

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

магістра

на тему

ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМ АВАРІЙНОГО ЖИВЛЕННЯ ДЛЯ
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ БЕЗПЕКИ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ
КОМУНАЛЬНО-ПОБУТОВИХ СПОЖИВАЧІВ

(тема кваліфікаційної роботи)

Виконав: студент 2 маг. курсу, групи ДЕА-Е23мг-2
спеціальності : 141 Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка

_____ / Артем ПАШКО
(підпис) (ім'я та прізвище)

Керівник _____ / Анатолій ТАРАСЕНКО
(підпис) (ім'я та прізвище)

Рецензент _____ / Олег ПОДОЛЯК
(підпис) (ім'я та прізвище)

«До захисту допущено»

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

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

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

Харків – 2024 рік

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

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

(підпис)

к.т.н., доцент Артем ЧЕРНЮК
(науковий ступінь, вчене звання, ім'я, прізвище)

« ____ » _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу дипломну роботу
другого (магістерського) рівня вищої освіти

здобувачу вищої освіти Артем ПАШКО

1. Тема «ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМ АВАРІЙНОГО ЖИВЛЕННЯ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ БЕЗПЕКИ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ КОМУНАЛЬНО-ПОБУТОВИХ СПОЖИВАЧІВ»

затверджена наказом по академії № 4801-5/3345 від «12» 10 2024 р.

2. Термін здачі закінченої роботи «10» 12 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи/проєкту: Рівень напруги, умови експлуатації, характеристика струмоведучих частин, типи кабельних ліній, метод апарат дослідження, завдання, параметри обладнання

4. Зміст роботи/проєкту (перелік питань, які належить розробити):

Вступ. Перелік умовних позначень. Методологія ідентифікації стану енергетичної безпеки. Моделювання рівня енергетичної безпеки. Розрахунок динаміки інтегральних індексів енергетичної безпеки (групування за системним підходом). Підвищення ефективності розподільчої мережі та управління перевантаженнями за допомогою оптимального зберігання акумулятора та моделювання потоку електроенергії .Висновки. Список посилань.

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

6. Консультант:

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

7. Дата видачі завдання « 12 » _____ 10 _____ 2024 _____ р.

Керівник

(підпис)

Анатолій ТАРАСЕНКО

(ім'я, прізвище)

Завдання прийняв до виконання

Артем ПАШКО

(підпис)

(ім'я, прізвище)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН-ГРАФІК**виконання кваліфікаційної дипломної роботи**

№ з/ п	Назва етапів роботи та питань, які мають бути розроблені відповідно до завдання	Термін виконання	Позначки керівника про виконання завдань
1	Визначення актуальності теми дослідження	02.10.24 – 05.10.24	
2	Проведення аналізу наукової літератури	06.10.24 – 15.10.24	
3	Виконання першого розділу дипломної роботи	16.10.24 – 29.10.24	
4	Виконання другого та третього розділу дипломної роботи	30.10.24 – 26.11.24	
5	Оформлення пояснювальної записки	27.11.24 – 07.12.24	

Студент (ка)

(підпис)

Артем ПАШКО

(ім'я, прізвище)

Нормоконтроль

(підпис)

Юлія ОЛІЙНИК

(ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Магістерська робота виконана на 62 стор., містить 31 рисуноків, що характеризують результати дослідження, використано 50 літературних посилань.

Об'єкт дослідження – системи аварійного живлення.

Предмет дослідження – електричні мережі.

Мета роботи – ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ ПРИ ЗАБЕЗПЕЧЕННІ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ БЕЗПЕКИ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ ПРИ РІЗНИХ ЦИКЛАХ ВОДІННЯ.

Ступінь впровадження: проектні інститути.

Економічна ефективність значимість роботи: дана робота має високу значимість теоретичного й практичного рівня.

Сонячні генератори (панелі) можна використовувати для зарядки накопичувачів енергії, наприклад, акумуляторів. Мережа постійного струму може бути використана не тільки в разі надзвичайної ситуації, але також може бути використана для зменшення споживання енергії з загальної мережі та зменшення рахунків за електроенергію. Обговорюється архітектура побутової аварійної мережі постійного струму; надано пропозиції щодо акумуляторів; показані два прості зарядні пристрої на основі DC-DC-перетворювачів, таких як Buck (понижуючий) і Boost (підвищуючий) перетворювачі; надаються пропозиції щодо розмірів; і прості, надійні контролери, P-контролер з прямим зв'язком і гістерезисний контролер, обробляються та тестуються за допомогою моделювання. Мета дослідження — показати просту автономну домашню енергетичну систему без зовнішньої польової шини, локальної мережі або підключення до Інтернету з особливим акцентом на простих топологіях зарядних пристроїв.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЕНЕРГЕТИЧНА БЕЗПЕКА, МОДЕЛЮВАННЯ, ПАРАМЕТРИ РОБОТИ, РЕЖИМИ РОБОТИ, ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ, ПЕРЕТВОРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА, ВИПРЯМЛЯЧІ, ЦИКЛИ ВОДІННЯ, МІКРОСІТКА, СОНЯЧНА СИСТЕМА, ПОНИЖУЮЧИЙ КОНВЕРТЕР, ПІДВИЩУВАЛЬНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ, КОНТРОЛЬ ГІСТЕРЕЗИСУ, ЗБУРЕННЯ

ABSTRACT

The master's thesis is completed on 62 pages, contains 31 figures characterizing the results of the study, 50 literary references are used.

The object of the study is emergency power systems.

The subject of the study is electrical networks.

The purpose of the work is STUDY OF THE PARAMETERS OF THE OPERATION OF AN ELECTRIC VEHICLE WHILE PROVIDED WITH ENERGY SECURITY OF A VEHICLE DURING VARIOUS DRIVING CYCLES.

The level of implementation: design institutes.

Economic efficiency significance of the work: this work has a high significance of theoretical and practical level.

Solar generators (panels) can be used to charge energy storage devices, such as batteries. The DC network can be used not only in case of emergency, but can also be used to reduce energy consumption from the general network and reduce electricity bills. The architecture of a household emergency DC network is discussed; suggestions for batteries are given; two simple chargers based on DC-DC converters, such as Buck (step-down) and Boost (step-up) converters, are shown; suggestions for dimensions are given; and simple, reliable controllers, a direct-coupled P-controller and a hysteresis controller, are processed and tested through simulation. The aim of the research is to show a simple autonomous home energy system without an external fieldbus, local network or Internet connection with a special emphasis on simple charger topologies.

KEYWORDS: ENERGY SECURITY, MODELING, OPERATING PARAMETERS, OPERATING MODES, OPERATING EFFICIENCY, CONVERTER TECHNOLOGY, RECTIFIER, DRIVING CYCLES, MICROGRID, SOLAR SYSTEM, BUCK CONVERTER, BOOST CONVERTER, HYSTERESIS CONTROL, DISTURBANCE

ЗМІСТ

	с.
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	7
ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1 МЕТОДОЛОГІЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ СТАНУ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ БЕЗПЕКИ	9
1.1. Моделювання рівня енергетичної безпеки	9
1.2. Розрахунок динаміки інтегральних індексів енергетичної безпеки (групування за системним підходом)	14
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1	18
РОЗДІЛ 2. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗПОДІЛЬЧОЇ МЕРЕЖІ ТА УПРАВЛІННЯ ПЕРЕВАНТАЖЕННЯМИ ЗА ДОПОМОГОЮ ОПТИМАЛЬНОГО ЗБЕРІГАННЯ АКУМУЛЯТОРА ТА МОДЕЛЮВАННЯ ПОТОКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ	20
2.1. Особливості сучасних систем електропостачання з приєднанням відновлювальних джерел енергії	20
2.2. Особливості побудови та режимів роботи зарядного пристрою Buck	25
2.2.1. Розміри	28
2.2.2. Модель зарядного пристрою Buck	31
2.3. Простий зарядний пристрій Boost	40
2.3.1. Визначення бажаного поточного значення	41
2.3.2. Конструкція індуктора	43
2.3.3. Динаміка	44
2.3.4. P-контролер	48
2.3.5. Контролер гістерезису	54
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2	56
ВИСНОВКИ Й РЕКОМЕНДАЦІЇ	57
СПИСОК ПОСИЛАНЬ	58

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

BFM – модель розгалуженого потоку
BGCT – двомодові комутовані тиристири
BIGT – тиристири із ізольованим затвором
BIM – модель інжекції шини
CSC – перетворювач джерела струму
DC – мережі постійного струму
DPT – щоденні мережеві тарифи
DSO – оператор систем передачі електроенергії
DT – динамічні тарифи
HVDC – постійний струм високої напруги
LCC – лінійно-комутовані перетворювачі
OPF – оптимальні потоки електроенергії
SOCР-OPF – опуклий конус другого порядку
VSC – перетворювач напруга-джерело
ЕМ – електричні мережі
ММК – модульний багаторівневий перетворювач
ММС – модульні багаторівневі перетворювачі
ПС – підстанція

ВСТУП

Останнім часом в Європі говорять про небезпеку тривалого відключення світла. Відключення електроенергії можуть бути викликані збоями в розподілі енергії, помилками на великих електростанціях або навіть кібератаками. Це може призвести до ланцюгової реакції та розриву мережі. Більш тривалі відключення електроенергії мають надзвичайний вплив на економіку в цілому та на місцеві домогосподарства. Тому невелика локальна мережа вдома, яка може забезпечувати найважливіші LOAD протягом певного часу, викликала все більший інтерес. За допомогою невеликої мережі постійного струму (DC) можна забезпечувати критичні LOAD, наприклад для морозильних камер і холодильників, а деякі світлодіодні ліхтарі можна використовувати ввечері або вночі. Сонячні генератори (панелі) можна використовувати для зарядки накопичувачів енергії, наприклад, акумуляторів. Мережа постійного струму може бути використана не тільки в разі надзвичайної ситуації, але також може бути використана для зменшення споживання енергії з загальної мережі та зменшення рахунків за електроенергію. Обговорюється архітектура побутової аварійної мережі постійного струму; надано пропозиції щодо акумуляторів; показані два прості зарядні пристрої на основі DC-DC-перетворювачів, таких як Buck (понижуючий) і Boost (підвищуючий) перетворювачі; надаються пропозиції щодо розмірів; і прості, надійні контролери, P-контролер з прямим зв'язком і гістерезисний контролер, обробляються та тестуються за допомогою моделювання. Мета дослідження — показати просту автономну домашню енергетичну систему без зовнішньої польової шини, локальної мережі або підключення до Інтернету з особливим акцентом на простих топологіях зарядних пристроїв.

У зв'язку з цим метою цієї магістерської роботи є ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМ АВАРИЙНОГО ЖИВЛЕННЯ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ БЕЗПЕКИ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ КОМУНАЛЬНО-ПОБУТОВИХ СПОЖИВАЧІВ.

Об'єкт дослідження – системи аварійного живлення.

Предмет дослідження – електричні мережі.

РОЗДІЛ 1. МЕТОДОЛОГІЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ СТАНУ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ БЕЗПЕКИ

1.1. Моделювання рівня енергетичної безпеки

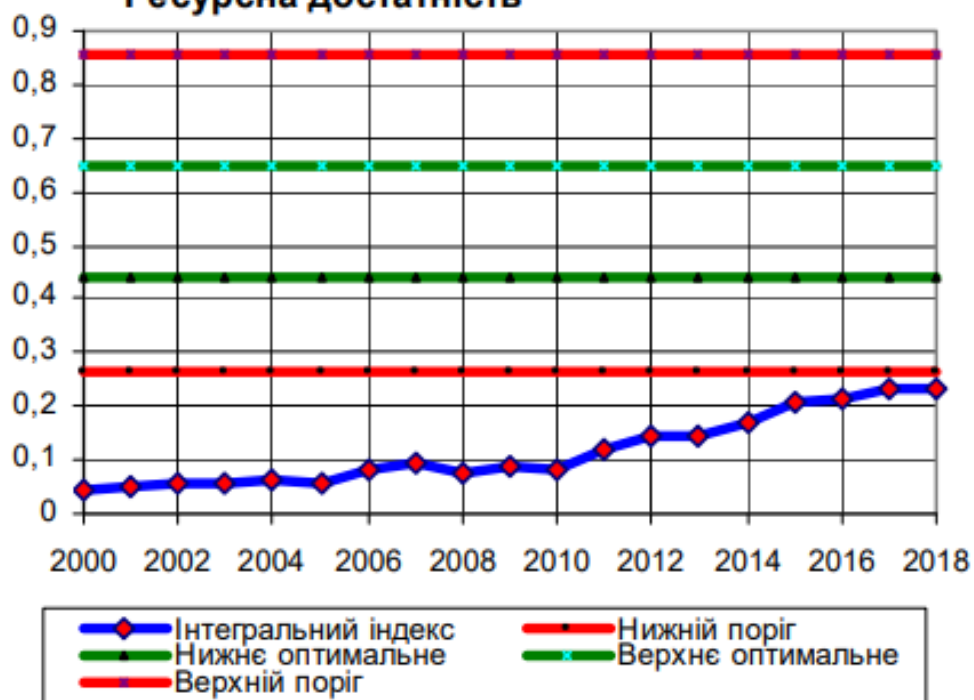
Ідентифікація рівня безпеки передбачає інтегральне оцінювання рівня безпеки порівняно з інтегральними пороговими значеннями та включає: вибір форми інтегрального індексу – мультиплікативна, нормування індикаторів та порогових значень – комбінований метод нормування, визначення вагових коефіцієнтів – динамічні за методами головних компонент та «ковзної матриці».

Виконуючи поетапну згортку індикаторів, складових частин та порогових значень енергетичної безпеки після етапів нормування та визначення вагових коефіцієнтів, отримаємо інтегровану багатofакторну модель енергетичної безпеки у контексті сталого розвитку, що матиме такий вигляд:

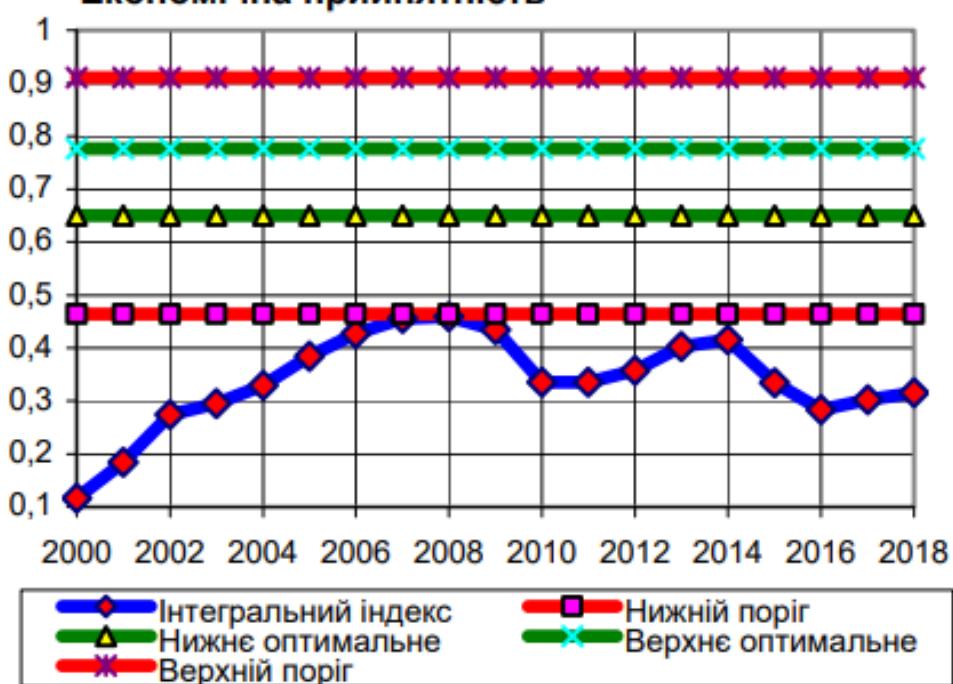
$$\left\{ \begin{array}{l} I_{ЕнБ, t} = \prod_{i=1}^8 z_{i, t}^{a_i}; \quad P_{ij} = \prod_{j=1}^4 p_{ij}^{b_{ij}}; \quad p_{ij} = [p_{пор., ij}^{нижнє}; p_{опт., ij}^{нижнє}; p_{опт., ij}^{верхнє}; p_{пор., ij}^{верхнє}]; \\ \\ I_{рес. дост., t} = \prod_{i=1}^7 z_{i, t}^{a_i}; \quad I_{рес.-техн. заб., t} = \prod_{i=1}^6 z_{i, t}^{a_i}; \\ I_{екон. доступ., t} = \prod_{i=1}^6 z_{i, t}^{a_i}; \quad I_{інст.-орг. заб., t} = \prod_{i=1}^5 z_{i, t}^{a_i}; \\ I_{екон. прийн., t} = \prod_{i=1}^9 z_{i, t}^{a_i}; \quad I_{відп. політ., t} = \prod_{i=1}^3 z_{i, t}^{a_i}; \\ I_{екол. прийн., t} = \prod_{i=1}^3 z_{i, t}^{a_i}; \quad I_{відп. цілям., t} = \prod_{i=1}^3 z_{i, t}^{a_i}. \end{array} \right. \quad (1.1)$$

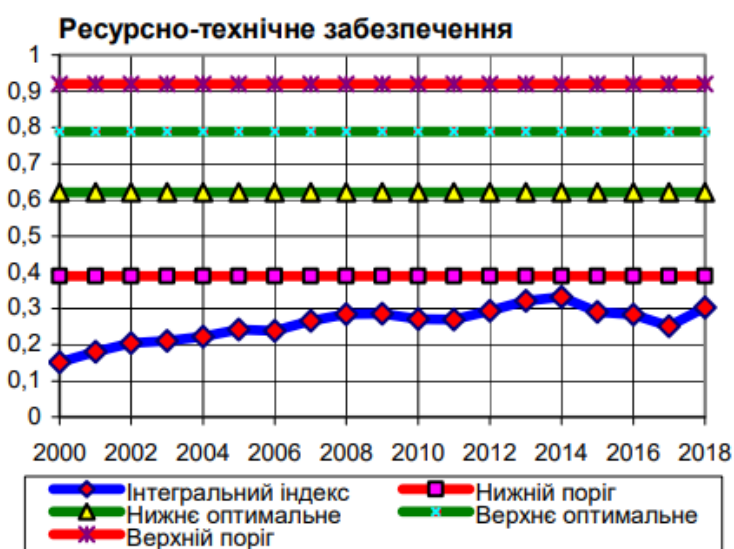
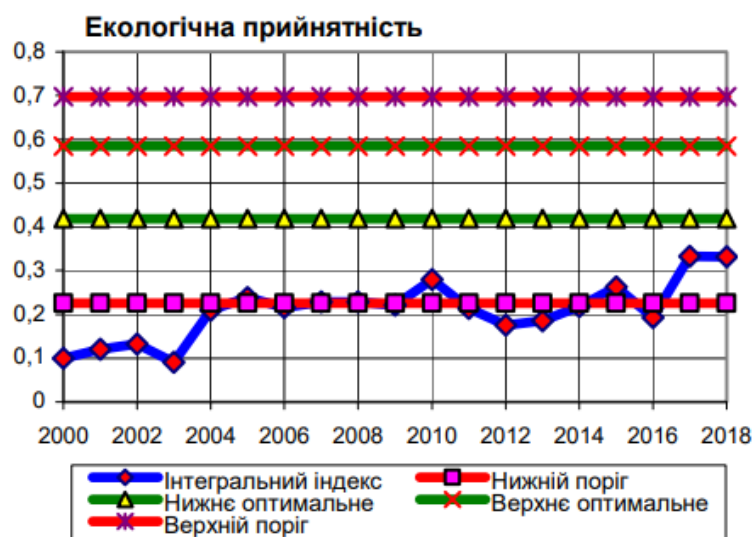
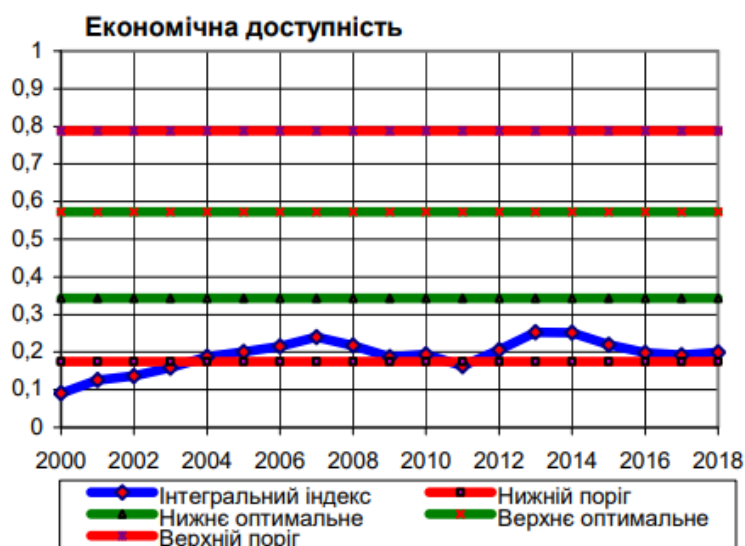
Моделювання динаміки інтегральних індексів складових частини енергетичної безпеки порівняно з інтегральними пороговими значеннями дає таку картину поточного стану енергетичної безпеки України за складовими частинами (рис. 1.1) [20]:

