осліплення, а також у нічний час далеке світло автомобілів, що рухаються на зустрічі, сліпить	Використання захисного козирка та затемнення лобового скла (від сонця). У нічний час доби необхідно перемикати на ближнє світло, а також необхідно правильно регулювати фари.
Підвищений рівень шуму та вібрації	Використовування шумо- та віброізоляції

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

5.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів

До основних шкідливих і небезпечних факторів, що впливають на працівників, які задіяні на виробництві радіоелектронних схем, відносять:

– підвищені рівні електромагнітного поля (рівні випромінювань повинні відповідати ДСНіП 3.3.6.096 [26];

– недостатня освітленість робочої зони (умови освітленості виробничих приміщень повинні задовольняти нормам, відзначеним у ДБН В.2.5-28 [27];

– небезпека поразки електричним струмом;

– незадовільні параметри мікроклімату робочої зони (величини показників мікроклімату у виробничих приміщеннях повинні задовольняти нормам, відзначеним у ГОСТ 12.1.005 [28] і ДСН 3.3.6.042 [29];

– підвищений рівень шуму на робочому місці (припустимі рівні звукового тиску в октавних смугах частот, рівні звуку й еквівалентні рівні звуку на робочих місцях варто приймати відповідно до санітарних норм, припустимих рівнів шуму на робочих місцях ДСН 3.3.6.037 [30];

– підвищена напруженість електричного поля промислової частоти на робочому місці (напруженість електричних полів промислової частоти на робочих місцях повинна задовольняти нормам, відзначеним у [28]. Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони).

5.2 Умови праці на робочому місці

Приміщення, у якому відбуваються технологічні операції по виготовленню та налагодженню виробу перебуває в панельному будинку. Вібрації й шкідливі речовини відсутні. Покриття підлоги керамічна плитка.

Геометричні розміри приміщення:

- довжина a = 11,0 м;

- ширина b = 4 м;

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

- висота h = 4 м.

Кількість осіб, що працюють у приміщенні – 5 чоловік.

Обсяг приміщення, що доводиться на одну людину та корисну площа більше нормативного значення відповідно до ДСП 173 [31] і ДСТУ Б В.1.1-36 [32].

5.3 Мікроклімат

Скористаємося ДСТУ-Н Б А.3.2-1 [33] і ДСН 3.3.6.042 [29], що встановлюють такі параметри мікроклімату як температура, вологість і рухливість повітря залежно від виду виконуваних робіт, періоду року.

Роботу, що виконується в розглянутому приміщенні можна віднести до категорії 1а, тому що вона виконується сидячи й не вимагає фізичних зусиль. Енерговитрати організму людини при такому виді робіт становлять до 120 ккал/рік.

Із проведеного розрахунку видно, що значення, необхідне по природному висвітленню, виконується, тому що розрахункове значення КЕО для робочої точки більш нормованого значення КЕО.

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

ВИСНОВКИ

У дипломній роботі магістра був проведений огляд систем заряджання тягових акумуляторів транспортних засобів та аналіз існуючих систем, що знижують реактивну потужність в системах заряджання тягових акумуляторів електротранспорту. Розглянуті негативні впливи зарядних систем, що не мають елементи компенсації реактивної потужності. Обґрунтована розробка мікроконтролерної системи керування зарядкою тягових акумуляторів електротранспорту з коректором реактивної потужності.

Розроблена комп'ютерна модель DC/DC перетворювача, за допомогою якої проведений аналіз процесів, що протікають в колах електричних схем джерел живлення станцій заряджання тягових акумуляторних батарей електротранспорту.

Розроблена електрична принципова схема запропонованої системи, виконані необхідні розрахунки.

Результати дипломної роботи магістра можуть бути використані як у навчальному процесі, так і у виробничій діяльності.

У дипломній роботі визначені шкідливі й небезпечні виробничі фактори при розробці, налагодженні й експлуатації системи, а також розроблені заходи, які спрямовані на створення умов праці, які відповідають вимогам норм і стандартів по охороні праці та техніки безпеки.

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Густав Олссон, Джангуидо Пиани Цифровые системы автоматизации и управления – С-Пб.: Невский Диалект, 2001.
2. Разевиг В. Д. P-CAD 2000. Справочник команд. – М.: «Горячая линия-Телеком», 2000.
3. Сташенко В. Б. P-CAD. Технология проектирования печатных плат». – С-Пб.: БХВ-Петербург, 2003. – 720 с.
4. Измерения в электронике: Справочник. Под ред. В. А. Кузнецова. – М.: Энергоатомиздат, 1987.
5. Мирский Г. Я. Электронные измерения. 4-е изд. перераб. и доп. М.: Радио и связь, 1986.
6. Fontes E. Почему автомобильные аккумуляторы плохо работают в холодную погоду? https://www.comsol.ru/blogs/why-car-batteries-perform-poorly-in-cold-
7. Оптимальная температура эксплуатации литиевого аккумулятора, 2020
8. https://virtustec.ru/news/optimalnaya-temperatura-ekspluatatsii-litievogo-akkumulyatora-zalog-ego-dolgoj-sluzhby.html
9. Техническое описание систем охлаждения и обогрева Chevrolet Volt
10. https://volt-club.ru/ams/Техническое описание систем охлаждения и обогрева Chevrolet Volt /.
11. Картер Б., Манчини Р. Операционные усилители для всех. – М.: " Додэка XXI ", 2011. – 510с.
12. Рафикузаман М. Микропроцессоры и машинное проектирование микропроцессорных систем: В 2-х кн. Пер. С англ.-М.: Мир, 1988.
13. Токхайм Р. Микропроцессоры: Курс и упражнения / Пер. с англ., под ред. В.Н. Герасевича. М.: Энергоатомиздат, 1998.
14. Щелкунов Н.Н., Дианов А.П. Микропроцессорные средства и системы.- М. : Радио и связь, 1989.

