Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
(повне найменування вищого навчального закладу)
Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(назва факультету)
Кафедра електричної інженерії
(повна назва кафедри)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до дипломної роботи

магістр
(освітній ступінь (освітньо-кваліфікаційний рівень))

на тему: ***ВИКОРИСТАННЯ ПОНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ЖИВЛЕННЯ БЕЗПРОВІДНИХ ДАВАЧІВ (НА ПРИКЛАДІ ДАВАЧІВ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИХ ГАЗІВ)***

Виконав: студент (ка) 6 курсу, групи $ЕМ_м$-61
спеціальності (напряму підготовки)
141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(шифр і назва спеціальності (напряму підготовки))

	(підпис)	**Руцький Н.Ю.** (прізвище та ініціали)
Керівник	(підпис)	**Лупенко А.М.** (прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	(підпис)	Коваль В.П. (прізвище та ініціали)
Рецензент	(підпис)	(прізвище та ініціали)

м. Тернопіль – 2019

Created by Universal Document Converter

РЕФЕРАТ

Дипломна робота магістра на тему «Використання поновлювальних джерел енергії для живлення безпровідних давачів (на прикладі давачів вибухонебезпечних газів)» містить 116 сторінок основного тексту, 40 рисунки, 9 таблиць та 38 літературних джерела.

Об'єкт дослідження: процеси перетворення, накопичення розподілу та споживання електроенергії у енергоустановці для живлення бездротових датчиків газу від поновлюваних джерел енергії.

Предмет дослідження: енергоустановки, засновані на комплексному використанні сонячної та вітрової енергії.

Мета роботи. Розробка енергоустановки на базі поновлюваних джерел енергії для живлення малопотужних бездротових датчиків вибухонебезпечних і токсичних газів.

У роботі: наведено аналіз джерел енергії для ефективного використання в малопотужних електронних пристроях і системах; визначено конструктивно-технологічні принципи створення енергоустановки для живлення бездротових датчиків газу від поновлюваних джерел енергії; розроблено алгоритми зарядки накопичувального елемента і оптимізації збору енергії від альтернативних джерел енергії.

Ключові слова: ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, БУДИНОК, ПРОЕКТУВАННЯ, ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Created by Universal Document Converter

ЗМІСТ

ВСТУП

РОЗДІЛ 1. ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД 10

1.1. Сонячна батарея..... 10

1.2. Спектр сонячного випромінювання, основні параметри випромінювання 11

1.2. Енергія вітру 12

1.3. Бездротова сенсорна мережа..... 15

1.4. Опис основних компонентів бездротової сенсорної мережі 16

1.5. Сенсорні мережі призначені для аналізу газів..... 18

1.6. Енергоефективність енергоспоживання давачів газу..... 22

1.7. Висновки до розділу 1 28

РОЗДІЛ 2. ОСНОВНА ЧАСТИНА..... 30

2.1. Теоретичні основи створення платформи живлення бездротових газових давачів від поновлюваних джерел енергії 30

2.1.1. Оцінка споживання потужності бездротовими давачами газу..... 30

2.1.2. Загальні поняття для створення енергоустановки по акумулюванню енергії з навколишнього середовища 34

2.1.3 Лінійні регулятори..... 36

2.1.4 Ключові стабілізатори напруги..... 38

2.1.5. Основні принципи енергоефективного відбору енергії від сонячної панелі для енергоустановки 50

2.2. Розробка енергоустановки на базі поновлюваних джерел енергії для живлення бездротових давачів газу 52

2.2.1. Проектування схеми енергоустановки по акумулюванню енергії від поновлюваних джерел енергії52

2.2.2. Алгоритми вибору джерела живлення і зарядки суперконденсатора 59

					ДРМ 322.18.00.00.000 ПЗ		
Змн.	*Арк.*	*№ докум.*	*Підпис*	*Дата*			
Розробив		*Руцький Н.Ю.*			*ЗМІСТ*	*Літ.*	*Аркуш* 4 / *Аркушів*
Перевірив		*Лупенко А.М.*					
Консульт.		*Лупенко А.М.*				*гр.ЕМм-61, ФПТ, ТНТУ*	
Н. Контр.		*Коваль В.П.*					
Зав каф.		*Тарасенко М.Г.*					

Created by Universal Document Converter

2.3. Реалізація макета інтелектуального джерела живлення інтегрувального в корпус сенсорного вузла з можливістю генерації та накопичення енергії Сонця і вітру 62
2.4. Дослідження вітрогенератора 67
2.5. Дослідження процесу генерування електроенергії сонячною батареєю 70
2.6. Автономна робота давача чадного газу на основі живлення від поновлюваних джерел енергії 72
2.7. Автономна робота давача метану на основі живлення від поновлюваних джерел енергії 77
2.8. Перспектива застосування енергоустановки на базі поновлюваних джерел енергії для живлення бездротових сенсорних мереж 81
2.9. Висновки до розділу 82
РОЗДІЛ 3. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА 87
3.1. Структура САПР 87
3.2. Використання можливостей MS Excel для fналізе даних за допомогою діаграм 89
3.3. Висновки до розділу 91
РОЗДІЛ 4. ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ 92
4.1. Сонячна енергетика 92
4.2. Розрахунок економічних показників 94
4.3. Висновок до розділу 97
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ 98
5.1. Інструктажі з охорони праці 98
5.2. Класифікація приміщень за небезпекою електротравм 101
5.3. Оцінка впливу вражаючих факторів надзвичайних ситуацій мирного і воєнного часу на об'єкти господарювання 102
РОЗДІЛ 6. ЕКОЛОГІЯ 104
6.1. Альтернативні джерела енергії 104
6.2. Ресурсозбереження, безвідходні і маловідходні технології, утилізація відходів, екологізація виробництва 107
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ 110
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ 112

Created by Universal Document Converter

ВСТУП

Актуальність теми. В даний час все більш актуальним завданням стає контроль якості повітря, який включає в себе контроль концентрації вуглеводнів, чадного і вуглекислого газів, кисню та інших газів як в житлових і промислових приміщеннях, так і на відкритих просторах.

Найбільш ефективне здійснення моніторингу газового складу навколишньої атмосфери може бути здійснено шляхом розгортання бездротових сенсорних мереж, що охоплюють великі території і забезпечують безперервний контроль наявності горючих, токсичних і вибухонебезпечних газів. Провідні датчики застосовуються в даний час, можуть виявитися непрактичними в деяких завданнях коли мережа складається і з тисяч сенсорних модулів. Причина полягає в тому, що проводити кабельні лінії в таких випадках з урахуванням існуючих фізичних обставин або величезної кількості часу необхідного для розгортання дротяних датчиків, може вважатися неможливим.

Однак необхідно відзначити, що при відсутності живлення від кабельних ліній, час роботи бездротових газових датчиків обмежується ємністю батарей. Ця проблема ускладнюється, коли здійснюється моніторинг горючих газів, оскільки, датчики вказаного типу споживають значну кількість енергії. Процедура заміни батарей в бездротових сенсорних мережах,що містять велику кількість датчиків забирає багато часу особливо коли бездротова сенсорна мережа розгорнута в несприятливому місці в плані кліматичних і географічних умов, що і є важливим в задачах нафтогазової промисловості, таких як, моніторинг газу по трубопровідних мережах.

Таким чином, завдання забезпечення стабільного джерела живлення для бездротових датчиків газу є актуальним. Для того , щоб збільшити час

Created by Universal Document Converter

автономної роботи датчиків газу, одним варіантом є живлення бездротових датчиків від поновлюваних джерел енергії. У природі існують різні види енергії які можна збирати і перетворювати в електричну енергію.

У даній роботі розробляється енергоустановка, яка акумулює енергію від Сонця і вітру для живлення бездротових датчиків газу призначених для роботи в складі бездротової сенсорної мережі. Для проектування енергоустановки необхідно вибрати джерела енергії на основі аналізу потужних характеристик датчиків газу, проаналізувати варіанти проектування схеми регулювання потужності і вибрати параметри для її реалізації з огляду на потреби по потужності компонентів бездротового газового датчика, розробити схему джерела живлення і алгоритми по оптимізації збору енергії від альтернативних джерел енергії.

Об'єкт дослідження: процеси перетворення, накопичення розподілу та споживання електроенергії у енергоустановці для живлення бездротових датчиків газу від поновлюваних джерел енергії.

Предмет дослідження: енергоустановки, засновані на комплексному використанні сонячної та вітрової енергії.

Мета роботи. Розробка енергоустановки на базі поновлюваних джерел енергії для живлення малопотужних бездротових датчиків вибухонебезпечних і токсичних газів.

Для досягнення мети були поставлені такі **завдання**:

- аналіз джерел енергії для ефективного використання в малопотужних електронних пристроях і системах.
- визначення конструктивно-технологічних принципів створення енергоустановки для живлення бездротових датчиків газу від поновлюваних джерел енергії;
- розробка алгоритмів зарядки накопичувального елемента і оптимізація збору енергії від альтернативних джерел енергії.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

Created by Universal Document Converter

1. Запропоновано енергоустановку, яка збирає і акумулює альтернативну енергію Сонця та вітру для живлення малопотужних пристроїв, зокрема, бездротових газових давачів, які призначені для роботи в складі автономних бездротових сенсорних мереж і забезпечують моніторинг газового повітря і передачу даних по радіоканалу.

2. Показана ефективність використання суперконденсаторі (іоністорів) в якості накопичувачів електроенергії в енергетичній установці. Запропоновано схемотехнічне рішення, що забезпечує ефективну зарядку суперконденсаторів від сонячної батареї і вітрогенератора шляхом завершення зарядки одного суперконденсатора за рахунок перенаправлення енергії на повному обсязі на зарядку іншого суперконденсатора.

3. Показана можливість тривалої автономної роботи бездротових датчиків чадного газу і метану з живленням від розробленої енергоустановки, що дозволяє використовувати давачі для моніторингу токсичних і вибухонебезпечних газів в місцях з відсутнім мережевим живленням.

Метод досліджень. Для вирішення поставлених завдань були здійснені теоретичні розрахунки, а виконані експериментальні дослідження показали хороший збіг теорії з експериментом.

Практична цінність роботи.

1. Розроблено нову високоефективну енергоустановку для акумулювання електроенергії від поновлюваних джерел. Розроблена енергоустановки складається з пристрою збору енергії, двох суперконденсаторів , первинного літієвого елементу, комутаційного блока, блока вибору джерела живлення, перетворювача напруги та мікроконтролера.

2. Досліджено роботу джерел живлення енергоустановки, призначеної для автономної роботи в складі бездротових сенсорних мереж з моніторингу токсичних і вибухонебезпечних газів в місцях з відсутнім живленням від мережі.

Created by Universal Document Converter

Апробація результатів роботи. Окремі результати роботи доповідались на VII Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», 27-28 листопада 2019 року. ТНТУ.

Структура роботи. Робота складається з розрахунково-пояснювальної записки та графічної частини. Розрахунково-пояснювальна записка складається з вступу, 6 частин, висновків та переліку посилань. Об'єм роботи: розрахунково-пояснювальна записка – 116 арк. формату А4, графічна частина – аркушів презентації.

Created by Universal Document Converter

РОЗДІЛ 1.
ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1. Сонячна батарея

«Сонячна батарея (рис. 1.1) – це кілька об'єднаних фотоелектричних перетворювачів (фотоелементів) - напівпровідникових пристроїв, прямо перетворюють сонячну енергію в постійний електричний струм, на відміну від сонячних колекторів, які виробляють нагрівання матеріалу-теплоносія. Різні пристрої, що дозволяють перетворювати сонячне випромінювання в теплову та електричну енергію, є об'єктом дослідження геліоенергетики (від гелиос грец. Ήλιος, Helios - Сонце)» [1].



Рис. 1.1. Сонячна батарея

					ДРМ 322.18.00.00.000 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробив		Руцький Н.Ю.			РОЗДІЛ 1	Літ.	Аркуш 10 / Аркушів
Перевірив		Лупенко А.М.					
Консульт.		Лупенко А.М.					
Н. Контр.		Коваль В.П.					
Зав каф.		Тарасенко М.Г.				гр.ЕМм-61, ФПТ, ТНТУ	

Created by Universal Document Converter

1.2. Спектр сонячного випромінювання, основні параметри випромінювання

При проходженні через атмосферу сонячне світло послаблюється за рахунок поглинання інфрачервоного випромінювання парами води, ультрафіолетового випромінювання озоном і розсіювання випромінювання молекулами газів і частинками. «Параметр, що відображає вплив атмосфери на сонячне випромінювання, що доходить до земної поверхні - атмосферна маса (або повітряна маса). Атмосферна маса - це довжина шляху, який проходить світло через атмосферу, віднесена до найкоротшому можливому шляху (Сонце знаходиться в зеніті)» [2]. Атмосферна маса показує на скільки зменшилася спектральна щільність потоку випромінювання після проходження через атмосферу і поглинання повітрям і пилом.

Спектр сонячного випромінювання може бути апроксимувати спектром випромінювання абсолютно чорного тіла при температурі 5762K (рис.1.2).

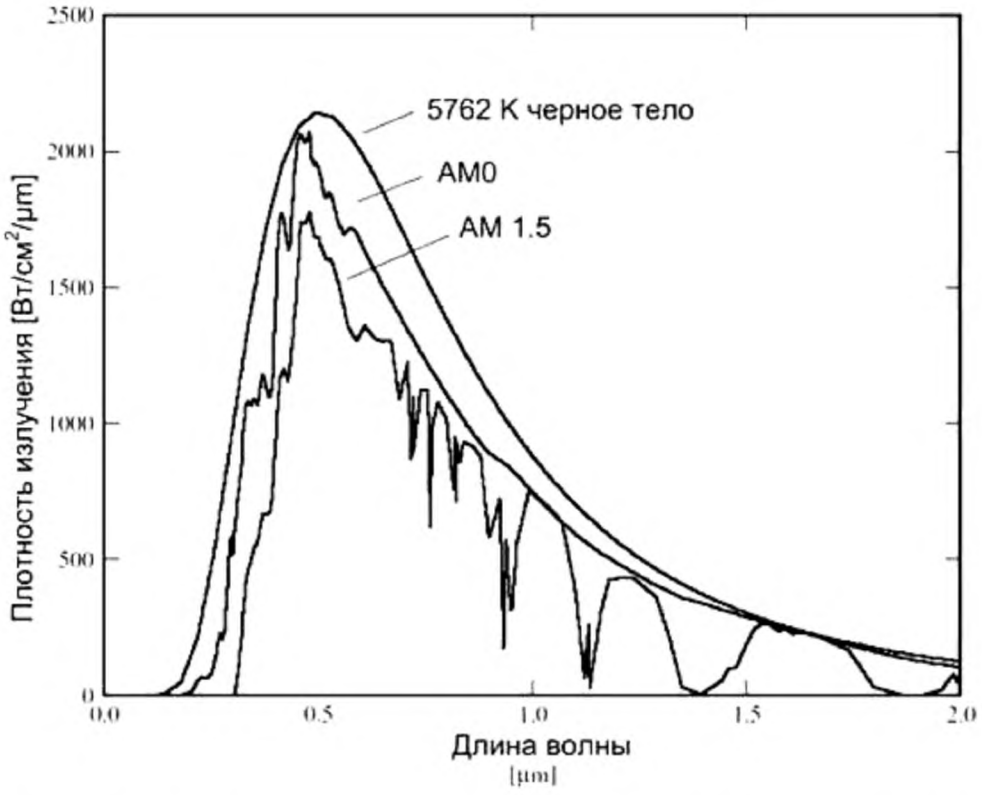


Рис. 1.2. Залежність щільності випромінювання від довжини хвилі

Created by Universal Document Converter

Через параметр атмосферної маси може бути визначена інтенсивність сонячного випромінювання падаючого на поверхню фотоелектричного перетворювача. Розрізняють інтенсивність прямої складової і загальну інтенсивність.

Загальна інтенсивність включає пряму і дифузну складову. На практиці величина дифузійної складової приймається рівною 10% від прямої. Залежно від складу випромінювання спектри по АМ можуть мати позначення D (direct) і G (global).

Стандартний спектр на поверхні Землі відповідає атмосферної масі AM1.5 (AM1.5G). Розрахувавши по (2 і 3) інтенсивність для AM1.5G отримаємо 931 Вт / $м^2$. На практиці стандартом визначено значення інтенсивності (нормалізована сумарна щільність випромінювання), що дорівнює 1 кВт / $м^2$. Стандартний спектр поза земною атмосферою відповідає AM0, так як світло не послаблюється атмосферою. Цей спектр використовують для розрахунку сонячних елементів орбітальних апаратів.

1.2. Енергія вітру

Сучасний період характеризується високими темпами освоєння світового вітроенергетичного потенціалу. Динаміка зростання потужностей на ВЕС показана на рис. 1.3. На кінець 2005 року загальна встановлена потужність вітроелектричних станцій (ВЕС) в світі склала близько 60 ГВт (у Європі - 40,8 ГВт). За наявними прогнозами до 2020 року сумарна встановлена потужність ВЕС у світі може зрости до 1200 ГВт, а до 2040 року - до 3100 ГВт [3].

Created by Universal Document Converter

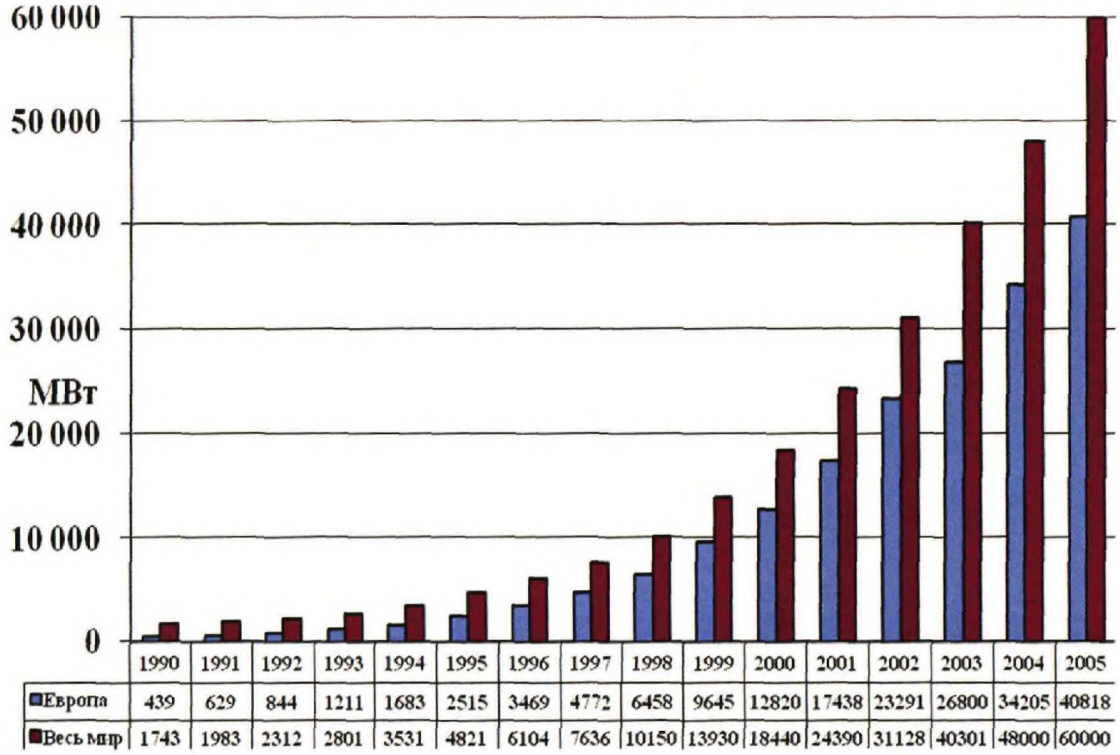


Рис. 1.3. Динаміка зростання встановленої потужності ВЕУ

В Україні в даний час намічається підвищений інтерес до розвитку великої вітроенергетики. Україна відстає від провідних країн у розробці та виробництві великих ВЕУ. У той же час технічні показники вітчизняних малих ВЕУ знаходяться на сучасному світовому рівні.

Для енергопостачання віддалених та ізольованих споживачів з успіхом можуть бути використані ВЕУ малої потужності. Зокрема, для енергозабезпечення базових стільникових станцій в гірських, пустельних і північних регіонах, електропостачання будинків і селищ, віддалених від ліній електропередач (ЛЕП), аеродромних вогнів, геологічних експедицій, пасовищ та інших сільськогосподарських об'єктів, об'єктів військового та цивільного призначення, районів надзвичайних ситуацій, а також для електропостачання обладнання газоперекачувальних станцій, систем корозійного захисту нафтогазопроводів і т.п.

При появі в останні роки нових магнітних та полімерних матеріалів, досягнень в областях аеродинаміки, електромеханіки, електроніки та

Created by Universal Document Converter

перетворювальної техніки, автоматизованих системах управління і технології дозволили створити нове покоління ВЕУ.

Існуючі моделі ВЕУ можна класифікувати за призначенням на три основні класи: мережеві, гібридні і автономні [4].

Мережеві ВЕУ це, як правило, установки великої одиничної потужності, які працюють паралельно з потужною енергосистемою. За призначенням є джерелами отримання, та віддачі в електричну мережу максимально можливої виробленої електроенергії. Рекордний за потужністю агрегат був змонтований у м. Емдем (Німеччина). Потужність агрегату становить 6 МВт, висота гондоли 124 м і діаметр ротора 114 м [5].

Гібридні установки працюють паралельно з незалежними електростанціями співрозмірної потужності (дизель-генератори, малі ГЕС і ін). За призначенням є джерелами електроживлення для безперебійного постачання споживачів електроенергією номінальної потужності.

Автономні ж агрегати є джерелами електроживлення споживачів, не пов'язані з електричною мережею. В основному мають маленьку номінальну потужність і працюють, як правило, на невелике число споживачів.

На основі проведеного аналізу можна сформулювати такі основні вимоги, які повинні пред'являтися до малих ВЕУ потужністю до 10 кВт:

1. З урахуванням того, що на 70 % території України середня швидкість вітру 4 м/с (на висоті спостережень 10-12 м), ВЕУ малої потужності повинні мати розрахункову швидкість не більше 7-8 м / с.

2. Автономні ВЕУ повинні забезпечувати безперебійне електропостачання споживачів енергії. Резервне електропостачання може забезпечуватися з використанням акумуляторних станцій і резервних первинних джерел електричної енергії: сонячних батарей і бензинових або дизельних агрегатів малої потужності. Такі системи з ВЕУ можна назвати вітрокомплексами.

Created by Universal Document Converter

3. За екологічним нормам автономні вітрокомплекси і окремі ВЕУ не повинні створювати підвищений шум при регулюванні ротора.

4. Вітроустановки малої потужності, як у мобільному виконанні, так і в стаціонарному, повинні мати малу масу і габарити. Це забезпечується застосуванням швидкохідних коліс, що дозволить зменшити масу генератора і виключити мультиплікатор.

5. Генератор ВЕУ повинен мати мінімальний момент рушання.

6. ВЕУ повинні працювати в широкому діапазоні вітрів в будь-яких погодних умовах, що накладає вимоги на виконання генератора і необхідність застосування регулювання частоти обертання ротора одним з відомих способів: зміною кута лопатей, або відходом ротора від вітру.

7. Для обслуговування вітроустановок потужністю понад 4 кВт необхідний механічний гальмівний пристрій, тому що електричним способом загальмувати ротор досить складно [6].

1.3. Бездротова сенсорна мережа

Бездротова сенсорна мережа (БСС) складається з модулів-давачів розподілених по території для вимірювання параметрів навколишнього середовища, зберігання інформації і передачі даних по бездротовому каналу. Проблема яка може зустрічатися в деяких задачах виконуваних провідними мережами полягає в труднощі проведення кабелів пов'язаних із фізичними перешкодами та існуванням величезної кількості давачів.

У структуру сенсорного модуля входять: передавач, давач, мікроконтролер і блок живлення [7]. У сенсорних мережах може бути одна або більше базових станцій для збору даних зі всіх сенсорних модулів. На рис. 1.4 преставлена структура БСС що складається з давачів, базової станції і пунктів отримання інформації. Базова станція передає дані до кінцевих пунктів по локальній мережі (LAN) або Інтернету. Необхідно відзначити, що базова станція має і можливість вимірювання даних. Бездротові сенсорні

Created by Universal Document Converter

мережі можуть застосовуватися в промислових і населених пунктах. Серед завдань, що можуть виконувати зазначені мережі є: управління розумними будинками, моніторинг процесів і стану навколишнього середовища і.т.д. [8].

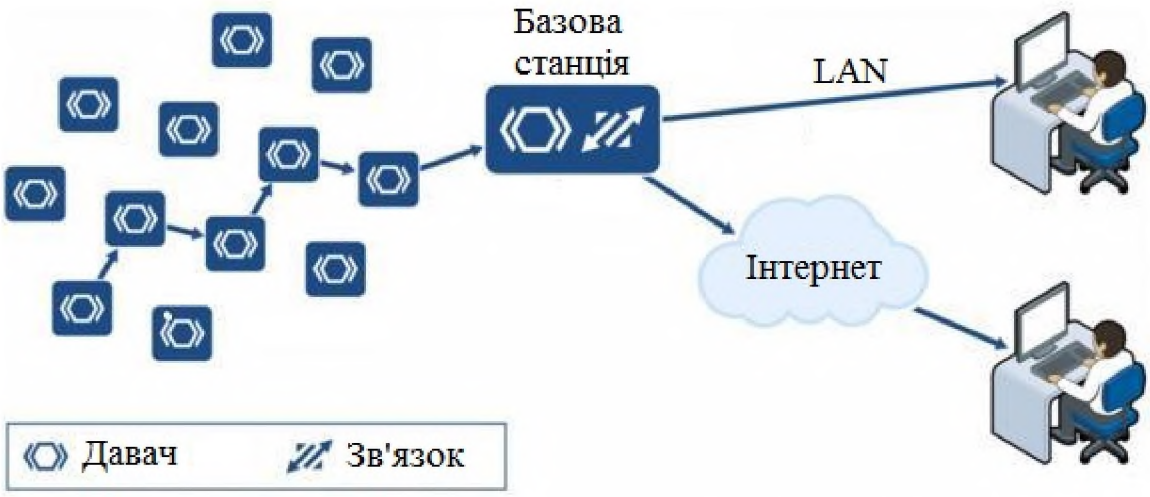


Рис.1.4. Структура типової бездротової сенсорної мережі [4]

1.4. Опис основних компонентів бездротової сенсорної мережі

Як вище було зазначено, бездротова сенсорна мережа складається з передавача, давача, мікроконтролера і блоку живлення. Короткий опис цих пристроїв наведено нижче.