Ресурсна достатність



Економічна прийнятність





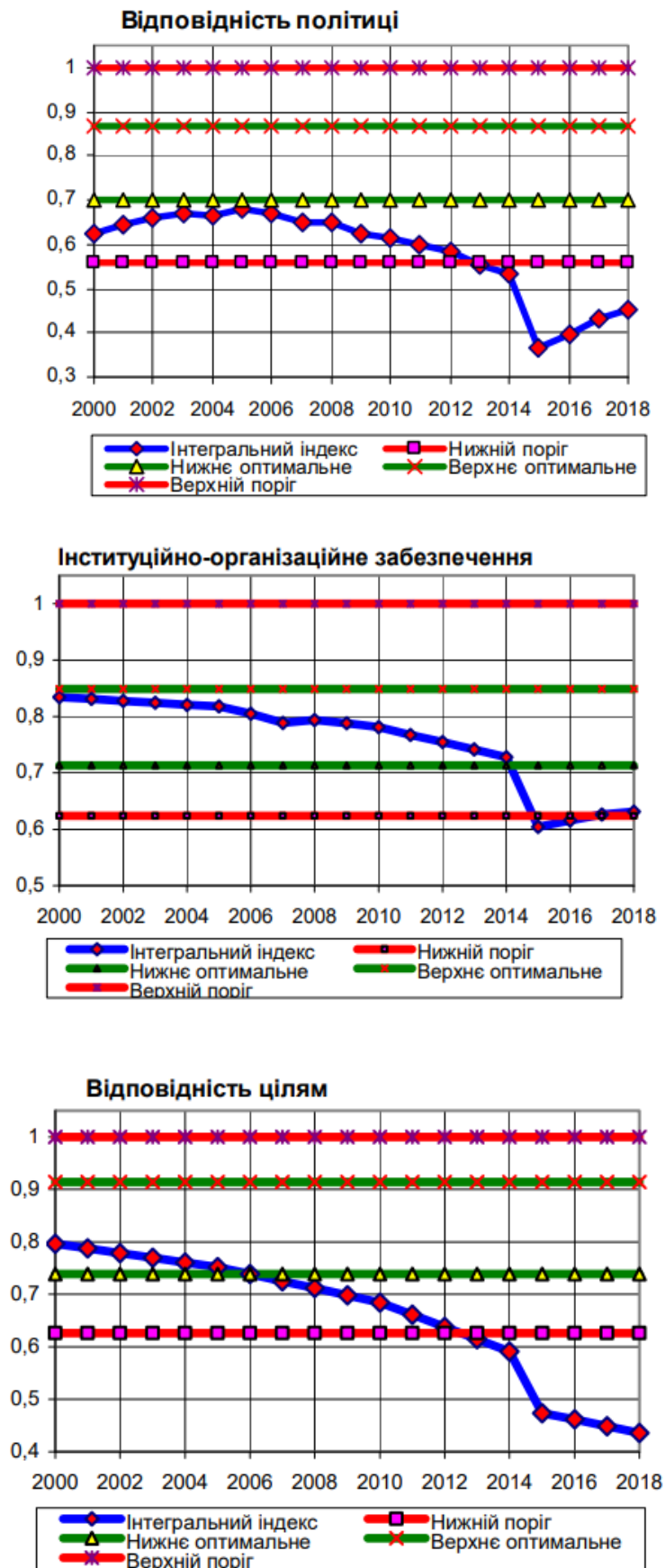


Рисунок 1.1. – Динаміка інтегральних індексів енергетичної безпеки
(групування за розширенням сфери регулювання)

Як засвідчують розрахунки, на кінець 2018 р. з восьми складників п'ять (ресурсна достатність, економічна прийнятність, ресурсно-технічне забезпечення, інституційно-організаційне забезпечення, відповідність цілям) перебувають у критичній зоні – нижче нижнього порогу; три (економічна доступність, екологічна прийнятність, відповідність політики) знаходяться у кризовій зоні – між нижнім порогом та нижнім оптимальним. Отже, жодна складова частина енергетичної безпеки не перебуває в оптимальній зоні.

При цьому деяке поліпшення показників агрегованих індикаторів, таких як «ресурсна достатність», «ресурсно-технічне забезпечення», «екологічна прийнятність», швидше відзначає загальне падіння попиту та енергоспоживання, зумовлене падінням економіки країни. У той же час динаміка показників таких агрегованих індикаторів, як-от: «економічна доступність», «інституційно-організаційне забезпечення», «відповідність політики», демонструє загальне швидке зниження інституційної, управлінської спроможності країни реалізовувати політику забезпечення енергетичної безпеки.

Водночас різке зниження показника «відповідність цілям», тобто відповідь «якості» суб'єктів цілям політики забезпечення енергетичної безпеки, свідчить про формування нового комплексу загроз енергетичній безпеці України. Діяльність суб'єктів управління, які покликані забезпечити встановлення стратегічних цілей та забезпечувати реалізацію державної політики у сфері енергетичної безпеки, демонструє їх невідповідність функціональним ролям у системі, які вони виконують, що створює вже загрози національній безпеці.

Варто зазначити, що проведене моделювання враховує цільові значення індикаторів, визначені для «майбутнього, бажаного стану». Саме це зумовлює не потрапляння більшості індикаторів до оптимальної зони. У випадку встановлення у моделі цільових орієнтирів для «поточного стану» багато з індикаторів потраплятимуть до оптимальної зони.

Як приклад можна навести індикатори енергетичного балансу. Станом на

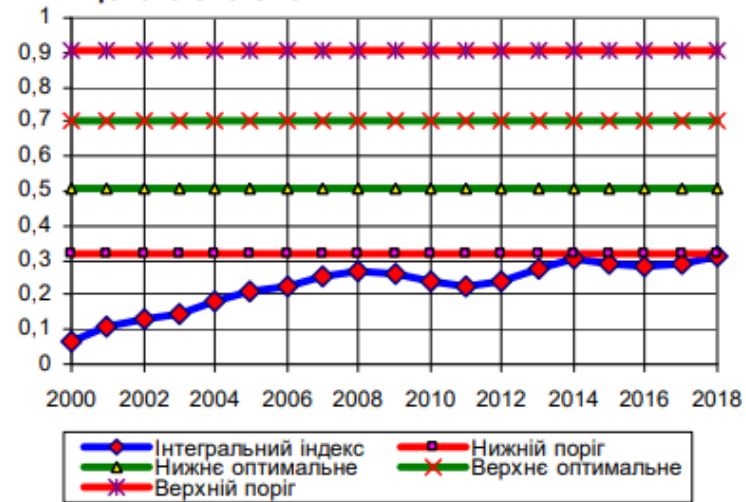
червень 2020 р. структура енергетичного балансу України є досить збалансованою з точки зору вимог енергетичної безпеки України. Проблемними аспектами поточного стану енергетичного балансу є лише залежність України від зовнішнього постачання ядерного палива, антрацитового вугілля та незбалансоване різке зростання частки сонячних електростанцій. Проте ці аспекти не є надкритичними, а тому індикатор «ресурсна забезпеченість» міг би знаходитись значно ближче до оптимальної зони. У пропонованій моделі виходимо з необхідності «майбутньої» цільової структури балансу, яка потребуватиме навіть часткової відмови від наявних власних викопних видів палива, що й зумовлює наведений низький рівень цього індикатора.

1.2. Розрахунок динаміки інтегральних індексів енергетичної безпеки (групування за системним підходом)

Подібним чином були проведені розрахунки для іншого способу групування індикаторів оцінювання рівня енергетичної безпеки (за складниками системного підходу до опису об'єкта) (рисунок 1.2.).

Виконуючи інтегральну згортку другого рівня (для складових частин енергетичної безпеки) одночасно як для складових частин, так і для їх порогових значень, отримаємо динаміку інтегрального індексу енергетичної безпеки порівняно з інтегральними пороговими значеннями, що дає змогу ідентифікувати рівень енергетичної безпеки (рисунок 1.3.).

Цілісна система



Функції та ролі



Елементи системи та зв'язки



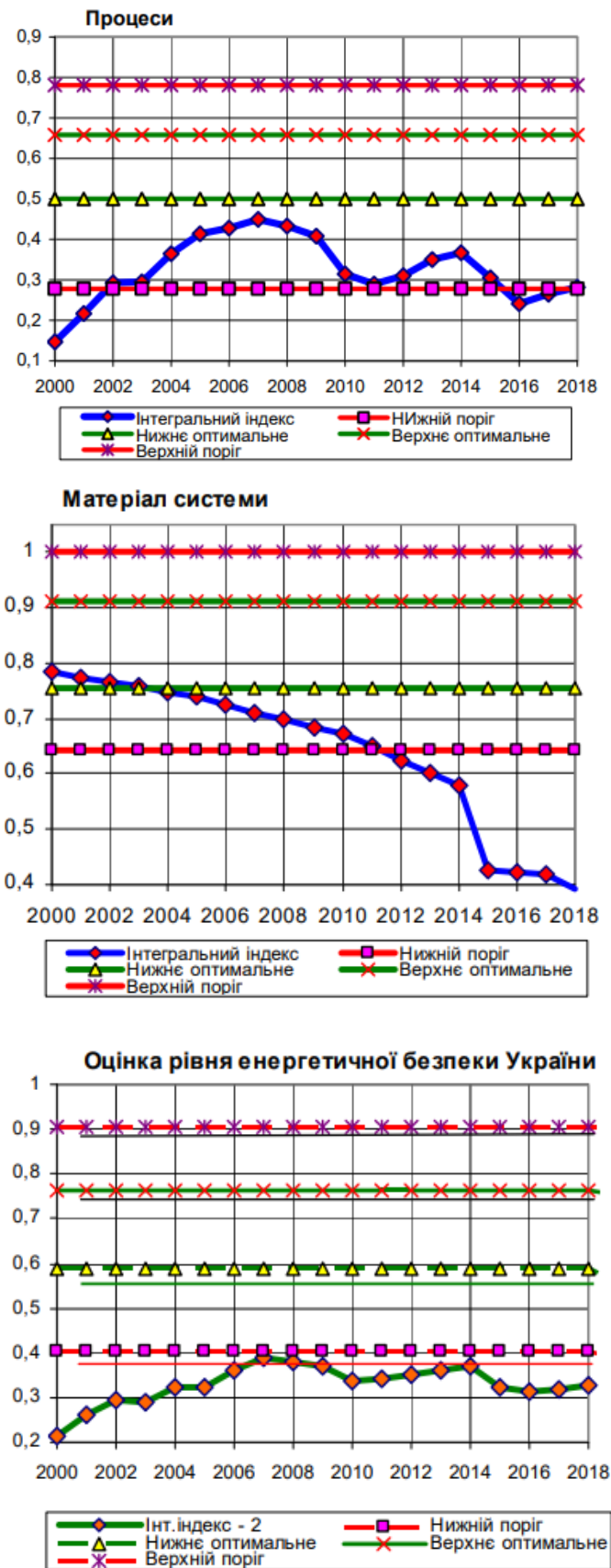


Рисунок 1.2. – Динаміка інтегральних індексів енергетичної безпеки (групування за системним підходом)

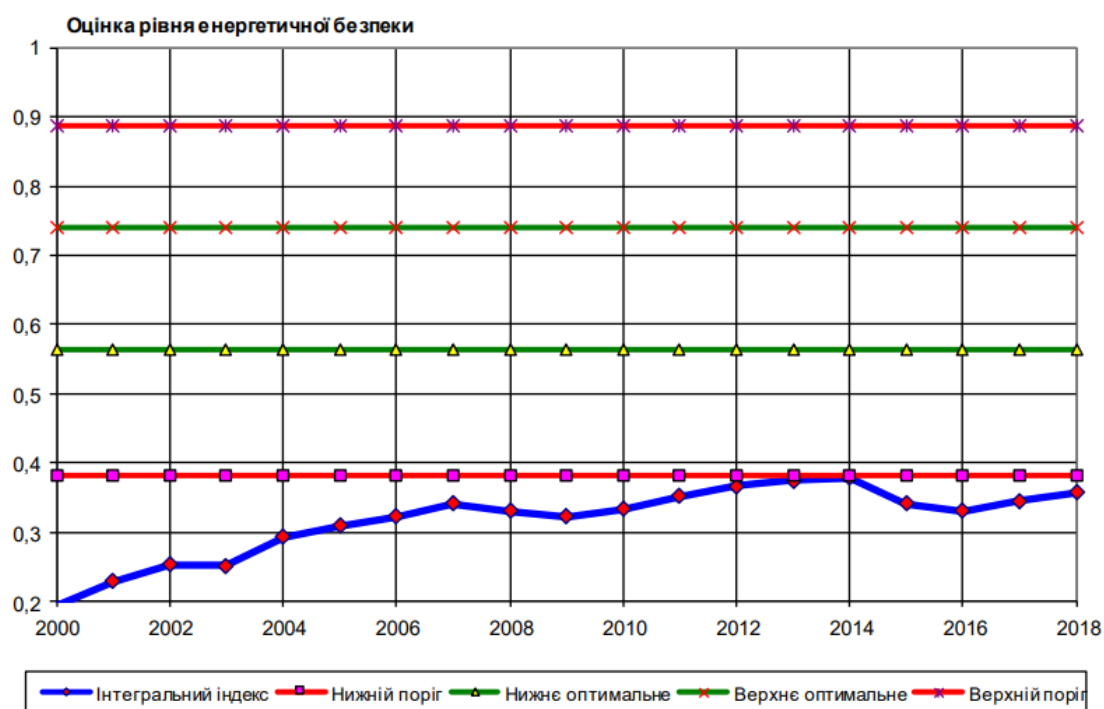


Рисунок 1.3. – Рівень енергетичної безпеки України упродовж періоду з 2000 до 2018 рр. (групування за розширенням сфери регулювання)

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1

Проведене моделювання є лише демонстрацією використання системного підходу та стратегічного планування з метою оцінювання рівня енергетичної безпеки. Кожний дослідник (суб'єкт управління), визначаючи цільові параметри відповідно до його практичних задач, зможе самостійно оцінювати необхідні йому характеристики системи та здійснювати планування своїх дій.

Як засвідчують розрахунки, рівень енергетичної безпеки за всі роки незалежності України завжди перебував у критичній (червоний) зоні – нижче нижнього порогового значення.

Усі складники інтегрального індексу енергетичної безпеки України відстають від оптимального рівня, хоча й із деякими відмінностями щодо динаміки. Такі складники інтегрального індексу, як «цілісна система», «елементи системи» та «зв'язки», мають стійку позитивну тенденцію наближення до цільових значень. До того ж динаміка інших складових частин системного опису енергетичної безпеки («функції та ролі», «процеси», «матеріал системи») відображає нестабільність у досягненні стратегічних цілей забезпечення енергетичної безпеки.

Окремо слід звернути увагу на поступове поліпшення інтегрального індексу «цілісна система». Загалом така динаміка свідчить про прогрес України в усуненні дії найбільш загрозливих чинників впливу на енергетичну безпеку, передусім ідеться про зниження залежності України від постачання енергоресурсів (природного газу, ядерного палива) з Росії, загальне скорочення потреб в імпортуванні енергоресурсів, суттєве зниження викидів парникових газів. Саме так може сприйматися динаміка України з погляду «зовнішнього» спостерігача, який оцінює стан енергетичної безпеки через набір вибраних та найбільш поширених індикаторів, сформованих на базі міжнародної статистики.

Водночас «внутрішній» спостерігач може зауважити, що поліпшення

окремих параметрів відбулось не за рахунок успішної реалізації управлінських рішень у цій сфері, а за рахунок падіння економіки та деіндустріалізації. Хоча такий складник інтегрального індексу як «Елементи і зв'язки» відображає відносну послідовність політики України у трансформації структури енергетичної галузі, запровадження нових моделей регулювання енергетичних ринків (лібералізації енергетичних ринків відповідно до законодавства ЄС), динаміка складника інтегрального індексу «Функції та ролі» відображає незавершеність цього процесу та наявність серйозних проблем у реальних перетвореннях.

Більш того, динаміка складника інтегрального індексу «Процеси» свідчить про існування суттєвої нестабільності під час перетворень і навіть різкого погіршення ситуації після 2014 р. При цьому динаміка складника інтегрального індексу «Матеріал системи» відображає суттєве падіння як технічної надійності енергетики України, так і якості державної політики країни та кваліфікації управлінських кадрів. Саме внутрішньосистемні процеси та якість матеріалу можуть у найближчій перспективі нівелювати здобутки України у підвищенні рівня енергетичної безпеки.

Отже, «зовнішній» спостерігач, формує судження про стан енергетичної безпеки України на основі міжнародних баз даних, які відображають комплексний підхід до оцінювання енергетичної безпеки, може зробити помилковий висновок. У той же час системний підхід уможливорює акцентувати увагу на процесах, що відбуваються в системі, та якості матеріалу системи і отримати більш точну оцінку стану справ, а також визначитись із стратегічними цілями.

Динаміка інтегральних індексів порівняно з інтегральними пороговими значеннями є яскравим свідченням результативності політики у цій сфері. Завдання політики – перевести інтегральний індекс спочатку у кризову (помаранчеву) зону – між нижнім пороговим та нижнім оптимальним, а потім – в оптимальну (зелену) зону сталого розвитку через запровадження відповідних заходів. Таким чином, порівняння інтегральних індексів з інтегральними

пороговими значеннями переводить поняття «розвиток» у поняття «безпека».

РОЗДІЛ 2. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗПОДІЛЬЧОЇ МЕРЕЖІ ТА УПРАВЛІННЯ ПЕРЕВАНТАЖЕННЯМИ ЗА ДОПОМОГОЮ ОПТИМАЛЬНОГО ЗБЕРІГАННЯ АКУМУЛЯТОРА ТА МОДЕЛЮВАННЯ ПОТОКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

2.1. Особливості сучасних систем електропостачання з приєднанням відновлювальних джерел енергії

Останнім часом небезпека великого відключення світла часто обговорюється суспільством. Відключення електроенергії можуть бути викликані збоями в розподілі енергії або збоями на великих електростанціях. Це може призвести до ланцюгової реакції та розриву мережі. Крім того, екстремальна погода може призвести до великих збоїв у магістралі. Більш тривалі відключення електроенергії мають надзвичайний вплив на економіку в цілому та на місцеві домогосподарства. Тому невелика локальна мережа вдома, яка може забезпечувати найважливіші LOAD протягом певного часу, набула все більшого інтересу. Завдяки невеликій мережі постійного струму можна забезпечувати критичні LOAD, наприклад для морозильних камер і холодильників, а деякі світлодіодні лампи можна використовувати ввечері або вночі. Крім того, ноутбуки можна заряджати, що дозволяє створити якийсь домашній офіс (без підключення до Інтернету). Енергія для цієї мікромережі може зберігатися в батареях. При наявності автомобіля можна підключити і його акумулятор. Для зарядки акумуляторів можна використовувати сонячні генератори (панелі). Використання додаткової аварійної мережі в приватному домогосподарстві є новою концепцією для забезпечення важливих навантажень, яка була запропонована через ризик більш тривалого відключення електроенергії в майбутньому. Досі такі системи екстреної допомоги використовувалися лише в лікарнях, деяких громадських будівлях, центрах обробки даних та критичній інфраструктурі. Протягом останніх кількох

десятиліть ризик знеструмлення в громадських мережах був дуже низьким у Центральній Європі.