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

15. Федорков Б.Г., Телец В.А. Микросхемы ЦАП и АЦП: функционирование, параметры, применение.- М.: Энергоатомиздат, 1990.
16. Шило В.Л. Популярные цифровые микросхемы: Справочник.–М.: Радио и связь, 1989.
17. Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника. – М.: "Высшая школа", 2001. – 617с.
18. Кофлин Р., Дрискол Ф. Операционные усилители. – М.: "Мир", 2009. – 356с.
19. Электронные схемы на операционных усилителях: Справочник / Щербаков В.И., Грездов Г.И. – Киев.: "Техніка", 2003. – 206с.
20. Нестеренко Б.К. Интегральные операционные усилители: Справочное пособие по применению. – М.: Энергоиздат, 1982. – 124 с.
21. Гершунский Б.С. Справочник по расчету электронных схем – Киев.: "Вища школа", 1983 – 237с.
22. Справочник радиолюбителя-конструктора . – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1984. – 560 с
23. Патент UA 101035 опубл 2006,01 Г. С. Сєріков, І.О.Сєрікова, Д.О. Московченко, В.Я. Фролов, О.С. Паникарський. Спосіб управління свічками розжарювання.
24. Козлов А.Н. Микропроцессорные средства управления: учебное пособие / А.Н. Козлов. – Благовещенск: Изд-во АмГУ, 2014. – 62 с.
25. Логан С. Какой аналого-цифровой преобразователь подходит для конкретного приложения?, 2017. https://www.compel.ru/wordpress/wp-content/uploads/2017/11/which-a_d-converter-is-right-for-my-application_-electronic-products.pdf
26. Державні санітарні норми та правила при роботі з джерелами електромагнітних полів (ДСНіП 3.3.6.096-2002).
27. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення.
28. ГОСТ 12.1.005-88. Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони.
29. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень);

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

30.ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку;

31. ДСП 173-96 Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів.

32.ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою.

33.ДСТУ-Н Б А.3.2-1:2007 Система стандартів безпеки праці. Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використанні в процесі зведення та експлуатації об`єктів будівництва.

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

ДОДАТОК А

ІЛЮСТРАТИВНИЙ МАТЕРІАЛ ДО ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Механічний факультет
Кафедра метрології та безпеки життєдіяльності

ІЛЮСТРАТИВНИЙ МАТЕРІАЛ ДО ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ

магістра

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ТА СПОСОБІВ ЗАРЯДКИ ЕЛЕКТРИЧНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Завідувач кафедри, к-т техн. наук, доц. О.І. Богатов
Нормоконтролер, к-т техн. наук М.В. Москаленко
Керівник, к-т техн. наук І.О. Сєрікова
Студент гр. ММ-61-21 В.Д. Горбунов

Харків - 2022

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

МЕТА, ЗАДАЧІ, ОБ'ЄКТ ТА ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Мета роботи – ефективне використання процесу зарядки електричних транспортних засобів.

Метод дослідження заснований на використанні системного підходу до проведення аналізу та синтезу зарядних пристроїв електричних транспортних засобів, на раціональному поєднанні теоретичних і експериментальних розробок та узагальненні наукових результатів, математичного моделювання.

ЗАДАЧІ РОЗРОБКИ

1. Провести аналіз існуючих систем, що знижують реактивну потужність в системах заряджання тягових акумуляторів електротранспорту.
2. Розглянути негативні впливи зарядних систем, що не мають елементів компенсації реактивної потужності.
3. Обґрунтувати розробку мікроконтролерної системи керування зарядкою тягових акумуляторів електротранспорту з коректором реактивної потужності.
4. Розробити мікроконтролерну систему, що складається з блоку генерації, потужних драйверів, датчику струму, робота якого заснована на ефекті Холлу та гальванічного розв'язання інформаційної шини.
5. Розробити електричну принципову схему запропонованої системи, виконати необхідні розрахунки.
6. Визначити шкідливі й небезпечні виробничі фактори при розробці, налагодженні й експлуатації системи, а також розробити заходи, які спрямовані на створення умов праці, які відповідають вимогам норм і стандартів по охороні праці та техніки безпеки.

Об'єкт дослідження – підвищення коефіцієнту реактивної потужності.

Предмет дослідження – схеми коректорів коефіцієнту потужності.

КАФЕДРА МЕХКД ХНАДУ

ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ НА ТРАНСПОРТІ ТА СПЕЦТЕХНІЦІ

Електромобіль ВАЗ-2802 «Поні»

Ретро електромобіль

SESAM (Sustainable Energy Supply for Agricultural Machinery), батарея на 130 кВт·г. два електродвигуна по 150 кВт.

Зарядна станція електромобілів

Експлуатаційна потужність 237 кВт
Вага 41 тонна
1957 - 2013 роки

ДЕТ-250М2

ХТЗ- 3512
батарея 130 кВт·г.
електродвигун 25 кВт.