Існують різні варіанти передачі даних які можуть передаватися по інфрачервоними, радіо і оптоволоконними каналами. Передача по радіоканалах є найбільш поширеним засобом зв'язку в бездротових сенсорних мережах [8]. Це пов'язано з тим, що маленькі пакети даних можуть передаватися по радіоканалу з низькою швидкістю і обмежена дальність передачі забезпечує можливість повторного використання частот [9]. Трансівер працює в таких режимах: передавачі, прийому і сплячому.

Роль мікроконтролера полягає у виконанні важливих завдань для забезпечення належного функціонування БСС. В ряд цих завдань входять обробка даних і управління діями інших блоків інтегрованих в сенсорному

Created by Universal Document Converter

модулі [8]. Мікроконтролери часто застосовуються в БСС. БСС оснащені процесорами з низьким енергоспоживанням і вони відрізняються від стандартних процесорів в плані енергоефективності та низької вартості.

Джерело живлення - цей блок забезпечує енергію для виконання вимірювань, обробки даних і їх передачі. Енергія може акумулюватися в батареях або суперконденсаторах. На рис. 1.5 можна бачити, що суперконденсатори мають більше питомої потужності (Вт) в порівнянні з батареями. Це означає, що електрична потужність, яка видається суперконденсаторами протягом короткого часу вища ніж та потужність, яка генерується батареями. З іншого боку густина енергії батарей (Вт.год / л) вище ніж густина енергії суперконденсаторів . Звідси випливає, що батареї можуть зберігати енергію на більш тривалий час. Батареї є основними джерелами живлення для БСС [10]. У сенсорних мережах застосовуються два типи батарей: первинні і вторинні (акумулятори).

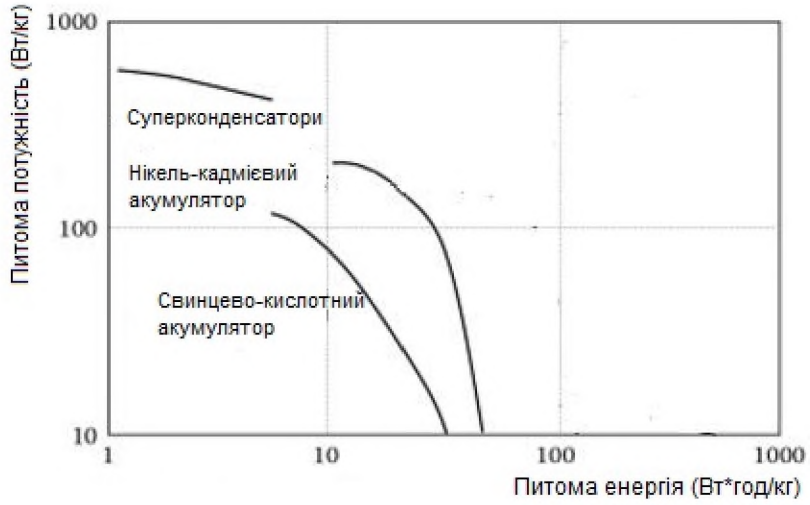


Рис. 1.5 Питома потужність і енергія батарей і супеконденсаторов - діаграма Рагон [11]

Давач проводить вимірювання параметрів навколишнього середовища таких як температура, тиск, концентрація газів і т.д . Вимірюваний сигнал перетвориться в цифровий вигляд оскільки мікроконтролер тільки обробляє

Created by Universal Document Converter

цифрові дані. В даний час розробляються давачі з можливістю збору енергії навколишнього середовища, наприклад, Сонця, температури, вібрації. Існують наступні категорії давачів. Активні давачі - такі види давачів проводять вимірювання параметрів навколишнього середовища випромінюючи енергію в середовищі або шляхом модифікування середовища. Як приклад можна привести радарні давачі.

Пасивні давачі - з іншого боку пасивні давачі проводять виміривання без здійснення впливу на оточуюче середовище. Відгук генерується шляхом прийому даних вимірюваної величини на вхід давача. Термопара є прикладом пасивного давача.

1.5. Сенсорні мережі призначені для аналізу газів

Існують різні сенсорні системи для виявлення газів і в цьому розділі розглядається коротко їх принцип дії.

Каталітичний кульковий давач (Catalytic Bead Sensor) - в цих давачах використовується каталітичну кульку для окислення горючого газу. Дротяну котушку покривають каталітичним покриттям зі скла або керамічного матеріалу і вона нагрівається до температури при якій буде спалювати контрольований газ і в результаті цього поширюється тепло і збільшується опір дроту. В результаті зростання температури дроту, збільшується її опір. Цей опір вимірюється мостом Уітстона і результат вимірювання перетворюється в електричний сигнал. У схемі Уітстона застосовується другий давач роль якого полягає в компенсації температури, тиску і вологості. Рис 1.6 ілюструє каталітичний давач. Даний детектор застосовується для виявлення горючих газів. Термокаталітичні давачі мають високу швидкодію. Однак їм властивий ряд істотних недоліків, до яких можна віднести обмежений термін служби, зменшення чутливості з плином часу, необхідність наявності в вимірюваному середовищі кисню для

Created by Universal Document Converter

забезпечення можливості окислення горючого газу. Крім того, ряд газів і парів, присутні в контрольованій атмосфері можуть отруювати давач.

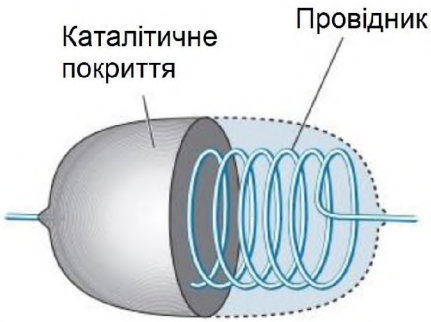


Рис 1.6 Конструкція каталітичного давача [12]

Термокаталітичні засоби вимірювання завдяки простоті своїй конструкції є економічно вигідним рішенням для контролю довибухонебезпечних концентрацій горючих речовин.

Метало - оксидний напівпровідниковий давач (Metal Oxide Semiconductor Gas Sen sor) - в цих давачах використовується напівпровідниковий матеріал який лежить на підкладці і знаходиться між двома електродами. Перебіг вільних електронів по межах напівпровідникового матеріалу здійснюється після того як він нагрівається. У чистому повітрі кисень поглинається на поверхні напівпровідникового матеріалу і в результаті чого кисень іонізується (рис. 17).

Зазначений процес обумовлює виникнення потенціального бар'єру, тобто, створюється великий опір. При присутності газу відбувається окислення кисню і з за цього електрони заново починають протікати по напівпровідниковому матеріалі і опір давача зменшується. В метало-оксидних напівпровідникових давачах концентрація газів визначається з вимірюванням опору давача. Даний детектор застосовується для виявлення горючих та токсичних газів.

Created by Universal Document Converter

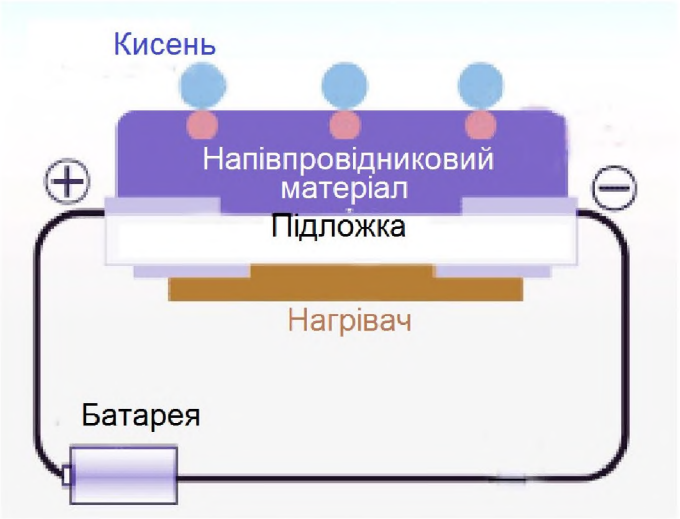


Рис 1.7 Метало-оксидний напівпровідниковий давач при іонізації кисню [13]

Серед переваг давачів даного типу можна відзначити високу чутливий, а також низьку вартість виготовлення. Однак, відсутність селективності, недовговічність давача, а також висока похибка вимірювань накладають суттєві обмеження на використання напівпровідникових давачів в приладах і систем контролю довибухонебезпечних концентрацій.

Детектор газу на основі технології Point Infrared Short Path - цей детектор працює на основі технології " Non Dispersive Infrared (NDIR)" - При цьому методі вимірювання, застосовується джерело генерування інфрачервоного випромінювання, два детектора які перетворюють енергію інфрачервоного випромінюючи в електричну і фільтри для відповідних детекторів. Кожен детектор чутливий до різних довжинах хвиль в інфрачервоному діапазоні.

Джерело генерування інфрачервоного випромінювання який знаходиться в корпусі спрямований через певний вікно в бік вільного простору. В кінці зазначеного простору розташовується зеркало щоб спрямовувати енергію в бік вікна і детекторів.

Відповідно до даної технології, два типи газу піддаються до інфрачервоному випромінювання. Одним газом є той щовідстежується а інший порівняльний. Як порівняльний газ використовується інертний газ.

Created by Universal Document Converter

Для цього детектор працює з двома променями. Кількість світла отриманого від кожного типу порівнюють для визначення концентрації відслідковується газу. Структуру давача на основі технології " Non Dispersive Infrared (NDIR)" можна бачити на рис. 1.8. Даний детектор застосовується для виявлення горючих газів. Незаперечні достоїнства оптичних давачів: висока стабільність нуля, чутливість, селективність, швидкодія, стійкість до впливу агресивних середовищ і неотравляемость підвищеними концентраціями контрольованих і супутніх газів, здатність функціонувати в безкисневому середовищі [14]. Недоліком можна вважати відносну складність і як наслідок дорожнечу конструкції, а також досить велике енергоспоживання оптичних давачів.

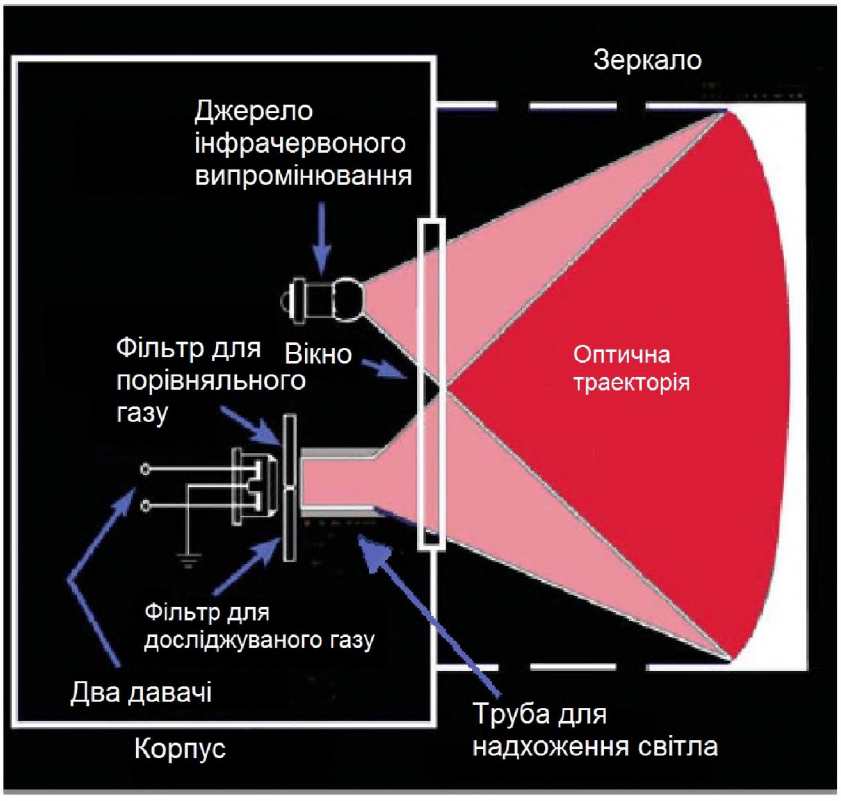


Рис 1.8. Виявлення газу на основі технології Non Dispersive Infrared (NDIR) "[15]

Електрохімічний давач газу. В конструкцію електрохімічного давача входять, електроліт, робочий, допоміжний і порівняльні електроди (рис. 1.9).

Created by Universal Document Converter

Газ надходить на робочий електрод через маленький отвір. На поверхні робочого електрода відбувається реакція окислення або відновлення.

На допоміжному електроді здійснюється протилежна реакція, тобто, якщо на робочому електроді відбулося окислення, на допоміжному електроді буде протікати реакція відновлення. Якщо підключити навантаження до електродів протікає струм який відповідає концентрації газу.

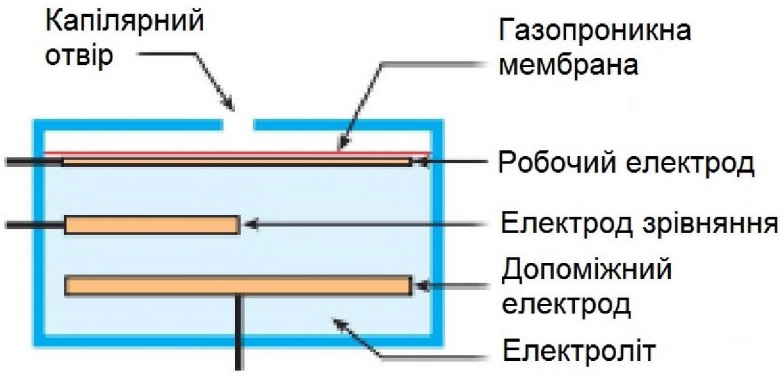


Рис 1.9 Типовий електрохімічний газовий давач [16]

Оскільки в давачах працюють із зовнішньою напругою потенціал на робочому електроді погіршується за часом через постійні електрохімічні реакції. Даний давач застосовується для виявлення токсичних газів. До переваг електрохімічних газових давачів відносяться лінійний відгук, висока чутливість і селективність і низька енергоспоживання. Як недоліки можна віднести перехресну чутливість, обмежений термін служби. Також час роботи зазначених давачів зменшується в дуже сухих і теплих середовищах.

1.6. Енергоефективність енергоспоживання давачів газу

Типові напівпровідникові і каталітичні давачі виготовлені відомими фірмами (Figaro, Nemoto, Hanwei Electronics) мають високе енергоспоживання і відповідно управління їх потужністю в БСС вважається важливим завданням. Велика частина спожитої потужності витрачається на

Created by Universal Document Converter

нагрів шар каталізатора. Типовий підхід для зниження енергоспоживання каталітичних і напівпровідникових давачів полягає в зменшенні розміру чутливого шару. Метою є зменшення об'єму нагріву, який складається з підкладки, нагрівача і каталізатора. Для реалізації цього завдання, технологія створення спірального проводового нагрівача переходить в планарний давач де нагрівач реалізується як меандр на підкладці. В цьому випадку, товщина підкладки повинна бути як можна тонше. Взагалі кажучи, підкладка формується в мембрану. У той же час мембрана повинна бути міцною щоб підтримувати каталізатор і високу температуру. Другий підхід на основі мембранної технології забезпечує зменшення площі нагрівача і каталізатора. Даний підхід допомагає оптимізувати енергоспоживання але в результаті цього відбувається деградація відклику давача. Зазначений підхід містить два методи для виробництва напівпровідникових і каталітичних давачів використовуючи мембранну технологію. Перший заснований на тонких діелектричних мембранах зокрема SiO 2 / SiNx.

Виробництво напівпровідникових і каталітичних давачів з мікромашиною технологією на основі кремнію - газові давачі на основі мікромашиної технології схожі між собою в плані конструкції [17]. Основним компонентом давача є мембрана виготовлена з шарів SiO 2 / SiNx і містить Pt нагрівач і зверху мембрани розташовані електроди, і каталізатор. Напівпровідниковий шар в напівпровідникових давачах виготовленій із SnO_2, ZnO та інших складників з каталітичними домішками на основі благородних металів. Каталітичні давачі мають діелектричний опор просочений Pt і Pd металами.

Енергоспоживання цих давачів при моніторингу метану варіюється між 30 і 120 мВт в безперервному режимі вимірювання [17]. На відміну від електронних пристроїв які зазвичай упаковуються і мають корпус, що захищає їх від зовнішнього середовища, давачі на основі мікромашиної технології знаходяться в прямому контакті з навколишнім середовищем і це

Created by Universal Document Converter

призводить до погіршення їх параметрів. У разі роботи давача в невідповідному середовищі, деградація відбувається швидше і потрібно часте виконання калібрування.

Самим придатним матеріалом для виробництва елемента нагрівання давача котрий що не окислюється при температурі від 400 - 500 °С (для метану) вважається Pt . У той же час існують недоліки в його застосуванні.

Давачі на основі керамічних мембран (CeraMEMS). Можна було б уникнути ряд проблем, пов'язаних з технологією кремнієвої мембрани застосовуючи мембрану з Al_2O_3 отриману при анодному окисленні Al в електроліті і подальшому відпалі, що призводить до формування майже однорідної у модифікації полікристалічного оксиду алюмінію [18]. γ - Al_2O_3 мембрана розташовується на жорсткій керамічній підкладці з заздалегідь просвердленими отворами (з діаметром 3 мм). Цю технологію можна застосовувати як для каталітичних так і для напівпровідникових давачів. Споживання потужності зазначених мікронагрівальних плит дорівнює приблизно 50-70 мВт за кожен давач.

Структура CeraMEMS чіп ілюстрована на рис. 1.10 [18]. Вона містить жорстку раму створену з комерційної алюмінієвої кераміки Rubalit 710 TM (Rubalit 710 TM Alumina Ceramics) (1) з отворами; тонка плівка алюмінію (3) фіксована на цій рамі скляним сполучному (Glass Binder) (2) і покриває отвір яке був просвердлений лазером. Зверху цієї плівки знаходиться вимірювальний шар (4) обладнаний нагрівачем в формі меандру (6) і Digit Electrode був обложений трафаретного печаткою або методом осадження краплі (Drop Deposition). Контактні майданчики для вимірювального шару і нагрівача показані в (7).

Технологія виробництва мікронагревательних плит не вимагає комплексні і дорогі обладнання. Однак значення необхідної потужності ще високо з за витоку нагріву уздовж мембрани в керамічну підкладку. Крім того, мембрана вигинається через теплового розширення при нагріванні, що

Created by Universal Document Converter

може привести до її несправності. Щоб вирішити цю проблему, можна застосовувати вільну мембрану клиноподібної форми або мембрану яка тільки частково приєднана до жорсткої керамічної рамки. Як опора давача, використовується нанопориста алюмінієва мембрана товщиною 30 мкм виготовлена анодним окисленням Al фольги [19].

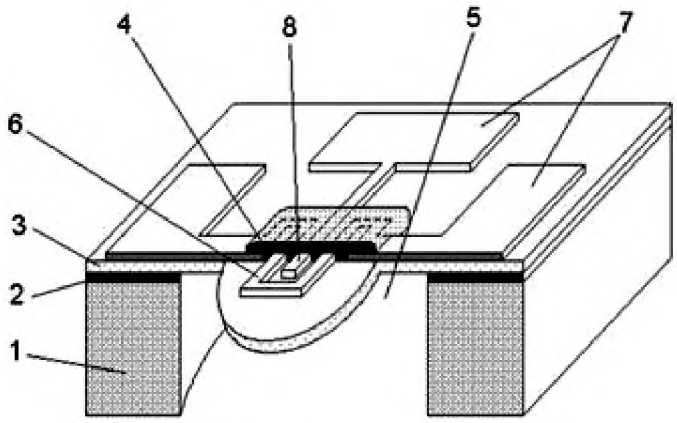


Рис. 1.10. Схема чіпу CeraMEMS на основі тонкої плівки алюмінію спроектованої для виявленню газів. 1 -керамічна підкладка товщиною 1 - 0,6 мм; 2 – скляний шар; 3 - тонка алюмінієва плівка виготовлена " electrolyte spark " окисленням алюмінію; 4 - шар для вимірювання газу; 5 - отвори виконані лазером; 6 - платиновий нагрівач у формі меандру; 7 - контактні ділянки для нагрівача; 8 - Digit Electrode для вимірювального шару (дані з [18])

Зразки мікронагрівачів сформовані літографією на верхній частині мембрани. Мікронагрівачі обложені магнетронним розпиленням платинової мішені і покриті тонкою плівкою шару AI_2O_3 щоб попереджати її деградацію. Нагріта ділянка має розміри приблизно 200 х 200 мкм .

Щоб уникнути вигину мембрани протягом періодичного здійснення процесу нагрівання (який в кінцевому підсумку призводить до несправності мембрани) і в подальшому зменшити енергоспоживання, робота запропонована в [19] використовує вільну мембрану клиноподібної форми без її підєднання до жорсткої алюмінієвої рами.

Created by Universal Document Converter

Необхідно відзначити, що в даний час, зменшуються технологічні перешкоди в зниженні розміру чутливих елементів використаних в каталітичних і напівпровідникових давачах. Насправді, не існує технологічної перешкоди в зменшенні фізичного розміру чутливого елемента. Проблема полягає в тому, що так зване зниження розмірів, зокрема для каталітичних давачів призводить до зменшення об'єму каталізатора і отже зменшення каталітичних активних центрів. В результаті цього знижується час відгуку давача і прискорюється його деградація.

В роботі [20] розроблено перспективний підхід для зменшення енергоспоживання давача. Автори пропонують економити потужність шляхом зниження розсіювання температури за допомогою пакування давача. Вони досліджували цю можливість введенням гидрофобного аерогелю SiO_2 як упакувального матеріалу завдяки його відмінній теплопровідності і високій газопроникності. Експериментальні результати показують, що можна одночасно добитися істотного зниження в енергоспоживанні і високій селективності для традиційного активного пеллісторного давача метану оснащеного теплоізоляційною упаковкою із аерогель SiO_2. Споживання енергії давача при температурі 450 °С становить 60 мВт.

Іншим способом зниження енергоспоживання є зменшення робочої температури (450 °С) давача конструкцією каталізатора [21]. Зменшення робочої температури надає складний ефект на параметри давача і призводить до непередбачуваних результатів в плані роботи давача. Щоб запобігти перегріванню, чутливість давача, час відгуку, час роботи давача підлягають деградації. Більш детальну інформацію про MEMS давачах можна знайти в [22].

Енергоспоживання інфрачервоних давачів газу на основі NDIR технології. Джерело інфрачервоного випромінювання, що застосовується в давачах такого типу має високе енергоспоживання (і це наприклад складає приблизно 500 мВт і навіть більше) [23]. В роботі [23] розроблено КМОП

Created by Universal Document Converter

випромінювач інфрачервоного випромінювання на основі вольфрам нагрівача. Оскільки вольфрам вважається стабільним елементом при високих температурах (600 °С) тоді його застосування призводить до того, що джерело інфрачервоного випромінювання досягає високих температур і в результаті цього генерується більше кількості інфрачервоного випромінювання. Автори застосовували КМОП на основі технології кременій на ізоляторі для формування нагрівача, діодного давача і n канального МОП транзистора. У зазначеній роботі, мембрана формувалася за допомогою методу сухого травлення який ізолює нагрівач від інших блоків схеми що зменшує енергоспоживання. Результати вимірювань показують, що споживана потужність джерела інфрачервоного випромінювання для його нагрівання до температури 600 °С становить 70 мВт. Коли джерело випромінювання працює при частоті 10 Гц і температурі 600 °С середня споживана потужність буде 40 мВт.

В роботі [24], автори розробили давач CO_2 на основі NDIR технології. В якості випромінювача застосовується світлодіод. Також призначений фотодіод для детектування падаючого випромінювання. Автори використовували III - V AlGalnAsSb з вузькою забороненою зоною як напівпровідниковий матеріал для світлодіода і фотодіода. На думку авторів оскільки у зазначеного напівпровідникового матеріалу існують різні композиції з ідентичними забороненими зонами можна буде регулювати випромінювання джерела шляхом зміни композиції.

Споживання потужності давача становить 3,5 мВт і 0,07 мВт при безперервному і малоенергоспочиваючому режимах вимірювання.

Енергоспоживання електрохімічних давачів. Електрохімічні давачі газу споживають малу кількість енергії. В роботі [25] розроблено багатосенсорну платформу з виявлення різних газів. Автори запропонували два підходи для зменшення енергоспоживання платформи. Перший підхід заснований на спільному використанні апаратних компонентів, а другий полягає в

Created by Universal Document Converter

мініатюризації електродів давача (застосування процесу мікротехнології) внаслідок чого споживана потужність кожного давача становила менше ніж 3,2 мкВт.

1.7. Висновки до розділу 1

1. Бездротові сенсорні мережі відкрили нову платформу досліджень в інженерних задачах.

2. Однією з областей де бездротові давачі можуть застосовуватися є завдання з виявлення концентрації газів. Коли бездротові сенсорні мережі використовуються для моніторингу горючих газів потрібно враховувати, що давачі даного типу споживають значну кількість потужності і з іншого боку в якості живлення бездротових сенсорних мереж зазвичай використовуються батарейки. Заміна батарейок в мережах із значною кількістю давачів забирає багато часу і внаслідок чого процес моніторингу може зупинятися. Ця проблема ускладнюється коли промислові процеси над якими повинен здійснюватися моніторинг, знаходяться в суворих умовах. Тому завдання оптимізації енергоспоживання бездротових давачів по визначенню горючих газів має важливе місце.

3. В навколишньому середовищі існують різні види енергії які в залежності від джерела, доступні в різних кількостях. Щоб збільшити час автономної роботи давачів газу, можна застосовувати технологію збору енергії від альтернативних джерел енергії.