Витрати на електроенергію також дуже зросли. Таким чином, слід зазначити, що цю мережу постійного струму можна використовувати не лише в екстрених випадках, але й для зменшення споживання енергії з загальної мережі та зменшення рахунків за електроенергію.

На рисунку 2.1. показана лінійна діаграма аварійної мікромережі постійного струму. (1) символізує сонячні генератори. (2) представляє односпрямований перетворювач постійного струму в постійний струм, який подається безпосередньо на шину постійного струму. (3) зображує акумуляторну батарею, яка підключена до сонячного генератора через односпрямований перетворювач постійного струму в постійний струм з одного боку (10) і підключена до двонаправленого перетворювача постійного струму в постійний струм (4) до шини постійного струму з іншого боку. З правого боку шини односпрямований DC/DC перетворювач (5) використовується для живлення освітлювальних приладів (7, наприклад, світлодіодів (LED)). За допомогою перетворювача DC/AC (6) живиться LOAD двигуна (8), наприклад, від холодильника. Цей перетворювач (6) може бути одно- або двонаправленим. Буфер шини постійного струму показаний як приклад великого конденсатора (9), реалізованого як суперконденсатор або батарея.

Обробляються лише будівельні блоки 2 і 10. Тут необхідний лише односпрямований потік потужності. Перетворювачі можуть мати підвищувальну або знижувальну поведінку, залежно від використовуваного сонячного генератора. Для послідовного з'єднання декількох панелей використовується понижуючий перетворювач. Послідовне з'єднання має перевагу в тому, що потрібно обробляти низький струм. Невеликі системи з низькою напругою потребують підвищувального перетворювача. Основи силової електроніки та конструювання перетворювачів можна знайти в підручниках.

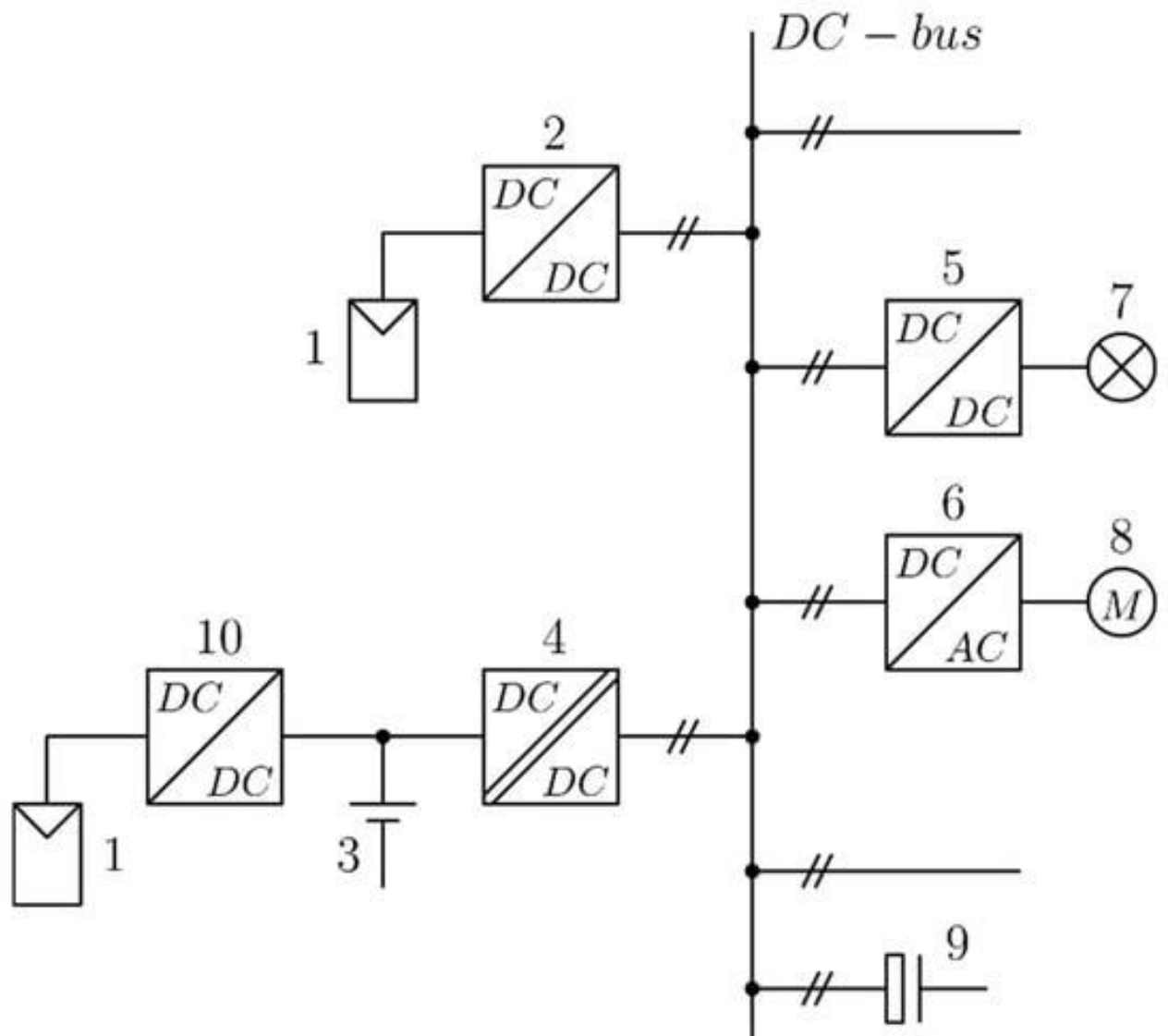


Рисунок 2.1. – Топологія аварійної мікромережі постійного струму

На рисунку 2.2. показано деталі системи лише з одним сонячним генератором (1) і одним односпрямованим перетворювачем постійного струму в постійний (2). За допомогою перемикача S перетворювач може заряджати батарею (3) або безпосередньо заряджати шину постійного струму.

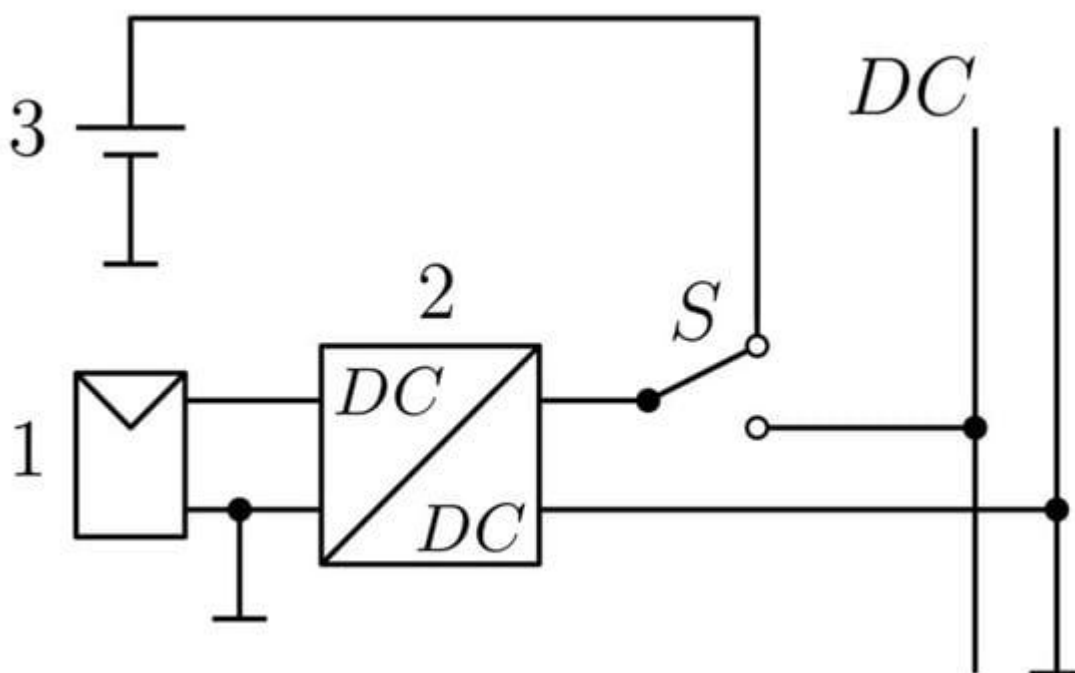


Рисунок 2.2. – Деталі системи одного сонячного генератора

Для мікромереж постійного струму використовуються два типи систем: низька напруга (LVDC) з, наприклад, 48 В, і висока напруга (HVDC) з 380 В. Для менших навантажень потужністю система 48 В є цікавою для внутрішньобудинкового використання, оскільки типові відстані знаходяться в області менше 100 м, де кабель 4 мм² є стандартним і достатнім. Низька напруга також вигідна з міркувань безпеки. Для великих систем з більшими відстанями та LOADми кращим вибором є система 380 В [26].

Стандартні перетворювачі, такі як Buck, Boost, SEPIC і Zeta, зазвичай використовуються для підключення різних навантажень і джерел. Це можуть бути сонячні панелі, акумуляторні батареї або різні побутові LOAD, як показано на рисунку 1 [26, 27]. Залежно від застосування, ці перетворювачі реалізуються одно- або двонаправленими, як показано на рисунку 2.1 [26, 28].

Документи [27, 29] показують, що свинцево-кислотні батареї все ще використовуються в акумуляторних блоках. Перевагами є відносно низька вартість і те, що чотири послідовно з'єднані батареї забезпечують напругу 48 В. У роботах [29, 210] літій-іонні батареї використовуються як накопичувач.

Перевагою є більша кількість можливих циклів і збільшений термін служби порівняно зі свинцево-кислотними акумуляторами. Крім того, більш високу щільність енергії в об'ємі та вазі можна розглядати як перевагу [29]. Іншим цікавим фактом є те, що LiFePO_4 батареї доступні з такою ж номінальною напругою 12,8 В, як свинцево-кислотні батареї з 12 В. Класичні літій-іонні батареї доступні з 14,4 В, що не підходить для формування 48 В. Типові акумулятори для невеликих побутових застосувань можуть бути сформовані стандартні типи з приблизно 100 Ач [27, 29].

Свинцево-кислотні акумулятори все ще широко використовуються в накопичувачах. Важливими параметрами є внутрішній опір і струм розряду. Внутрішній опір постійному струму можна використовувати, наприклад, для оцінки падіння напруги під LOADm . Для свинцево-кислотної батареї на 100 Ач внутрішній опір може мати значення приблизно 4,5 мОм, а максимальний струм розряду 800 А (протягом 5 с) [31].

Для розгляду динамічної поведінки схему Рендлса можна використовувати як модель батареї, яка пояснюється типовими параметрами в [32]. Різні приклади графіків імпедансу змінного струму та параметрів різних батарей показано та пояснено в [33, 34, 35].

Основи силової електроніки та конструювання перетворювачів можна знайти в підручниках, наприклад, [36, 37, 38]. Інтерфейс однофазної мережі для домашнього зберігання енергії описано в [39]. посилання [40] показує відносно складну топологію перетворювача для заряджання електромобілів (EV) і порівнює їх із двонаправленим перетворювачем кроку вгору-вниз. У [41] показано переваги домашньої електромережі постійного струму та перераховано типові LOAD електроенергії приватного домогосподарства. посилання [42] дає огляд одноступеневих ізольованих топологій AC-DC для взаємодії мереж постійного та змінного струму, і на основі цього в [43] розглядається час затримки. посилання [44] показує багатовихідний перетворювач, який можна використовувати для автономної системи постійного струму. Також наведено використані в дослідженні параметри,

характерні для такої системи. Заряджання електромобіля від домашньої мережі постійного струму розглядається в [45].

У [26] перераховані цікаві стандарти для мереж постійного струму та вимоги до різних навантажень, тоді як увага приділяється технології розподілу постійного струму. Порівняно топології трансформаторів постійного струму. Розглядаються подібності та відмінності пристроїв захисту між системами змінного та постійного струму. Аналіз продуктивності структури підвищувального перетворювача у фотоелектричній (PV) системі з відстеженням максимальної точки потужності (MPPT), який живить мережу постійного струму, показано в [47]. Стандарти напруги постійного струму в побутових системах живлення порівнюються в [48]. Інтеграція PV та невеликого водневого джерела енергії в інфраструктуру зарядки показано в [49].

2.2. Особливості побудови та режимів роботи зарядного пристрою Buck

На рисунку 2.3 показана принципова схема зарядного пристрою акумулятора (або пристрою для живлення безпосередньо в шину постійного струму), отриманого від перетворювача Бака. Вихід формується батареєю, тому вихідна напруга є постійною. Тому перетворювач повинен керуватися струмом. Тим не менш, конденсатор між вихідними роз'ємами (3, 4) перетворювача використовується, щоб уникнути того, що високочастотна складова струму протікає через батарею та виробляє там додаткове тепло. Вхідний конденсатор між вхідними роз'ємами (1, 2) використовується для компенсації індуктивності проводів між сонячним генератором і перетворювачем. Крім того, імпульсний вхідний струм не навантажує сонячний генератор. Діод D_2 повинен бути десь між входом і виходом, щоб уникнути виходу струму з батареї, коли вхідна напруга нижча за вихідну. Корпусний діод MOSFET розрядив би батарею, повернувши енергію в сонячний генератор і навіть міг би знищити його. Цей діод

краще розміщувати на вході, де струм нижчий, оскільки перетворювач має понижуючу топологію, і тому середній струм на вході нижчий, ніж на виході (вхідна та вихідна потужності рівні), або діод вже входить до складу сонячного генератора. Для постійного вхідного струму корисно (якщо індуктивність кабелів, що використовуються для підключення перетворювача, мала), підключити котушку між вхідним роз'ємом (1) і анодом діода D_2 .

Найпростіший спосіб керування цим перетворювачем — контролер гістерезису. Для опису ми використовували ідеальні компоненти. Коли активний перемикач S увімкнено, різниця між вхідною (напруга на C_{IN}) і вихідною напругою є на індуктивності, і струм зростає. Коли струм досягає верхньої межі, контролер вимикає вимикач, а коли струм досягає нижньої межі, контролер вмикає його знову. Різниця між верхньою та нижньою межами струму, гістерезис, записується як ΔI . Отже, час увімкнення вимикача

$$U_1 - U_2 = L \frac{\Delta I}{T_{on}} T_{on} = L \frac{\Delta I}{U_1 - U_2} \quad (2.1)$$

Під час вимкнення негативна вихідна напруга зменшує струм на ΔI протягом цього часу

$$T_{off} = L \frac{\Delta I}{U_2}. \quad (2.2)$$

Тепер період перемикання дорівнює сумі часів увімкнення та вимкнення

$$T = L \frac{\Delta I}{U_1 - U_2} + L \frac{\Delta I}{U_2} = L \Delta I \frac{U_1}{U_2(U_1 - U_2)} \quad (2.3)$$

або більше, зазвичай вказується як частота перемикання

$$f = \frac{1}{L \Delta I} \frac{U_2(U_1 - U_2)}{U_1}. \quad (2.4)$$

Зміна вхідної та вихідної напруг змінює лише частоту. Ця концепція контролера дуже надійна. Можна також помітити, що чим нижча пульсація напруги, тим вища виникає частота. Низька пульсація струму збільшує частоту, але зменшує байпасний конденсатор для батареї.

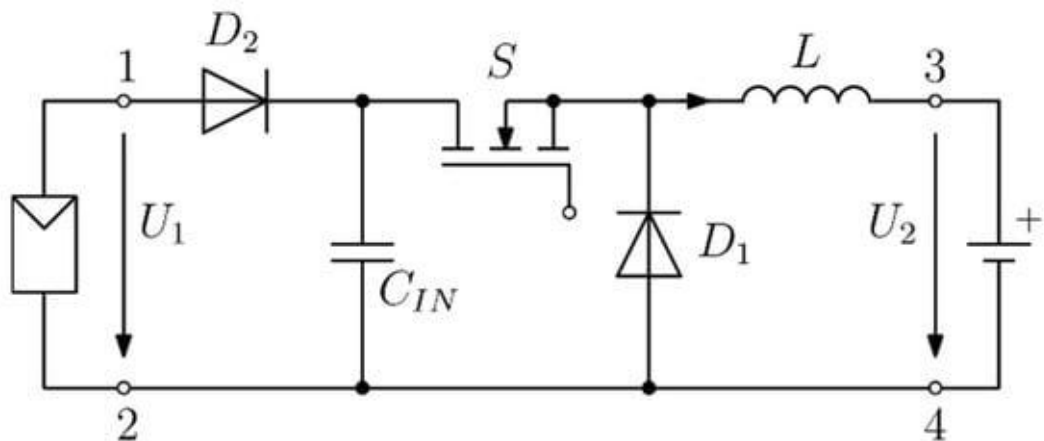


Рисунок 2.3. – Бак-зарядний пристрій для сонячного генератора (вхідна індуктивність і конденсатор, підключений паралельно до батареї, не показані, див. текст)

2.2.1. Розміри

Під час вимкнення активного перемикача напруга індуктивності дорівнює негативній вихідній напрузі. Коли вибрано максимальну частоту перемикання, значення індуктивності можна розрахувати за допомогою (2.4) відповідно до:

$$L = \frac{1}{f\Delta I} \frac{U_2(U_1 - U_2)}{U_1}. \quad (2.5)$$

Коли вхідна напруга мінімальна, а вихідна напруга максимальна, час увімкнення має максимум, а коли вхідна напруга має максимум, а вихідна напруга має мінімум, час увімкнення є мінімальним. Під час вимкнення струм від джерела не береться. Щоб отримати безперервний струм із сонячного генератора, між вхідним конденсатором і сонячним генератором слід розмістити додатковий індуктор.

На рисунку 2.4 показано імітаційну модель зарядного пристрою Buck із контролером гістерезису, реалізовану LTSpice. Струм вимірюється джерелом напруги V3 і перетворюється в фактичне значення для контролера за допомогою джерела напруги H1, керованого струмом. Опорне значення генерується джерелом напруги V4. Гістерезисний регулятор реалізується

компаратором U1, а гістерезис фіксується резисторами R1 і R2, які утворюють позитивний зворотний зв'язок. Кероване напругою джерело напруги E1 використовується для формування ізолюваного драйвера. Коефіцієнт 10 збільшує сигнал від і-стробу A1, який поєднує вихідний сигнал компаратора з сигналом запуску. Компаратор має живитися плюс/мінус 5 В. Тут слід зазначити, що можна також використовувати один компаратор.

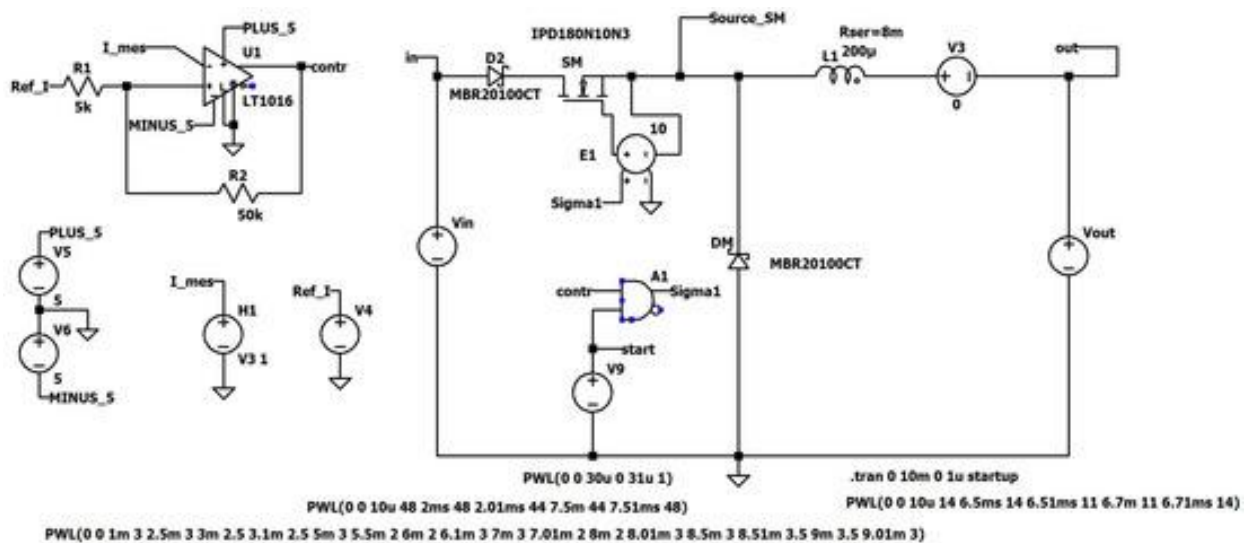


Рисунок 2.4. – Понижуючий перетворювач з регулятором гістерезису

На рисунку 2.5 показано вхідну напругу, еталонне значення та струм через котушку індуктивності, який дорівнює струму зарядки. Вихідний струм впливає з опорного значення. Перепади вхідної напруги коригуються негайно.