КАФЕДРА МБЖА ХНАДУ

КОНТАКТНІ СИСТЕМИ ЗАРЯДЖАННЯ

Розташування мобільних компонентів електромобілів

Місця заряджання електромобілів

Роботизована зарядка електромобілів Tesla Motors

Керуючі модулі заряджальних станцій

Система швидкої зарядки постійним струмом

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

КОНТАКТНІ ЗАРЯДНІ СИСТЕМИ

Місця заряджання електротранспорту

Система пантографного під'єднання

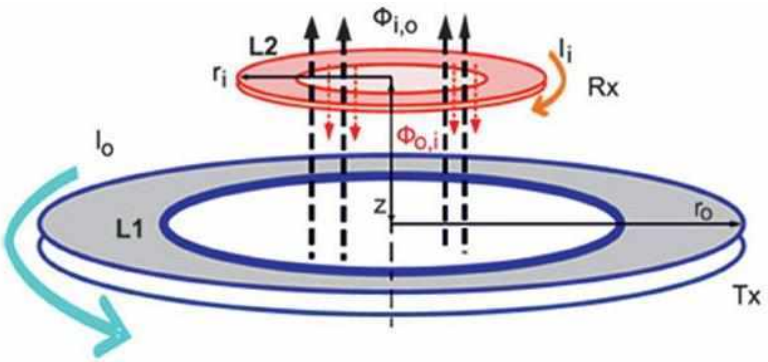
ЗАМІНА ТЯГОВИХ АКУМУЛЯТОРІВ

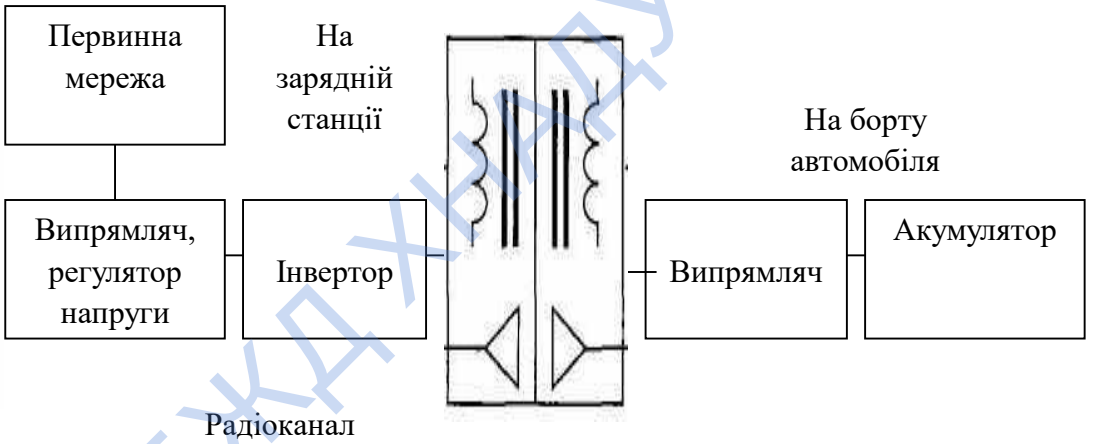
Заміна акумуляторних блоків

Автоматизовані станцій швидкої заміни батарей

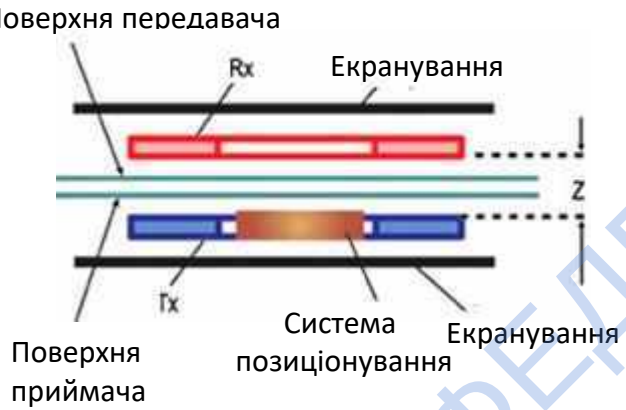
КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