4. В результаті аналізу альтернативних джерел енергії, можна робити висновок, що сонячна та вітрова енергії забезпечують більшу кількість густини потужності.

5. Оскільки альтернативні джерела енергії непостійні в часі, розробка гібридних моделей, тобто, платформ які збирають енергію від більш ніж одного джерела в один і той же час може збільшити ймовірність безперервної роботи давача.

Created by Universal Document Converter

РОЗДІЛ 2
ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1. Теоретичні основи створення платформи живлення бездротових газових давачів від поновлюваних джерел енергії

2.1.1. Оцінка споживання потужності бездротовими давачами газу

Нами розглянуто теоретичні основи створення енергоустановки яка може одночасно збирати енергію від більш ніж одного альтернативного джерела енергії. Перед тим як розробити теоретичну концепцію для створення енергоустановки необхідно провести оцінку споживання потужності бездротовими давачами газу (табл.2.1).

Таблиця 2.1

Споживання струму давачами газу

Тип давача	Виробник	Струм	Напруга, В
NAP -505 Електрохімічний давач чадного газу	Nemoto	5 мкА	2 ~ 3
DTK-2 Каталітичний давач метану	NTC-IGD	55 мА	2,8
SGS -21 XX Напівпровідниковий давач водню, метану, пропану, гексану і суми вуглеводнів, окису вуглецю та суми вуглеводнів в повітрі	Delta	66,5 мА	2
TGS 2610 Напівпровідниковий давач зріджених вуглеводневих газів та їх компонентів	FIGARO, Японія	93,3 мА	5,0 ± 0,2 В DC / AC
NAP -66 A Каталітичний давач пропану, бутану, парів бензину і зріджених вуглеводневих газів	Nemoto , Японія	120 мА	2,0 В +/- 0,2 В
MQ -4 Напівпровідниковий давач природного газу та метану	Hanwei Electronics, Китай	250 мА	5,0 ± 0,1 DC / AC
Інфрачервоний давач для моніторингу НКПР газів і парів містять горючі вуглецеві компоненти	Платформа представлена в 2015 р.	125 мА	5 ± 0,2 В

Created by Universal Document Converter

При відсутності живлення від електричної мережі, час роботи бездротових газових давачів обмежується ємністю батарей яка витрачається на живлення давачів, мікроконтролера і прийомо-передавача.

Тому було проведено аналіз енергоспоживання основних компонентів бездротових газових давачів (табл. 2.1-2.3).

Таблиця 2.2

Споживання струму сучасними передавачами Zigbee

Модель передавача	Виробник	Витрата струму (мА)	Діапазон напруг (В)
CC2500	Texas Instruments	Tx : 21,2 мА ; Rx: 13,3 мА	1,8...3,6
ETRX35x	Telegesis	Tx : 31 мА, Rx : 25 мА	2,1...3,6
TR1000	RF Monolithics	Tx : 12 мА, Rx: 4,5 мА	2,2...3,7
JN5 148-001 - M00 / 03	Jennic	Tx : 15 мА, Rx: 17,5 мА	2,3...3,6

Споживання енергії іншими елементами електричної схеми можна на даному етапі не враховувати. Аналіз енергоспоживання представлений в таблицях 2.1-2.3. Споживання приймача і мікроконтролера (МК) залежить від режимів їх роботи і може змінюватися на кілька порядків. Наприклад, передавач ETRX 35 x (табл. 2.3) споживає приблизно 1 мкА в сплячому режимі а в активному режимі має енергоспоживання 31 мА.

Із табл. 2.1. можна бачити, що давачі газів, такі як каталітичні, напівпровідникові і інфрачервоні споживають значну кількість енергії в порівнянні з іншими компонентами давача (таблиці 2.1, 2.2 і 2.3).

Created by Universal Document Converter

Таблиця 2.3

Споживаний струм нинішніх мікроконтролерів

Модель мікроконтролера	Виробник	Споживання струму (мА)	Діапазон напруг (В)
MSP430F247	Texas Instruments	Активний режим: 321 мкА ; 3,3 В/ 1 МГц Енергозберігаючий режим: 1 мкА; 3 В/32768 Гц	1,8 ... 3,6
ATmega168P	Atmel	Активний режим: 1,8 мА; 3 В / 4 МГц Енергозберігаючий режим: 0.9 мА; 3 В / 32 кГц	2,7 ... 5,5
ATxmega32A4	Atmel	Активний режим: 1,1 мА; 3 В / 2 МГц Енергозберігаючий режим: 0,7 мА; 3 В / 32 кГц	1,6 ... 3,6
ADuC824	Analog Devices	Активний режим: 3 мА; 3 В / 1.5 МГц Енергозберігаючий режим: 20 мА; 3 В / 32 кГц	3 і 5

У той же час електрохімічний давач практично не споживає енергії. Виходячи з табл. 2.3 можна зробити висновок, що мікроконтролер має найменше енергоспоживання серед інших компонентів бездротового газового давача.

Також був проведений розрахунок часу автономної роботи давачів на основі батарей ємностями 3000, 8000 і 15000 мА·год (табл. 2.4). Згідно цій таблиці, максимальна споживана потужність бездротового газового давача складає 261 мВт при напрузі 3 В , тому енергоустановка по акумулюванню енергії повинна забезпечити вказану потужність для роботи бездротового газового давача.

Created by Universal Document Converter

Таблиця 2.4

Розрахунок енергоспоживання і часу роботи бездротових давачів CO і CH_4

Тип давача	Потужність давача		Потужність мікроконтролера ATxmega32A4		Потужність передавача ETRX35x		Сумарна споживана потужність (мВт)	
Електрохімічний давач NAP-505	Спляч. режим	Актив. режим	Спляч. режим	Актив. режим	Спляч. режим	Актив. режим	Спляч. режим	Актив. режим
	0	15 (мкВт)	2 (мкВт)	3,3 (мВт)	3 (мкВт)	93 (мВт)	5 (мкВт)	94,3 мВт

Тип елемента	Час автономної роботи бездротового давача		
	Активний режим	Сплячий режим	Загальний час роботи
AA, 1,5 В , 3000 мА·год	48 год.	9000000 год.	9000048 год.
C, 1,5 В, 8000 мА·год	127 год.	2400000 год.	2400127 год.
D, 1,5 В, 15000 мА·год	239 год.	4500000 год.	4500239 год.

Тип давача	Потужність давача		Потужність мікроконтролера ATxmega32A4		Потужність передавача ETRX35x		Сумарна споживана потужність (мВт)	
Каталітичний давач ДТК-2	Спляч. режим	Актив. режим	Спляч. режим	Актив. режим	Спляч. режим	Актив. режим	Спляч. режим	Актив. режим
	0	165 (мВт)	2 (мкВт)	3,3 (мВт)	3 (мкВт)	93 (мВт)	5 (мкВт)	~ 261мВт

Тип елемента	Час автономної роботи бездротового давача		
	Активний режим	Сплячий режим	Загальний час роботи
AA, 1,5 В , 3000 мА·год	17 год.	900000 год.	900017 год.
C, 1,5 В, 8000 мА·год	46 год.	2400000 год.	2400046 год.
D, 1,5 В, 15000 мА·год	86 год.	4500000 год.	4500086 год.

Created by Universal Document Converter

Виходячи з таблиці 2.4, дані параметри можуть бути забезпечені тільки за рахунок досить потужних джерел альтернативної енергії, а саме, Сонця і вітру.

2.1.2. Загальні поняття для створення енергоустановки по акумулюванню енергії з навколишнього середовища

В основі системи збору енергії можуть знаходитись блоки накопичення енергії, моніторингу потужності, вибору джерела живлення і блока забезпечення необхідного рівня живлення для сенсорного модуля (тобто, давача, мікроконтролера і передавача). Рис. 2.1 показує елементи платформи акумулювання енергії.

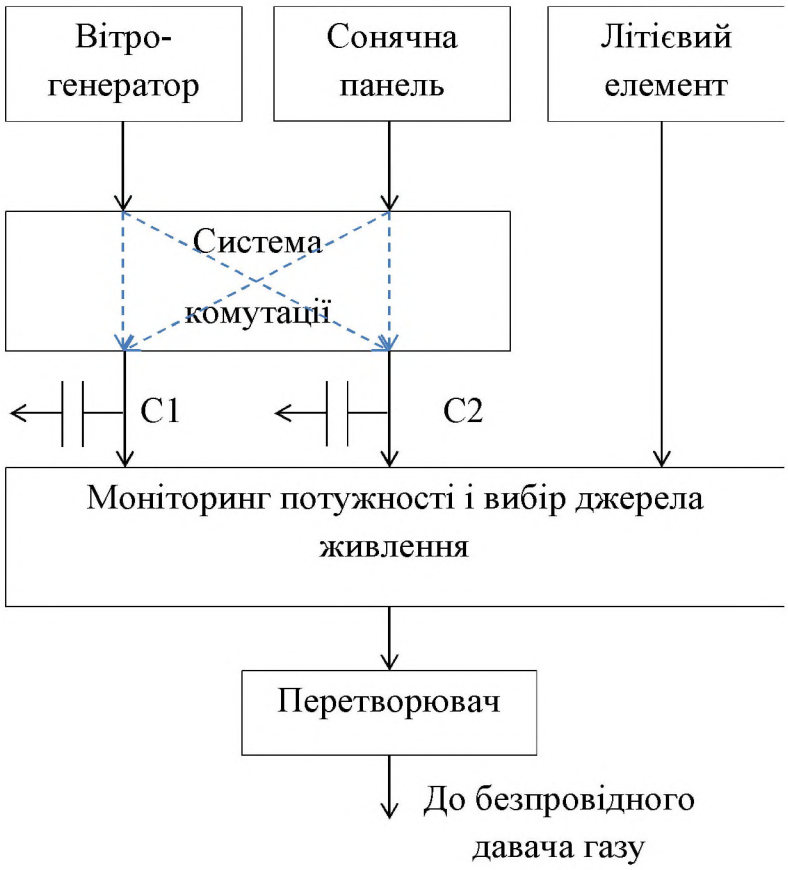


Рис.2.1. Блок схема енергоустановки по акумулюванню енергії від поновлюваних джерел енергії

Created by Universal Document Converter

Бездротовий газовий давач проводить вимірювання тільки в певний час (наприклад один раз за хвилину). У той же час потрібно враховувати, що енергія від альтернативних джерел енергії змінюється у часі. Тому необхідно безперервно накопичувати енергію з навколишнього середовища. Для реалізації цього, в платформі можна застосовувати схему, що містить накопичувальні елементи такі як акумулятори або конденсатори. Передбачуване число циклів заряд-розряд протягом 10 років роботи (близько 100 000 разів) однозначно визначає вибір суперконденсатора в якості накопичувача енергії.

Перевагою суперконденсатора також є можливість накопичення електричної енергії при будь-якій подачі напруги всередині робочої області. У той же час літієвий елемент вимагає напруги зарядки 4,1 В і спеціальний алгоритм зарядки. Для забезпечення безперервної роботи необхідний резервне джерело живлення – батарея. За своїми параметрами для цієї мети краще всього підходить первинний літієвий елемент. Літієві елементи мають напругу 3,6 В і струм 3000 мА, 8000 мА і 15000 мА для типів АА, В і Д, відповідно.

Первинний літієвий елемент також краще акумулятора, так як термін її служби досягає 10 років а саморазряд не перевищує 1 % на рік. Тому накопичувач енергії повинен бути гібридним, тобто включати в себе суперконденсатор і первинний літієвий елемент.

Блок схема запропонованої енергоустановки представлена на рис. 2.1. Таким чином, енергоустановка повинна складатися з наступних частин: вхідний блок, що включає себе літієвий елемент і альтернативні джерела живлення (сонячна батарея, вітрогенератор і ін.), Блок комутації і зберігання енергії, блок моніторингу потужності і вибору джерела живлення і перетворювач напруги.

Функцією блоку моніторингу потужності є відстеження рівня напруги на накопичувальних елементах і резервне джерело живлення і вибору

Created by Universal Document Converter

джерела живлення. Щоб забезпечити рівень живлення необхідний для роботи сенсорного модуля і накопичувального пристрою потрібно використовувати блок регулювання потужності.

Розробку платформи акумулювання енергії можна здійснювати так щоб вона могла працювати з будь-яким пристроєм збору енергії [26]. При такій формі проектування, розширюється гнучкість і функціональність системи а з іншого боку збільшується складність платформи. Причина полягає в тому, що одні пристрої збору енергії можуть генерувати постійну напругу як сонячна панель, а інші – змінну. Тому необхідно застосовувати різні блоки регулювання потужності. Як приклад блоку регулювання потужності можна привести DC / DC перетворювачі.

Кількість накопиченої енергії залежить від навколишнього середовища, пристрої збору енергії, ефективності блоку регулювання потужності і застосування алгоритмів оптимізації збору енергії.

2.1.3 Лінійні регулятори

Як раніше було зазначено, деякі види альтернативних джерел енергії генерують постійну напругу. Для забезпечення необхідного рівня постійної напруги, в платформах збору енергії застосовують DC / DC перетворювачі. Вибір перетворювача напруги залежить від форми вихідного сигналу апарату збору енергії (тобто, він може бути AC або DC), робочої напруги накопичувального пристрою і сенсорного модуля. Для живлення давача газу можна використовувати лінійні регулятори або імпульсні перетворювачі [27] (рис. 2.2).

На малюнку 2.3 можна бачити структуру лінійного регулятора. Його базова схема містить підсилювач неузгодженості (ПН) і прохідний транзистор який працює як джерело струму, керований напругою. Підсилювач неузгодженості безперервно відстежує вихідна напруга і

Created by Universal Document Converter

порівнює його значення з еталонною напругою. На основі рівня сигналу неузгодженості, вихідна напруга яке подається на навантаження коригується.

Головними перевагами пов'язаними з лінійними регуляторами вважаються їх простота схеми і не значний рівень шуму. З іншого боку, їх ефективність зменшується в міру зростання різниці вхідної напруги від вихідної. Наприклад, якщо необхідно щоб джерело напруги 9 В забезпечувало живлення навантаження на рівні 3 В тоді максимальна ефективність складає 36,67 %.

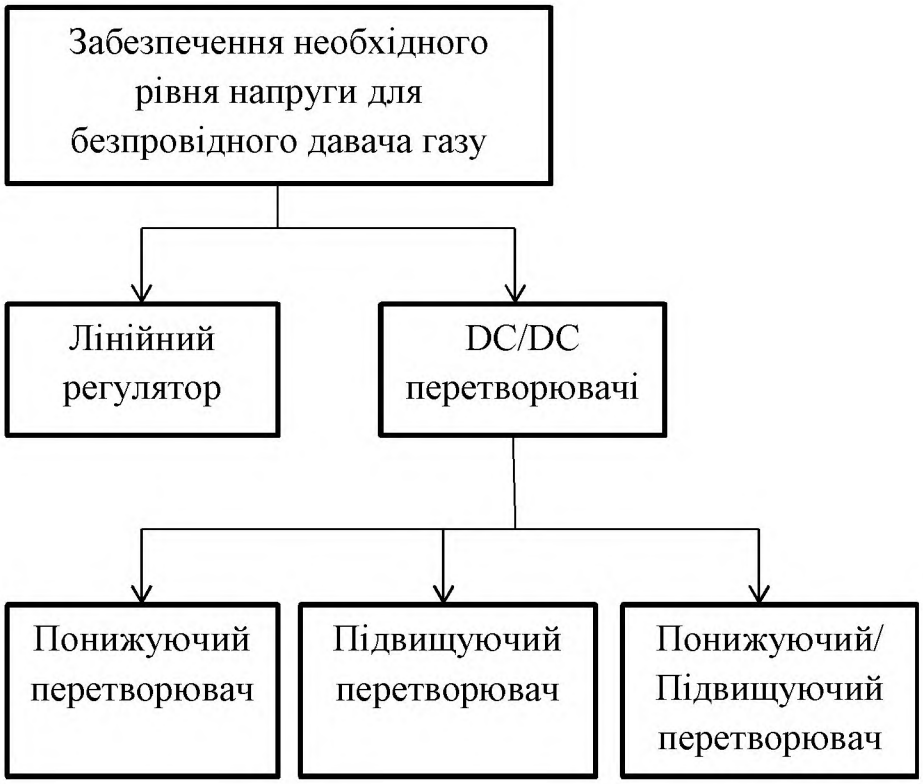


Рис. 2.2. Можливі варіанти забезпечення необхідного рівня напруги для бездротового давача газу

Created by Universal Document Converter

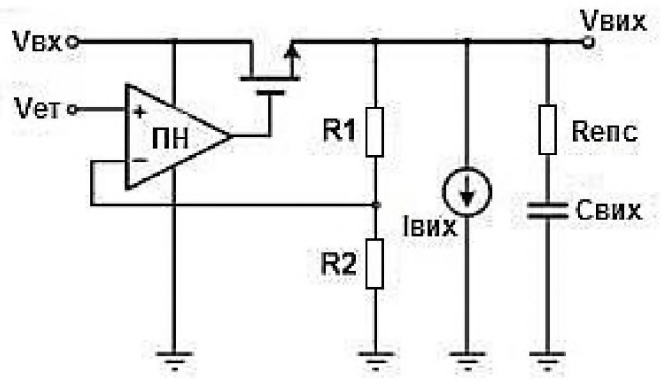


Рис. 2.3. Лінійний регулятор [28]

Однак якщо застосовувати джерело напруги 4,5 В ефективність збільшується до 73,3 %. Імпульсні перетворювачі мають високий ККД. Вони працюють шляхом включення і виключення напруги, що подається на навантаження.

2.1.4. Ключові стабілізатори напруги

Ці перетворювачі складаються з контролера зі зворотним зв'язком і модуля енергії. Модуль енергії містить ключі, індуктивний елемент і конденсатор.

Напруга на виході імпульсних конвертерів підвищується або знижується. Щоб регулювати вихідну напругу відповідно до напруги в схему порівняння цих перетворювачів інтегрований контролер. Контролер зі зворотним зв'язком визначає робочий цикл модуля енергії і застосовує широтно імпульсну модуляцію.

У деяких перетворювачах контролери регулюють вихідну напругу коли відбувається флуктуація вхідної напруги [61]; явище яке і спостерігається при акумулюванні енергії від альтернативних джерел енергії.

Як показано на рис. 2.4 схема понижуючого конвертора складається з джерела живлення V_g , ключ S , діода D і фільтра, що містить індуктивний

Created by Universal Document Converter

елемент L і конденсатор C. Вихідна напруга ключа $V_s(t)$ дорівнює V_g коли ключ знаходиться в положенні 1 і воно дорівнює нулю коли ключ знаходиться в положенні 2. Положення ключа змінюється періодично таким чином, що $V_s(t)$ матиме прямокутну форму з періодом T_s і робочим циклом D (рис. 2.5). Робочий цикл відповідає часу коли ключ знаходиться в положенні 1 і $0 < D < 1$. Частота перемикання f_s відповідає $1/T$. На практиці ключ реалізується напівпровідниковими пристроями, такими як діоди, МОП транзистори, біполярні транзистори з ізольованим затвором (БТІЗ), біполярні транзистори або тиристори. Типові частоти перемикання лежать в інтервалі від 1 кГц до 1МГц в залежності від типу напівпровідникового пристрою. Ключ змінює постійну напругу і використовуючи перетворення Фур'є. Рівняння 2.1 показує середнє значення напруги $V_s(t)$.

$$V_s = \frac{1}{T} \cdot \int_0^{T_s} v_s(t)\,dt = D \cdot V_g . \qquad (2.1)$$

З рівняння 2.1 можна бачити, що ключ зменшує постійну напругу фактором D який є робочим циклом. Це пов'язано з тим, що $0 < D < 1$. В ідеальній ситуації, розсіювана потужність на ключі дорівнює нулю.

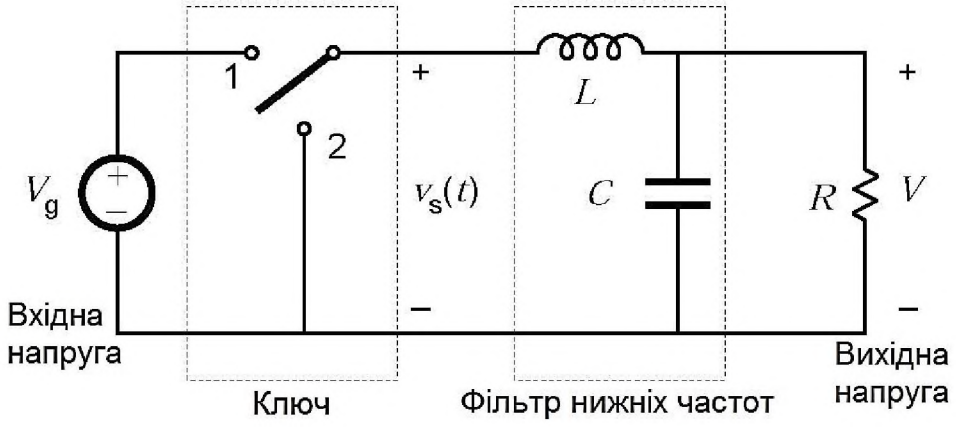
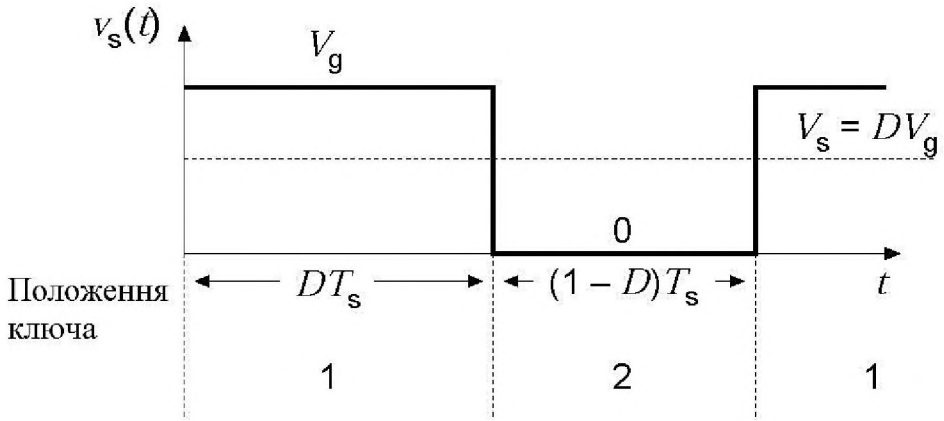


Рис. 2.4. Схема понижуючого перетворювача, що містить ключ, який зменшує величину постійної напруги і фільтр нижніх частот [29]

Created by Universal Document Converter



б)

Рис. 2.5. Часова діаграма перемикання сигналу напруги [29]

Коли контакти ключа замкнуті, напруга на контактах рівна нулю і тому розсіювана потужність рівна нулю. Коли контакти розімкнуті не буде протікати струм і розсіювана потужність в цьому випадку теж буде рівна нулю. Тому ідеальний ключ може змінювати постійну напругу без розсіювання потужності.

Необхідно відзначити, що форма хвилі V_s, що генерується ключем містить гармоніки. У більшості завдань, ці гармоніки потрібно винести щоб вихідна напруга $v(t)$ була рівною $V = V_s$. Для цього використовується фільтр низьких частот. Схема представлена на рис. 2.4 містить індуктивний елемент L і конденсатор C які утворюють вказаний фільтр. Частота зрізу фільтра виражається рівнянням 2.2.

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}. \qquad (2.2)$$

Частота зрізу f_0 вибирається так, щоб вона була значно нижчою частоти перемикання f_s. Причина полягає в тому, щоб фільтр пропускав тільки постійні складові. Як і в випадку ключа, в ідеальній конфігурації, потужність на фільтрі не розсіюється.

Created by Universal Document Converter

Коефіцієнт перетворення $M(D)$ визначається як відношення вихідної постійної напруги V до вхідної напруги V_g в стаціонарних умовах:

$$M(D) = \frac{V}{V_g}. \tag{2.3}$$

Для понижуючого перетворювача $M(D)$ визначається:

$$M(D) = D. \tag{2.4}$$

Графік рівняння 2.4 представлено на рис. 2.6. З графіка випливає, що значення вихідної постійної напруги V задається в інтервалі від 0 до V_g шляхом зміни робочого циклу D.

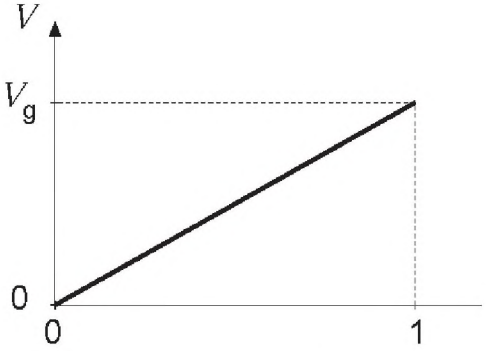


Рис. 2.6. Вихідна напруга понижуючого перетворювача V в залежності від робочого циклу D [29]

Залежно від струму індуктивного елемента L, перетворювач може працювати в двох режимах. Перший режим називається безперервною провідністю і другий переривчастою провідністю. Перетворювач працює в безперервному режимі провідності коли струм по індуктивному елементу не досягає нуля. Перетворювач переходить в переривчастий режим якщо струм індуктивного елемента досягає нуля і буде змінюватися на деякий час. Межа між режимами безперервної і переривчастої провідності відома як режим критичної безперервної провідності або критичної переривчастої провідності.

Режим безперервної провідності починається коли ключ замкнутий. У цьому випадку передбачається, що струм індуктивного елемента має деяку

Created by Universal Document Converter

величину. Коли ключ вимкнений, від'ємна напруга з'являється на діоді і він припиняє роботу. Тому струм тече по індуктивному елементу. Струм на L лінійно збільшується або іншими словами індуктивний елемент заряджається на цьому суб – інтервалі. Цей інтервал закінчується коли ключ вимикається. В цьому випадку діод буде проводити струм і струм індуктивного елемента починає зменшуватися на цьому суб-інтервалі. Оскільки перетворювач працює в режимі безперервної провідності, потрібно включити ключ так, щоб струм індуктивного елемента не досяг нуля. Як тільки ключ замикається струм на індуктивному елементі починає збільшуватися і цей цикл повторюється.