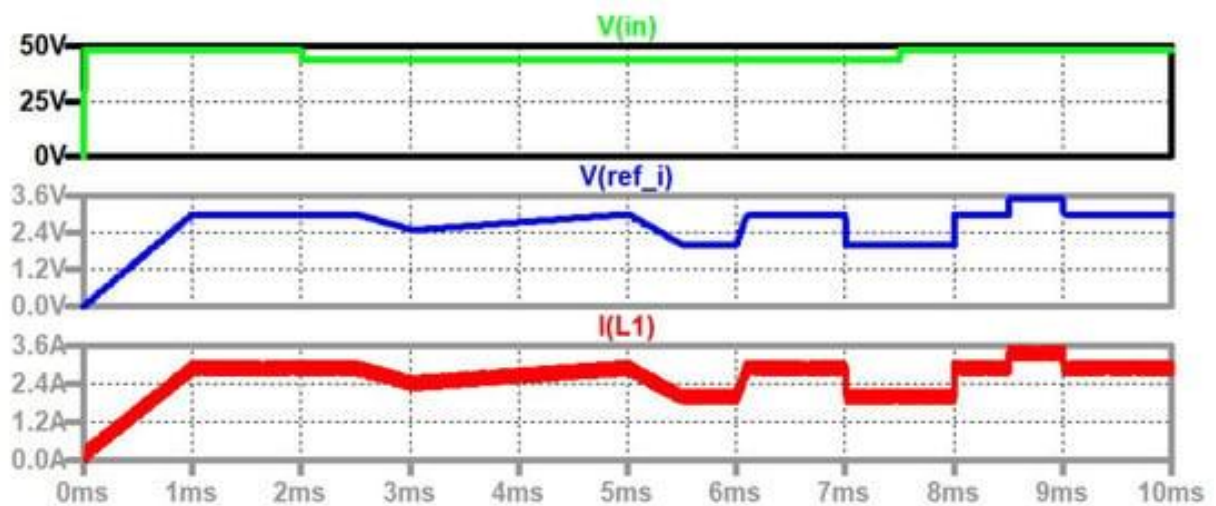


Рисунок 2.5. – Перетворювач Бака з керуванням гістерезисом (від підвищення до пониження): вхідна напруга (зелений), опорне значення (синій), струм через котушку (струм заряджання, червоний)

Коли невеликий індуктор підключений послідовно до сонячного генератора, можна виміряти майже постійний струм, який можна використовувати для відстеження точки максимальної потужності (MPP). Потужність MPP $I_{MPP} U_{MPP}$ повинна дорівнювати вихідній потужності $U_2 I_L$. З приблизною ефективністю

$$\eta = \frac{U_2 I_L}{U_{MPP} I_{MPP}} \quad (2.6)$$

можна розрахувати опорне значення для контролера

$$I_{L,ref} = \frac{\eta U_{MPP} I_{MPP}}{U_2}. \quad (2.7)$$

2.2.2. Модель зарядного пристрою Buck

Щоб розробити лінійний контролер, необхідно отримати модель зарядного пристрою акумулятора. Напруга акумулятора змінюється дуже повільно. Отже, можна встановити вихідну напругу на постійне значення U_2 . Вихідна напруга сонячного генератора може швидко змінюватися, але вхідний конденсатор зменшує похідну напруги на вході u_1 . Таким чином, похідну струму індуктора в режимі M1 (активний перемикач S увімкнено та пасивний перемикач D_1 вимкнено) можна записати відповідно до

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{u_1 - U_2}{L}. \quad (2.8)$$

У режимі M2 (активний перемикач S вимкнено та пасивний перемикач D_1 увімкнено) можна писати

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{-U_2}{L}. \quad (2.9)$$

Використовуючи фіксовану частоту та робочий цикл d , можна поєднати два рівняння (використовуючи метод усереднення в просторі станів) відповідно до

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{u_1 \cdot d - U_2}{L}. \quad (2.10)$$

Введення пертурбаційного підходу призводить до

$$\frac{d\hat{i}_L}{dt} = \frac{(U_1 + \hat{u}_1)(D_0 + \hat{d}) - U_2}{L}. \quad (2.11)$$

Тепер диференціальне рівняння для збурення навколо робочої точки

$$\frac{d\hat{i}_L}{dt} = \frac{D_0\hat{u}_1 + U_1\hat{d}}{L}. \quad (2.12)$$

Зв'язок між вхідною та вихідною напругами в робочій точці можна знайти

з

$$-U_2 + D_0U_1 = 0. \quad (2.13)$$

Це призводить до відомого рівняння

$$U_2 = U_1D_0. \quad (2.14)$$

На рисунку 2.6 зображено графік потоку сигналів зарядного пристрою з контролером K_R . $I_L^*(s)$ описує бажане значення, а $I_L(s)$ фактичне значення. Графіки потоків сигналів є дуже корисним інструментом для опису систем у графічний спосіб. У [50] пояснюється короткий виклад елементів і побудова графіків потоку сигналу, а за допомогою рівняння Мейсона можна розрахувати функцію передачі системи.

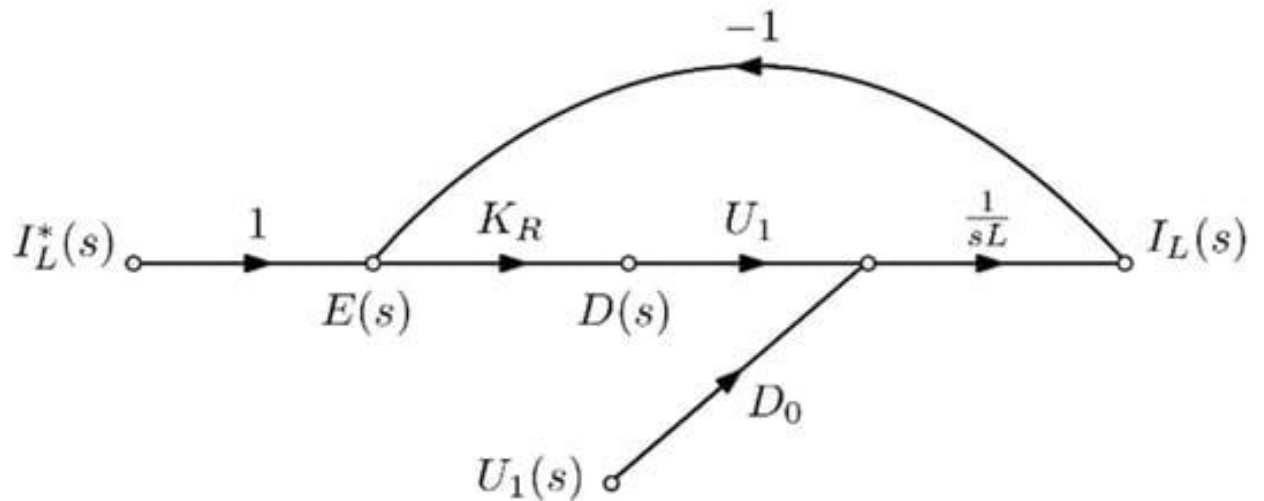


Рисунок 2.6. – Графік потоку сигналу керованого зарядного пристрою, отриманого від Бака

Вихідним значенням є струм через котушку, який також є зарядним струмом (середнє значення протікає через батарею, а пульсації протікають через конденсатор, який знаходиться паралельно батареї). По-перше, ми вивчили функцію передачі між струмом LOAD та шпаруватістю та функцію передачі між струмом LOAD та вхідною напругою. Тепер можна намалювати графік потоку сигналу перетворювача (рисунок 2.6.).

Передатна функція між струмом індуктивності та шпаруватістю

$$G_{ID}(s) = \frac{I_L(s)}{D(s)} = \frac{U_1}{sL} \quad (2.15)$$

показує інтегральну поведінку, яка зображена на рисунку 2.7.

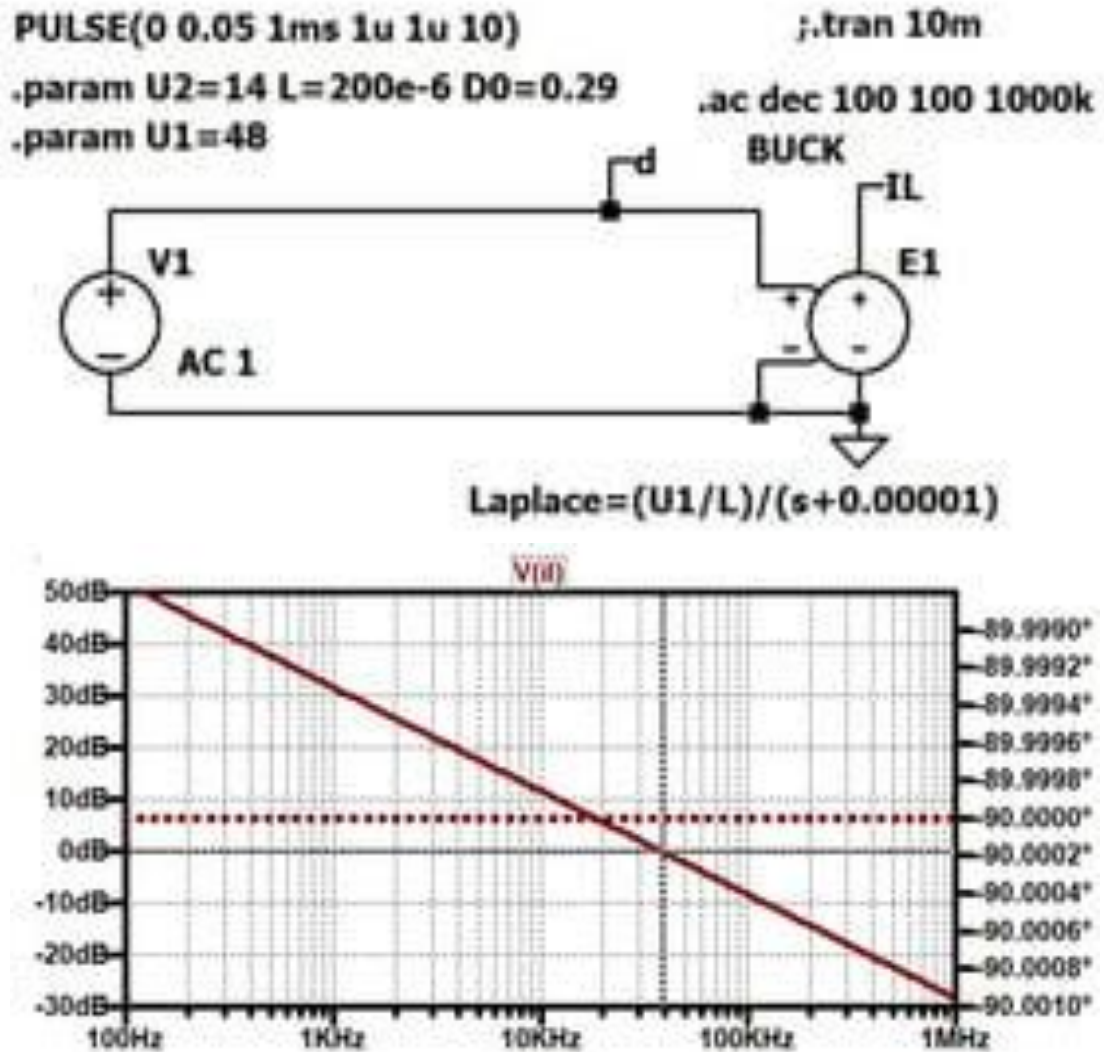


Рисунок 2.7. – Зарядний пристрій для батареї, що працює на баку, робочий цикл до функції передачі зарядного струму: схема моделювання, графік Боде (суцільна лінія: характеристика посилення, пунктирна лінія: характеристика фази)

Передатна функція між струмом через котушку індуктивності та вхідною напругою

$$G_{IU}(s) = \frac{I_L(s)}{U_1(s)} = \frac{D_0}{sL} \quad (2.16)$$

також показує інтегральну поведінку (рисунку 2.8).

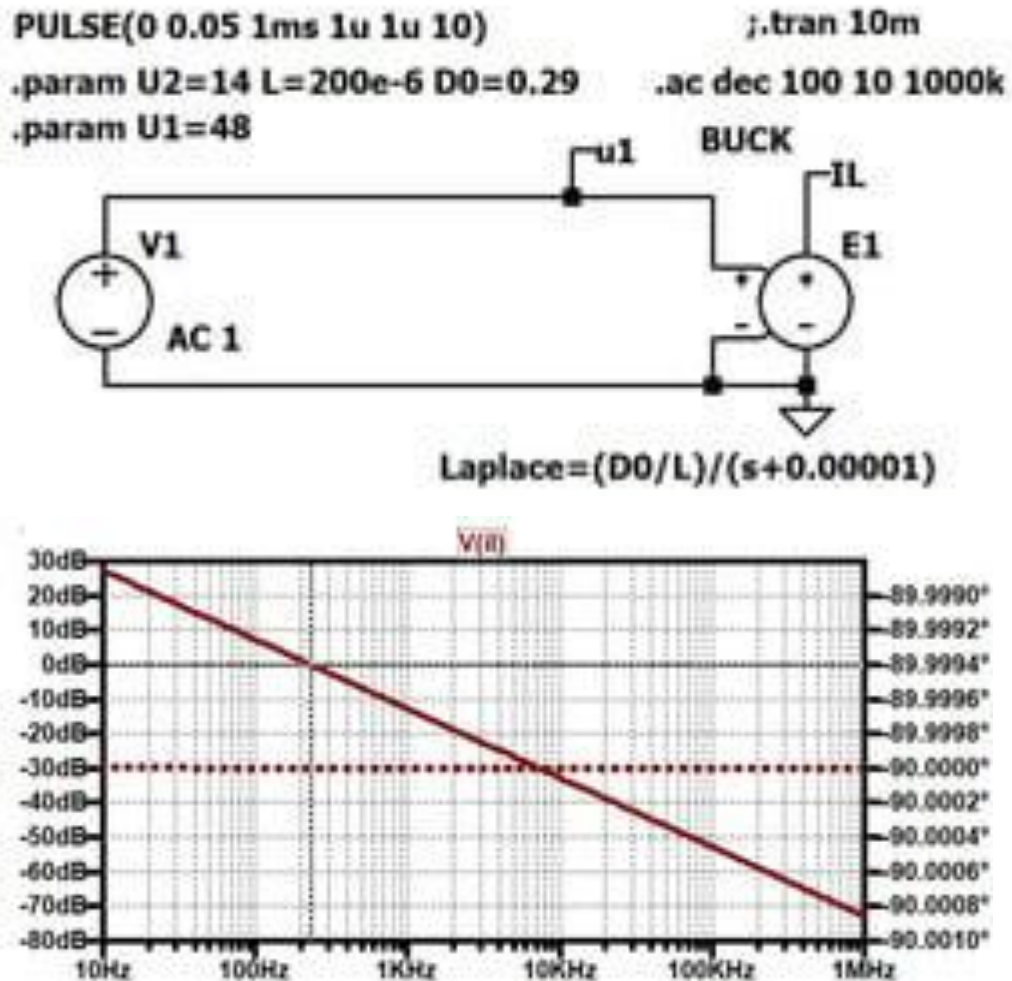


Рисунок 2.8. – Зарядний пристрій для батареї, отриманий від бака, функція передачі перешкод (вхідна напруга) – вихід (струм зарядки): схема моделювання, графік Боде (суцільна лінія: характеристика посилення, пунктирна лінія: фазова характеристика)

Використовуючи Р-регулятор, можна отримати функцію передачі керування згідно з рисунком 2.6

$$G_{IIref}(s) = \frac{I_L(s)}{I_{ref}(s)} = \frac{\frac{K_R U_1}{sL}}{1 + \frac{K_R U_1}{sL}} = \frac{K_R U_1}{sL + K_R U_1} = \frac{1}{s \frac{L}{K_R U_1} + 1} \quad (2.17)$$

і для функції передачі збурень згідно з рисунком 6

$$G_{IIclosed}(s) = \frac{I_L(s)}{U_1(s)} = \frac{\frac{D_0}{sL}}{1 + \frac{K_R U_1}{sL}} = \frac{D_0}{sL + K_R U_1} = \frac{D_0}{K_R U_1} \frac{1}{s \frac{L}{K_R U_1} + 1}. \quad (2.18)$$

З функції передачі керування можна побачити, що постійної помилки не виникає, але з функції передачі збурення видно, що помилка виникне. Коли

вхідна напруга змінюється на ΔU_1 , похибка може бути розрахована відповідно до

$$\Delta I_L = \frac{D_0}{K_R U_1} \Delta U_1. \quad (2.19)$$

Для низької похибки корисна висока вхідна напруга та велике посилення контролера. На рисунку 2.9 показано схему моделювання та графік Бode для відкритого контуру з Р-контролером. Передатна функція між вихідним струмом і шпаруватістю обчислюється джерелом напруги E1, керованим напругою, джерело E2 використовується для моделювання контролера. В імітаційній моделі полюс рослини трохи зміщений вліво. Це необхідно, коли виконується аналіз перехідних процесів, щоб уникнути сингулярної матриці обчислення.

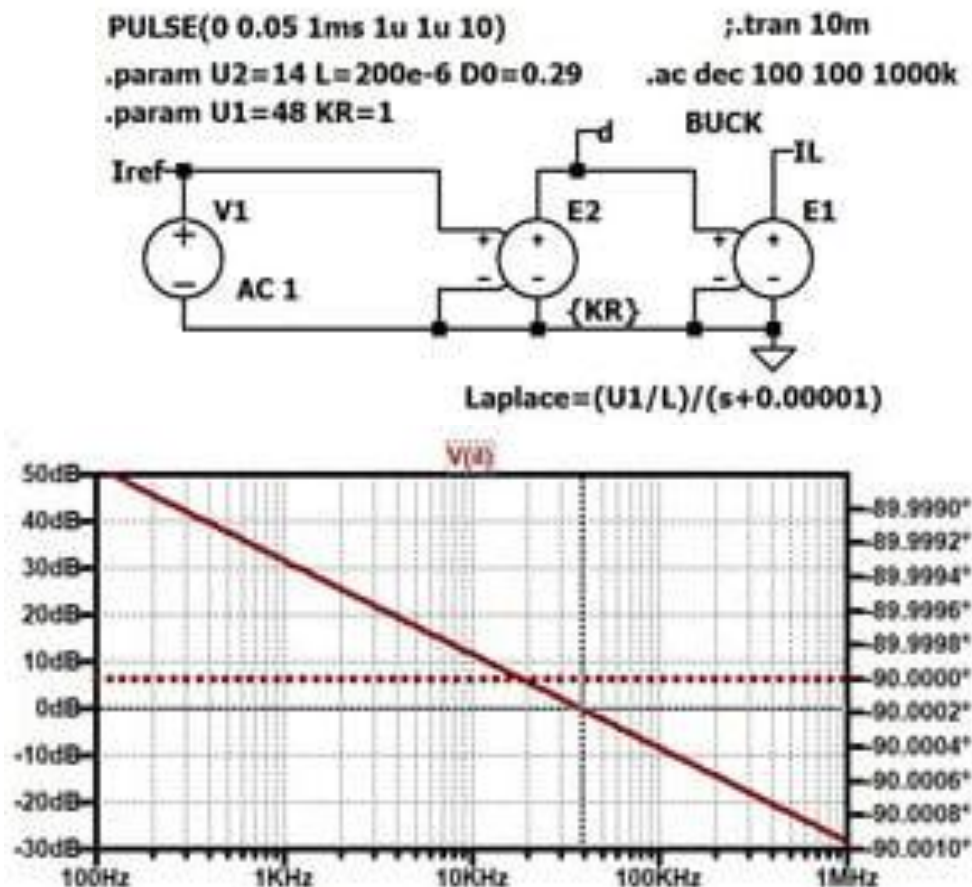


Рисунок 2.9. – Розімкнутий контур зарядного пристрою акумуляторної батареї на базі бака з Р-контролером з $K_R = 1$: схема моделювання, графік Бode (суцільна лінія: характеристика посилення, пунктирна лінія: фазова характеристика)

На рисунку 2.10 зображена замкнута система. Похибка між еталонним значенням і фактичним значенням обчислюється довільним джерелом напруги В1. Як і очікувалося, замкнутий цикл демонструє поведінку РТ1.