БЕЗКОНТАКТНІ ЗАРЯДНІ СИСТЕМИ

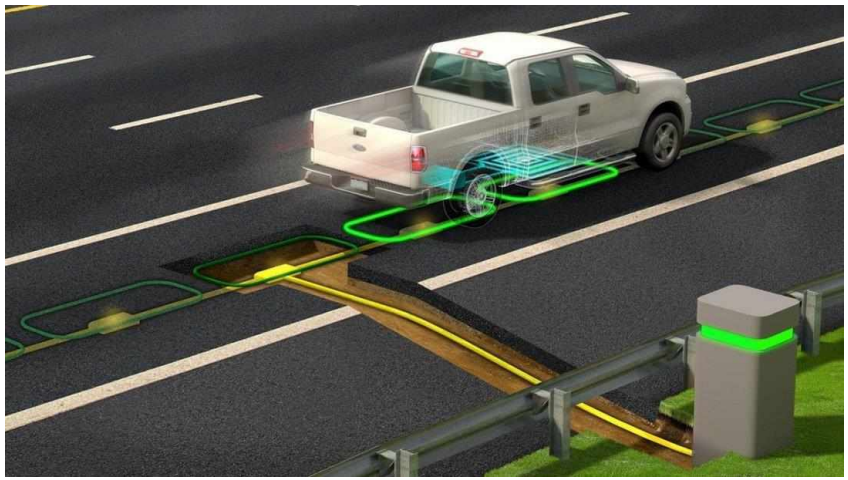




Система бездротового заряджання



Фізичний принцип бездротовової передачі енергії



Розташування випромінювачів на заряджальному треку

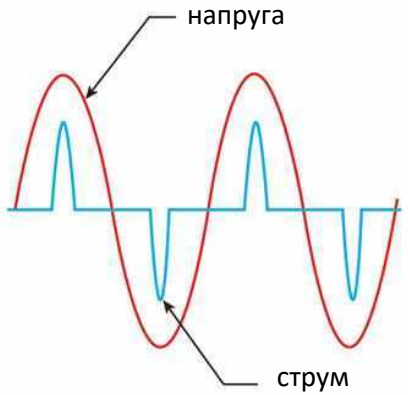
КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

ПАСИВНЕ ТА АКТИВНЕ КОРЕГУВАННЯ КОЕФІЦІЄНТА ПОТУЖНОСТІ

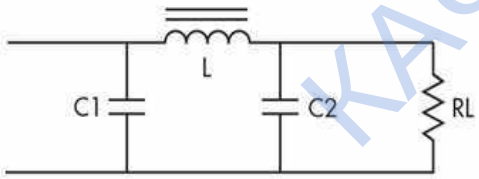
$$\text{коефіцієнт потужності}\,(PF) = \frac{\text{активна потужність}\,(Вт)}{\text{реактивна потужність}\,(ВА)}$$

$$PF = \frac{1}{\sqrt{1 + THD^2}}$$

PF - коефіцієнт потужності
THD - загальні гармонійні спотворення

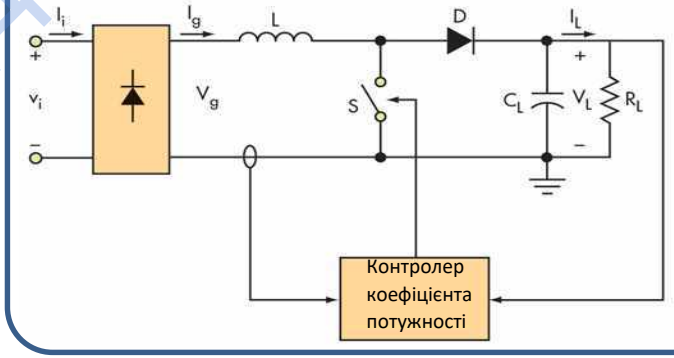


Пасивний PFC

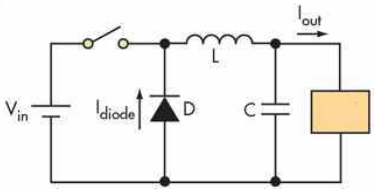


Активні PFC

Boost PFC

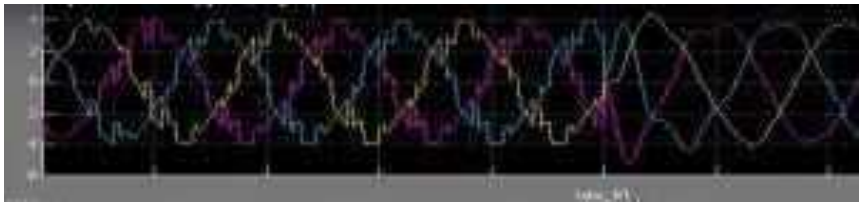


Buck PFC

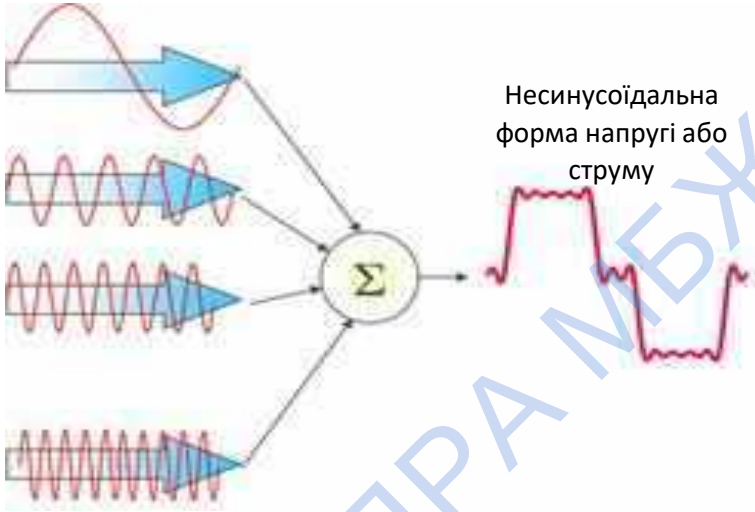


КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

ВИЩІ ГАРМОНІКИ В ТРИФАЗНИХ МЕРЕЖАХ



THD - загальні гармонійні спотворення



$$u_A = f(t),$$
$$u_B = f\left(t - \frac{T}{3}\right);$$
$$u_C = f\left(t + \frac{T}{3}\right)$$

T - це період основної частоти

Гармоніки порядку k функції f (t) у трифазних мережах

$$u_{Ak} = U_{km}\sin\left(k\omega t + \psi_k\right)$$
$$u_{Bk} = U_{km}\sin\left(k\omega t + \psi_k - \frac{2k\pi}{3}\right)$$
$$u_{Ck} = U_{km}\sin\left(k\omega t + \psi_k + \frac{2k\pi}{3}\right)$$