Коли перетворювач знаходиться в режимі переривчастої провідності струм на індуктивному елементі досягає нуля і буде тримати це значення на деякий час. Зазначені два суб-інтервали мають місце і в цьому випадку [30]. Відмінність полягає в другому суб-інтервалі. На цьому етапі, струм індуктивного елемента зменшується до нуля і змінює напрям але наявний діод і не проводитиме струм. Перетворювач переходить на третій суб-інтервал при якому індуктивний струм дорівнює нулю на деякий час і навантаження живиться повністю від конденсатора. Зазначений режим закінчується коли замикається ключ і струм індуктивного елемента починає збільшуватися від нуля (на відміну від режиму безперервної провідності при якому струм має деяку мінімальну величину).

Оскільки вихідна напруга перетворювача $v(t)$ є функцією від робочого циклу D , можна спроектувати систему управління яка б змінювала D щоб вихідна напруга відповідала еталонному значенню напруги v_r. На рис. 2.7 наведено блок діаграму перетворювача зі зворотним зв'язком. Вихідна напруга вимірюється подільником напруги і вона порівнюється із заданим значенням напруги v_r. Результуючий сигнал неузгодженості проходить до компенсаторного блоку і керуючий сигнал $v_c(t)$ подається в широтно-імпульсний модулятор. Модулятор виробляє комутацію сигналу напруги

Created by Universal Document Converter

який управляє затвор МОП транзистора Q_r. Робочий цикл D сигналу напруги пропорційний керуючому сигналу напруги $v_c(t)$.

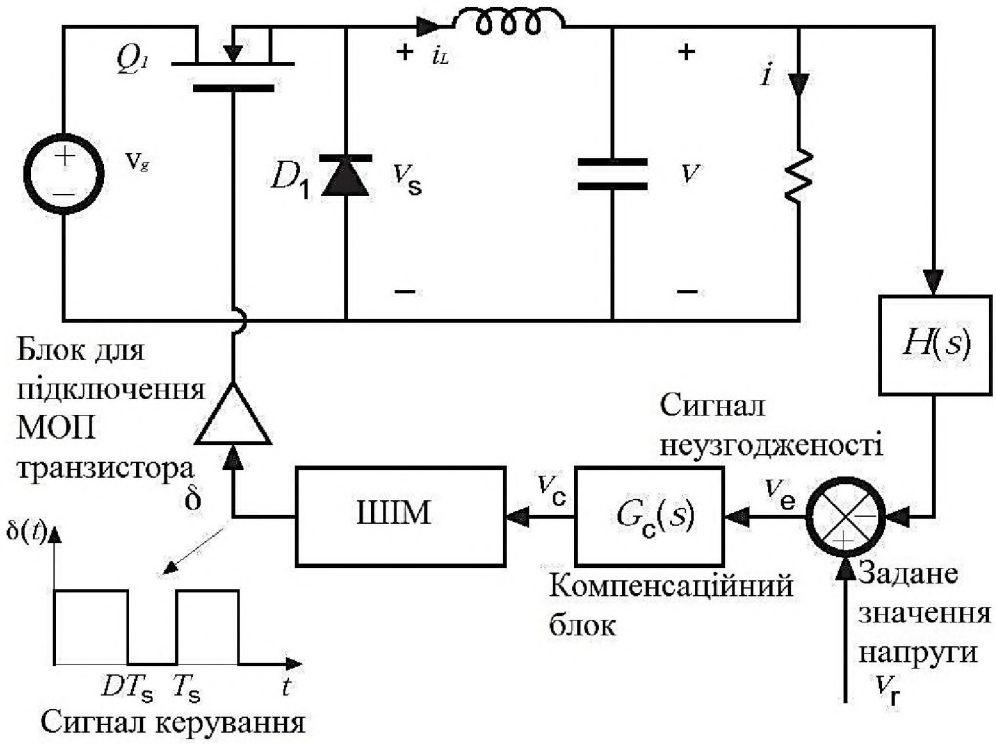


Рис. 2.7 Понижуючий перетворювач зі зворотним зв'язком для регулювання вихідної напруги [29]

При правильному проектуванні системи управління, робочий цикл автоматично регулюється таким чином, щоб вихідна напруга перетворювача відповідала заданому (еталонному) значенні напруги v_r і могла б функціонувати не залежно від змін v_g або струму навантаження.

Перевагою понижуючого перетворювача є його висока ефективність (приблизно 90 %). Недоліком є шум, створюваний механізмом перемикання. Специфікації для понижуючих перетворювачів можуть показати широкий діапазон вхідних напруг. Наприклад понижуючий перетворювач LTC 3388-3 працює в інтервалі вхідних напруг від 2,7 до 20 В і на його виході генерується 2,8 В, 3,0 В, 3,3 В і 5 В. Напруга 2,8 В вважається значенням з яким давач газу може працювати. Однак при зборі енергії від альтернативних

Created by Universal Document Converter

джерел енергії, потрібно враховувати вихідну напругу від приладів збору енергії. Відповідно до таблиці 2.1, 2.2 і 2.3 в якості давача, мікроконтролера і передавача брати ДТК – 2, ETRX35x і ATxmega32A4. Тоді сумарне значення споживання струму можна обчислити за формулою:

$$\sum I = i_s + i_s + i_t, \tag{2.5}$$

де i_s – струм споживання давача який дорівнює 55 мА,

i_s – струм споживання мікроконтролера який становить 1,1 мА в активному режимі і в 0,7 мкА в очікуванні.

i_t – струм споживання передавача який дорівнює 31 мА в режимі передачі і 25 мА в режимі прийому.

Якщо враховувати випадок коли сенсорний модуль знаходиться в активному режимі тоді сумарний струм буде:

$$\sum I = 55 + 1{,}1 + 31 \approx 87\,мА. \tag{2.6}$$

Коли сенсорний модуль перебуває в режимі енергозбереження

$$\sum I = 0{,}0007 + 25 \approx 25\,мА. \tag{2.7}$$

Якщо застосовувати перетворювач LTC 3388-3 в блоці збору енергії, можна бачити, що даний конвертор може забезпечити струм споживання сенсорного модуля в обох режимах з ефективністю 90 % коли вихідна напруга складає 2,8 В. Рис. 2.8 демонструє криві ефективності перетворювача для різних вихідних напруг при вхідній напрузі 6 В.

Схема підвищуючого перетворювача з точки зору топології схожа на понижуючий перетворювач. На рис. 2.9 показана схема підвищуючого перетворювача. Підвищуючий конвертер генерує напругу, яке за величиною більша ніж вхідна напруга. Коефіцієнт перетворення такого конвертера дорівнює:

Created by Universal Document Converter

$$M(D)=\frac{1}{1-D}. \qquad (2.8)$$

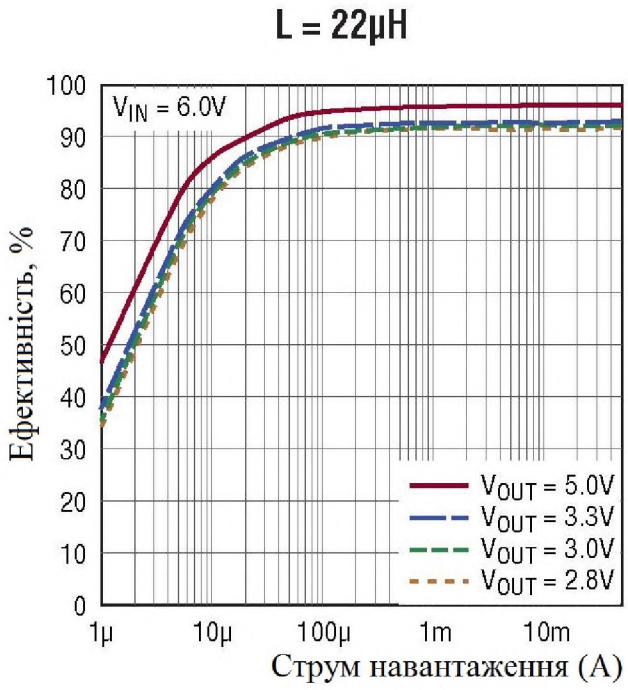


Рис. 2.8. Ефективність понижуючого перетворювача LTC 3388-3 в залежності від струму навантаження [64]

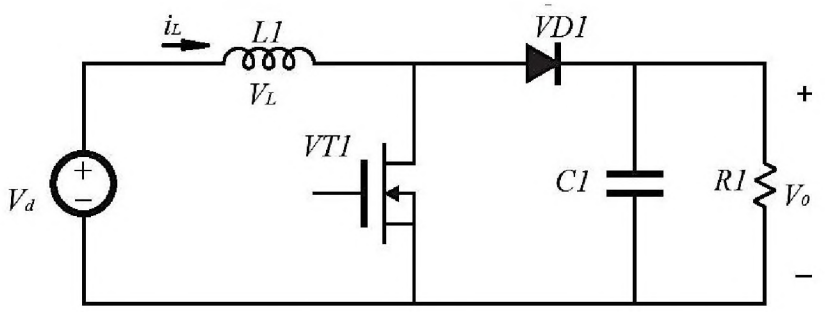


Рис. 2.9. Схема підвищуючого перетворювача [32]

Рис. 2.10 демонструє коефіцієнт перетворення підвищуючого перетворювача в залежності від робочого циклу. Коли ключ VT1 замкнутий на час t_1 , струм індуктивного елемента зростає і енергія накопичується на

Created by Universal Document Converter

ньому. Коли ключ розімкнений на час t_2, накопичена енергія передається в навантаження через діод VD1.

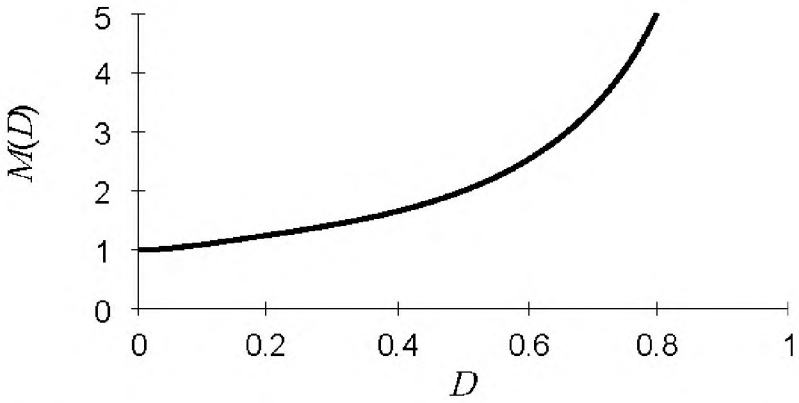


Рис. 2.10 Коефіцієнт перетворення підвищуючого перетворювача в залежності від робочого циклу

У разі підвищуючого перетворювача також існує два режими роботи: безперервний і переривчаста провідність. Передбачається, що перед замиканням ключа, на індуктивному елементі існує деяке мінімальне значення струму. Як тільки включається ключ починається перший суб-інтервал. Струм індуктивного елемента лінійно збільшується. Від'ємна напруга на діоді вимикає діод. Тому струм не проходить через діод і навантаження повністю живиться через конденсатор.

Струм індуктивного елемента лінійно зростає доки ключ не вимкнений. Коли ключ розмикається, починається другий суб-інтервал. Енергія індуктивного елемента починає вивільнятися коли ключ розмикається і в результаті цього діод буде проводити струм. Після цього частина енергії індуктивного елемента живить навантаження і частина з неї заряджає конденсатор.

Струм індуктивного елемента зменшується і досягає нульового рівня поки ключ розімкнутий. Оскільки перетворювач працює при режимі безперервної провідності, ключ включається перед тим, як струм припиняється. Після цього цикл повторюється. Як і у випадку

Created by Universal Document Converter

понижувального перетворювача, підвищуючий конвертер переходить в режим переривчастої провідності коли струм на індуктивному елементі досягає нульового рівня і буде залишатися в цьому стані.

Перші два суб-інтервали схожі до режиму безперервної провідності [32]. На другому суб-інтервалі струм індуктивного елемента зменшується і ключ не буде замикатися коли струм припиниться.

Тому струм буде за величиною рівний нулю і почнеться третій інтервал. При цьому струм прагне досягати від'ємні значення. Однак діод не пропускає струм у зворотному напрямку. З цієї причини, струм залишається на нульовому рівні на деякий час поки ключ розімкнутий. Коли ключ замикається, струм починає збільшуватися і вказаний суб-інтервал закінчується .

Необхідно відзначити, що при розробці підвищуючого перетворювача, потрібно проектувати ключ і діод в залежності від напруги і струму які ними куруються при всіх можливих режимах роботи. Індуктивний елемент повинен бути спроектуваним таким чином, щоб приводити перетворювач в дію при належному режимі роботи. Конденсатор повинен відповідати вимогам до пульсації напруги.

Підвищуючі перетворювачі мають високу ефективність, яка може досягати більше 90 % [30]. Як приклад можна привести підвищуючий перетворювач TPS 61201 [33]. Як раніше було зазначено, давач газу може працювати з напругою приблизно 3 В. TPS 61201 створює вихідну напругу 3,3 В при різних вхідних напругах. Тому можна його застосовувати в блоці акумулювання енергії. Даний перетворювач генерує необхідний струм живлення давача газу (тобто, 87,1 мА) для його активного режиму роботи більш ніж на 90 %. TPS 61201 забезпечує струм споживання ефективністю 80 % коли сенсорний модуль знаходиться в режимі збереження енергії.

Одним із сімейства DC/DC перетворювачів є підвищувальний/понижуючий перетворювач. Схема такого перетворювача

Created by Universal Document Converter

показана на рис. 2.11. Коли ключ замкнутий, діод буде зміщений у зворотному напрямку і струм проходить через індуктивний елемент і в результаті цього енергія накопичується на котушці. Коли ключ розімкнений напруга індуктивного елемента змінює свою полярність і накопичена енергія передається конденсатору і навантаженню. У цьому перетворювачі вихідна напруга має відємне значення і коефіцієнт перетворення задається рівнянням (2.10)

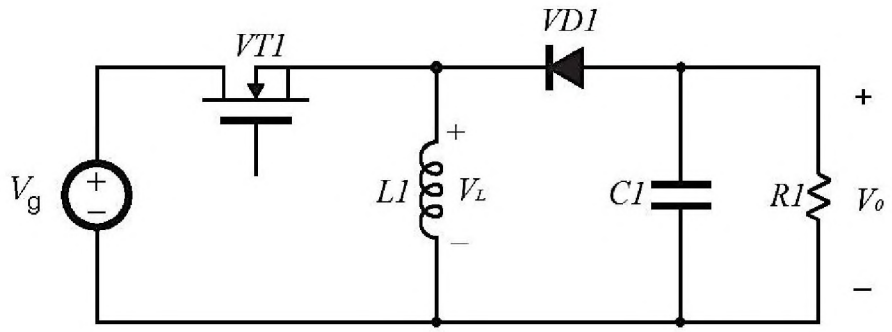


Рис. 2.11. Схема підвищуючого/понижуючого перетворювача [33]

$$M(D)=\frac{-D}{1-D}. \qquad (2.10)$$

Графік на рис. 2.12 ілюструє залежність коефіцієнта перетворення підвищуючого/понижуючого перетворювача від робочого циклу. Значення D може вибиратися таким чином, щоб вихідна напруга була більшою або меншою вхідної. Підвищуючий/понижуючий перетворювач може працювати в режимах безперервної або переривчастої провідності.

Для опису роботи перетворювача в безперервному режимі передбачається, що індуктивний елемент має деяке кінцеве значення струму перед часом $t = 0$ (тобто час замикання ключа). Як тільки включається ключ починається перший суб-інтервал часу перемикання. Струм індуктивного елемента збільшується до максимального значення. При цьому діод

Created by Universal Document Converter

зміщений у зворотному напрямку і навантаження живиться від конденсатора в цьому суб-інтервалі і тому він розряджається.

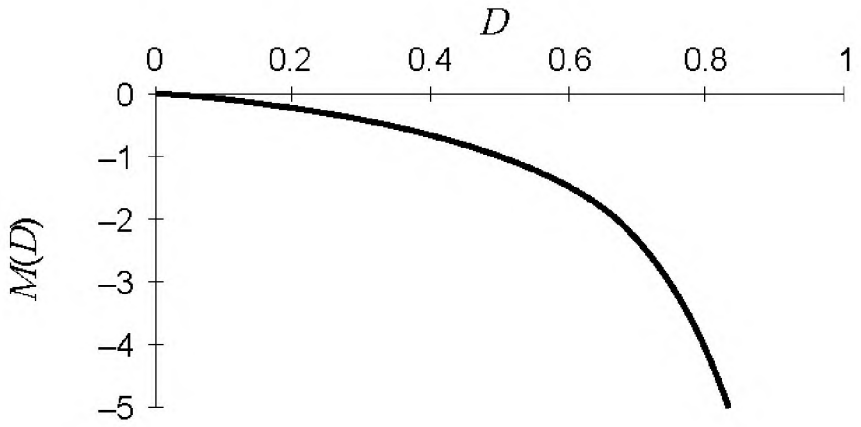


Рис. 2.12. Залежність коефіцієнта перетворення підвищуючого / понижуючого перетворювача від робочого циклу [29]

Струм індуктивного елемента збільшується до тих пір поки ключ замкнутий. Команда розмикання ключа може видаватися широтно-імпульсною модуляцією, частотно-імпульсної модуляцією або іншим контролером.

Після того, як ключ розмикається перший суб-інтервал закінчується і починається другий. У другому суб-інтервалі відбирається вся енергія від індуктивного елемента. Частина цієї енергії витрачається на зарядку суперконденсатора і частина її живить навантаження. Діод в цьому режимі роботи включений і дозволяє струму котушки проходити по ньому. Струм котушки зменшується і наближається до нуля. Він не буде досягати нуля оскільки цей конвертер працює в безперервному режимі. В цьому випадку замикається ключ і струм індуктивного елемента збільшується.

Застосування підвищувального/понижуючого перетворювача є хорошим рішенням для живлення сенсорного модуля від альтернативних джерел енергії оскільки вхідна напруга може змінюватися за часом.

Created by Universal Document Converter

Підвищуючі/понижуючі перетворювачі можуть працювати в широкому діапазоні вхідних напруг в залежності від завдання. Для живлення пристроїв від батарей може застосовуватися більш вузький діапазон напруг. В багатьох випадках це діапазон напруг від 1,8 В до 5,5 В.

У даній роботі пропонується використовувати підвищуючий перетворювач TPS 61200. Він може працювати з низькими рівнями напруги (0,3 ... 5,5 В), яку генерують пристрої збору енергії і системи акумулювання, що використовуються в даній роботі. TPS 61200 може виробити струм необхідний (87 мА відповідно до таблиці 2.4) для роботи бездротового газового давача з ефективністю приблизно 90 %.

2.1.5. Основні принципи енергоефективного відбору енергії від сонячної панелі для енергоустановки

У разі зарядки суперконденсатора від сонячної панелі, необхідно відзначити, що сонячні панелі мають пік потужності при певному значенні напруги і струму (рис. 2.13). Найефективніший спосіб використання сонячної панелі полягає в підтримці навантаження сонячної панелі на рівні точки максимальної потужності (знаходження точки максимальної потужності – MPPT). Цей спосіб збільшує ефективність процесу зарядки накопичувального елемента і він реалізується шляхом застосування DC / DC перетворювача. Робота в інших точках кривої ВАХ призведе до значного зниження вихідної потужності і послідовно зменшення ефективності.

Процес зарядки від сонячної панелі включає в себе два режими: понижуючий і підвищуючий. В обох випадках використовується DC/DC перетворювач напруги. Зазначене перетворення проводиться з постійним часом зарядки (тобто, включення) і розрядки (тобто, вимикання) індуктивного елемента.

Created by Universal Document Converter

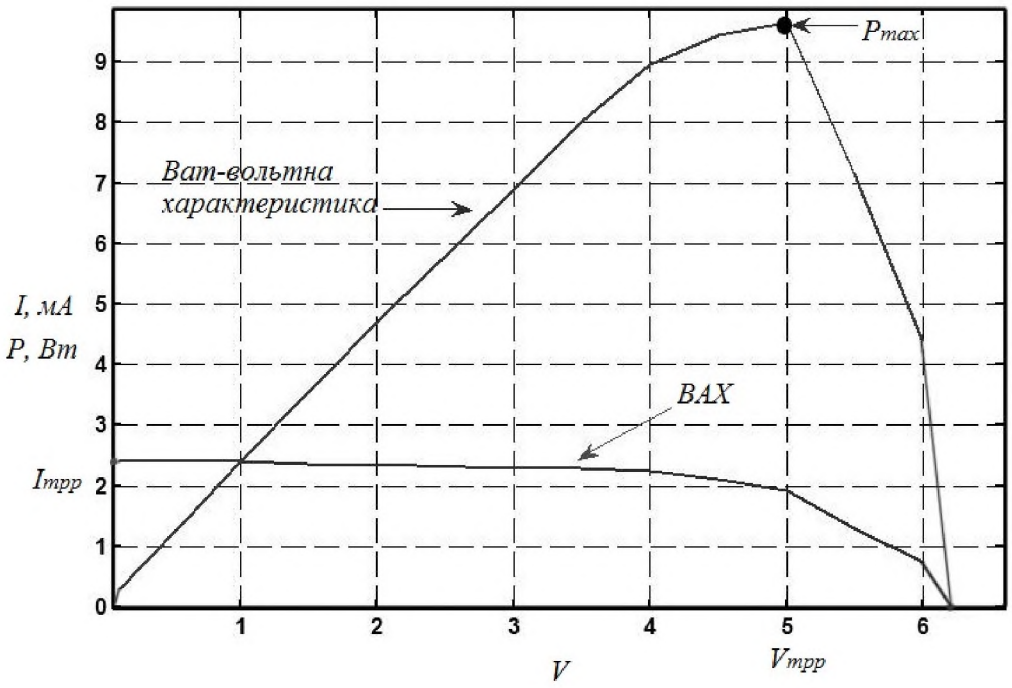


Рис.2.13. Криві потужності і ВАХ сонячної панелі

Понижуючий режим вибирається коли напруга суперконденсатора менша ніж вихідна напруга сонячної панелі. В іншому випадку вибирається підвищуючий режим.

Коли відбувається перемикання режиму роботи перетворювача, час розрядки індуктивного елемента скидається до його максимального значення. Після цього, час розрядки керується алгоритмом балансування струму навантаження.

Знаходження точки максимальної потужності сонячної панелі здійснюється декрементною зміною часу розрядки індуктивного елемента і порівнянням вихідної потужності сонячної панелі до і після цих змін. Якщо вихідна потужність сонячної панелі максимальна то час перестає зменшуватися. Перебалансування струму навантаження сонячної панелі виконується періодично шляхом зсуву часу розрядки індуктивного елемента на кілька кроків і знаходження нової оптимальної точки.

Created by Universal Document Converter

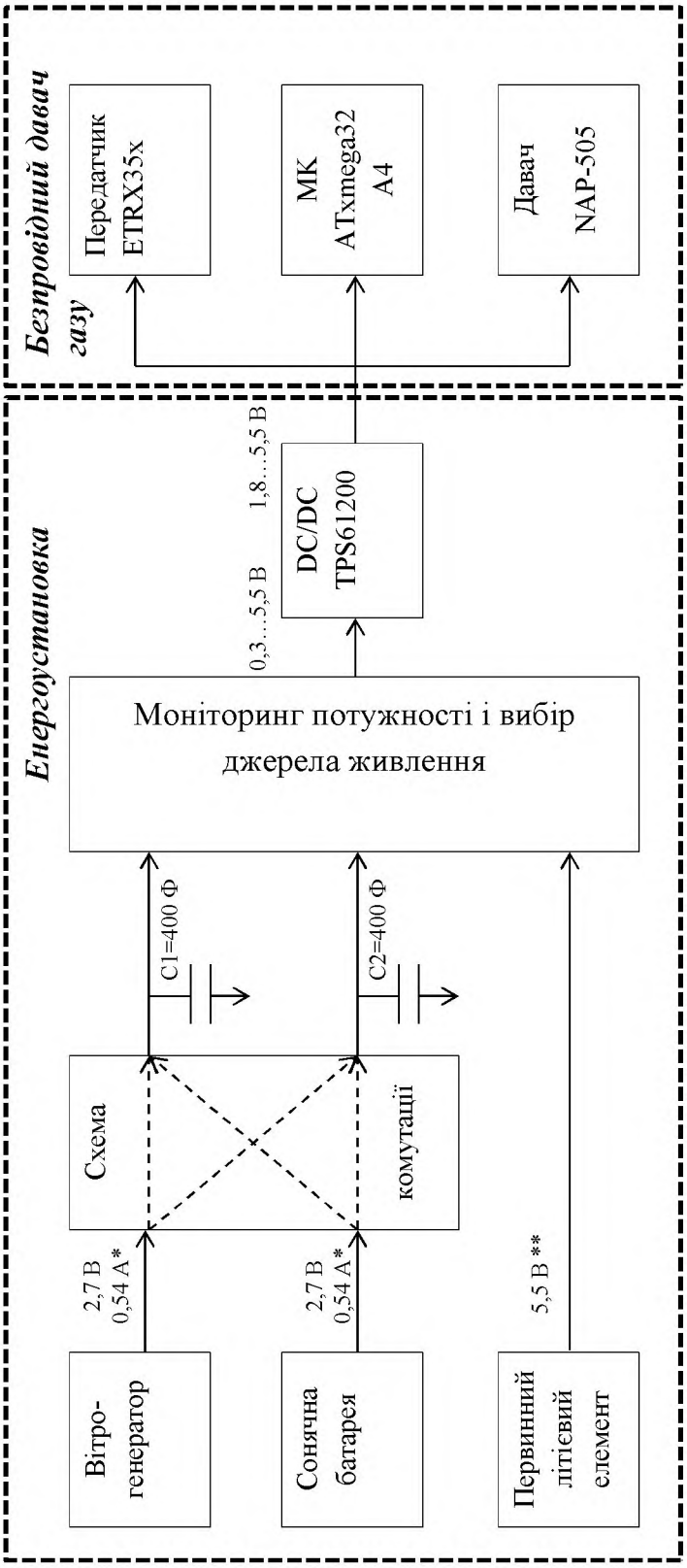
2.2. Розробка енергоустановки на базі поновлюваних джерел енергії для живлення бездротових давачів газу

2.2.1. Проектування схеми енергоустановки по акумулюванню енергії від поновлюваних джерел енергії

Живлення давача здійснюється від сонячної енергії та енергії вітру. Давач оснащений портативною сонячною батареєю і вітрогенератором постійного струму. З таблиць 2.1-2.3 слідує, що для роботи бездротового газового давача, необхідно забезпечити напругу в діапазоні 1,8 -5,5 В. Цій вимозі задовольняє DC/DC перетворювач TPS 61200, що має вихідний струм до 1 А. Даний DC/DC перетворювач стабілізує вихідну напругу на будь-які рівні з діапазону 1,8 – 5,5 В при подачі на його вхід і від 0,3 – 5,5 В. Таким чином, значення вхідної напруги обмежена 5,5 В. Енергія від альтернативних джерел енергії акумулюється в суперконденсаторах (400 Ф, 2,7 в). Кожен канал надходження альтернативної енергії підключений до відповідного суперконденсатора (С1 і С2, рис. 2.14). Відповідно до запропонованої схеми існує можливість підключити будь-які конденсатори до максимальної напруги 5,5 В оскільки, зазначена величина є граничним значенням вхідної напруги, яку можна подати на DC/ DC перетворювач TPS 61200. В якості резервного джерела живлення в давачу використовується літієвий елемент з напругою 3,7 В.