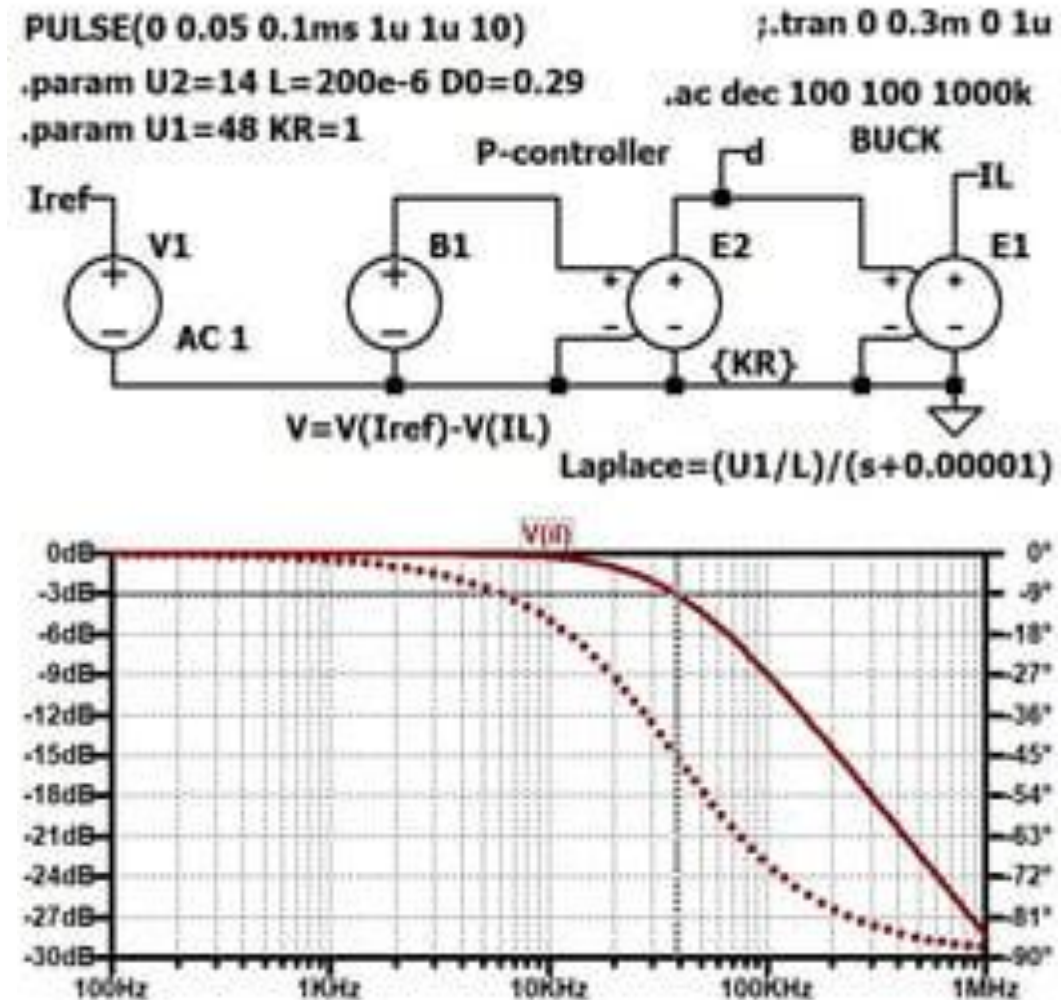


Рисунок 2.10. – Зарядний пристрій для батареї на основі бака, замкнутий контур з Р-контролером: схема моделювання, графік Боде (суцільна лінія: характеристика посилення, пунктирна лінія: фазова характеристика)

На рисунку 2.11. показано ступінчасту характеристику двох різних коефіцієнтів підсилення регулятора ($K_R = 1$, $K_R = 0,2$). При $K_R = 1$ кутова частота становить близько 40 кГц (рис. 2.10), а при другому значенні ($K_R = 0,2$) ми отримуємо кутову частоту замкнутої системи 7,5 кГц.

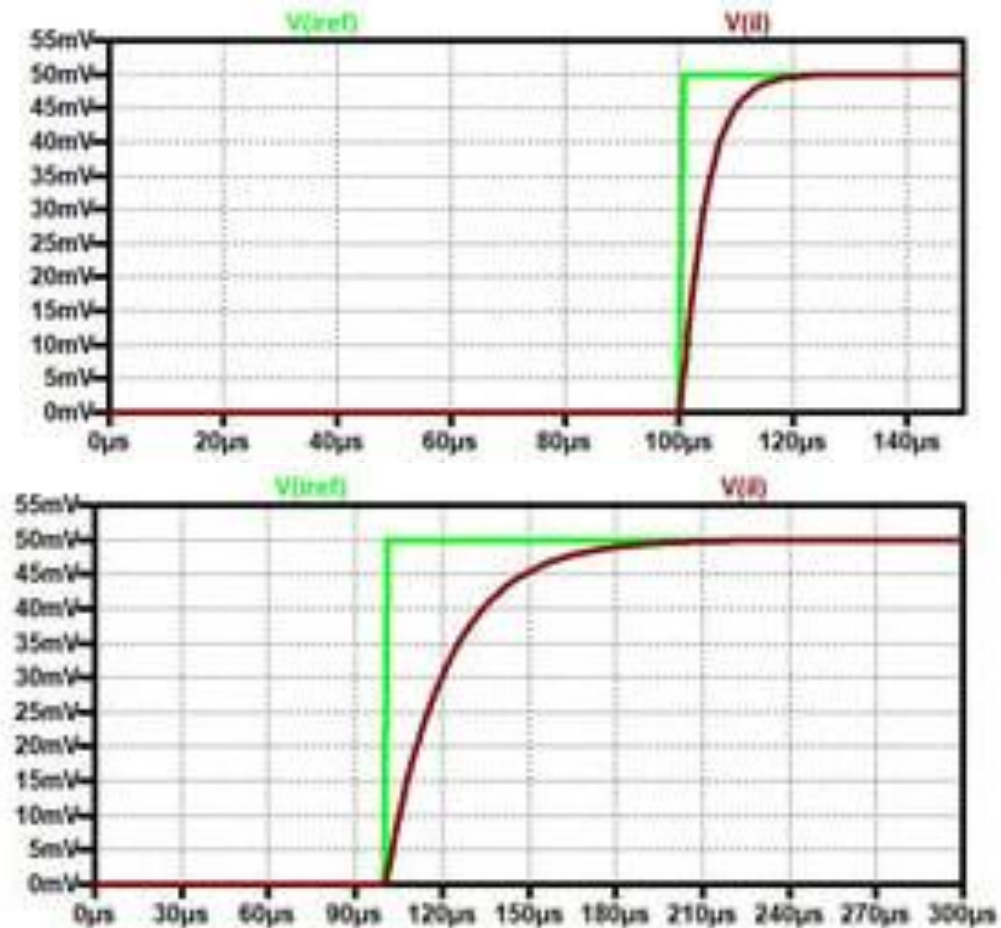


Рисунок 2.11. – Зарядний пристрій батареї, що працює на базі бака, замкнутий контур із Р-контролером, ступінчаста характеристика: $K_R = 1$ і $K_R = 0,2$

На рисунку 2.12 показано вплив кроку опорного значення та кроку вхідної напруги. Крок опорного значення не призводить до похибки в стаціонарному стані, але крок напруги призводить до похибки.

З функції передачі збурень можна обчислити $Dist$ збурень відповідно до D
 $i s t = D0KRU1\Delta U1 = 0,290,2 \cdot 48 \text{ В } 0,05 \text{ В} = 1,5 \text{ мА}$ $D_{ict} = D0KPU1\Delta U1 = 0,290,2 \cdot 48$
 $\text{В} 0,05 \text{ В} = 1,5 \text{ мА}$, представлений 1,5 мВ у моделюванні. Це означає, що похибка становить 1,5 мА. Майте на увазі, що в нашій симуляції струми представлені напругами.

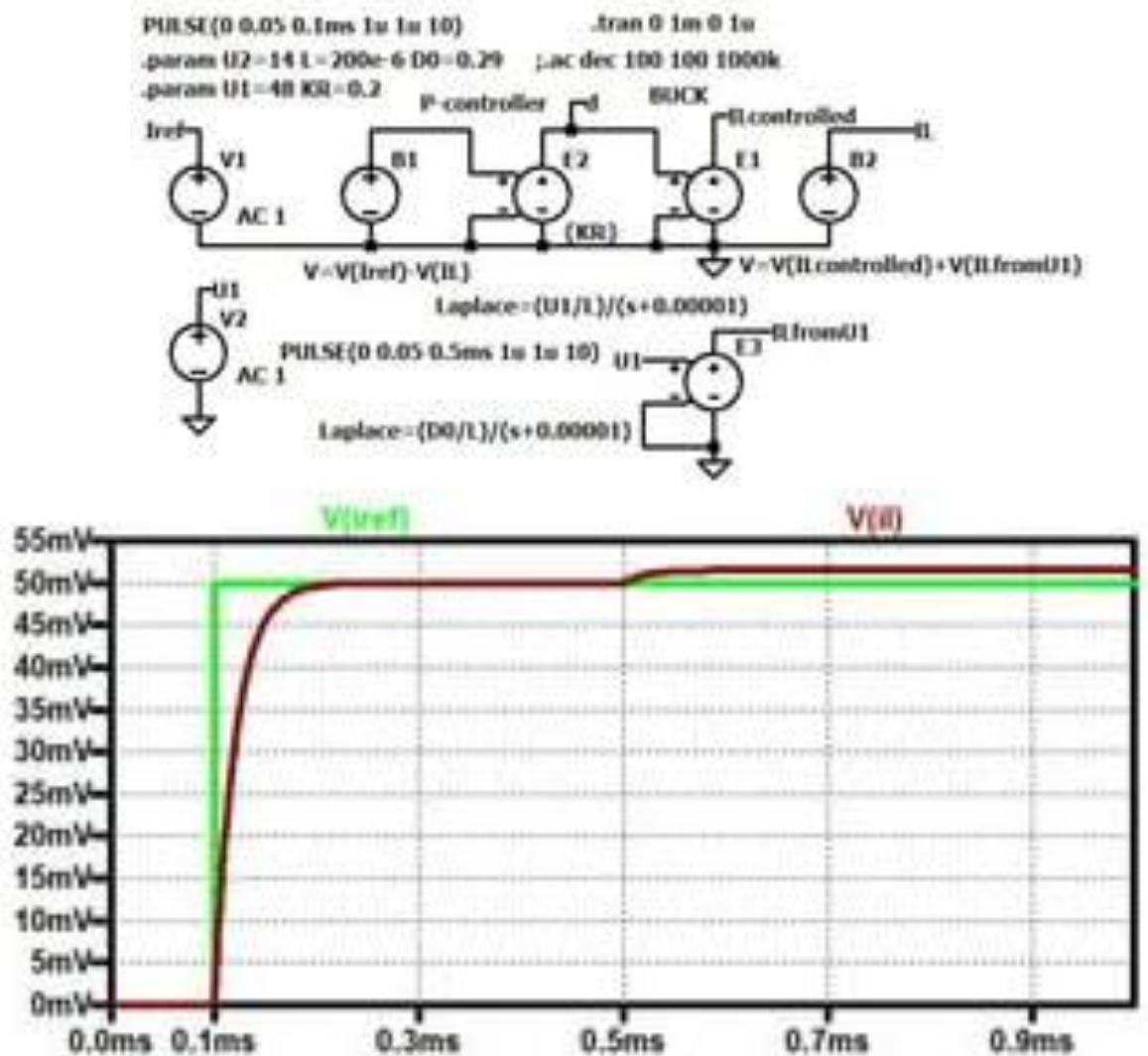


Рисунок 2.12. Зарядний пристрій батареї на основі понижувального джерела, замкнутий контур з Р-контролером $K_R = 0,2$, вплив зміни вхідної напруги: схема моделювання, ступінчаста характеристика

Похибка всього 3%. Зміна ΔU_1 на 1 В призведе до похибки 30,2 мА (або похибки 60%)!

Інтегруюча установка також інтегрує збурення, тому виникає помилка сталого стану, спричинена вхідною напругою!

Найпростіший спосіб зменшити похибку - це використовувати збурюючий зв'язок. Це виконується шляхом включення фронту зі значенням - $K(s)$ між збуренням $U_1(s)$ і входом перетворювача $D(s)$ на графік сигналу (рис. 13). $I_L^*(s)$ описує бажане значення, а $I_L(s)$ фактичне значення. Тому на

вихід $I_L(s)$ впливає вхідна напруга двома способами: безпосередньо з'єднанням завад $G_{IU}(s)$ (16) і новим шляхом $-K \cdot G_{ID}(s)$, з G_{ID} від (2.15).

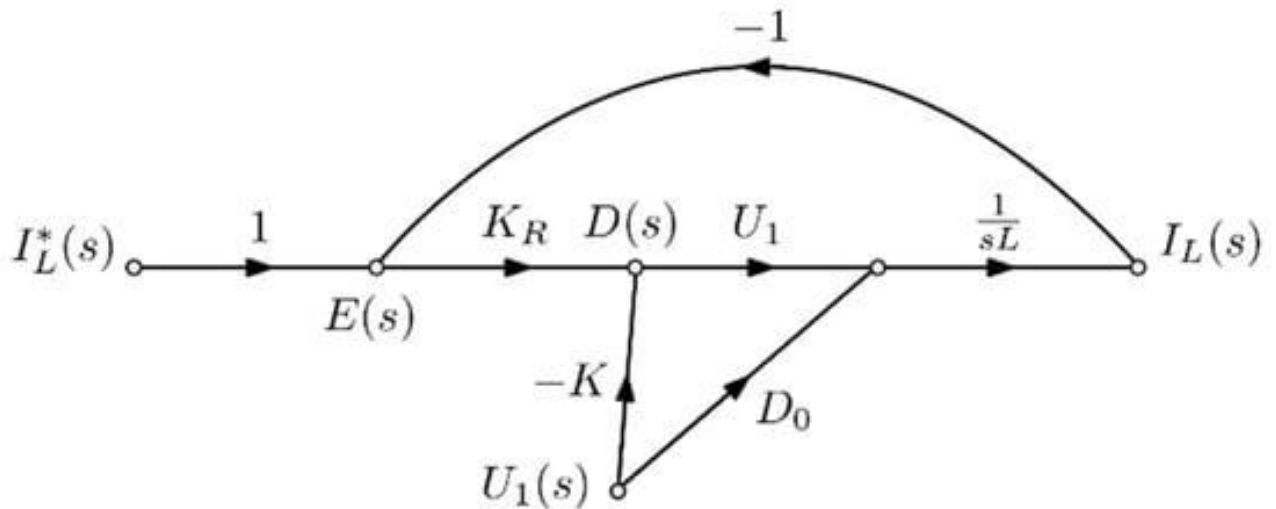


Рисунок 2.13. – Графік потоку сигналу керованого зарядного пристрою, отриманого від Бака, із прямим зв'язком із завадами

Таким чином, зміна струму на виході, викликана зміною вхідної напруги

$$I_L(s) = [G_{IU}(s) - K(s) \cdot G_{ID}] \cdot U_1(s). \quad (2.20)$$

Щоб компенсувати вплив змін на вхідній напрузі, члени в прямокутних дужках повинні дорівнювати нулю. Компенсатор K можна розрахувати за

$$K(s) = \frac{G_{IU}(s)}{G_{ID}(s)} = \frac{D_0}{U_1}. \quad (2.21)$$

Компенсація більш ефективна, коли вхідна напруга висока. На рисунку 2.14. показана схема моделювання та відповідь вихідного струму щодо кроку еталонного значення та крокових змін вхідної напруги. Випереджаюча подача завад компенсує вплив змін вхідної напруги. Компенсатор включається в джерело довільної напруги ВЗ.

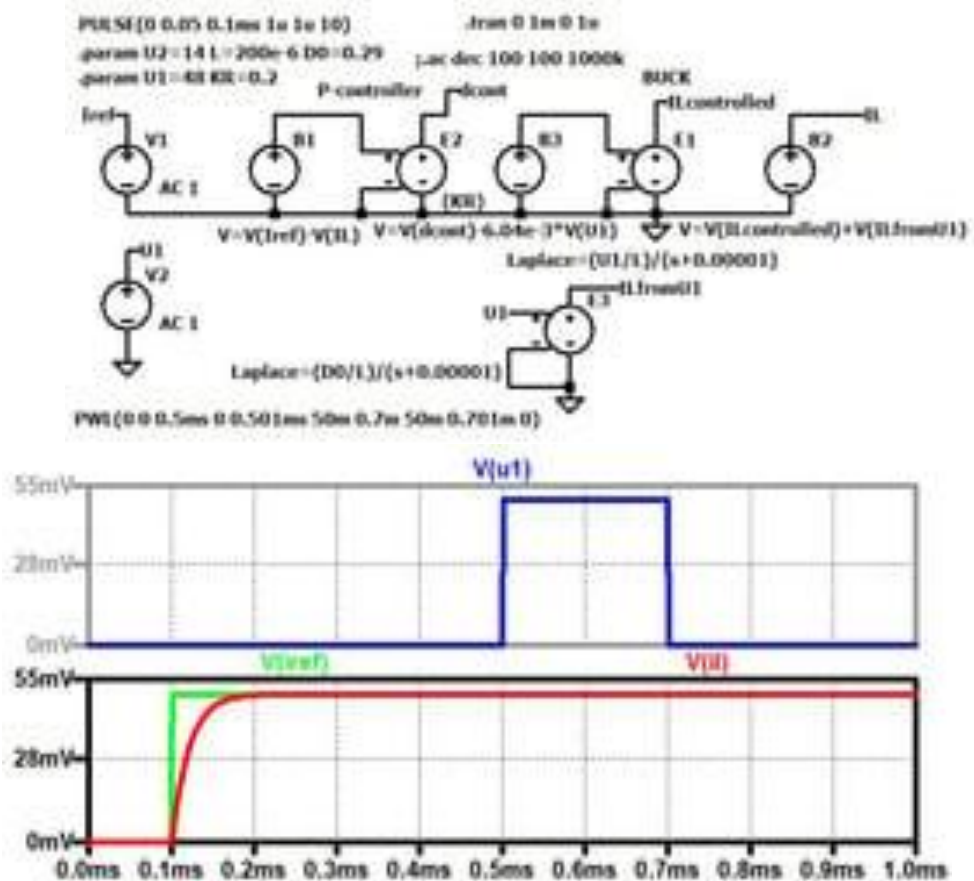


Рисунок 2.14. Зарядний пристрій на основі бака з прямим зв'язком збурювання: схема моделювання та ступінчасті реакції

Підводячи підсумок, можна сказати, що Р-регулятор повинен бути розширений за рахунок прямого зв'язку завад, щоб уникнути вираженої помилки, спричиненої змінами вхідної напруги.