При з'єднанні в зірку

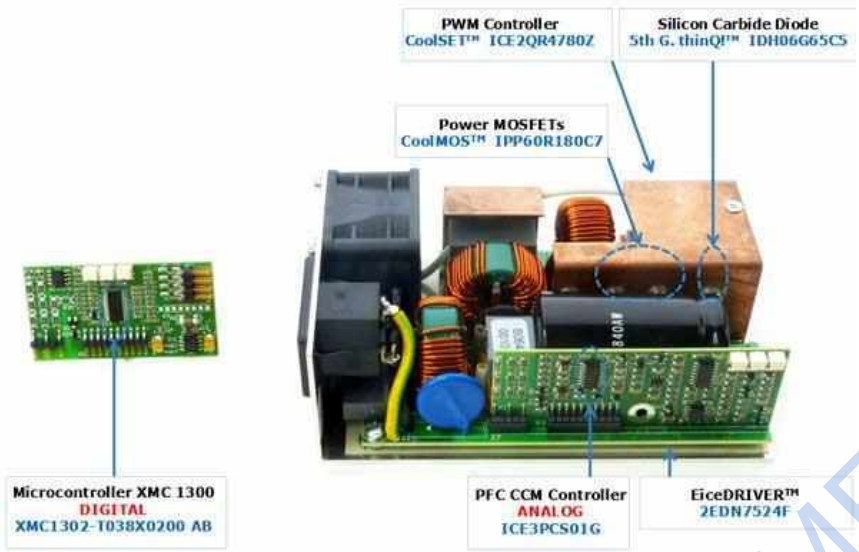
$$U_л < \sqrt{3}U_ф$$

Струм нульового дроту

$$I_N = 3\sqrt{I_3^2 + I_9^2 + I_{15}^2 + \ldots}$$

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

ПРОМИСЛОВІ КОРЕКТОРИ КОЕФІЦІЄНТА ПОТУЖНОСТІ



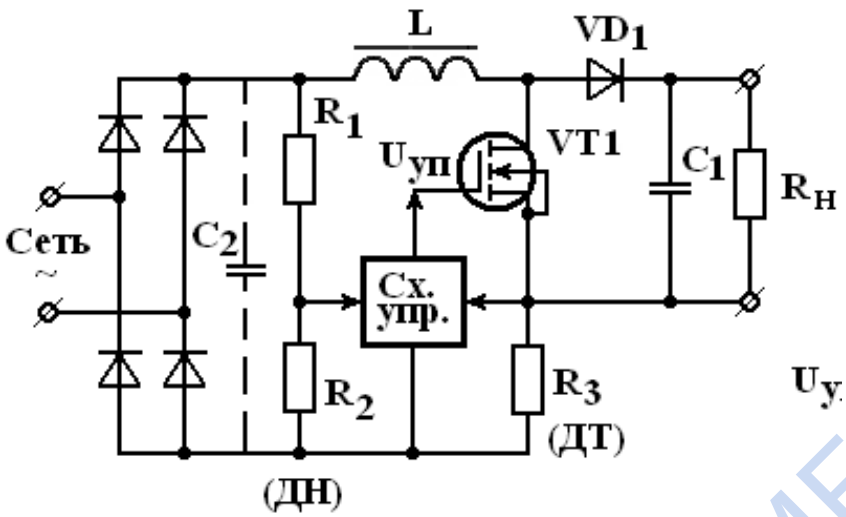
PFC низької потужності – до 1кВт

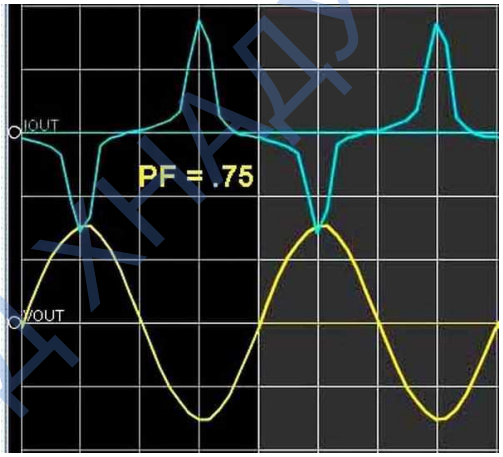
PFC низької потужності – до 30 кВт

PFC низької потужності – від 30 кВт

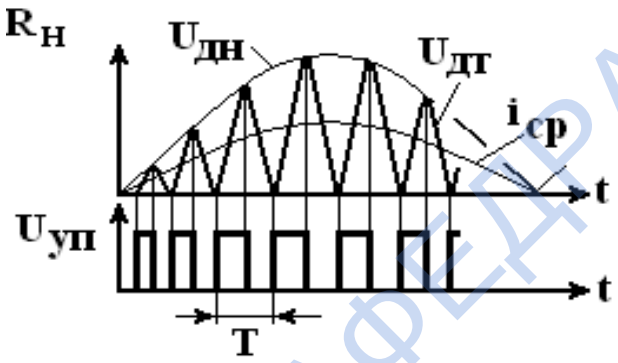
КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