Напруга на виході сонячної панелі та вітрогенератора не повинна бути більшою 2,7 В. При цьому, виходячи з параметрів електричних компонентів, максимальний струм не повинен перевищувати 0,54 А (рис. 2.14). Макет, інтегрованого в корпус сенсорного вузла, інтелектуального джерела живлення повинен забезпечувати енергоємність джерела живлення не менше 5 Вт·год, кількість циклів заряд-розряд не менше 5 $10^{4.}$

Created by Universal Document Converter



* Максимально допустиме значення напруги і струму вітрогенератора і сонячної панелі ** Максимально допустиме значення напруги батареї

Рис. 2.14. Блок-схема бездротового газового давача з живленням від енергоустановки

Created by Universal Document Converter

Число необхідних циклів заряду і розряду за технічним завданням означає, що в якості накопичувачів енергії необхідно застосовувати суперконденсатори і забезпечення потужності 5 Вт·год вимагає використання літієвого елемента в енергоустановці. Літієві елементи мають напругу 3,6 В і струм 3000 мА, 8000 мА і 15000 мА для типів АА, В і D відповідно. Таким чином потужність для типу АА , В і D становить 10 Вт·год, 29 Вт·год і 54000 Вт·год. Перевагою застосування суперконденсатора є те, що він має велике число циклів заряду і розряду .

Схема платформи збору енергії складається з наступних частин: вхідний блок, що включає в себе первинний літієвий елемент і альтернативні джерела енергії (сонячну батарею, вітрогенератор тощо) блок комутації і зберігання енергії, блок вибору джерела живлення і перетворювач напруги. Параметри сонячної панелі, вітрогенератора і накопичувальних елементів наведені в таблиці 2.5.

У вхідний блок джерела живлення входять літієвий елемент і пристрої збору енергії, які підключаються до входів схеми джерела живлення (рис. 2.15). До каналу 1 (CH1 на схемі) підключається сонячна батарея, до каналу 2 (CH2 на схемі) підключається вітрогенератор .

Таблиця 2.5

Потужності накопичувачів енергії та пристроїв збору енергії

	Літієвий елемент	Суперконденсатор (V_{max} = 2,7 В, V_{min} = 0,9 В, С = 400 Ф)	Вітрогенератор (при швидкості вітру 4,3 м/с)	Сонячна панель (при випромінюванні 1,5 АМ)
Напруга, В	3,7 В	2,7	2,2	2,2
Струм, мА	3200	133,7	27	350
Потужність, мВт	11840	361,1	59,4	770

Created by Universal Document Converter

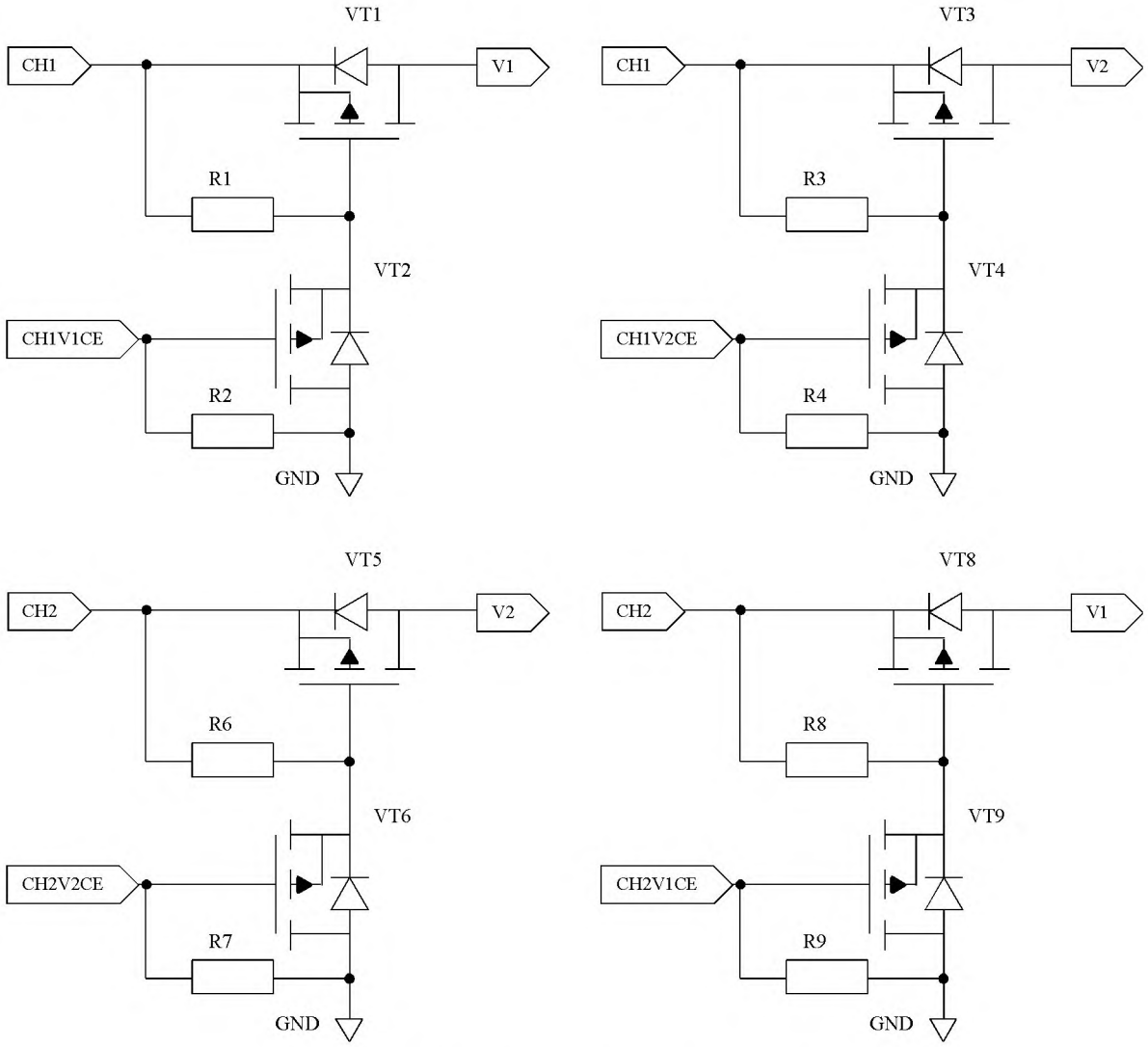


Рис. 2.15. Схеми комутації конденсаторів:

CH… – джерело живлення (вітрогенератор (1), сонячна батарея (2);

V… – вихід на конденсатор (C1 чи C2); CH..V.. – керуючий сигнал від МК

Вхідні напруги від первинного літієвого елемента і альтернативних джерел енергії живлення (сонячної енергії по каналу CH 1 і вітрової CH2) надходять на комутаційний блок, який в разі потреби підключає їх до конденсаторів в яких накопичується енергія (V1 для сонячної панелі і V2 для вітрогенератора). Накопичення енергії від кожного альтернативного джерела здійснюється незалежно. У відповідності зі схемою комутації представленої на рис. 2.15, в разі повної зарядки основного суперконденсатора по певному

Created by Universal Document Converter

каналу, зарядка другого суперконденсатора здійснюється від альтернативного джерела який має найбільшу потужність. Схема зарядки конденсаторів ілюстрована на рис. 2.16. Енергія від пристрою збору енергії енергії V1 і V2 накопичується в суперконденсаторах C14 і C15.

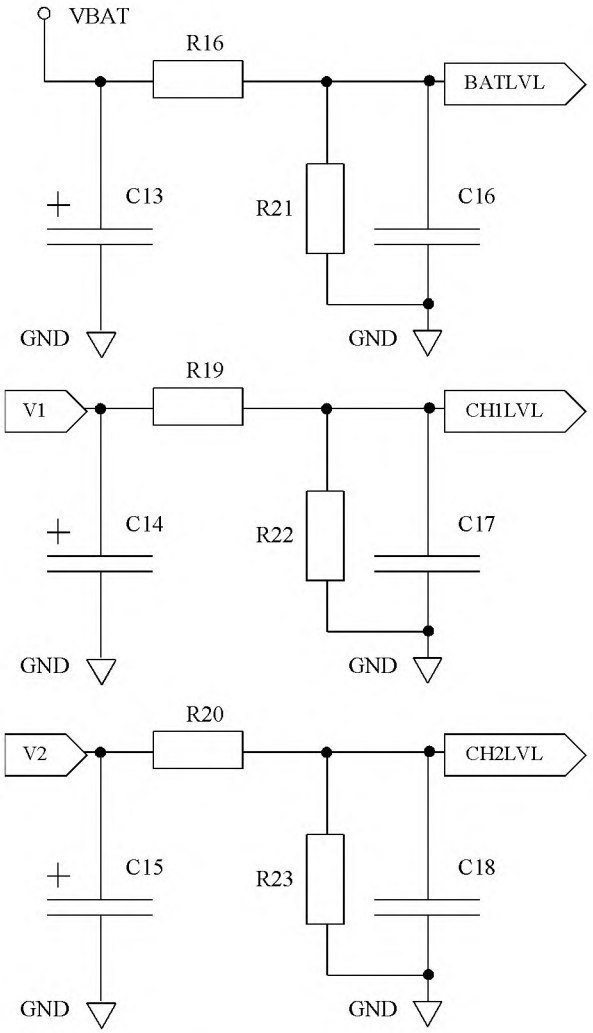


Рис. 2.16. Схеми зарядки конденсаторів

Далі дані про рівні напруг на суперконденсаторах передаються мікроконтролеру по виходах CH1LVL і CH2LVL. Конденсатор C13 потрібен щоб нейтралізувати паразитні параметри з'єднання плати з первинним літієвим елементом.

Управління зарядкою конденсаторів здійснюється програмно за допомогою мікроконтролера. Мікроконтролер проводить вимірювання напруг на суперконденсаторах і первинному літієвому елементі і виконує функцію

Created by Universal Document Converter

перемикання ключів комутатора в залежності від отриманих значень. Схема підключення мікроконтролера представлена на рис. 2.17.

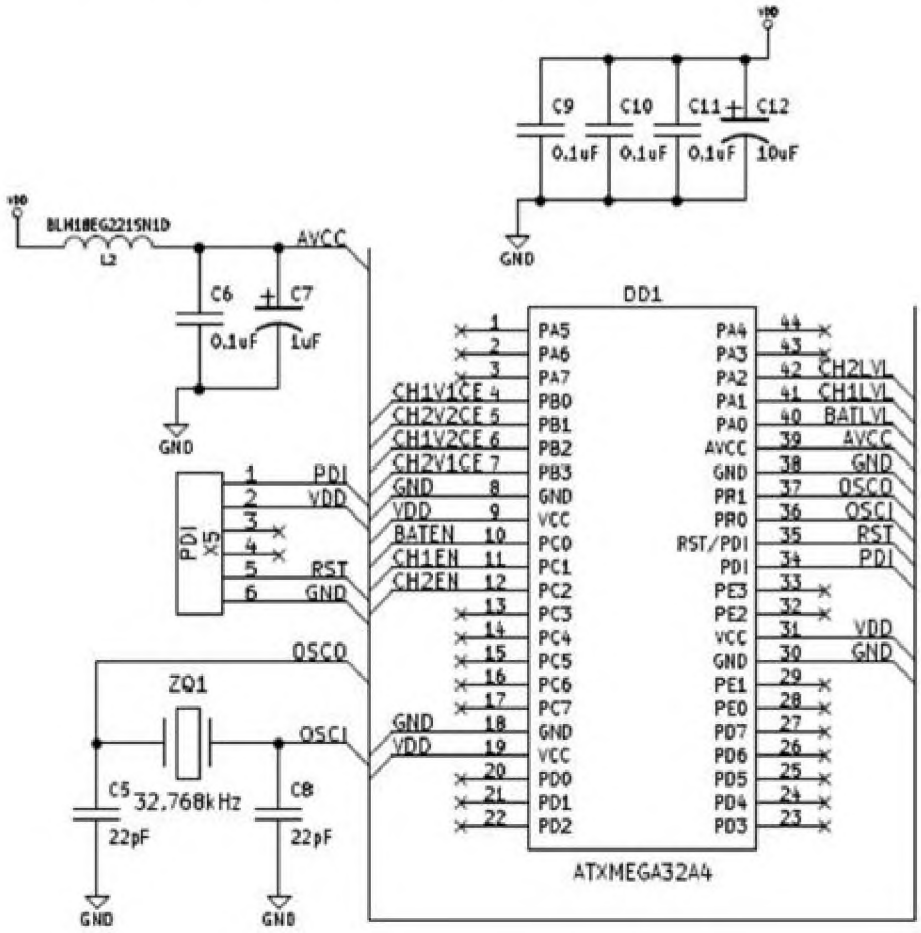


Рис. 2.17. Типова схема підключення мікроконтролера

Аналогічним чином здійснюється вибір вторинного джерела енергії (суперконденсатора). Залежно від отриманих значень напруги на суперконденсаторах і первинному літієвому елементі, вибирається один з вторинного джерела, напруга якого подається на вхід перетворювача і використовується для отримання заданої вихідної напруги. Рис. 2.18 показує схему вибору джерела живлення.

На рис. 2.19 представлена схема DC/DC перетворювача. Оскільки використається контролер для вибору джерел живлення, необхідно забезпечити стабільне джерело живлення для його роботи. Тому при запуску пристрою вибирається літієвий елемент.

Created by Universal Document Converter

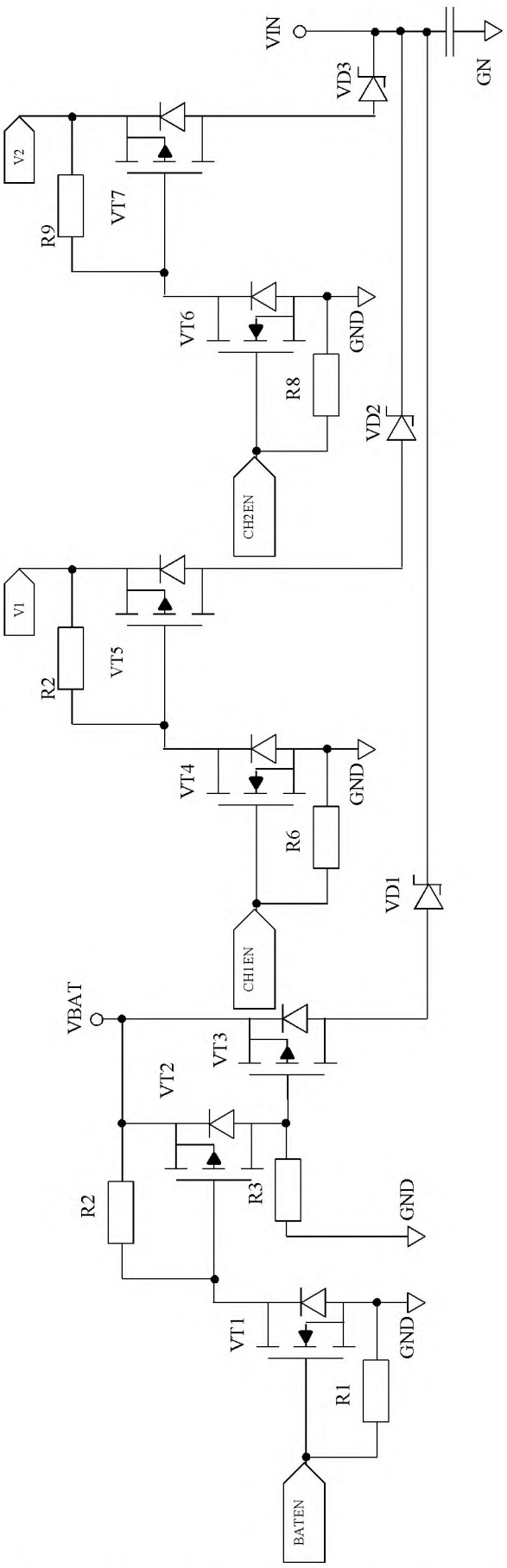


Рис. 2.18. Схема вибору джерела живлення

Created by Universal Document Converter

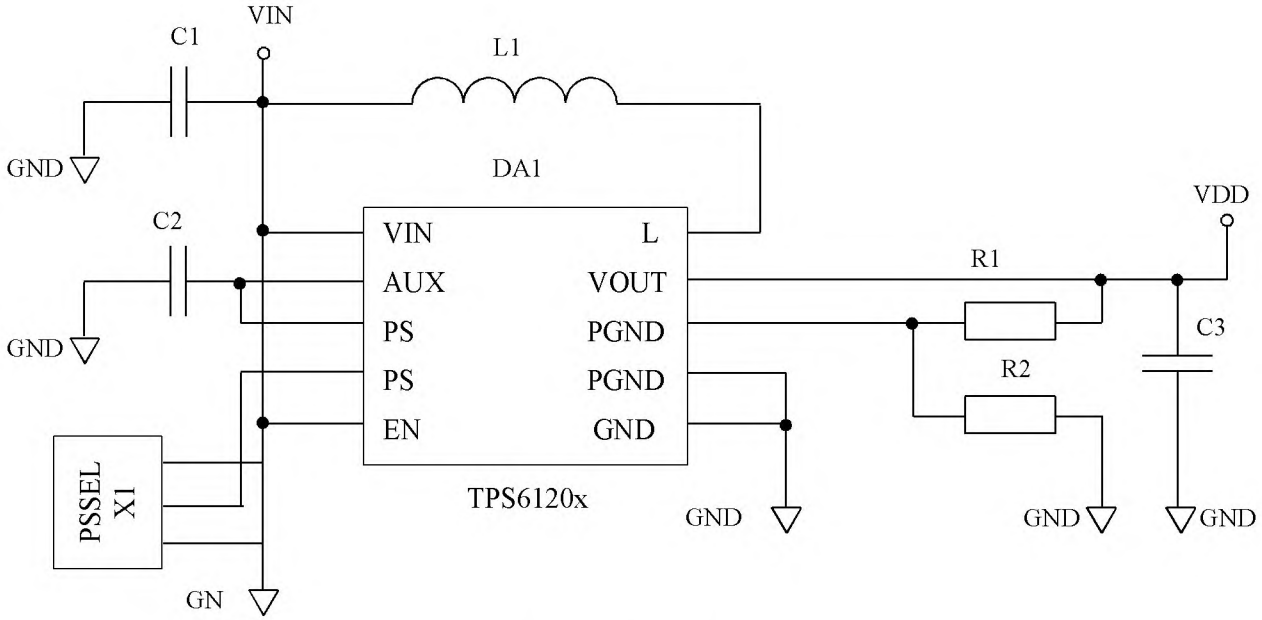


Рис. 2.19. Схема DC / DC перетворювача

Після процесу ініціалізації контролера і в залежності від рівня напруги на суперконденсаторах може перемикатися живлення від літієвого елемента до живлення від альтернативних джерел енергії.

2.2.2. Алгоритми вибору джерела живлення і зарядки суперконденсатора

Як раніше було зазначено, блок джерела живлення містить літієвий елемент і два канали для збору енергії від альтернативних джерел енергії. Один канал призначений для сонячної панелі та інший для вітрогенератора.

Щоб регулювати струм навантаження і управляти струмом зарядки суперконденсаторів в процесі зарядки, застосовується DC/DC перетворювач струму. Управління DC/DC перетворювачем здійснюється контролером джерела живлення.

Процес зарядки здійснюється програмою контролера джерела живлення. Програма містить алгоритмічні блоки які виконуються періодично: вибір

Created by Universal Document Converter

джерела живлення для сенсорної платформи, вибір джерела для зарядки суперконденсаторів, управління зарядкою від вітрогенератора і від сонячної панелі. Одночасно з цими процесами виконуються алгоритмічні блоки для DC/DC перетворення струму. Ці алгоритмічні блоки запускаються відповідно до таймера контролера джерела живлення і забезпечують перемикання ключів на основі призначених параметрів щоб зарядити і розрядити індуктивні елементи. У проміжках між усіма цими потоками контролер переходить в режим енергозбереження. В процесі запуску, в якості джерела живлення використовується літієвий елемент який теж застосовується як резервне джерело живлення. Після запуску і ініціалізації контролера, при наявності достатньої кількості напруги на суперконденсаторах живлення буде перемикатися на один з них. На початку алгоритму, вибір джерела живлення здійснюється віртуально і в кінці вибір проводиться на основі операцій. Спочатку вибирається літієвий елемент. Це джерело живлення застосовується за умовчанням. Далі порівнюється значення напруги на суперконденсаторах. Щоб запобігати безперервному перемиканню джерел живлення, рівні напруги визначаються на основі алгоритму гістерезису який уповільнює реакцію системи. Перемикання на живлення від резервного джерела живлення (тобто, літієвий елемент) до живлення від альтернативних джерел енергії відбувається коли напруга на суперконденсаторах підключених до CH1 і CH2 перевищить 0,9 В. Вибір джерела живлення від сонячної батареї або від вітрогенератора здійснюється виходячи з порівняння напруг на суперконденсаторах (C14 і C15 на рис. 2.16). Для живлення вибирається той конденсатор, який більше заряджений. Якщо значення напруги на обох суперконденсаторах рівні один одному і по величині більше 0,9 В тоді алгоритми які вбудовані в мікроконтролері визначають який суперконденсатор буде живити бездротовий давач (в залежності від кліматичних умов при яких бездротовий давач газу працює, зазначена умова визначається – рис. 2.20).

Created by Universal Document Converter

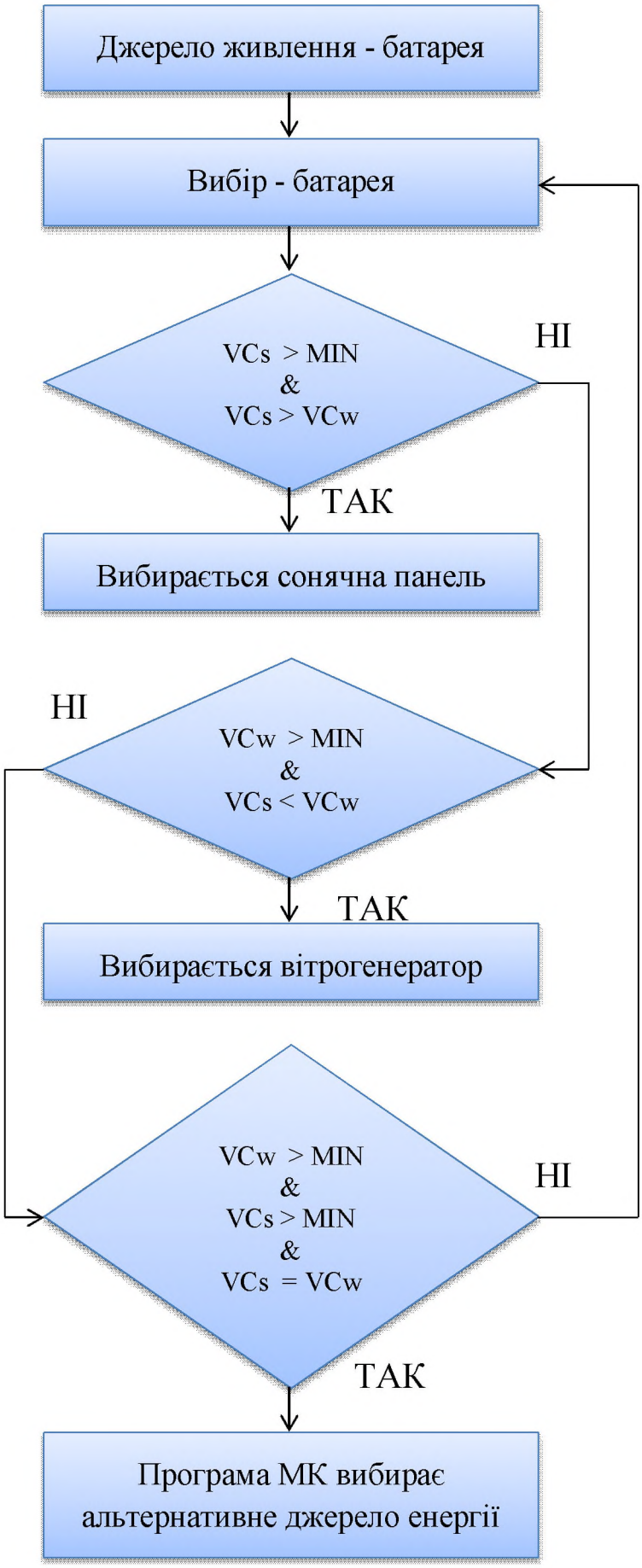


Рис. 2.20. Спрощений алгоритм для вибору джерела живлення

Created by Universal Document Converter

Зарядка суперконденсатора може здійснюватися будь-яким джерелом живлення: або сонячної панеллю або вітрогенератором. Якщо напруга на суперконденсаторі, який накопичує сонячну енергію, досягає максимального значення або іншими словами якщо він вже накопичив достатню кількість енергії і рівень напруги на суперконденсаторі від вітрогенератора менший ніж максимум і вихідна потужність від вітрогенератора менше ніж вихідна потужність сонячної панелі, суперконденсатор від вітрогенератора перемикається на зарядку від сонячної панелі та вітрогенератор працює без навантаження. Таким же чином якщо рівень напруги на суперконденсаторі, що накопичує вітрову енергію, більший ніж на суперконденсатор від сонячної панелі, то суперконденсатор від сонячної панелі перемикається на зарядку від вітрогенератора і живлення від з Сонячної панелі вимикається. Зазначена логіка ілюстрована на рис. 2.21. Щоб запобігати частому перемиканню в алгоритмі використовується гістерезис. За замовчуванням зарядка суперконденсатора вимкнена. Якщо рівень напруги на ньому менше максимуму, включається зарядка.