2.3. Простий зарядний пристрій Boost

Якщо вихідна напруга сонячного генератора нижча за напругу накопичувача, слід використовувати підвищувальний перетворювач. На рисунку 2.15 показана принципова схема. Котушка L згладжує вихідний струм. Паралельно вихідним роз'ємам (3, 4) можна встановити невеликий

конденсатор (не намальований). Паралельно вхідним роз'ємам (1, 2) підключений конденсатор C_{IN} .

Коли активний перемикач увімкнено, вхідна напруга надходить на індуктор і струм зростає. Коли струм досягає верхньої межі, активний перемикач вимикається, і струм зменшується, оскільки різниця між вхідною та вихідною напругами, яка є від'ємною, лежить на індукторі. При досягненні нижньої межі струму перемикач S знову вмикається. З різницею між верхньою та нижньою межею ΔI час увімкнення та вимкнення можна розрахувати відповідно до

$$T_{on} = L \frac{\Delta I}{U_1} \quad (2.22)$$

$$T_{off} = L \frac{\Delta I}{U_2 - U_1}. \quad (2.23)$$

Це призводить до періоду перемикання

$$T = L \frac{\Delta I}{U_2} + L \frac{\Delta I}{U_2 - U_1} = L \Delta I \frac{2U_2 - U_1}{U_2(U_2 - U_1)} \quad (2.24)$$

і до частоти перемикання

$$f = \frac{1}{L \Delta I} \frac{U_2(U_2 - U_1)}{2U_2 - U_1}. \quad (2.25)$$

2.3.1. Визначення бажаного поточного значення

Щоб оптимізувати зарядку, бажане значення струму має бути близьким до максимального значення точки потужності. Це значення потрібно знайти за допомогою трекера точки максимальної потужності (MPP). Струм зарядки I_{LOAD} з'єднаний зі струмом MPP I_{MPP} балансом заряду конденсатора C

$$I_{LOAD} T_{on} = (I_{MPP} - I_{LOAD}) T_{off}. \quad (2.26)$$

T_{off} — це різниця між періодом перемикання та часом увімкнення активного перемикача. Вставлення (2.22) і (2.23) призводить до

$$I_{LOAD}L\frac{\Delta I}{U_1} = (I_{MPP} - I_{LOAD})L\frac{\Delta I}{U_2 - U_1}. \quad (2.27)$$

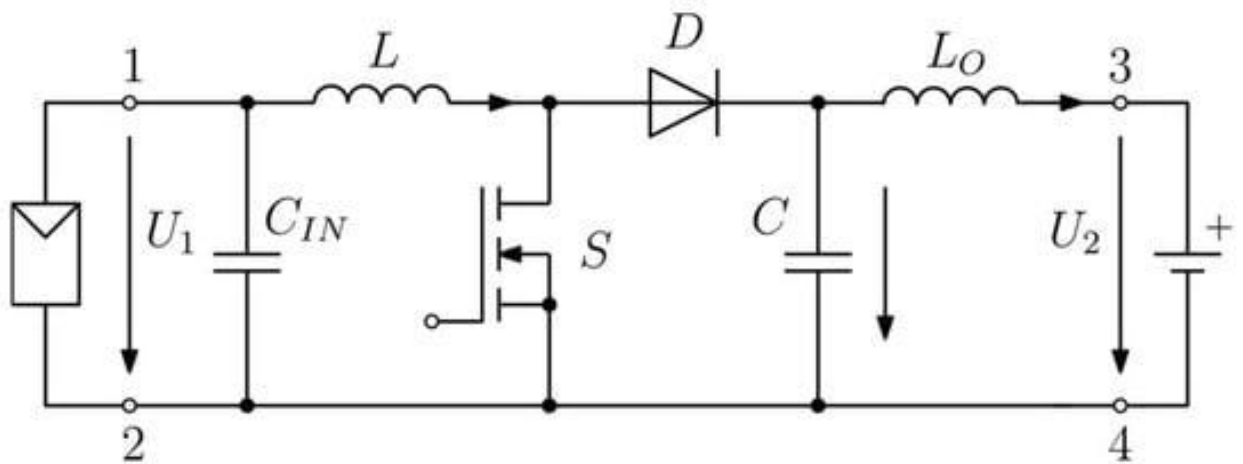


Рисунок 2.15. – Зарядний пристрій підвищувального перетворювача

Струм заряджання залежить від MPP-струму та вхідної напруги (яке є кінцевим значенням MPP) і постійної вихідної напруги відповідно до

$$I_{LOAD} = I_{MPP} \frac{U_1}{U_2}. \quad (2.28)$$

Цей результат правильний, тому що в ідеальному випадку вхідна потужність і вихідна потужність повинні бути рівними.

2.3.2. Конструкція індуктора

Найкоротший час увімкнення відбувається, коли напруга досягає максимуму (ми беремо максимум на MPP). Коли фіксується мінімальний час увімкнення на $T_{on\ min}$ і фіксується максимальна пульсація струму, отримується значення котушки відповідно до

$$L = \frac{U_{1max} T_{onmin}}{\Delta I}. \quad (2.29)$$

Струм на вході має однакові пульсації струму. Цей пульсаційний струм створює пульсацію напруги на вхідному конденсаторі, яка є сумою напруги на

(ідеальному) C_{IN} і падіння напруги на послідовному резисторі конденсатора R_{CIN} .

$$\Delta u_{CIN} = \frac{1}{C_{IN}} \frac{T}{2} \frac{\Delta I}{2} + R_{CIN} \Delta I. \quad (2.30)$$

Вставивши період перемикавання (24), ви отримаєте

$$C_{IN} = \frac{1}{4(\Delta u_{CIN} - R_{CIN} \Delta I)} L (\Delta I)^2 \frac{2U_2 - U_1}{U_2(U_2 - U_1)}. \quad (2.31)$$

Вихідний конденсатор, який знаходиться паралельно навантаженню, утворює коротке замикання на частоту імпульсів. LOAD не можна підключати безпосередньо до вихідних роз'ємів (3, 4), а підключати за допомогою кабелів. При необхідності можна вдосконалити перетворювач (зменшивши пульсації струму) додатковим індуктором L_2 .

Під час увімкнення активного перемикача енергія не передається від сторони входу до сторони виходу. Середній струм через другий індуктор дорівнює струму LOAD, який заряджає акумулятор. Цей струм розряджає конденсатор C . При найнижчій вхідній напрузі час увімкнення має максимум.

Напруга на C зменшується на значення

$$\Delta u_C = \frac{1}{C} \int_0^{T_{on,max}} I_{Load} dt. \quad (2.32)$$

Тому конденсатор повинен бути більшим ніж

$$C = \frac{1}{\Delta u_C} I_{Load} L \frac{\Delta I}{U_{1min}}. \quad (2.33)$$

2.3.3. Динаміка

Напруга акумулятора змінюється дуже повільно. Отже, можна вважати вихідну напругу U_2 постійною. Тому зміну струму індуктора в режимі M1 можна записати відповідно до

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{u_1}{L}. \quad (2.34)$$

У режимі М2 можна писати

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{u_1 - U_2}{L}. \quad (2.35)$$

Використовуючи фіксовану частоту та робочий цикл d , можна поєднати два рівняння відповідно до

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{u_1 - U_2(1 - d)}{L}. \quad (2.36)$$

Введення анзаца збурення призводить до

$$\frac{d\hat{i}_L}{dt} = \frac{U_1 + \hat{u}_1 - U_2 + U_2(D_0 + \hat{d})}{L}. \quad (2.37)$$

Тепер диференціальне рівняння для збурення навколо робочої точки

$$\frac{d\hat{i}_L}{dt} = \frac{\hat{u}_1 + U_2\hat{d}}{L}. \quad (2.38)$$

Зв'язок значень робочої точки можна знайти з

$$U_1 - U_2 + D_0 U_2 = 0. \quad (2.39)$$

Це призводить до відомого рівняння

$$U_2 = \frac{U_1}{1 - D_0}. \quad (2.40)$$

Тепер можна намалювати графік потоку сигналу перетворювача (Рисунок 2.16), $I_L^*(s)$ знову описує бажане значення, а $I_L(s)$ фактичне значення.

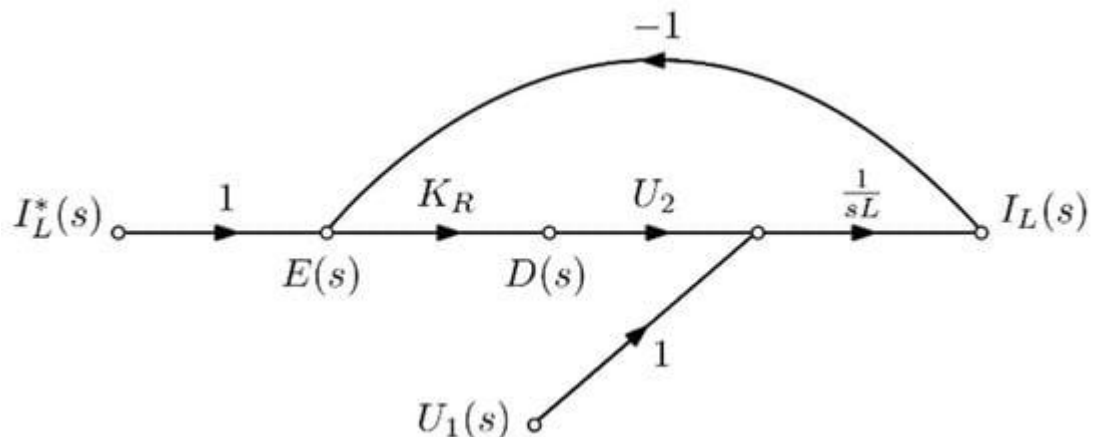


Рисунок 2.16. – Графік потоку сигналу керованого зарядного пристрою Boost

Передатна функція між струмом індуктивності та робочим циклом (рисунок 2.17) є

$$G_{ID}(s) = \frac{I_L(s)}{D(s)} = \frac{U_2}{sL}. \quad (2.41)$$

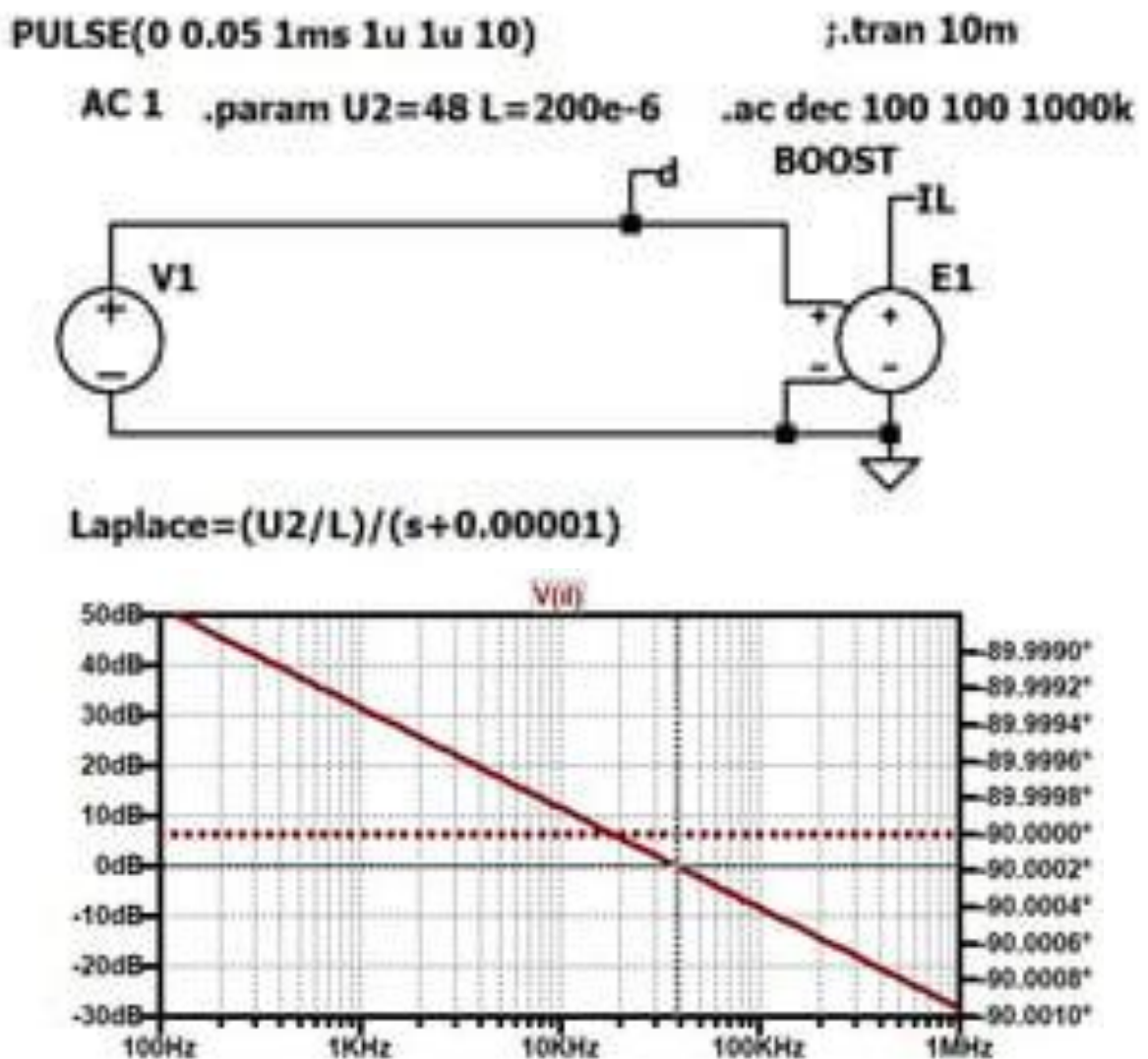


Рисунок 2.17. – Підвищувальний зарядний пристрій, функція передачі вихідного сигналу на вхід: схема моделювання, графік Бode (суцільна лінія: характеристика посилення, пунктирна лінія: фазова характеристика)

Передатна функція між струмом через котушку індуктивності та вхідною напругою (рисунок 2.18.) є

$$G_{IU}(s) = \frac{I_L(s)}{U_1(s)} = \frac{1}{sL}. \quad (2.42)$$

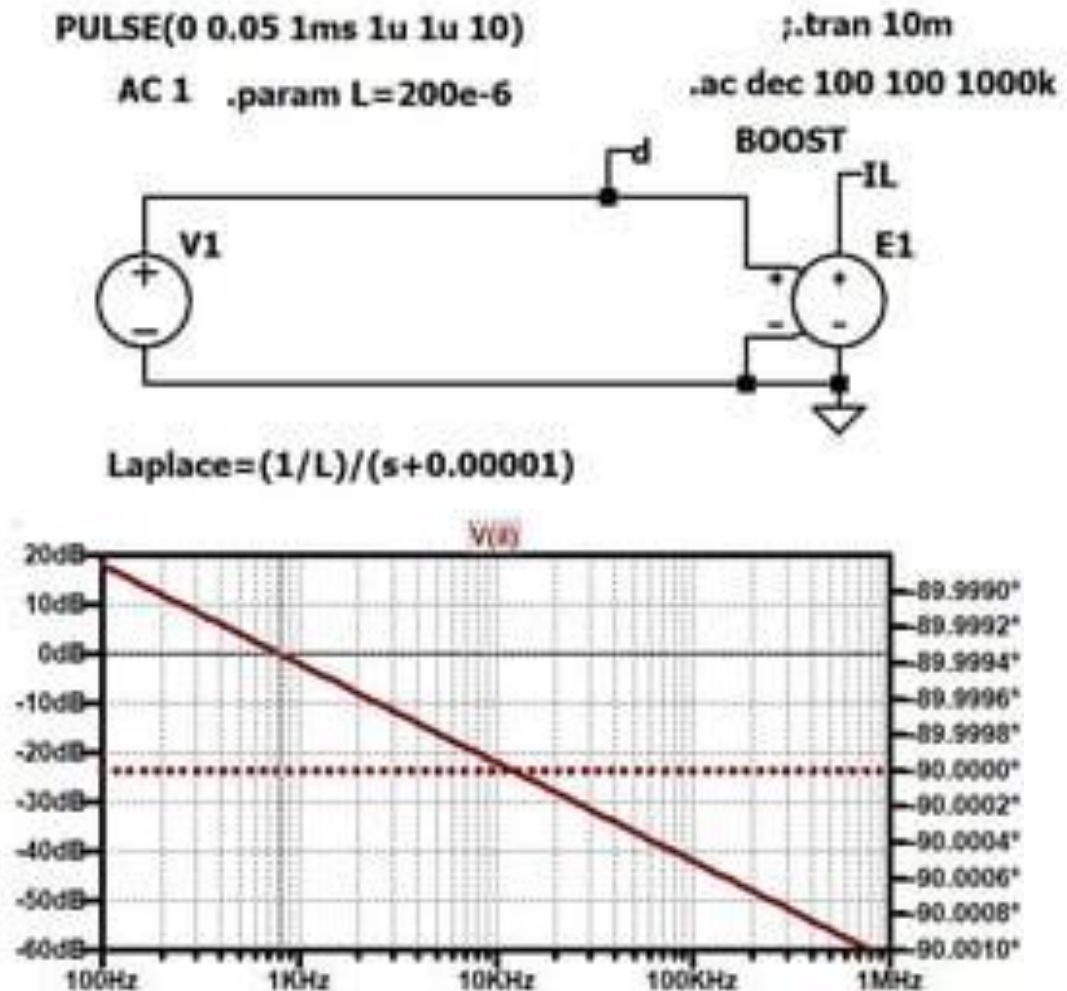


Рисунок 2.18. – Прискорювальний зарядний пристрій, порушення вихідної функції передачі: схема моделювання, графік Бode (суцільна лінія: характеристика посилення, пунктирна лінія: фазова характеристика)

Установка має інтегральну поведінку, тому можна використовувати Р-контролер. Функцію передачі керування згідно з рисунком 2.16. можна розрахувати

$$G_{IIref}(s) = \frac{I_L(s)}{I_{ref}(s)} = \frac{\frac{K_R U_2}{sL}}{1 + \frac{K_R U_2}{sL}} = \frac{K_R U_2}{sL + K_R U_2} = \frac{1}{s \frac{L}{K_R U_2} + 1}. \quad (2.43)$$

Функція передачі збурень згідно з рисунком 16 призводить до

$$G_{IUclosed}(s) = \frac{I_L(s)}{U_1(s)} = \frac{\frac{U_2}{sL}}{1 + \frac{K_R U_2}{sL}} = \frac{U_2}{sL + K_R U_2} = \frac{1}{K_R} \frac{1}{s \frac{L}{K_R U_2} + 1}. \quad (2.44)$$

2.3.4. Р-контролер

З графіка потоку сигналу (рисунок 2.16) і з функції передачі керування можна побачити, що Р-контролера достатньо для керування зарядним пристроєм.

На рисунку 2.19 показана передавальна функція розімкненого контуру підвищувального перетворювача з коефіцієнтом підсилення регулятора $K_R = 1$. Розімкнений контур показує інтегральну поведінку, лінію, яка падає з -20 дБ/декаду.