СХЕМОТЕХНІЧНЕ РІШЕННЯ КОРЕКТОРА КОЕФІЦІЄНТА ПОТУЖНОСТІ





Реактивний струм блока заряджання акумуляторів



Струм в момент, коли йде заряд конденсаторів, буде в 5 разів більше середнього струму споживання

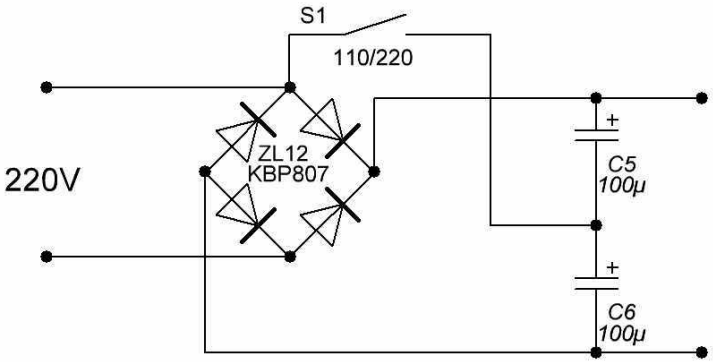
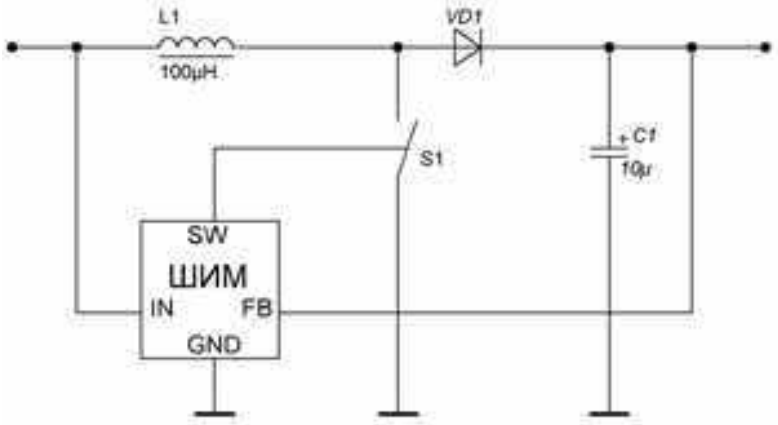


Схема живлення блока заряджання акумуляторів

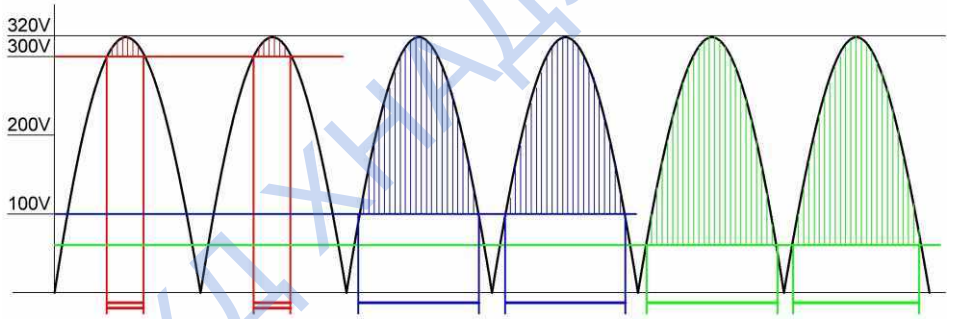
КАФЕДРА МБЖ ХНАДУ

АКТИВНЕ КОРЕГУВАННЯ КОРЕКТОРА КОЕФІЦІЄНТА ПОТУЖНОСТІ



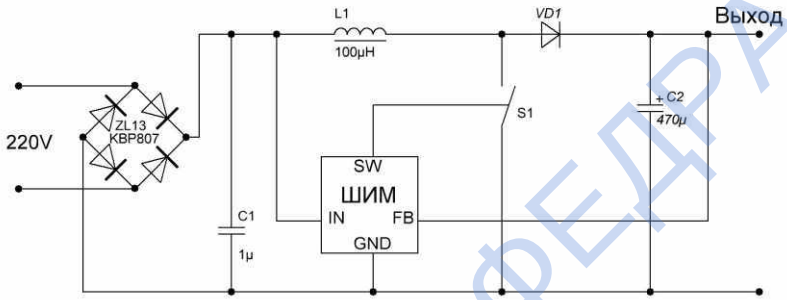
Перетворювач, що підвищує напругу (бустер)