2.3. Реалізація макета інтелектуального джерела живлення інтегрувального в корпус сенсорного вузла з можливістю генерації та накопичення енергії Сонця і вітру

Для перевірки параметрів і характеристик схеми інтелектуального джерела живлення з можливістю генерації і накопичення електричної енергії від альтернативних джерел енергії розроблений макет зазначеної схеми.

Макет платформи акумулювання енергії являє собою друковану плату інтелектуального джерела живлення з можливістю інтеграції її в корпус сенсорного вузла і виконаний на основі електричної схеми автономного живлення експериментального зразка універсальної цифрової платформи з накопиченням енергії на основі суперконденсаторів і контура заряду від

Created by Universal Document Converter

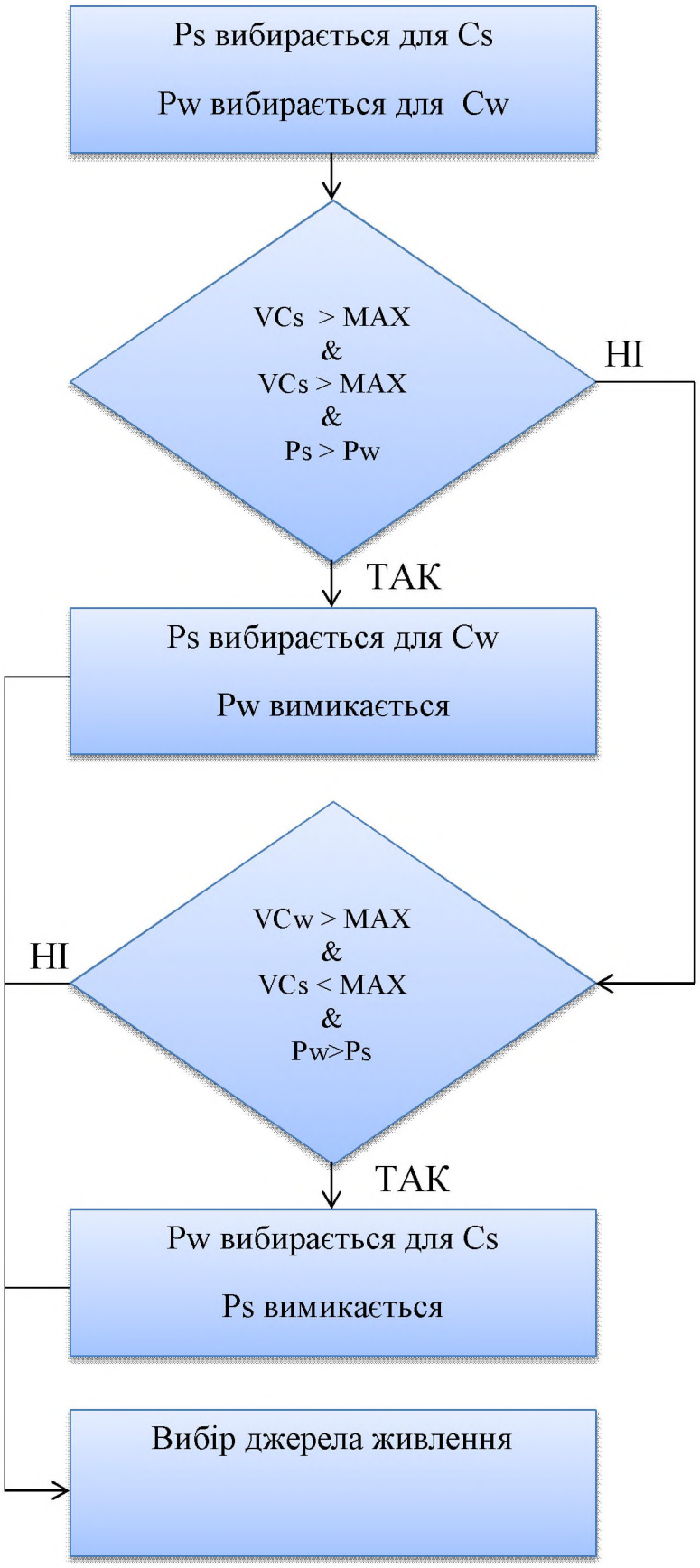


Рис. 2.21. Спрощений алгоритм для вибору джерела зарядки

Created by Universal Document Converter

альтернативних джерел енергії. Друкована плата макета складається з двох шарів.

Відповідно до рівняння (2.11), мінімальні ширина і товщина провідників на платі визначається, перш за все, на основі необхідної струмопровідної здатності і максимально допустимого підвищення температури провідника.

$$I = K\Delta T^{0,44} A^{0,725}. \qquad (2.11)$$

де I – струм, А;

А – поперечний переріз, м^2;

ΔT – збільшення температури в ° С ;

К – константа; К = 0,048 для зовнішніх шарів і К = 0,024 для внутрішніх шарів.

При цьому, допустиме підвищення температури провідників визначається як різниця між максимально безпечною робочою температурою матеріалу ламінату друкованої плати і максимальною температурою навколишнього середовища, впливу якої буде піддаватися друкована плата.

Мінімальна відстань між провідниками та іншими елементами визначається робочою напругою і має відповідати таблиці 2.6. При цьому вимоги до електричного зазору для зовнішніх провідників істотно вищі, ніж для провідників, які будуть захищені від зовнішніх забруднень лаковим покриттям. Електричний струм протікає тільки по замкнутому контуру. Це вірно як для сигналів, так і для джерел живлення. При цьому, такий контур емітує шум і чим більше контур, тим вище шум. Шум так само збільшується зі зростанням сили струму і частоти. Крім того, великий контур з більшою ймовірністю приймає шум. Таким чином, необхідно прагнути до зменшення площі контурів у схемі.

Кращим способом забезпечити мінімальну площу контуру є додавання на друковану плату доріжок шару заземлення. При цьому площа контуру дорівнюватиме довжині лінії передачі помноженої на відстань між

Created by Universal Document Converter

провідниками і заземленим шаром. Таким чином, шум плати з шаром заземлення значно нижче, ніж без нього.

Цифрові пристрої, такі як мікроконтролер або приймач, мають досить широкий діапазон напруг живлення і споживають струм лише кілька міліампер. Але, оскільки вони є цифровими, значення споживаного ними струму є середнім. Струм споживається ними дуже короткими імпульсами на фронтах тактових імпульсів. При перемиканні зовнішніх виводів мікросхем імпульсний споживаний струм збільшується. Імпульси струму по лініях живлення можуть досягати сотень міліампер. При цьому ширина імпульсів найчастіше лише кілька наносекунд. Такий імпульсний струм не може бути переданий по довгих лініях живлення. При цьому основним джерелом струму для цифрового пристрою стає розв'язуючий конденсатор.

Таблиця 2.6

Електричний зазор між провідниками

Напруга між провідниками	**Мінімальний зазор**						
	Не змонтована плата				**Збірка (модуль)**		
	B1	B2	B3	B4	A5	A6	A7
0 – 15	0,05 мм	0,1 мм	0,1 мм	0,05 мм	0,13 мм	0,13 мм	0,13 мм
16 – 30	0,05 мм	0,1 мм	0,1 мм	0,05 мм	0,13 мм	0,25 мм	0,13 мм
31 – 50	0,1 мм	0,6 мм	0,6 мм	0,13 мм	0,13 мм	0,4 мм	0,13 мм
51 – 100	0,1 мм	0,6 мм	1,5 мм	0,13 мм	0,13 мм	0,5 мм	0,13 мм
101 – 150	0,2 мм	0,6 мм	3,2 мм	0,4 мм	0,4 мм	0,8 мм	0,4 мм
151 – 170	0,2 мм	1,25 мм	3,2 мм	0,4 мм	0,4 мм	0,8 мм	0,4 мм
171 – 250	0,2 мм	1,25 мм	6,4 мм	0,4 мм	0,4 мм	0,8 мм	0,4 мм
251 – 300	0,2 мм	1,25 мм	12,5 мм	0,4 мм	0,4 мм	0,8 мм	0,8 мм
301 – 500	0,25 мм	2,5 мм	12,5 мм	0,8 мм	0,8 мм	1,5 мм	0,8 мм
> 500	0,0025 мм / в	0,005 мм / в	0,025 мм / в	0,00305 мм / в	0,00305 мм / в	0,00305 мм / в	0,00305 мм / в

Важливим питанням є правильне підключення розв'язуючого конденсатора. На рис. 2.22 показаний приклад неправильного підключення.

Created by Universal Document Converter

Конденсатор розташований занадто далеко від цифрового пристрою, створюючи контур з високим струмом. При цьому, лінії живлення і землі є частиною цього контуру. В результаті шум на лініях живлення легко поширюється на інші пристрої на платі і крім того, сам рівень шуму збільшується.

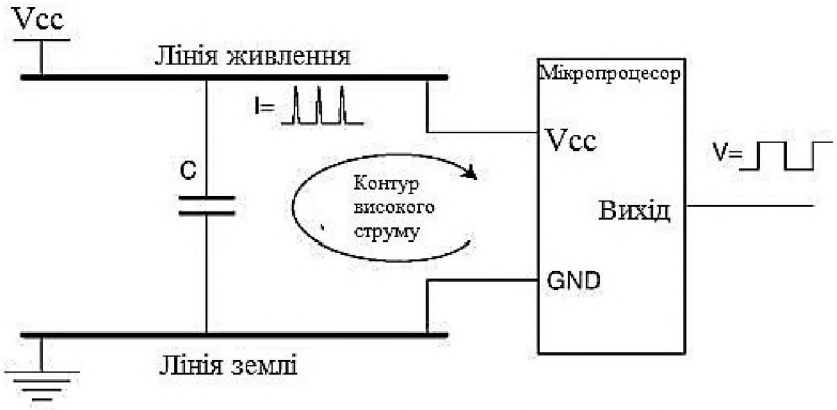


Рис. 2.22. Неправильне підключення розв'язуючого конденсатора

Правильне підключення конденсатора представлено на рис. 2.23. Лінії є частиною контуру високого струму, не є частиною ліній живлення і землі. Таким чином, не поширюють шум на інші пристрої.

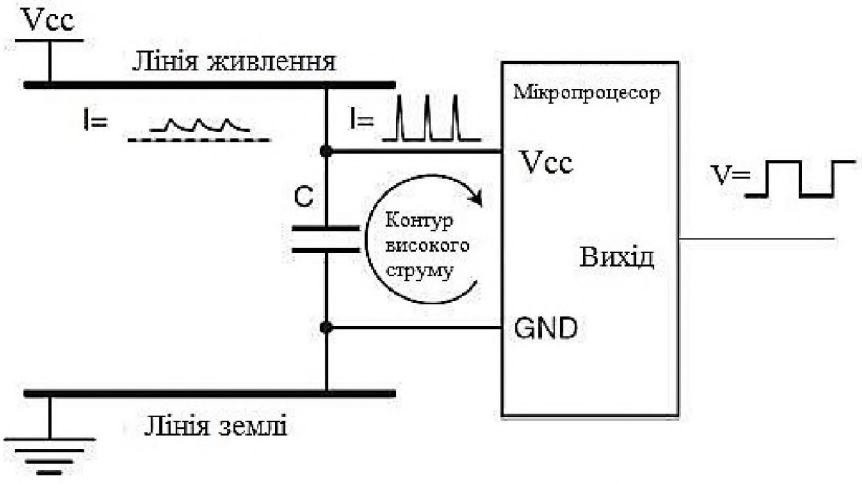


Рис. 2.23. Правильне підключення розв'язуючого конденсатора

Цифрові мікросхеми, виводи живлення яких розташовані поблизу один від одного, дозволяють здійснити розв'язання більш ефективно, ніж ті виводи

Created by Universal Document Converter

живлення яких розташовані окремо. Оскільки виробники часто пропонують кілька варіантів корпусів мікросхем, для забезпечення кращих характеристик друкованої плати слід вибрати ті виводи, живлення яких розташовані разом.

Оскільки пристрій не містить потужних споживачів струму, то для всіх частин пристрою пред'являються загальні вимоги, обумовлені технологією виготовлення друкованої плати. Ширина доріжок і відстань між ними повинні бути не менше 0,2 мм. Діаметр перехідних отворів не менше 0,4 мм і мінімальний діаметр монтажних отворів – 0,6 мм. Топологія цілком представлена на рис. 2.24.

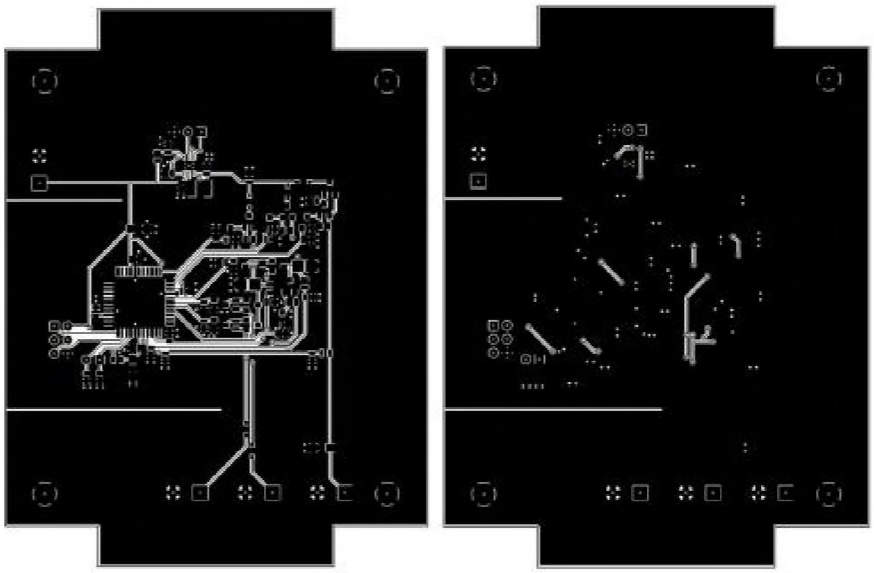


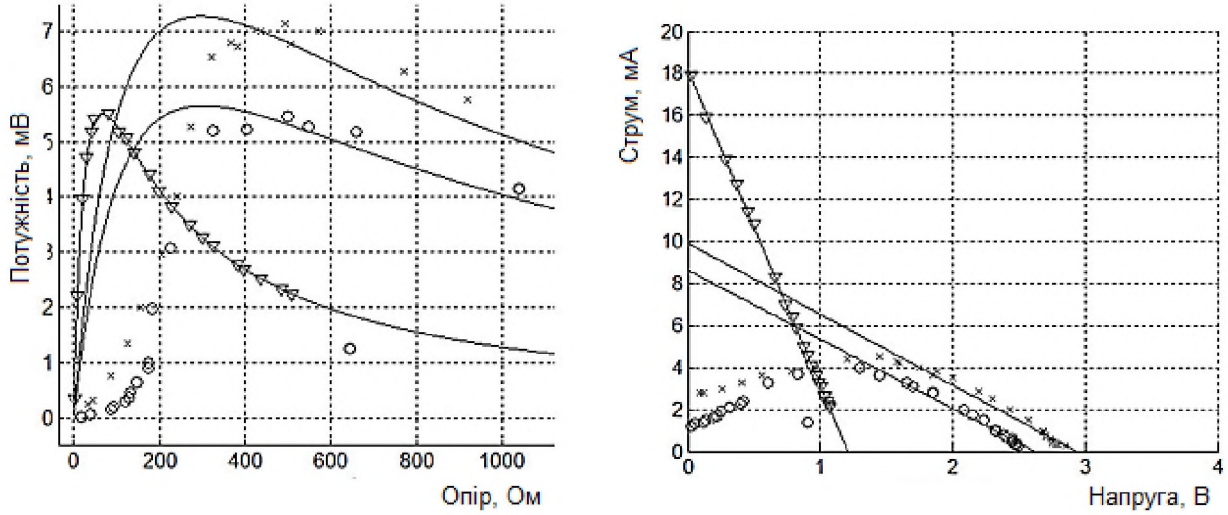
Рис. 2.24. Топологія друкованої плати макета

2.4. Дослідження вітрогенератора

Як раніше було зазначено, модуль збору енергії акумулює енергію Сонця і вітру. Нами проведено вимірювання напруги холостого ходу і струму короткого замикання вітрогенератора при швидкості вітру 4,3 м/с, які склали 2,2 В і 27 мА відповідно. Також були проведені вимірювання струму короткого замикання при швидкостях 2,5, 3, 3,5, 5, 5,7 та 6 м/с які за величиною були рівні 3, 6, 15, 24, 27 і 30 мА. Швидкість вітру була виміряна

Created by Universal Document Converter

за допомогою анемометра BL – 30 і тахометром DT – 10 L була виміряна кількість обертів лопатей. В експерименті були досліджені вольт-амперна характеристика і залежність потужності вітрогенератора від опору навантаження при швидкостях вітру 3,7 м/с і 4,5 м/с (рис. 2.25 (а) і 2.25 (б)).



(а) (б)

Рис. 2.25. (а) Отримана потужність при різних навантаженнях; (б) вольт-амперна характеристика;

x – вітряк з лопаттю розміром 4,35 с м при швидкості вітру 4,5 m / c ;

o – вітряк з лопаттю розміром 4,35 см при швидкості вітру 3,7 м / с;

▽ – вітряк з лопаттю розміром 8,85 см при швидкості вітру 4,5 м / с

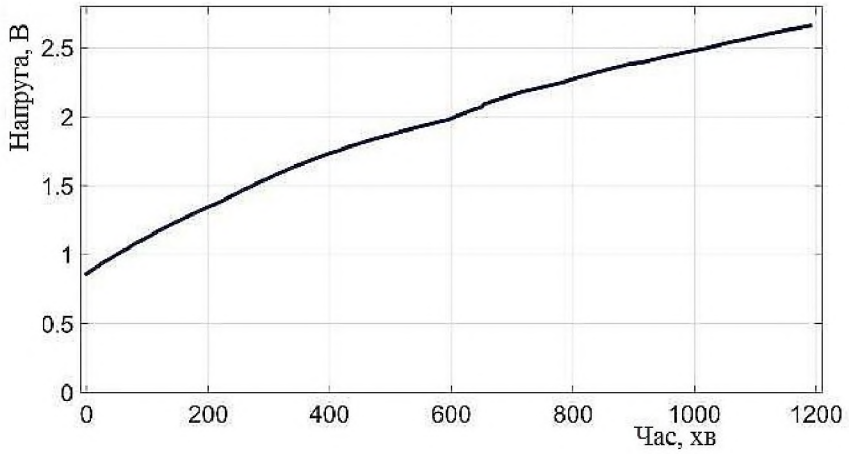
Довжина першої лопаті використаного під час проведення експерименту вітряка становить 4,35 см і другий 8,85 см. На рис. 2.25 (а) представлені залежності корисної потужності від опору навантаження. Із даного рисунка видно, що максимальна потужність для першої лопаті при швидкості 4,5 м/с відповідає 7,2 мВт, для швидкості 3,7 м/с – 5,5 мВт. Для другої лопаті максимальна потужність складає 5,5 мВт на швидкості 4,5 м/с.

З графіка 2.25 (а) можна бачити, що використання великої лопаті при маленьких навантаженнях приблизно рівних 60 Ом призводить до генерації максимальної потужності а маленька лопать виробляє максимальну

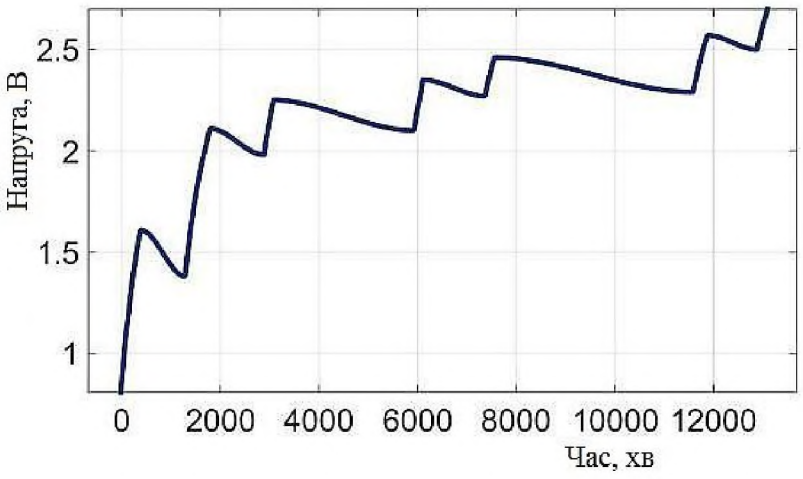
Created by Universal Document Converter

потужність при порівняно більших навантаженнях, що відповідають 250 Ом. Звідси випливає, що в залежності від навантаження можна вибрати лопать.

На рис. 2.26 (а) і рис. 2.26 (б) показані залежності зарядки кондесатора від вітру при швидкості вітру 4 м/с. Вітер б л згенерований вентилятором. Для вимірювання швидкості був використаний анемометр VOLTCRAFT (BL – 30). Рис. 2.2 (а) ілюструє час, необхідний для зарядки суперконденсатора до 2,7 В при постійній швидкості вітру 4 м/с. Повна зарядка суперконденсатора вимагає біля 20 годин. Рис. 2.2 (б) демонструє зарядку суперконденсатора в разі змінного вітру. З графіка видно, що заряд суперконденсатора може зайняти кілька днів.



а)



б)

Рис. 2.26. Зарядка суперконденсатора від вітрогенератора:

Created by Universal Document Converter

(а) безперервна зарядка при швидкості вітру 4 м/с;

(б) зарядка суперконденсатора в залежності від вітру

2.5. Дослідження процесу генерування електроенергії сонячною батареєю

Сонячна батарея, яка використовується для живлення давача, має напругу холостого ходу U_{xx} = 2,2 В і струм короткого замикання I_{K3} = 0,35 А. Первинний літієвий елемент призначений для використання в якості резервного накопичувача в тих випадках, коли суперконденсатори розряджені, а кількість енергії, що надходить від альтернативних джерел енергії, недостатня для живлення давача.

На рис 2.7 представлені, отримані нами криві зарядки суперконденсатора від сонячної батареї. Суцільна крива на рис. 2.7 показує процес зарядки суперконденсатора від сонячної батареї який проводився в один із сонячних дні й в травні в м. Тернополі.

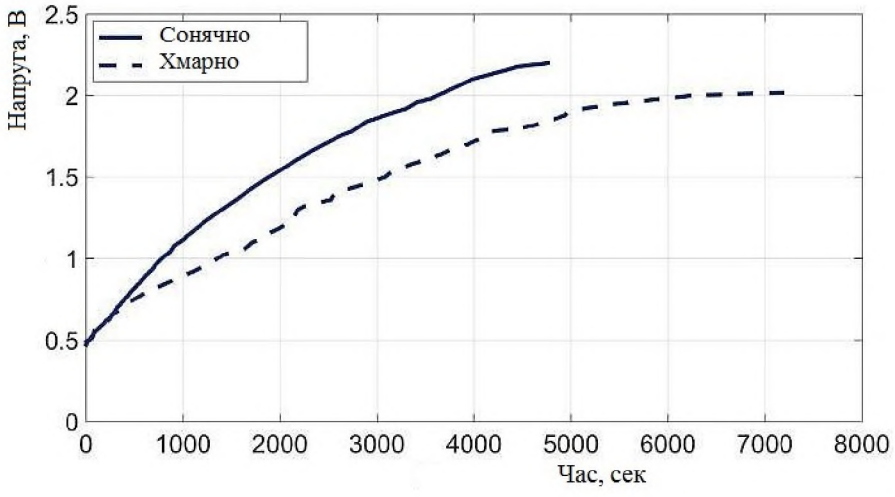


Рис. 2.27. Зарядка суперконденсатора від сонячної батареї

З отриманих даних видно, що для заряду суперконденсатора до напруги 2,2 В потрібно трохи більше однієї години. Пунктирна крива на рис. 2.7

Created by Universal Document Converter

показує процес зарядки суперконденсатора від сонячної батареї при мінливій хмарності, при цьому час зарядки збільшується. Відзначимо, що при експериментах з сонячною батареєю не була виміряна інтенсивність випромінювання Сонця, оскільки необхідно було оцінити час зарядки за реальних умов.

На рис. 2.8 показано зменшення напруги на суперконденсаторі без навантаження протягом приблизно одного тижня. У початковий момент часу розрядка суперконденсатора відбувається швидко. Однак, коли напруга досягає рівня 2,3 В, процес розрядки сповільнюється.