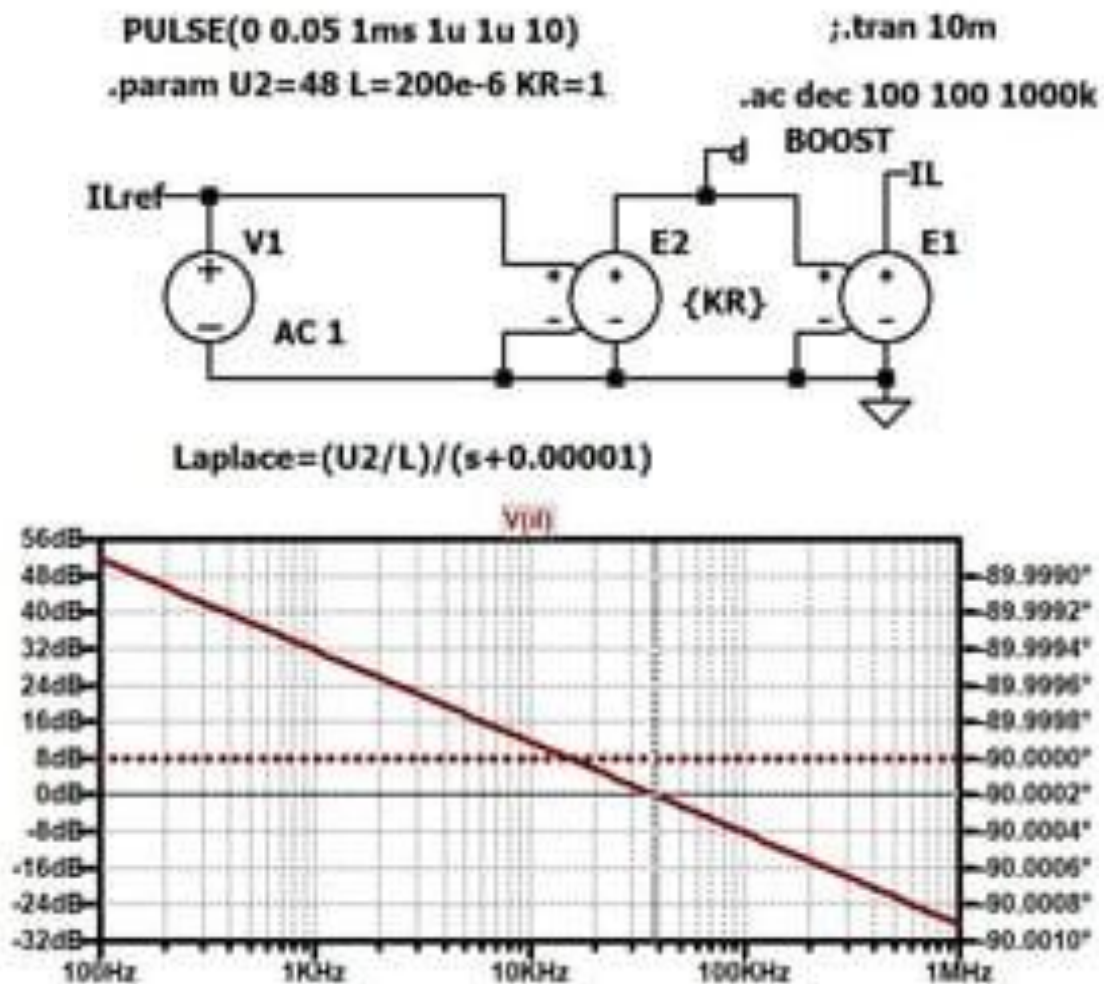


Рисунок 2.19. – Функція передачі разомкнутого контуру підвищувального перетворювача, коефіцієнт посилення регулятора $K_R = 1$: моделювання, графік

Бодє (суцїльна лїня: характеристика посилення, пунктирна лїня:
характеристика фази)

Дїаграма Бодє з замкнутим контуром показана на рисунку 2. 20 з $K_R = 1$.
Як і очїкувалося, має місце поведїнка РТ1.

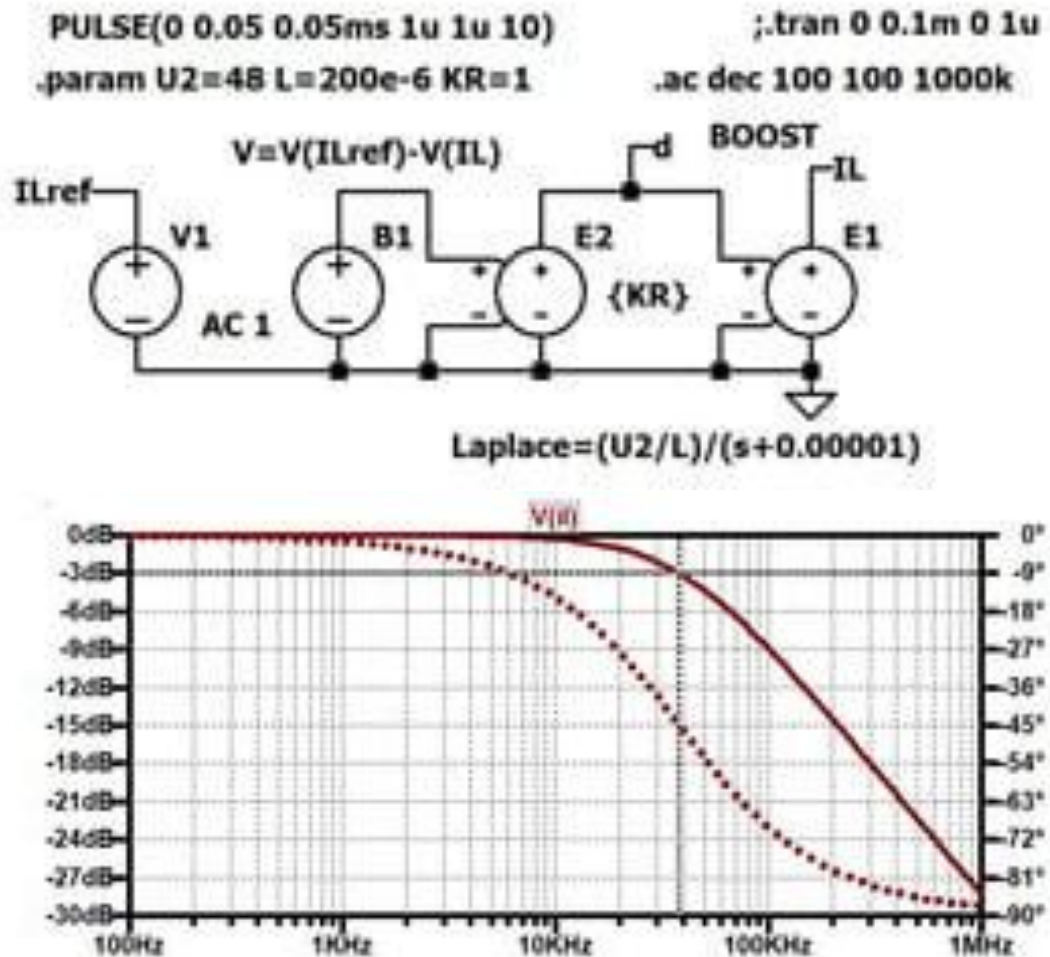


Рисунок 2.20. – Функція передачі замкнутого циклу підвищувального перетворювача, коефіцієнт посилення регулятора $K_R = 1$: моделювання, графік

Бодє (суцїльна лїня: характеристика посилення, пунктирна лїня:
характеристика фази)

Слід мати на увазі, що постійна часу керованої системи повинна бути більше періоду перемикання перетворювача. Тому коефіцієнт підсилення контролера слід зменшити. На рисунку 2.21 показана ступінчаста характеристика для $K_R = 1$ і для $K_R = 0,1$. У другому випадку стала часу більша. В обох випадках немає ні вильоту, ні дзвінка, ні стаціонарної помилки.

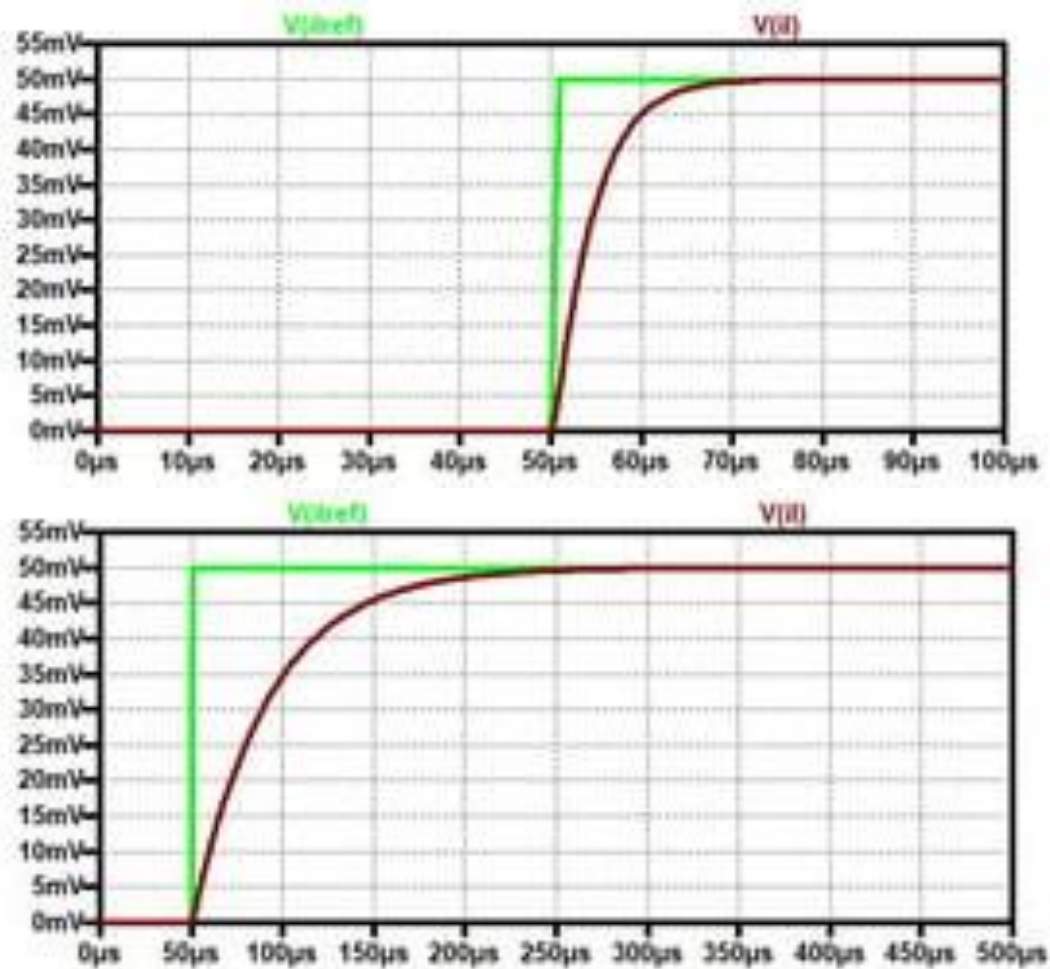


Рисунок 2.21. – Східчаста характеристика підвищувального перетворювача з Р-контролем: $K_R = 1$, $K_R = 0,2$

Тут ми досліджували вплив вхідної напруги. За функцією передачі збурень (44) можна зрозуміти, що виникне помилка в стаціонарному стані. На рисунку 2. 22 показано вплив зміни вхідної напруги. Зміна еталонного значення не призводить до помилки, але зміна вхідної напруги призводить до помилки струму. Чим менше коефіцієнт підсилення контролера, тим більше похибка струму.

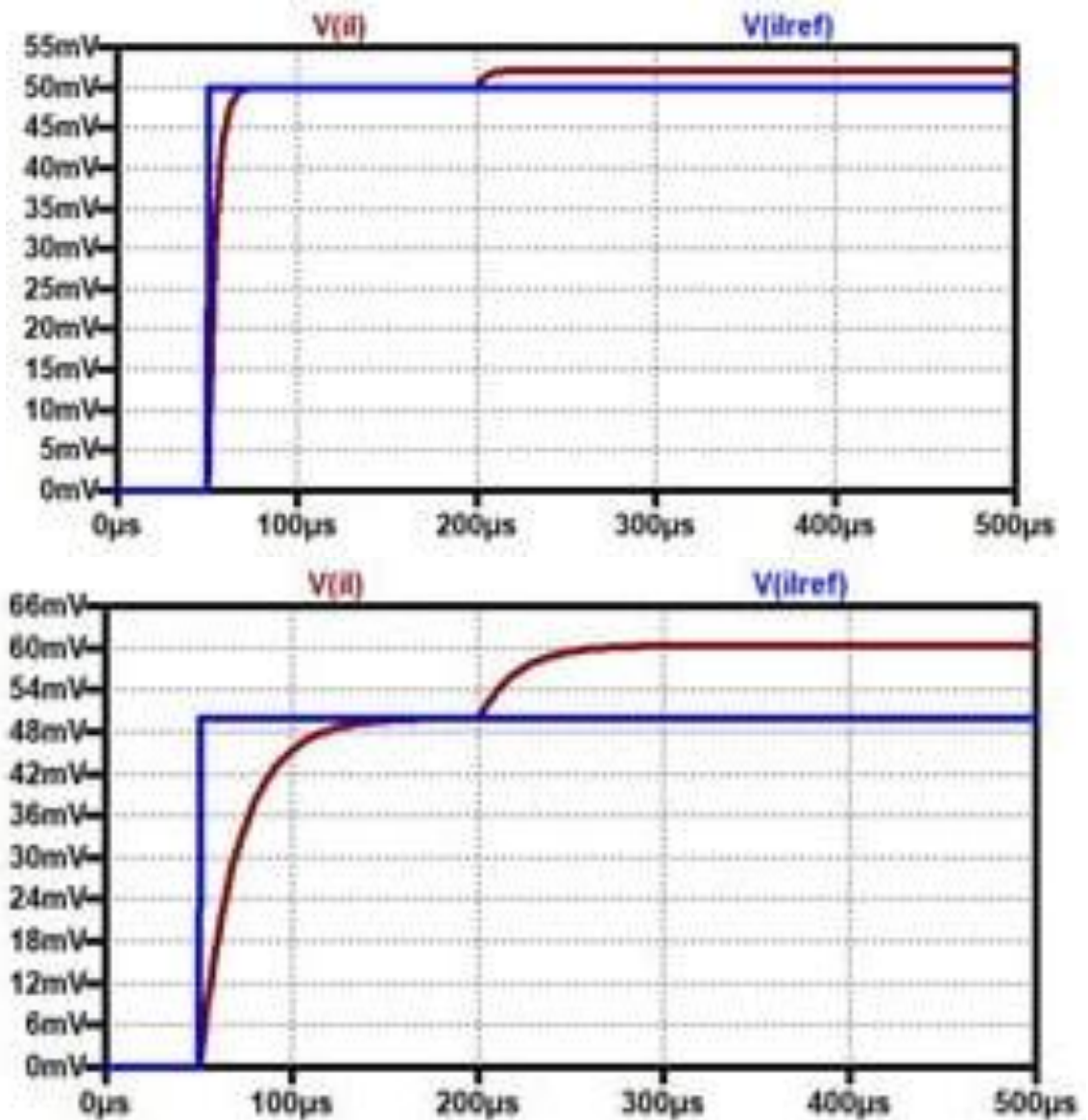


Рисунок 2.22. – Підвищувальний перетворювач з Р-контролем, опорне значення та крок входної напруги, ступінчаста характеристика: $K_R = 1$, $K_R = 0,2$

Найпростіший спосіб покращити поведінку – це використати пряме сповіщення, щоб зменшити помилку. Як показано в (21), компенсатор прямого зв'язку можна розрахувати шляхом ділення впливу збурення на передатну функцію установки, якою потрібно керувати. Отже, пишеться для компенсатора

$$K = \frac{\frac{1}{sL}}{\frac{U_2}{sL}} = \frac{1}{U_2}. \quad (2.45)$$

Чим вище вихідна напруга, тим краще буде компенсація. На рисунку 2.23 показана схема моделювання для прямої подачі завад і реакції на крок

еталонного значення (0,5 А) і два кроки вхідної напруги (1 В). Зараз помилки не виникає.

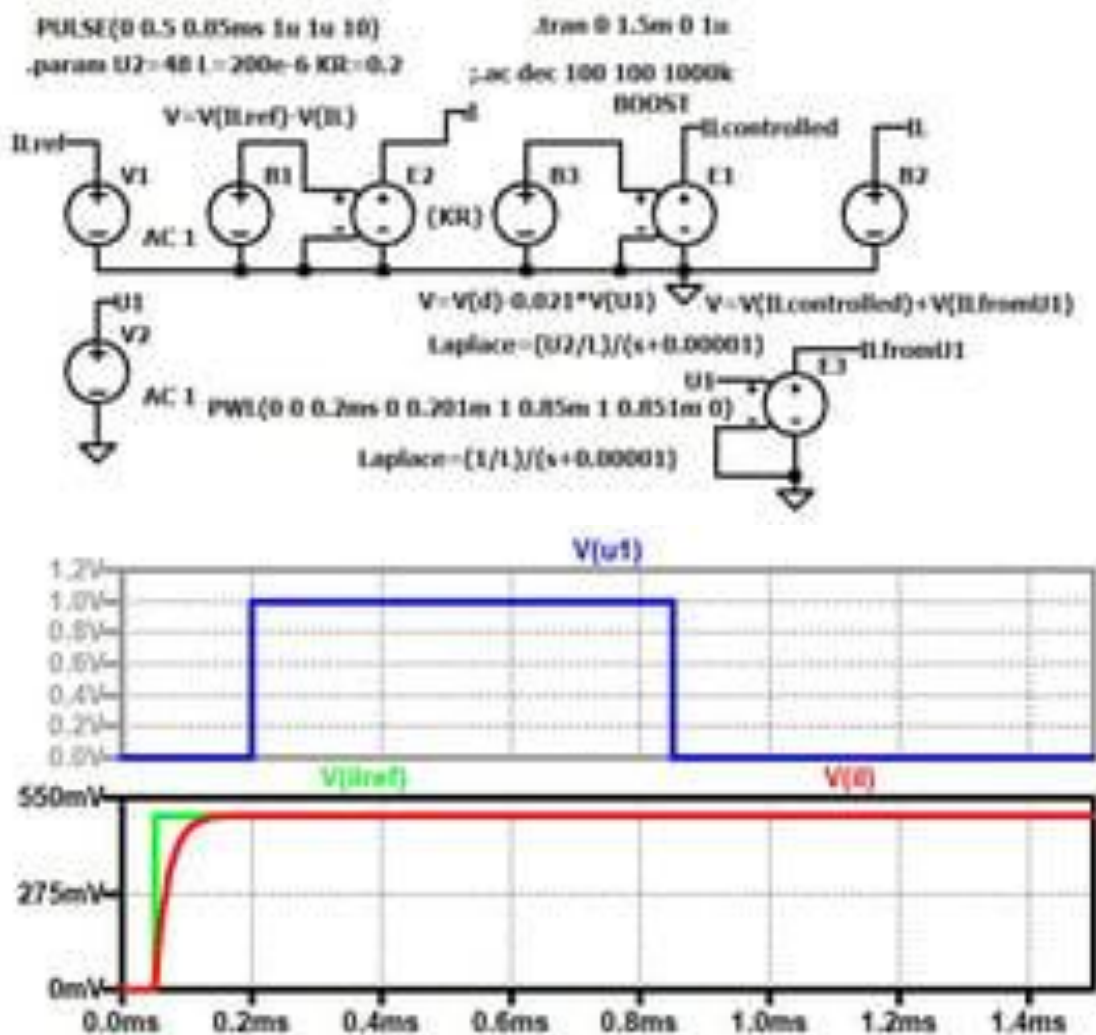


Рисунок 2.23. – Підвищувальний зарядний пристрій із прямим сповіщенням: схема моделювання та ступінчасті реакції

На рисунку 2.24 показано симуляцію, орієнтовану на схему, з Р-контролером. Контролер реалізований ОПУ (операційним підсилювачем) U2, ШІМ модулятор – компаратором U1. Струм через котушку індуктивності вимірюється за допомогою V3 і H1. Вихідний сигнал H1 можна відфільтрувати або, краще, дискретизувати в середині часу включення, щоб отримати середнє значення струму. На рисунку 2.25 показано вхідну напругу, еталонне значення та струм через котушку. Можна досягти гарної відповідності між еталонними

2.3.5. Контролер гістерезису

На рисунку 2.26 показано схему моделювання підвищувального перетворювача з керуванням гістерезисом. Струм вимірюється джерелом напруги V3 і передається в вимірювальний сигнал I_mes. Контролер реалізований компаратором U1, на який подається плюс/мінус 5 В. Ширина гістерезису фіксується резисторами R1 і R2. Опорний струм створюється джерелом напруги V4. З кусково-лінійним джерелом напруги V9 генерується сигнал запуску. За допомогою цього сигналу можна досягти того, що синхронізація транзистора починається після можливого пускового струму під час запуску системи. У зображеному випадку вихідна напруга вища за вхідну; тому пусковий струм не виникає. Кероване напругою джерело напруги E1 імітує драйвер (коефіцієнт 10 множить вихідний сигнал І-вентилятора A1 на коефіцієнт десять, щоб створити достатній сигнал затвора для MOSFET).