Діаграми роботи заряджального пристрою

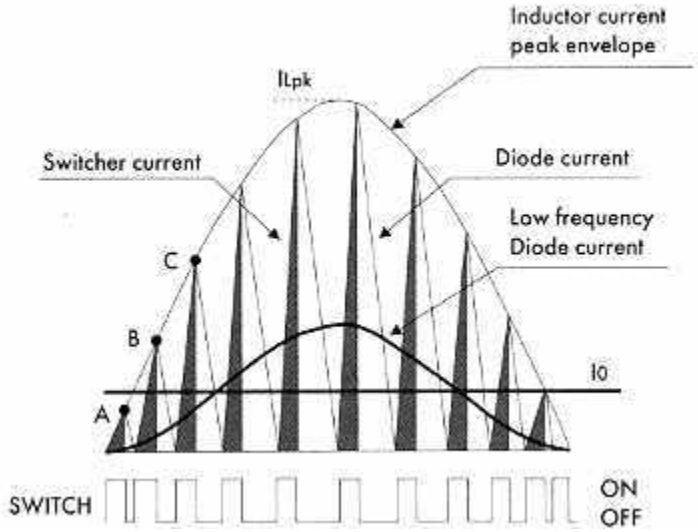


з активним коректор потужності

без коректора потужності



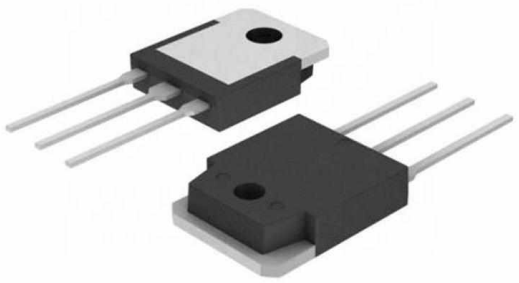
Заряджальний пристрій с активним коректором потужності

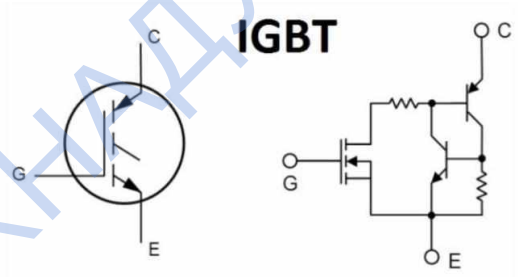


Діаграма струму в схемі коректора коефіцієнта потужності

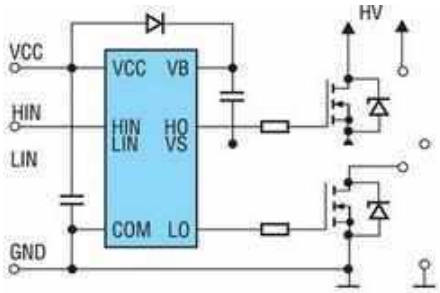
КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