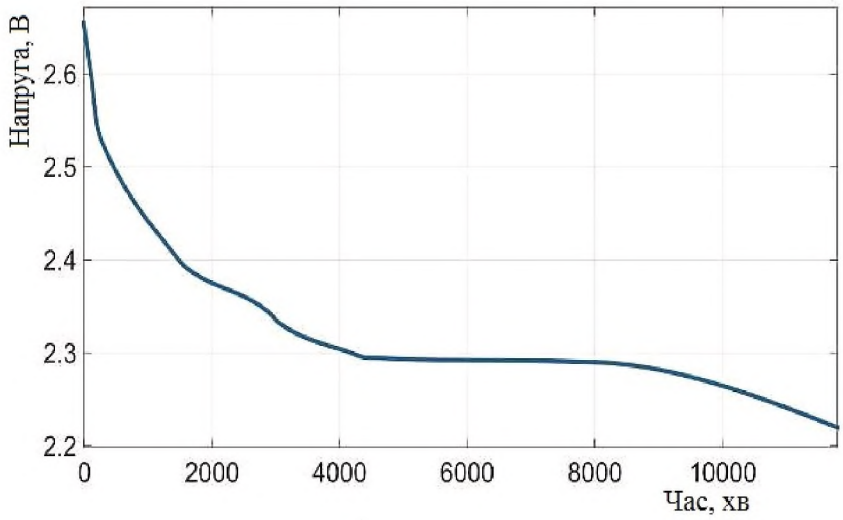


Рис. 2.28. Саморозряд суперконденсатора протягом 6 днів

Енергія, запасена в кожному суперконденсаторі, визначається рівнянням:

$$W = \frac{C}{2}\left(V_{\max} - V_{\min}\right)^2. \qquad (2.12)$$

де $V_{\max}$ і $V_{\min}$ – максимальне (2,7 В) і мінімальне (0,9 В) значення напруги;

C – ємність суперконденсатора .

При ємності суперконденсатора 400 Ф, кількість збереженої енергії рівна 1450 Дж, або 0,41 Вт·год. Якщо конденсатор буде відключений при

Created by Universal Document Converter

напрузі 0,9 В, то доступна для використання енергія становить 1300 Дж, або 0,36 Вт·год.

Напруга перемикання живлення з літієвого елемента на альтернативні джерела становить0,9 В, виходячи з таких міркувань: за своїми технічними параметрам DC/DC перетворювач повинен стабілізувати напругу на виході, починаючи з 0,3 В на вході. Однак експериментальні дослідження показали, що при подачі напруги на DC/DC перетворювач нижче 0,9 В не підтримує стабілізовану напругу 2,8 В на виході. Це пов'язано з тим, що енергії, запасеної в суперконденсаторі при напрузі і меншій, ніж 0,9 В (W = 0,045 Дж), недостатньо, щоб забезпечити живлення давача. Велика частина енергії, що надходить на вхід DC/DC перетворювача, розсіюється в його схемі.

Необхідно відзначити, що енергія, запасена в суперконденсаторі при напрузі на його обкладках 0,9 В , становить всього 10 % від енергії, запасеної при напрузі 2,7 В. При цьому, згідно з технічними характеристиками, ККД перетворення DC/DC перетворювача при напрузі менш 0,9 В на його вході менше 50 %. Тому не має сенсу боротися за можливість живлення давача від напруги менше 0,9 В.

2.6. Автономна робота давача чадного газу на основі живлення від поновлюваних джерел енергії

В якості СО давача використовується електрохімічний давач NAP – 505 (Nemoto, Японія), який працює в амперометричному режимі проведення вимірювань. Принцип дії давача заснований на тому, що якщо до електродів прикласти певний потенціал, що відповідає процесу окислення або відновлення певної речовини, то сила струму буде пропорційна його концентрації. Для проведення точних амперометричних досліджень і вимірювань електрохімічні давачі мають три електроди: робочий, допоміжний і порівняння. Електрод порівняння необхідний для точної підтримки

Created by Universal Document Converter

незмінною напругу між робочими електродами. Газ проникає всередину давача через газопроникну мембрану і вугільний фільтр, який видаляє неконтрольовані гази. Хімічна реакція відбувається на трифазній межі розподілу електроліт – газ – каталізатор.

Для зменшення енергоспоживання давача його робота і проведення вимірювань здійснюються в періодичному режимі (сплячий режим – режим вимірювання). Алгоритм роботи давача представлений на рис. 2.29.

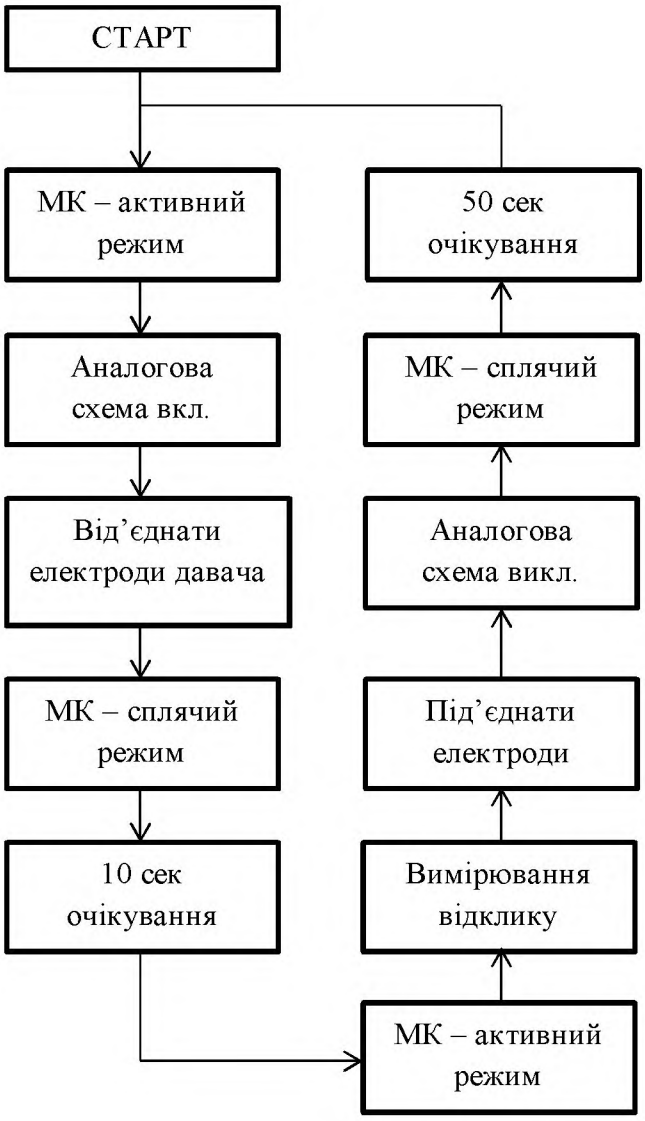


Рис. 2.29. Алгоритм роботи автономного давача СО

Created by Universal Document Converter

У сплячому режимі живлення аналогової вимірювальної схеми повністю вимикається за допомогою МОП транзистора, а сам МК переходить в сплячий режим роботи. При цьому знімається живлення також із давача СО. У такому (періодичному) режимі вимірювань необхідно врахувати одну особливість роботи давача СО, після виходу із сплячого режиму для стабілізації вихідної напруги на робочому електроді давача СО потрібно 1 – 2 хвилини. Тому тривалість проведення вимірювань не може бути менше 2 хвилин. Однак якщо під час сплячого режиму замкнути робочий електрод і електрод порівняння, то період стабілізації напруги зменшується до 10 секунд. Замикання робочого електрода і електрода порівняння забезпечує аналоговий перемикач. Після виходу МК із сплячого режиму для проведення вимірювань він віддає команду на розмикання робочого електрода і електрода порівняння.

При цьому сам МК, щоб не витрачати енергію, на 10 секунд повертається в сплячий режим роботи. Через 10 секунд МК виходить зі сплячого режиму і виконує вимірювання напруги на робочому електроді і проводить розрахунок концентрації СО. Далі цикл роботи давача СО повторюється. Таким чином, давач практично весь час перебуває в режимі енергозбереження крім випадків, коли вимірювання проводяться під час активації приймача. Під час передачі даних основним споживачем енергії є приймач.

Рис. 2.30 ілюструє споживання струму бездротовим давачем при проведенні вимірювань концентрації СО і передачі даних. Рис. 2.31 показує середній струм споживання, тобто вимірювання СО і передачу даних мережевому концентратору. Пік споживання струму спостерігається при отриманні або передачі даних. Пік струму, пов’язаного з підключенням чи відключенням робочого і порівняльного електродів, не відрізняється в цьому часовому масштабі, так як час перемикання відбувається за мілісекунди.

Created by Universal Document Converter



Рис. 2.30. Споживання струму сенсорного модуля: вимірювальний режим;

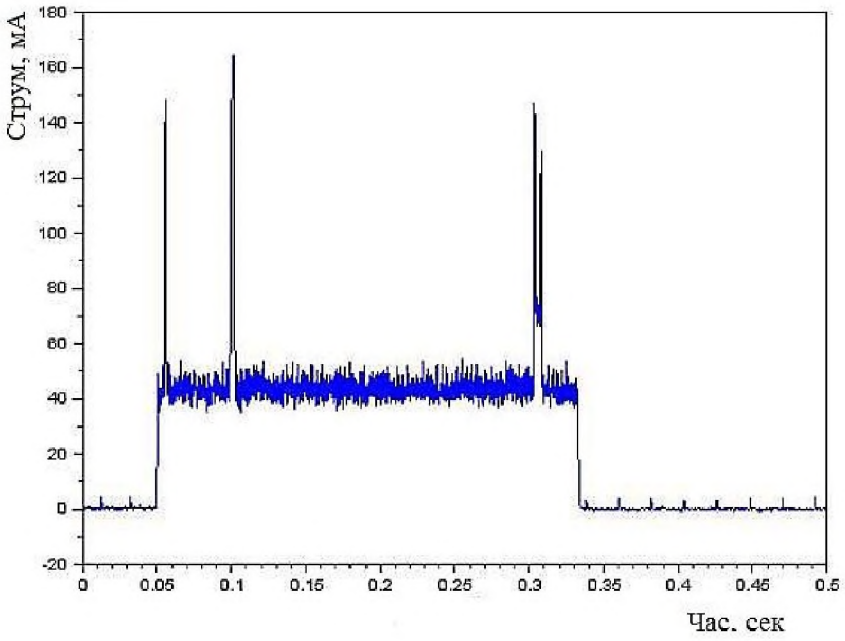


Рис. 2.31. Середній струм споживання (вимірювання і передача даних) становить 43,49 мА протягом 0,28 с

Середнє споживання струму під час передачі даних становить 43,49 мА протягом 0,28 с (рис. 2.31). Таким чином, при одному вимірюванні в хвилину і

Created by Universal Document Converter

подальшої передачі даних середнє споживання струму давачем буде близько 0,2 мА.

Час автономної роботи давача на основі живлення від ідеального первинного літієвого елемента (3,7 В 32000 мА·год) становить 21 місяць. На рис. 2.32 показані теоретичні і експериментальні залежності зменшення енергії в конденсаторі і напруги на його обкладках при роботі давача СО в разі повністю зарядженого суперконденсатора (U = 2,7 В). Розрядка суперконденсатора відбувається набагато швидше (240 годин) в порівнянні з очікуваним теоретичним значенням, яке приблизно рівне 360 годин. Цей результат обумовлений як саморозрядом суперконденсатора, так і втратами в DC/DC перетворювачі. DC/DC перетворювач, якщо понижує напругу, має високий ККД (близько 90 %). У разі підвищення напруги до 2,8 В ККД перетворення значно нижче.

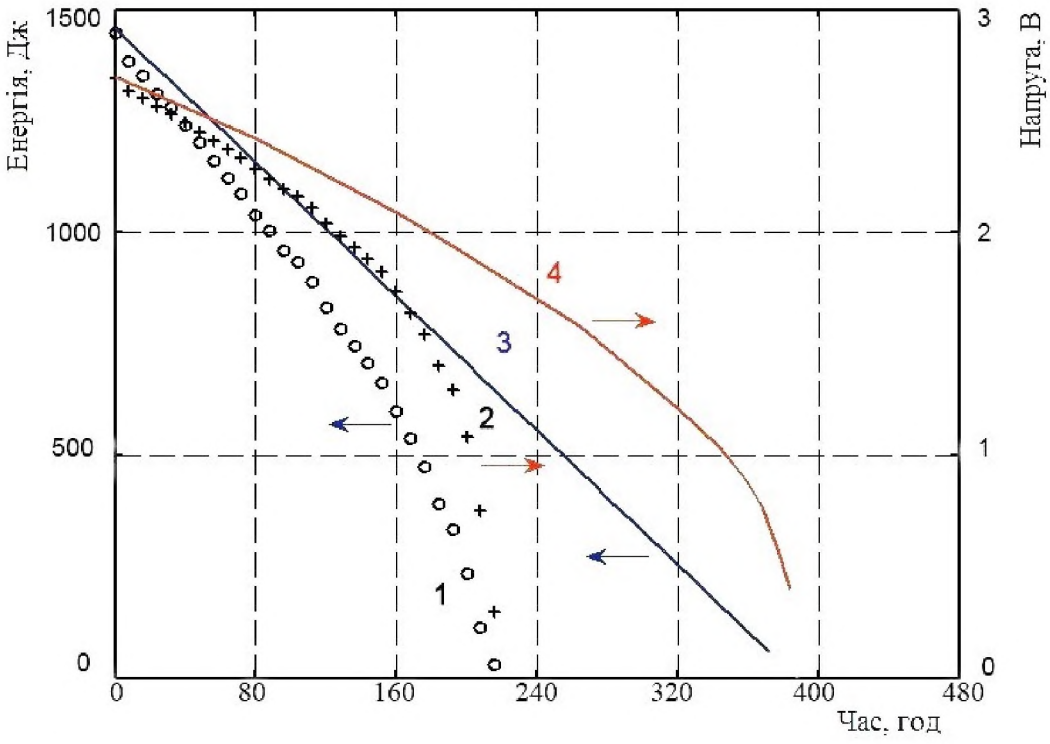


Рис. 2.32. Теоретичні (суцільна крива) і експериментальні (точкова крива) значення накопиченої енергії (цифри «1» і «3») в суперконденсаторі і напруги на його обкладках (цифри «2» і «4») в залежності від часу роботи бездротового давача чадного газу

Created by Universal Document Converter

2.7. Автономна робота давача метану на основі живлення від поновлюваних джерел енергії

Як давач метану був обраний каталітичний давач який працює за схемою Уитстона [19]. Блок-схема представлена на рис. 2.33 включає в себе два давача: активний (*R4*) і порівняльний (*R5*) давачі. *R1* і *R2* – резистори з опором 1 кОм. Значення опору *R3* становить 1 Ом. Зазначений резистор підключений послідовно до моста, щоб виміряти струм нагріву шляхом вимірювання падіння напруги на ньому і застосування закону Ома. Значення опору активного і порівняльного давачів при нормальних умовах відповідають 12 Ом. Каталітичні давачі зазвичай застосовуються для виявлення концентрації газів в нижніх межах вибуховості.

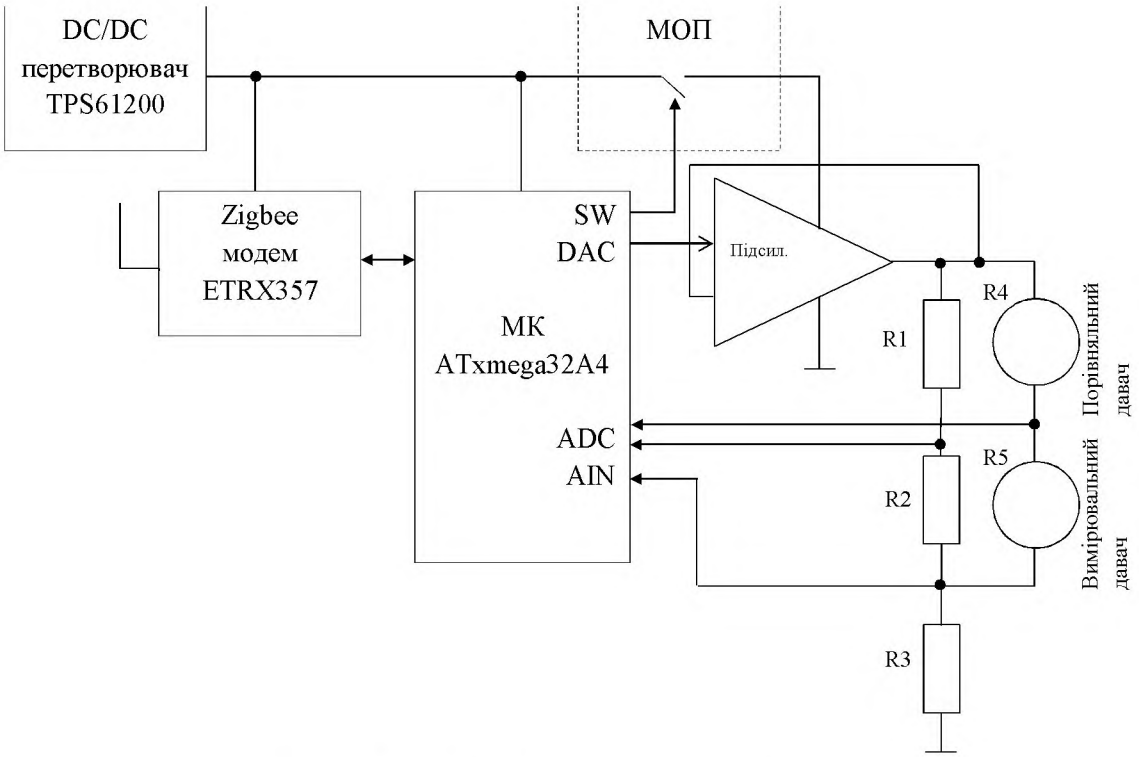


Рис. 2.33. Блок схема сенсорного модуля

Давач споживає потужність 150 мВт [19]. Обидва давача (активний і порівняльний) повинні нагріватися до температури нагріву, тобто, 450 °C при

Created by Universal Document Converter

якій відбувається згорання газу. Щоб задовольняти цю вимогу, необхідно прикласти до давача напругу 2,8 В.

Напруга нагрівання регулюється цифро-аналоговим перетворювачем (ЦАП) в мікроконтролері і вихідним випрямлячем. Вимірювальна схема відключається МОП транзистором коли не проводиться моніторинг навколишнього середовища.

Рис. 2.34 ілюструє зміну струму споживання давача протягом процедур нагрівання, вимірювання та передачі даних. Зі збільшенням температури давача, зростає і його опір. Це призведе до зменшення струму нагріву за умови, що напруга нагрівання залишається постійною. Час необхідний для нагрівання давача і забезпечення можливості здійснення вимірювань складає 0,7 с.

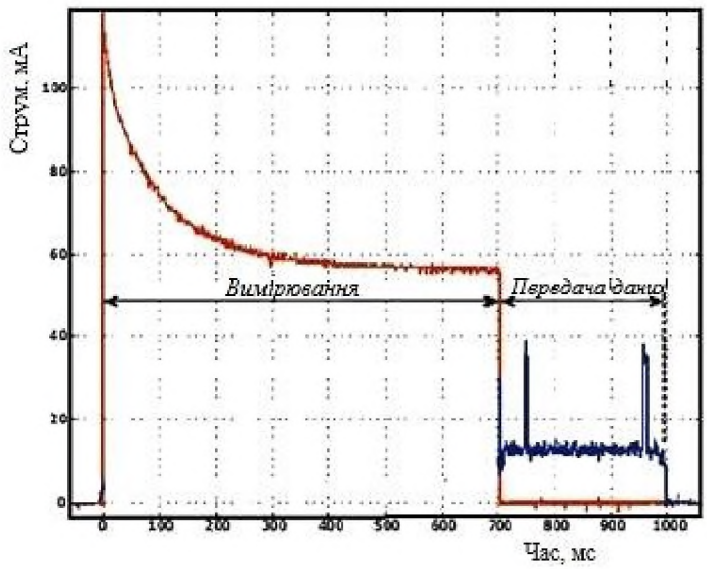


Рис. 2.34. Споживання струму сенсорним модулем з виявлення метану

Відгуком давача є напруга між плечима мостової схеми Уитстона яке змінюється при наявності метану. Далі мікроконтролер обробляє дані з давача газу і перемикає передавач в активний режим, щоб трансивер передав дані (синя частина на рис. 2.34). Щоб гарантувати безвідмовну передачу даних, трансивер очікує сингал підтвердження. Як і в разі давача CO , вимірювання проводяться періодично і для давача метану вони здійснюються раз в 15 с.

Created by Universal Document Converter

Після завершення етапу передачі даних, сенсорний модуль перемикається в енергозберігаючий режим.

Споживана потужність сенсорного модуля в енергозберігаючому режимі складає порядку мікроампер. При цьому режимі всі модулі і годинник мікроконтролера відключаються крім RTC (годинник реального часу) який регулюються зовнішнім 32,768 кГц кварцовим генератором. Переривання, що генеруються RTC використовуються для пробудження мікроконтролера. Після виходу з енергозберігаючого режиму повторюється цикл вимірювання.

Як раніше було зазначено, потрібна напруга 2,8 В для нагріву давачів до температури 450 °С. Середній постійний струм що протікає протягом періоду нагрівання дорівнює 65 мА в результаті чого споживана потужність давача при безперервному режимі вимірювання складає 180 мВт.

Час роботи давача $t_д$ на основі живлення від первинного літієвого елемента і без урахування передачі даних обчислюється таким чином:

$$t_д = \frac{U_l \cdot C_l}{P_d \cdot t_в / T} = \frac{3,6 \cdot 18000}{180 \cdot 0,7 / 15} = 7714\,год = 321\,день, \qquad (2.13)$$

де U_l – напруга первинного літієвого елемента, В;

C_l – ємність первинного літієвого елемента, А·год;

P_d – споживана потужність давача при безперервному режимі, мВт;

$t_в$ і T – час вимірювань та періодичність вимірювань, с.

З рис. 2.34 середній струм при передачі даних буде приблизно 14,8 мА, а спожита потужність 41,4 мВт. За виразом 2.3 знайдемо час автономної роботи:

$$t_д = \frac{U_l \cdot C_l}{P_d \cdot t_в / T + P_п \cdot t_п / T} = \frac{3,6 \cdot 18000}{180 \cdot 0,7 / 15 + 41,4 \cdot 0,3 / 15} = 7013\,год = 992\,дні, \qquad (2.14)$$

Відповідно до виразів (2.3) і (2.4) , час автономної роботи бездротового давача метану при живленні давача від суперконденсатора, який зарядився від

Created by Universal Document Converter

поновлюваних джерел енергії дорівнюватиме 43 години. З урахуванням етапу передачі даних час автономної роботи становить 39 год.

$$t_{\partial} = \frac{Q_C}{P_d \cdot t_в / T} = \frac{0,36}{180 \cdot 0,7 / 15} = 43 год, \quad (2.15)$$

де Q_C – енергія, накопичена в суперконденсатора. При ємності 400 Ф, $Q_C = 0,36$ Вт·год.

$$t_{\partial} = \frac{Q_C}{P_d \cdot t_в / T} = \frac{0,36}{180 \cdot 0,7 / 15 + 41,4 \cdot 0,3 / 15} = 39 год, \quad (2.16)$$

На рис. 2.35 показано теоретичні і експериментальні залежності зменшення енергії в конденсаторі і напруги на його обкладках при роботі давача метану в разі повністю зарядженого суперконденсатора (U=2,7 В).

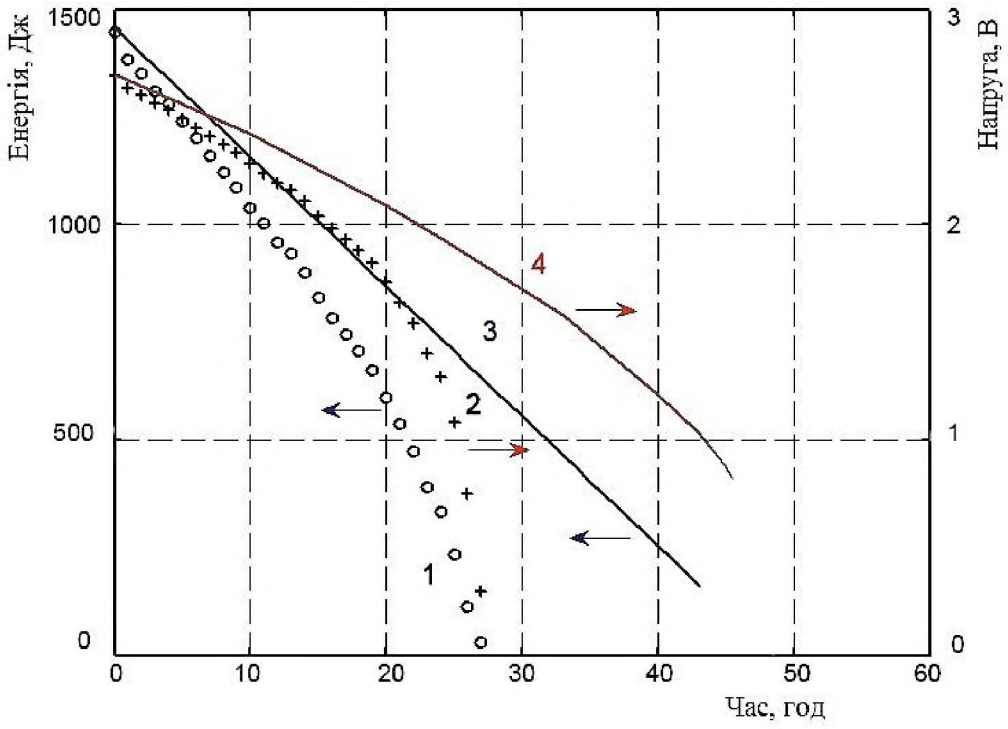


Рис. 2.35. Теоретичні (суцільна крива) і експериментальні (точкова крива) значення накопиченої енергії (цифри «1» і «3») в суперконденсаторі і напруги на його обкладках (цифри «2» і «4») в залежності від часу роботи бездротового давача метану

Created by Universal Document Converter

Розрядка суперконденсатора відбувається набагато швидше (28 годин) в порівнянні з очікуваним теоретичним значенням, які приблизно рівні 43 годинам. Як і в разі давача CO, цей результат пов'язаний з саморозрядом суперконденсатора, так і втратами в DC/DC перетворювачі.

DC/DC перетворювач має високий ККД (близько 90 %), якщо понижує напругу. У разі підвищення напруги до 2,8 В ККД перетворення значно нижче.