Контролер гістерезису забезпечує дуже надійну систему. Рисунок 2.27 показує поведінку системи. Сходинок вхідної напруги не впливають на струм. Зміни (рампи еталонного значення або кроки еталонного значення) призводять до негайної реакції струму. Немає перевищень або дзвінків.

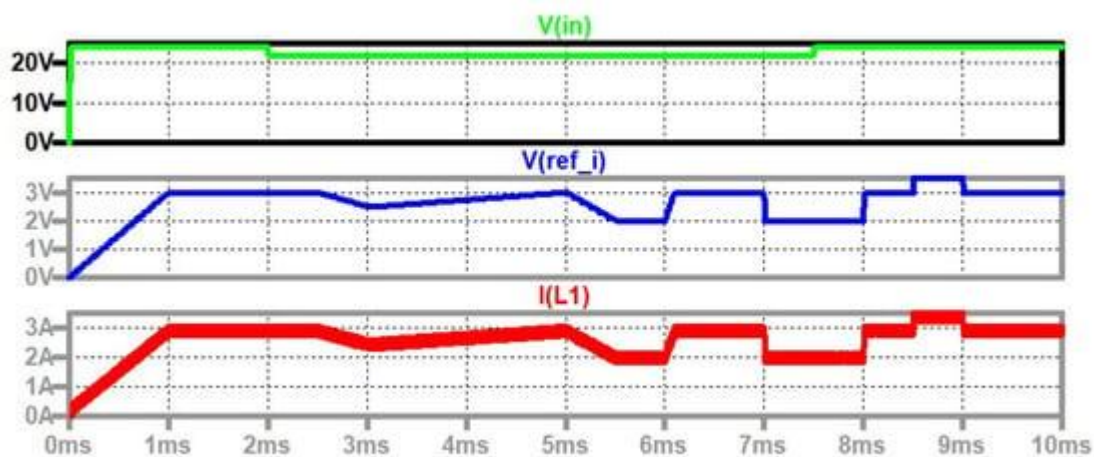


Рисунок 2.27. Підвищувальний перетворювач із керуванням гістерезисом (від підвищення до пониження): вхідна напруга (зелений), опорне значення (1 В дорівнює бажаному струму 1 А, синій), струм через котушку індуктивності (червоний)

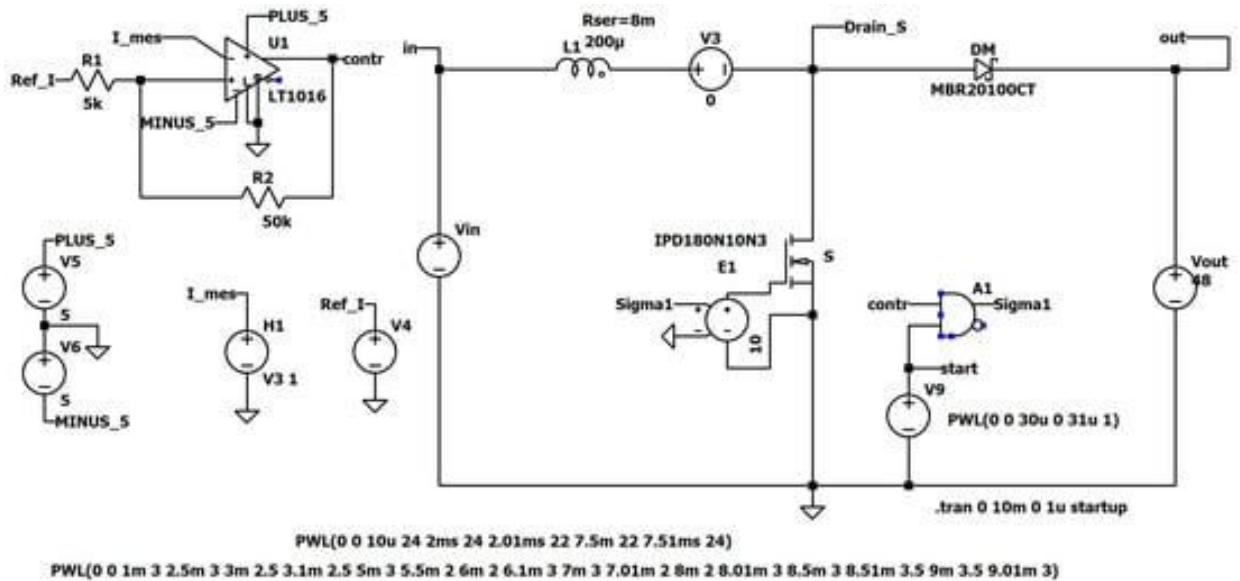


Рисунок 2.26. – Підвищувальний перетворювач з регулятором гістерезису

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2

Потенційна шкода тривалих відключень для економіки та домогосподарств очевидна. Таким чином, здається корисним інтегрувати невелику незалежну аварійну мережу постійного струму в приватні будинки, щоб заповнити прогалину, коли громадська мережа порушується. Прості батареї можна використовувати як накопичувачі. Ємність накопичувача залежить від навантажень, які необхідно поставити. Описані тут зарядні пристрої мають просту топологію та є похідними від DC-DC Buck і Boost перетворювачів. Завдяки постійній вихідній напрузі зарядні пристрої можна описати як системи першого порядку з інтегральною поведінкою. Тому можна використовувати Р-контролери. Однак функції передачі збурень показують, що при зміні входної напруги виникне стійка помилка. Для покращення системи можна використовувати метод прямого зв'язку збурень. Інша концепція контролера - це регулятор гістерезису. Ця концепція дуже надійна щодо змін параметрів і входних значень і негайно коригує фактичне значення. Зусилля для реалізації такої домашньої аварійної мережі постійного струму невеликі, а

контролери для зарядних пристроїв стійкі та прості в застосуванні. Крім того, система захищена від кібератак. Ємність накопичувача цієї додаткової мережі постійного струму може бути використана відповідно до перетворювача постійного струму в змінний струм для живлення мережі змінного струму домашнього господарства надлишковою енергією (наприклад, від сонячних генераторів, коли накопичувальні пристрої повністю заряджені), щоб зменшити енергетичні витрати.

ВИСНОВКИ Й РЕКОМЕНДАЦІЇ

В дослідженні запропоновані дві прості топології заряджання для живлення шини постійного струму або безпосередньої подачі енергії в акумуляторну батарею. Ми використовуємо прості контролери, щоб уникнути кібератак у цій аварійній системі. Кібератаки є важливою темою, яка зараз часто вивчається (наприклад, [21, 22, 23, 24]). Енергетичний менеджмент для розумних будівель обговорювався, наприклад, у [25]. Але мета нашої системи полягає в наступному: чим простіше система, тим вищий захист від зовнішніх атак. Розглянуті тут зарядні пристрої максимально прості.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Конституція України: Конституція України; Верховна Рада України від 28.06.1996 № 254к/96-ВР // База даних «Законодавство України» / 45 Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/254%D0%BA/96-%D0%B2%D1%80>.
2. Омельченко Володимир. Сектор відновлюваної енергетики України до, під час та після війни. Центр Разумкова. 2022. URL: <https://razumkov.org.ua/statti/sektor-vidnovlyuvanoyi-energetyky-ukrayiny-do-pidchas-ta-pislya-viyny>.
3. Про Концепцію діяльності органів виконавчої влади у забезпеченні енергетичної безпеки України : Постанова Кабінету Міністрів України від 19.01.1998 № 48 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/48-98-%D0%BF/>
4. Про нафту і газ : Закон України від 12.07.2001 № 2665-III URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/2665-14>.
5. Про Національний план дій з енергоефективності на період до 2030 року : Розпорядження Кабінету Міністрів України; План, Заходи від 12.2021 № 1803-р // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/1803-2021-%D1%80>.
6. Про Національну комісію, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг : Закон України від 22.09.2016 № 1540-VIII // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/1540-19>.
7. Про ринок електричної енергії : Закон України від 13.04.2017 № 2019-VIII URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/2019-19>.
8. Про схвалення Концепції впровадження “розумних мереж” в Україні до 2035 року : Розпорядження Кабінету Міністрів України; Концепція, План, Заходи від 14.10.2022 № 908-р // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/908-2022-%D1%80>
.

9. Про схвалення Плану розвитку системи передачі на 2021-2030 роки: Постанова; Нацком.енергетики, ком.послуг від 20.01.2021 № 57 // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/v0057874-21>.
10. Паливно-енергетичний комплекс України на порозі третього тисячоліття [За заг. ред. А.К. Шидловського, М.П. Ковалка]. – К.: УЕЗ, – 2001. – 398 с.
11. Енергетична безпека України: стратегія та механізми забезпечення / А. І. Шевцов, М. Г. Земляний, В. О. Бараннік [та ін.] ; за ред. А. І. Шевцова. Дніпропетровськ : Пороги, 2002. 264 с.
12. Енергетична безпека України. Світові та національні виклики / Б. С. Стогній, О. В. Кириленко, С. П. Денисюк. Київ : Українські енциклопедичні знання, 2006. 408 с.
13. Загрози енергетичній безпеці України в умовах посилення конкуренції на глобальному та регіональному ринках енергетичних ресурсів : аналіт. доп. / за заг. ред. А. Ю. Сменковського. Київ : НІСД, 2012. 136 с.
14. Бобров Є. Енергетична безпека держави : монографія. Київ : Ун-т економіки та права «КРОК», 2013. 308 с.
15. Luft G., Korin A. (Eds.). Energy Security Challenges for the 21st Century : A Reference Handbook. Praeger Security International, 2009.
16. Bohi D. R., Toman M. A., Walls M. A. The Economics of Energy Security. Massachusetts, Norwell : Kluwer Academic Publishers, 1996.
17. Sovacool B., Brown B. A. Competing Dimensions of Energy Security: An International Perspective. Annual Review of Environment and Resource. 2010. No. 35:1. Pp. 77–10. Doi: 10.1146/annurev-environ-042509-143035 (дата звернення: 24.01.2020).
18. A Quest for Energy Security in the 21st Century : Resources and Constraints / APERC. Japan, Tokyo : Institute of Energy Economics, 2007. Pp. 1–113.
19. Couder J. Literature Review on Energy Efficiency and Energy Security, including Power Reliability and Avoided Capacity Costs. 2015. URL: <https://combi-project.eu/wp-content/uploads/2015/09/D7.1.pdf> (дата звернення: 24.01.2020).

20. Енергетична безпека України: методологія системного аналізу та стратегічного планування : аналіт. доп. / [Суходоля О. М., Харазішвілі Ю. М., Бобро Д. Г., Сменковський А. Ю., Рябцев Г. Л., Завгородня С. П.] ; за заг. ред. О. М. Суходолі. – Київ : НІСД, 2020. – 178 с.
21. Cecilia, A.; Sahoo, S.; Dragicevic, T.; Costa-Castello, R.; Blaabjerg, F. On Addressing the Security and Stability Issues Due to False Data Injection Attacks in DC Microgrids—An Adaptive Observer Approach. *IEEE Trans. Power Electron.* 2021, 37, 2801–2814. [Google Scholar] [CrossRef]
22. Burgos-Mellado, C.; Donoso, F.; Dragicevic, T.; Cardenas-Dobson, R.; Wheeler, P.; Clare, J.C.; Watson, A.J. Cyber-Attacks in Modular Multilevel Converters. *IEEE Trans. Power Electron.* 2022, 37, 8488–8501. [Google Scholar] [CrossRef]
23. Zhang, J.; Guo, L.; Ye, J. Cyber-attack Detection for Photovoltaic Farms based on Power-Electronics-Enabled Harmonic State Space Modeling. *IEEE Trans. Smart Grid* 2022, 13, 3929–3942. [Google Scholar] [CrossRef]
24. Qiu, W.; Sun, K.; Li, K.-J.; Li, Y.; Duan, J.; Zhu, K. Cyber-Attack Detection: Modeling and Roof-PV Generation System Defending. *IEEE Trans. Ind. Appl.* 2023, 59, 160–168. [Google Scholar] [CrossRef]
25. Chatterjee, A.; Paul, S.; Ganguly, B. Multi-Objective Energy Management of a Smart Home in Real Time Environment. *IEEE Trans. Ind. Appl.* 2023, 59, 138–147. [Google Scholar] [CrossRef]
26. Anees, M.; Moaz, T.; Hussain, S.; Khan, H.A.; Nasir, M. Evaluation of System Losses for 48V and 380V Solar Powered LVDC Microgrids. In *Proceedings of the 2020 IEEE Power & Energy Society General Meeting (PESGM)*, Montreal, QC, Canada, 2–6 August 2020; pp. 1–5. [Google Scholar] [CrossRef]
27. Ambriz, O.; Onofre, L.; Hamlin, J.; Taufik, T.; Hasanah, R.N. Bi-Directional DC-DC Converter for the DC House Project. In *Proceedings of the 2020 FORTEI-International Conference on Electrical Engineering (FORTEI-ICEE)*, Bandung, Indonesia, 23–24 September 2020; pp. 80–85. [Google Scholar] [CrossRef]

28. Odo, P. Islanded dc Microgrid Design Using Non-Isolated Bidirectional Interleaved Half Bridge Converter for Energy Storage Application in a dc Microgrid. In Proceedings of the 2020 6th IEEE International Energy Conference (ENERGYCon), Gammarth, Tunisia, 28 September–1 October 2020; pp. 773–781. [Google Scholar] [CrossRef]
29. Gospodinova, D.; Milanov, K.; Georgiev, M.; Dineff, P. Battery Choice According to Weather Conditions of a Hybrid System Designed for a Single-Family House in Bulgaria. In Proceedings of the 2021 13th Electrical Engineering Faculty Conference (BulEF), Varna, Bulgaria, 8–11 September 2021; pp. 1–5. [Google Scholar] [CrossRef]
30. Moller, M.; Krauter, S. Model of an Autoumous PV Home using a Hybrid Storage System based on Li-ion batteries and Hydrogen Storage with Waste Heat Utilization. In Proceedings of the 2022 IEEE 49th Photovoltaics Specialists Conference (PVSC), Philadelphia, PA, USA, 5–10 June 2022; pp. 650–652. [Google Scholar] [CrossRef]
31. Datasheet: AccuForce 12V-100Ah Lead Acid Battery (VRLA). Available online: <https://energypower.gr/wp-content/uploads/2017/04/accuforce-12v-100ah.pdf> (accessed on 25 March 2023).
32. Alavi, S.M.M.; Mahdi, A.; Payne, S.J.; Howey, D.A. Identifiability of Generalized Randles Circuit Models. *IEEE Trans. Control Syst. Technol.* 2017, 25, 2112–2120. [Google Scholar] [CrossRef] [Green Version]
33. Sihvo, J.; Stroe, D.-I.; Messo, T.; Roinila, T. Fast Approach for Battery Impedance Identification Using Pseudo-Random Sequence Signals. *IEEE Trans. Power Electron.* 2019, 35, 2548–2557. [Google Scholar] [CrossRef]
34. Zhu, J.; Sun, Z.; Wei, X.; Dai, H. Studies on the medium-frequency impedance arc for Lithium-ion batteries considering various alternating current amplitudes. *J. Appl. Electrochem.* 2015, 46, 157–167. [Google Scholar] [CrossRef]
35. Wu, S.-L.; Chen, H.-C.; Chou, S.-R. Fast Estimation of State of Charge for Lithium-Ion Batteries. *Energies* 2014, 7, 3438–3452. [Google Scholar] [CrossRef]

36. Mohan, N.; Undeland, T.; Robbins, W. Power Electronics, Converters, Applications and Design, 3rd ed.; John Wiley & Sons: New York, NY, USA, 2003. [Google Scholar]
37. Zach, F. Power Electronics, in German: Leistungselektronik, 6th ed.; Springer: Frankfurt, Germany, 2022. [Google Scholar]
38. Rozanov, Y.; Ryvkin, S.; Chaplygin, E.; Voronin, P. Power Electronics Basics; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2016. [Google Scholar]
39. Bosnjic, Z.; Krischan, K. Single-phase grid interface for home energy storage. *Elektrotech. Inftech.* 2023, 140, 103–109. [Google Scholar] [CrossRef]
40. Heydari-Doostabad, H.; Hosseini, S.H.; Ghazi, R.; O'Donnell, T. Pseudo DC-Link EV Home Charger With a High Semiconductor Device Utilization Factor. *IEEE Trans. Ind. Electron.* 2021, 69, 2459–2469. [Google Scholar] [CrossRef]
41. Kudryavtsev, A.; Zatsepina, V. Laboratory Installation to Demonstrate the Advantages of a DC Network in a Smart Home. In Proceedings of the 2022 2nd International Conference on Technology Enhanced Learning in Higher Education (TELE), Lipetsk, Russia, 26–27 May 2022; pp. 105–108. [Google Scholar] [CrossRef]
42. Carvalho, E.L.; Blinov, A.; Chub, A.; Vinnikov, D. Overview of Single-Stage Isolated AC-DC Topologies for Interfacing DC and AC Grids. In Proceedings of the 2022 IEEE 13th International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems (PEDG), Kiel, Germany, 26–29 June 2022; pp. 1–6. [Google Scholar] [CrossRef]
43. Carvalho, E.L.; Blinov, A.; Chub, A.; Vinnikov, D. Analysis of Holdup Time for DC Grid-Forming Isolated Active Front-End Converters. In Proceedings of the IECON 2022–48th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Brussels, Belgium, 17–20 October 2022; pp. 1–6. [Google Scholar] [CrossRef]
44. Sunny, A.C.; Surulivel, N.; Debnath, D. Solar-Battery-Integrated Hybrid AC/DC Off-Grid System for Rural Households Based on a Novel Multioutput Converter.

- IEEE J. Emerg. Sel. Top. Power Electron. 2022, 10, 6208–6217. [Google Scholar] [CrossRef]
45. Manas, K.; Gupta, J.; Singh, B. Roof Top Solar PV Supported Electric Vehicle Charging System for Home Parking Spaces. In Proceedings of the 2022 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting (IAS), Detroit, MI, USA, 9–13 October 2022; pp. 1–6. [Google Scholar] [CrossRef]
 46. Zhao, D.; Jiang, S.; Hu, D.; Wang, Y.; Jin, X.; Sun, C. Summary and Prospect of Technology Development of MVDC and LVDC Distribution Technology. In Proceedings of the 2022 IEEE 5th International Electrical and Energy Conference (CIEEC), Nangjing, China, 27–29 May 2022; pp. 1294–1300. [Google Scholar] [CrossRef]
 47. Kaushik, H.; Bhushan, B. Performance Analysis of Boost Converters in a PV System with P and O based MPPT Controller connected to a Battery Backup and Grid. In Proceedings of the 2022 IEEE Delhi Section Conference (DELCON), New Delhi, India, 11–13 February 2022; pp. 1–7. [Google Scholar] [CrossRef]
 48. Li, L.; Li, K.-J.; Sun, K.; Liu, Z.; Lee, W.-J. A Comparative Study on Voltage Level Standard for DC Residential Power Systems. *IEEE Trans. Ind. Appl.* 2022, 58, 1446–1455. [Google Scholar] [CrossRef]
 49. Tyagi, S.; Singh, B. A Solar PV-Small Hydro Energy Conversion System Powered Charging Infrastructure. In Proceedings of the 2022 IEEE IAS Global Conference on Emerging Technologies (GlobConET), Arad, Romania, 20–22 May 2022; pp. 503–508. [Google Scholar] [CrossRef]
 50. Himmelstoss, F.A. Design of State-Space Controllers with the Help of Signal Flow Graphs Shown for a Buck Converter. *WSEAS Trans. Syst.* 2022, 21, 421–429. [Google Scholar] [CrossRef]