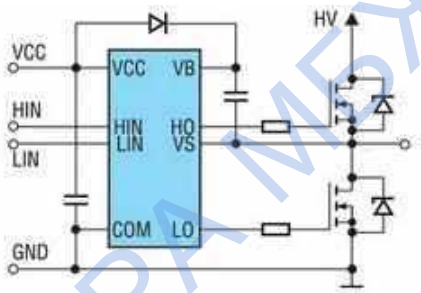
СУЧАСНА ЕЛЕМЕНТНА БАЗА КОРЕКТОРА КОЕФІЦІЄНТА ПОТУЖНОСТІ

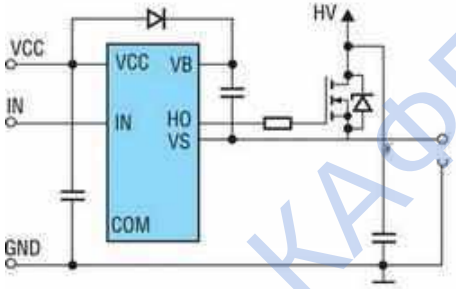


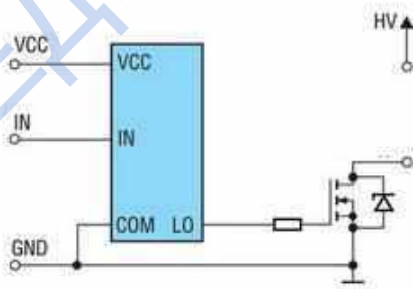


Швидкісні транзистори IGBT та MOSFET

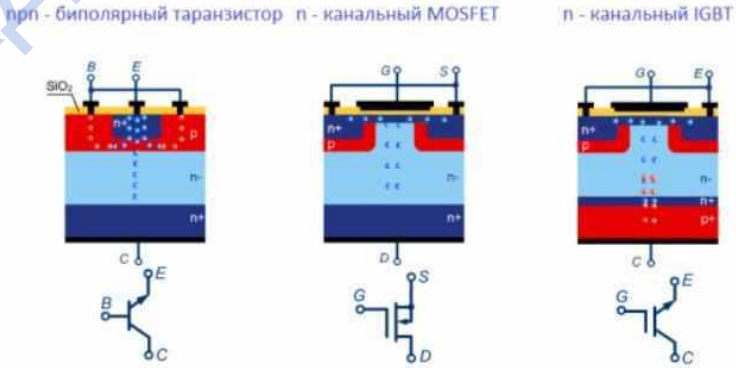








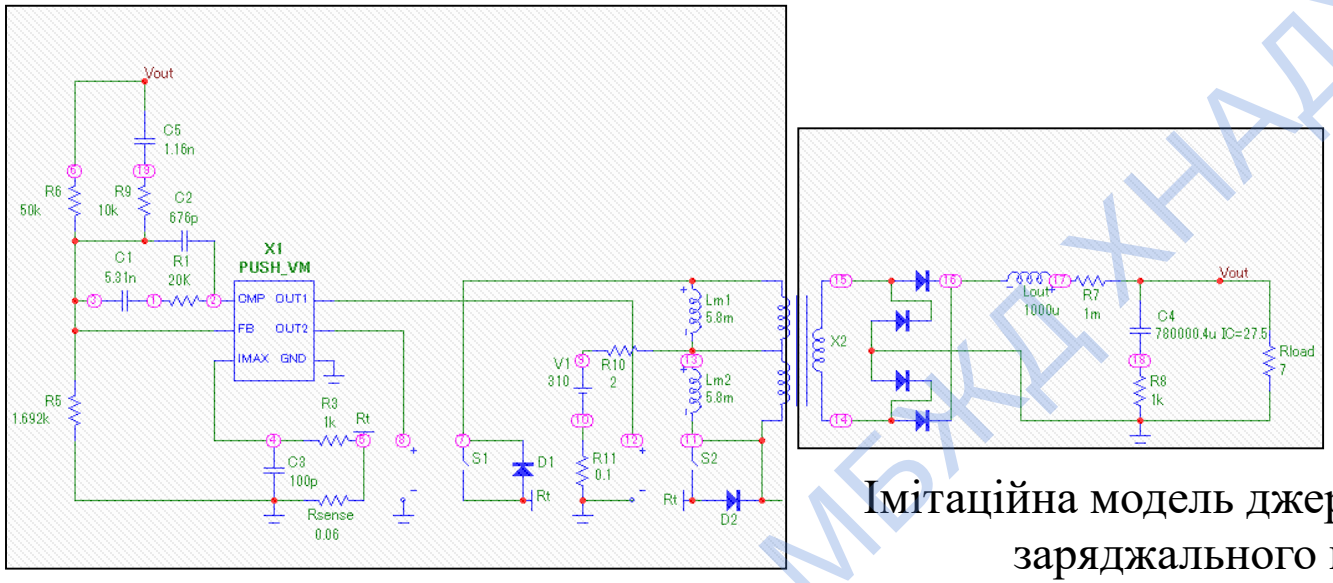
Варіанти керування транзисторами за допомогою драйверів



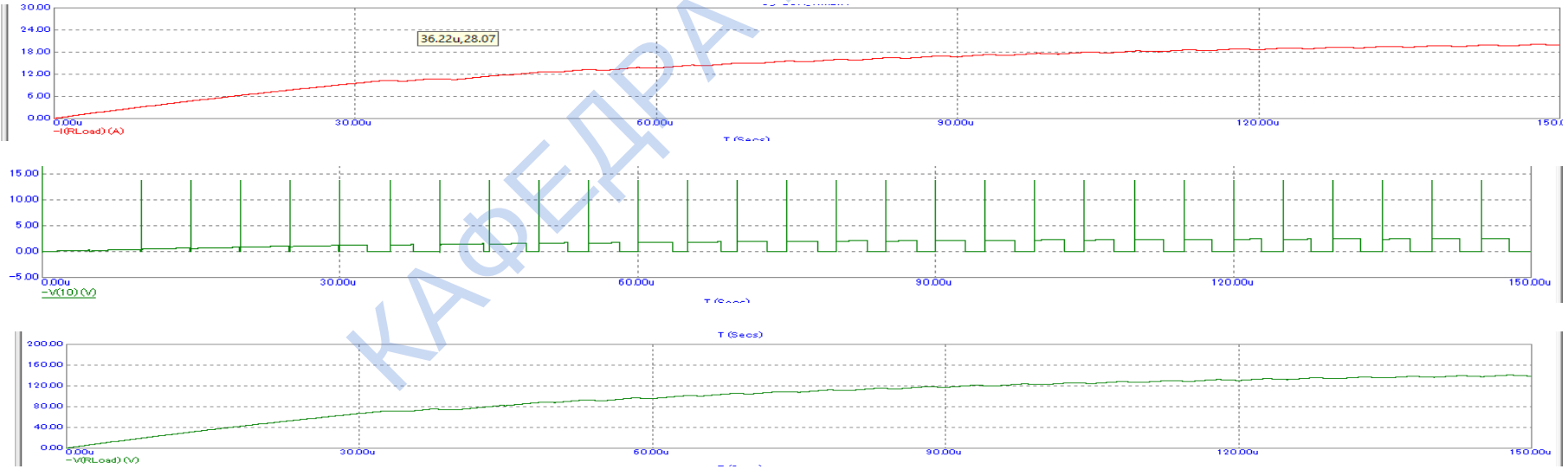
Структури сучасних потужних транзисторів – npn-біполярного транзистора, n-канального MOSFET та n-канального IGBT

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ПЕРЕТВОРЮВАЧА ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ



Імітаційна модель джерела живлення заряджального модулю



Діаграми роботи зарядного пристрою

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

ВИСНОВКИ

У дипломній роботі магістра був проведений огляд систем заряджання тягових акумуляторів транспортних засобів та аналіз існуючих систем, що знижують реактивну потужність в системах заряджання тягових акумуляторів електротранспорту. Розглянуті негативні впливи зарядних систем, що не мають елементи компенсації реактивної потужності. Обґрунтована розробка мікроконтролерної системи керування зарядкою тягових акумуляторів електротранспорту з коректором реактивної потужності.

Розроблена комп'ютерна модель DC/DC перетворювача, за допомогою якої проведений аналіз процесів, що протікають в колах електричних схем джерел живлення станцій заряджання тягових акумуляторних батарей електротранспорту.

Розроблена електрична принципова схема запропонованої системи, виконані необхідні розрахунки.

Результати дипломної роботи магістра можуть бути використані як у навчальному процесі, так і у виробничій діяльності.

У дипломній роботі визначені шкідливі й небезпечні виробничі фактори при розробці, налагодженні й експлуатації системи, а також розроблені заходи, які спрямовані на створення умов праці, які відповідають вимогам норм і стандартів по охороні праці та техніки безпеки.

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