2.8. Перспектива застосування енергоустановки на базі поновлюваних джерел енергії для живлення бездротових сенсорних мереж

Однією з областей де бездротові давачі можуть застосовуватися вважається нафтогазова промисловість. Деякі з нафтогазових підприємств розташовані у віддалених і несприятливих місцях. Через це проводити кабельні лінії для живлення давачів складно. При відсутності живлення від електричної мережі, час роботи бездротових газових давачів обмежується ємністю батарей. У великому нафтогазовому полі, що складається з величезної кількості давачів, заміна батарей може займати багато часу і ця процедура ускладнюється коли поле знаходиться в місцях, що характеризуються вище зазначеними особливостями. Давачі для виявлення горючих газів споживають значну кількість енергії і це потрібно враховувати коли бездротова мережа створена для моніторингу газів такого типу. В останньому випадку необхідне стабільне джерело живлення. Для того, щоб збільшити час автономної роботи, одним варіантом є проектування платформи яка може акумулювати енергію від декількох джерел енергії навколишнього середовища. Сонячна та вітрова енергії можуть забезпечити живлення при моніторингу в нафтогазових полях. З цієї причини пристрій,

Created by Universal Document Converter

який було розроблено в даній роботі, акумулює енергію від поновлювальних джерел енергії. Необхідно відзначити, що вибір поновлюваного джерела енергії залежить від завдання де давачі будуть розміщуватись.

Інший аспект пов'язаний із застосуванням пристроїв акумулювання енергії в розумних будинках і має комерційний характер. В розумних будинках може застосовуватися велика кількість давачів для вимірювання різних параметрів таких як температура, волога, освітлення, якість повітря усередині приміщення тощо. Щоб забезпечити автономний режим роботи можна акумулювати різні види існуючої енергії всередині будівлі. Наприклад можна збирати енергію освітлення всередині приміщення або використовувати енергію за рахунок різниці температури.

2.9. Висновки до розділу

1. Енергоустановка повинна складатися з наступних частин: вхідний блок, що включає в себе літієвий елемент і альтернативні джерела живлення (сонячна батарея, вітрогенератор і ін.), блок комутації і зберігання енергії, блок вибору джерела живлення і перетворювач напруги.

2. В якості накопичувача енергії вибрано суперконденсатор, так як у нього значне число циклів заряду-розряду протягом 10 років роботи (близько 100 000 разів).

3. Енергоустановка по акумулюванню енергії повинна бути оснащена резервним джерелом живлення таким як літієвий елемент, щоб забезпечити живлення в інтервалах часу коли енергія від альтернативних джерел енергії не достатня для живлення бездротового газового давача.

4. Щоб відстежувати рівень напруги на суперконденсаторах і вибрати джерело живлення в установці пропонується використати блок моніторингу потужності.

Created by Universal Document Converter

5. Розробку системи акумулювання енергії слід проводити таким чином щоб вона могла б працювати з різними пристроями збору енергії в плані вихідної напруги. Необхідно відзначити, що цей підхід з одного боку збільшує гнучкість системи а з іншого боку її складність.

6. Щоб отримати необхідну напругу для бездротового газового давача, при живленні від нестабільних джерел енергії (сонце, вітер), пропонується використати імпульсний перетворювач.

7. Особливістю лінійних регуляторів є їх простота схеми і низький рівень шуму. Однак їх ефективність зменшується в міру зростання різниці між вхідною і вихідною напругами.

8. Іншим варіантом перетворення рівня напруги є застосування понижувальних перетворювачів. Для розгляду ефективності перетворювача були обчислені струм споживання бездротового сенсорного модуля для виявленню газу в активному і енергозберігаючому режимах. Проведено аналіз модуля LTC 3388-3 ефективність якого при роботі в зазначених режимах становить 90 %.

9. Для оцінки ефективності підвищуючого перетворювача розглянуто конвертер TP861201. З огляду на струм споживання бездротового газового давача, ефективність зазначеного перетворювача при роботі сенсорного модуля в активному і енергозберігаючому режимах становить 90 % і 80 %. Однак ефективність може погіршуватися при низькому рівні вхідної напруги. Наприклад, в разі живлення бездротового газового давача від альтернативних джерел енергії, з'ясувалося, що при подачі вхідної напруги 0,3 В на TPS 61200 конвертер не може працювати належним чином і генерувати напругу 2,8 В на його виході.

10. Підвищуючий/понижуючий перетворювач є одним з найважливіших блоків, що застосовуються в блоку живлення бездротових давачів газу. Це пов'язано з тим, що енергія від альтернативних джерел енергії змінюється і в залежності від цього потрібно збільшити або зменшити

Created by Universal Document Converter

напругу на виході перетворювача. Як приклад було розглянуто ефективність перетворювача TPS63001 яка при активному і енергозберігаючому режимах роботи давача становить 90 % і 80 %.

11. Освоївши вищевказані концепції, можна отримати теоретичні основи розробки платформи акумулювання енергії з навколишнього середовища для живлення бездротових давачів газу.

12. Енергія від альтернативних джерел енергії накопичується в суперконденсаторах ємністю 400 Ф. Давач буде живитися від літієвого елемента, якщо напруга на суперконденсаторах менше 0,9 В. Якщо напруга на обох суперконденсаторах більше 0,9 В вибирається той, який має більшу напругу. У разі повної зарядки основного суперконденсатора по певному каналу, заряд другого суперконденсатора здійснюється від альтернативного джерела який має найбільшу потужність.

13. Для регулювання струму зарядки накопичувальних пристроїв застосовується DC / DC перетворювач струму управління якого здійснюється контролером джерела живлення. Вибраний DC/DC перетворювач TPS 61200 забезпечить наступні параметри: вихідну напругу 1,8 – 5,5 В і вихідний струм до 1 А.

14. Програма контролера джерела живлення здійснює процес зарядки. Відповідно до алгоритму здійснюється вибір джерела живлення для сенсорної платформи, вибір джерела для зарядки суперконденсаторів, управління зарядкою від вітрогенератора і від сонячних батарей. Одночасно з цими процесами виконуються команди по керуванню DC/DC перетворення напруги. У проміжках між виконанням команд контролер переходить в режим енергозбереження.

15. Щоб запобігати безперервному перемиканню джерел живлення, застосовується алгоритм гістерезису для рівнів напруг.

16. Суперконденсатор, що накопичує електричну енергію від сонячних батарей може заряджатися від вітрогенератора якщо рівень напруги

Created by Universal Document Converter

на суперконденсаторі від сонячної панелі менший ніж максимум і вихідна потужність від сонячної батареї менше ніж вихідна потужність вітрогенератора. Після цього, живлення від сонячної панелі вимикається. І навпаки.

17. При розробці друкованої плати враховувалися: 1) мінімальні ширина і товщина провідників на платі, що визначались, перш за все, на основі необхідної струмопровідної здатності і максимально допустимого підвищення температури провідника. Мінімальна відстань між провідниками та іншими елементами друкованої плати визначалась робочою напругою. 2) Як джерело струму для цифрового пристрою використано розв'язуючий конденсатор, який підключається таким чином щоб шум не поширювався на інші пристрої. 3) Ширина доріжок і відстань між ними повинні бути не менші 0,2 мм. Діаметр перехідних отворів не менше 0,4 мм і мінімальний діаметр монтажних отворів – 0,6 мм.

18. Отримано вольт-амперну характеристику і залежність потужності вітрогенератора від опору навантаження. Максимальна потужність для лопаті довжиною 4,35 см при швидкості 4,5 м/с відповідає 7,2 мВт, для лопаті довжиною 8,85 см – 5,5 мВт.

19. Проведено вимірювання заряду і розряду суперконденсаторів. Заряд суперконденсатора від сонячної панелі здійснювався при сонячній і хмарній погоді. Заряд суперконденсатора від вітрогенератора проводився в двох режимах: безперервний заряд і заряд суперконденсатора в залежності від вітру.

20. Експериментальні дослідження показали, що при подачі напруги на DC/DC перетворювач нижче 0,9 В він не підтримує стабілізовану напругу 2,8 В на виході. Це пов'язано з тим, що енергії, запасеної в суперконденсаторі при напрузі меншій, ніж 0,9 В (W = 0,045 Дж), недостатньо, щоб забезпечити живлення давача. Також при такій напрузі значний відсоток енергії, що надходить на вхід DC/DC перетворювача, розсіюється в його схемі.

Created by Universal Document Converter

21. Час автономної роботи давача чадного газу від одного повністю зарядженого суперконденсатора становить близько 240 годин. Для давача метану цей час дорівнює 39 годин. Це пов'язано з тим, що давач метану має більше енергоспоживання і вимірювання метану здійснюються частіше (раз в 15 с) в порівнянні з давачем CO.

22. Розглянуто перспективи застосування пристроїв збору енергії від поновлюваних джерел енергії. Запропоновано можливість застосування розробленої енергоустановки в нафтогазовій промисловості, наприклад, для трубопровідних мереж.

Created by Universal Document Converter

РОЗДІЛ 3
СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1. Структура САПР

Структурними елементами САПР, які жорстко зв'язані з організаційною структурою проектної організації, є підсистеми, в яких за допомогою спеціалізованих комплексів засобів вирішується функціонально завершена послідовність задач САПР.

В якості основної структурної частини САПР приймають підсистему проектування, яка володіє всіма властивостями системи, має об'єктну орієнтацію і реалізує функції проектування.

Другою структурною частиною САПР є підсистема обслуговування, яка має загальне системне використання і забезпечує підтримку функціонування підсистеми проектування, а також оформлення, передачу і вивід результатів.

Підсистема САПР складається із компонентів, об'єднаних загальною для даної підсистеми цільовою функцією і які забезпечують функціонування цієї системи.

Компонент являє собою елемент забезпечення, який виконує окрему функцію в підсистемі. В залежності від виду забезпечення виділяють компоненти:

- математичне забезпечення - методи, математичні моделі, алгоритми;
- лінгвістичне забезпечення - мови проектування, термінологія;
- технічне забезпечення - засоби обчислювальної та організаційної техніки, передачі даних, вимірювальні та інші пристрої;
- інформаційне забезпечення – документи з описом стандартних проектних процедур, типових рішень, типових елементів, і т.п.;

Created by Universal Document Converter

- програмне забезпечення – документи з текстами програм, програми на машинних носіях і експлуатаційні документи;
- методичне забезпечення – документи, в яких відображені склад, правила вибору та експлуатації засобів автоматизації проектування;
- організаційне забезпечення – положення, інструкція, накази, штатні розклади і інші документи, які регламентують організаційну структуру підрозділів організації при функціонуванні САПР.

Структурна єдність підсистеми забезпечується зв'язками між компонентами різних видів забезпечення, які утворюють підсистему, а структурне об'єднання підсистем в систему – зв'язками між компонентами, як правило, однорідного забезпечення підсистем.

Для побудови структури САПР, їх підсистем і для розробки компонентів важливо виділити загальносистемні принципи, до яких відносять принципи сумісності, системної єдності, стандартизації і розвитку.

Принцип сумісності полягає в тому, що мови, символи, коди, інформаційні і технічні характеристики структурних зв'язків між засобами забезпечення і компонентами САПР повинні бути узгоджені так, щоби забезпечувалось сумісне функціонування підсистем і зберігалась відкрита структура системи в цілому. При створенні САПР необхідно забезпечити сумісність неавтоматизованого і автоматизованого проектування, підсистем САПР і САПР із зовнішнім середовищем.

Принцип системної єдності полягає в тому, що на всіх стадіях створення, функціонування і розвитку САПР цілісність системи повинна досягатися шляхом врахування зв'язків між підсистемами і компонентами САПР. Розробка всіх видів забезпечення повинна вестись так, щоби при функціонуванні всі компоненти утворювали систему.

Принцип стандартизації полягає в проведенні уніфікації і типізації компонентів і комплексів засобів, інваріантних до об'єктів проектування і галузевої специфіки, а також у встановленні правил з метою впорядкування

Created by Universal Document Converter

діяльності в сфері створення і розвитку САПР. Вона повинна розроблятися так, щоби більша частина засобів автоматизації, які входять в неї, могла бути використана без істотних змін і доопрацювань при змін об'єкту проектування.

Принцип розвитку полягає в тому, що САПР повинна функціонувати як система, що розвивається, яка допускає поповнення, вдосконалення і оновлення підсистем і компонентів. В процесі розвитку САПР повинна розширюватися не тільки номенклатура проектно-конструкторської документації, яка розробляється системою, але і підвищення якості цієї документації за рахунок багатоваріантної оптимізації проектних рішень.

Компоненти окремих видів забезпечення САПР можуть бути об'єднані в комплекси засобів одного виду або комбіновані комплекси для виконання процедур проектування або обслуговування.

3.2. Використання можливостей MS Excel для fналізе даних за допомогою діаграм

За допомогою Microsoft Excel 2003 можна створювати складні діаграми для даних робочого аркуша. ***Діаграма*** - графічне зображення залежності між величинами. Діаграми є наочним засобом представлення даних робочого листа. Її можна створити на окремому аркуші або помістити в якості впровадженого об'єкта на лист з даними [34].

Діаграма пов'язана з даними, на основі яких вона створена, і оновлюється автоматично при зміні даних.

Щоб створити діаграму, необхідно, перш за все, ввести дані для діаграми на лист. Далі в меню **Вставка** вибрати команду **Диаграмма** або натиснути кнопку **Мастер диаграмм** на стандартній панелі інструментів, після цих дій Excel виведе на екран перше вікно майстра діаграм. За

Created by Universal Document Converter

допомогою чотирьох вікон діалогу майстер діаграм збере всю інформацію, необхідну Excel для побудови діаграми.

Крок 1. Вибір типу діаграми.

Перше вікно діалогу Майстра діаграм, пропонує вибрати тип діаграми. Це вікно діалогу містить дві вкладки: одну для стандартних і іншу для нестандартних типів діаграм.

Крок 2. Завдання вихідних даних діаграми.

У другому вікні діалогу майстра діаграм можна задати дані, що будуть використані Excel при побудові діаграми. Якщо перед запуском Майстра був виділений діапазон з вихідними даними, то це поле буде містити посилання на виділений діапазон. Excel виводить рухливу рамку навколо вихідного діапазону. Якщо з якихось причин вихідний діапазон зазначений неправильно, необхідно виділити потрібний діапазон і ввести його прямо у вікні діалогу Майстра діаграм. Для виділення не суміжних діапазонів слід використати клавішу **Ctrl.**

Друге вікно діалогу Майстра діаграм, як і перше, містить дві вкладки. Щоб переконатися, що Excel використовує правильні імена і діапазони клітинок, для кожного ряду даних, можна перейти на вкладку **Ряд**. Щоб перейти на наступний крок слід натиснути кнопку **Далее**.

Крок 3. Завдання параметрів діаграми.

Третє вікно діалогу Майстра діаграм містить шість вкладок. Вони дозволяють задати характеристики осей, назву діаграми та заголовки для її осей, легенду , підписи значень в рядах даних тощо. Все це можна виконати при створенні діаграми або після її побудови.

Крок 4. Розміщення діаграми.

Excel може впровадити діаграму в робочий лист або помісити її на окремому аркуші, так званому аркуші діаграми.

Created by Universal Document Converter

Після побудови діаграми її можна відредагувати в режимі редагування діаграми. Для цього потрібно двічі клацнути кнопку миші на діаграмі або скористатися контекстним меню.

3.3. Висновки до розділу

1. В результаті використання вбудованих функцій MS Excel для роботи як із простими формулами так із масивами, вдалося за короткий час обчислити провести розрахунки для дипломного проекту.

2. Важливою можливість MS Excel є динамічна зміна вхідних даних для обчислення із подальшим автоматичним розрахунком.

Created by Universal Document Converter

РОЗДІЛ 4.
ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

4.1. Сонячна енергетика

Розвиток альтернативних джерел енергії в Україні находиться у стані розвитку, однак, як і в ситуації з вітроенергетикою, ми маємо непоганий потенціал для розвитку сонячної енергетики. Сьогодні в країні налагоджене власне виробництво високоефективних кремнієвих сонячних батарей із ККД до 20 %. А необхідні для комплектації систем електропостачання системи керування, акумуляторні батареї й інвертори, що перетворюють постійний електричний струм у змінний, виробляються в сусідній Росії. Хоча 90 % комплектуючих до сонячних батарей сьогодні експортується за кордон, наявність високотехнологічного виробництва дозволяє говорити про можливість виробництва сонячних батарей власного виробництва, що значно здешевить їх кінцеву вартість. Тим більше, що своєрідний «фундамент» у розвиток альтернативних джерел енергії вже закладений Верховною Радою. На початку 2009 року президентом України був підписаний Закон про стимулювання використання альтернативних джерел енергії. Закон встановлює спеціальний коефіцієнт «зеленого» тарифу для електроенергії з використанням різних альтернативних джерел енергії, на який множиться звичайний тариф для споживачів другого класу напруги. У випадку енергії сонячного випромінювання, відповідно до закону, коефіцієнт має три можливих значення: для наземних об'єктів електроенергетики — 4,8, установлених на дахах будинків, будинків і споруд із величиною встановленої потужності понад 100 кВт — 4,6, а менш 100 кВт, а також установлених на фасадах будь-якої потужності — 4,4. Закон установлює «зелений» тариф на строк до 1 січня 2030 року.

Created by Universal Document Converter

Переваги використання сонячних батарей

До переваг використання сонячних батарей можна віднести:

- автономність;
- висока надійність;
- зниження витрат на гаряче водопостачання і опалювання до 85% (сонячна енергія безкоштовна);
- економія органічних видів палива (мазуту, нафти, газу);
- скорочення викидів двоокису вуглецю;
- загальнодоступність і невичерпність джерела;
- відсутність проміжних фаз перетворення енергії;
- напівпровідникові сонячні батареї мають дуже важливу перевагу довговічність;
- розповсюдження сонячних установок серед населення і промисловості позитивно впливає на енергетичну безпеку Україну.

Недоліками сонячних батарей є перманентна залежність потужності від місцевих умов, часу доби і року, відносна дорожнеча, маленький коефіцієнт корисної дії і чутливість до механічних пошкоджень.

Розрахунки показують, щоб одержати великі кількості енергії, сонячні батареї повинні займати величезну площу - тисячі квадратних кілометрів.

Сьогодні виготовити таку величезну кількість сонячних елементів практично неможливо.

Вживані в сучасних фотоелементах надчисті матеріали - надзвичайно дорогі. Щоб їх виготовити, потрібне складне устаткування, вживання особливих технологічних процесів. Економічні і технологічні міркування поки не дозволяють розраховувати на отримання таким шляхом значних кількостей електричної енергії.

Останнім часом вчені у сфері конструювання матеріалів для напівпровідникових фотоелементів - провели ряд робіт, що дозволили наблизити час створення сонячних електростанцій. Коефіцієнт корисної дії

Created by Universal Document Converter

сонячних батарей з нових структур напівпровідникових матеріалів досягає вже 30 %, а теоретично він може скласти і 90 %!

Використання таких фотоелементів дозволить в десятки разів скоротити площі панелей майбутніх сонячних електростанцій. Їх можна скоротити ще в сотні разів, якщо сонячний потік заздалегідь зібрати з великої площі, сконцентрувати і тільки потім подати на сонячну батарею. Отже в XXI столітті сонячні електростанції з фотоелементами можуть стати звичним джерелом енергії. Та і в наші дні вже має сенс одержувати енергію від сонячних батарей в тих місцях, де інших джерел енергії нема.

4.2. Розрахунок економічних показників

На основі даних з таблиці 4.1, розрахуємо скільки коштує одна сонячна батарея [35]:

$$Ц_{пан}= 150*0,6=89,6 \text{ євро}=2340 \text{ грн.}$$

Таблиця 4.1

Характеристика сонячної батареї Kvazar

Характеристики	Kvazar KV
Тип панелі	Аморфна
Макс. потужність, Вт	150
Ефективність %	12
Розміри, мм	1257*977
Вага, кг	20
Країна виробник	Японія
Ціна системи, євро за 1 Вт	0,6

Created by Universal Document Converter

Для живлення групи давачів газу використовується одна сонячна батарея.

В середньому в одному дні - є 6 сонячних годин. Знайдемо порахуємо скільки годин є в цілому році :

$$Г=365*6=2190 \text{ годин.}$$

Визначаємо кількість енергії, яку виробляє одна сонячна батарея за рік:

$$Е_{пан} = 2190*150=328500 \text{ Вт*год}$$

Тариф 1 кВт×год електроенергії для промислових підприємств в середньому по Україні становить 2,1 грн.

Визначимо скільки річну економію при викоританні сонячної енергії:

$$Ц_{сон.ен.} = 328,5*2,1=689,85 \text{ грн.}$$

Обраховуємо за скільки дані сонячна батарея окупиться, якщо не буде зростати ціна на електроенергію:

$$О = 2340/689,85=3,4 \text{ роки.}$$

Тепер розглянем сонячну батарею іншого виробника Altek (табл.4.2)

На основі даних з таблиці 4.1, розрахуємо скільки коштує одна сонячна батарея:

$$Ц_{пан}= 128×0,75=90 \text{ євро}=2496 \text{ грн.}$$

Created by Universal Document Converter

Таблиця 4.2

Характеристика сонячної батареї Altek

Характеристики	Altek ACS
Тип панелі	Моно/Полікристал
Макс. потужність, Вт	128/240/250
Ефективність %	13,3
Розміри, мм	1652*994
Вага, кг	21
Ціна системи, євро. за 1 Вт	0,75

Для живлення групи давачів газу використовується одна сонячна батарея.

В середньому в одному дні - є 6 сонячних годин. Знайдемо порахуємо скільки годин є в цілому році :

$$Г=365*6=2190 \text{ годин.}$$

Визначаємо кількість енергії, яку виробляє одна сонячна батарея за рік:

$$Е_{пан} = 2190*128=280320 \text{ Вт*год}$$

Визначимо скільки річну економію при використанні сонячної енергії:

$$Ц_{сон.ен.} = 280,32*2,1=588,67 \text{ грн.}$$

Обраховуємо за скільки дані сонячна батарея окупиться, якщо не буде зростати ціна на електроенергію:

$$О = 2340/588,67=4 \text{ роки.}$$

Created by Universal Document Converter

Розглянемо загальну порівняльну таблицю 4.3.

Таблиця 4.3

Порівняльна таблиця

Виробник	Потужність, Вт	Кількість енергії за рік, кВт	Річна економія, грн	Термін окупності, рік
Kvazar KV	150	328,5	689,85	3,4
Altek ACS	128	280,3	588,67	4

4.3. Висновок до розділу

При використанні сонячних батарей фірми Kvazar KV – термін окупності становить 3,4 роки, а батарей Altek ACS – 4 роки. Але відзначимо що батареї Altek ACS мають потужність 128 Вт , а Kvazar KV – 150 Вт, що вплинуло на вартість 1 Вт батареї.

Created by Universal Document Converter

РОЗДІЛ 5.
ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1. Інструктажі з охорони праці

Усі працівники, які приймаються на постійну чи тимчасову роботу, і при подальшій роботі, повинні проходити на підприємстві навчання в формі інструктажів з питань охорони праці, надання першої допомоги потерпілим від нещасних випадків, а також з правил поведінки та дій при виникненні аварійних ситуацій, пожеж і стихійних лих.

За характером і часом проведення інструктажі з питань охорони праці поділяються на вступний, первинний, повторний, позаплановий та цільовий.

Вступний інструктаж проводиться:

- з усіма працівниками, які приймаються на постійну або тимчасову роботу, незалежно від їх освіти, стажу роботи та посади;
- з працівниками інших організацій, які прибули на підприємство і беруть безпосередню участь у виробничому процесі або виконують інші роботи для підприємства;
- з учнями та студентами, які прибули на підприємство для проходження виробничої практики;
- у разі екскурсії на підприємство;

Первинний інструктаж проводиться до початку роботи безпосередньо на робочому місці з працівником:

- новоприйнятим (постійно чи тимчасово) на підприємство;
- який переводиться з одного цеху виробництва до іншого;
- який буде виконувати нову для нього роботу;

Created by Universal Document Converter

- відрядженим працівником, який бере безпосередню участь у виробничому процесі на підприємстві [36].

Повторний інструктаж проводиться з працівниками на робочому місці в терміни, визначені відповідними чинними галузевими нормативними актами або керівником підприємства з урахуванням конкретних умов праці, але не рідше:

- на роботах з підвищеною небезпекою - 1 раз на 3 місяці;

- для решти робіт - 1 раз на 6 місяців.

Позаплановий інструктаж проводиться з працівниками на робочому місці або в кабінеті охорони праці:

- при введенні в дію нових або переглянутих нормативних актів про охорону праці, а також при внесенні змін та доповнень до них;

- при зміні технологічного процесу, заміні або модернізації устаткування, приладів та інструментів, вихідної сировини, матеріалів та інших факторів, що впливають на стан охорони праці;

- при порушеннях працівниками вимог нормативних актів про охорону праці, що можуть призвести або призвели до травм, аварій, пожеж тощо;

- при виявленні особами, які здійснюють державний нагляд і контроль за охороною праці, незнання вимог безпеки стосовно робіт, що виконуються працівником;

- при перерві в роботі виконавця робіт більш ніж на 30 календарних днів - для робіт з підвищеною небезпекою, а для решти робіт - понад 60 днів.

Цільовий інструктаж проводиться з працівниками:

- при виконанні разових робіт, не передбачених трудовою угодою;

- при ліквідації аварії, стихійного лиха;

- при проведенні робіт, на які оформлюються наряд-допуск, розпорядження або інші документи.

Стажування (дублювання) та допуск працівників до роботи.

Created by Universal Document Converter

Новоприйняті на підприємство працівники після первинного інструктажу на робочому місці до початку самостійної роботи повинні під керівництвом досвідчених, кваліфікованих фахівців пройти стажування протягом 2 - 15 змін або дублювання протягом не менше шести змін.

Працівники, функціональні обов'язки яких пов'язані із забезпеченням безаварійної роботи важливих і складних господарчих потенційно небезпечних об'єктів або з виконанням окремих потенційно небезпечних робіт (теплові та атомні електричні станції, гірничодобувні підприємства, інші подібні об'єкти, порушення технологічних режимів яких являє загрозу для працівників та навколишнього середовища), до початку самостійної роботи повинні проходити дублювання з обов'язковим суміщенням з протиаварійними і протипожежними тренуваннями відповідно до плану ліквідації аварій.

Допуск до стажування (дублювання) оформлюється наказом (розпорядженням) по підприємству (структурному підрозділу), в якому визначаються тривалість стажування (дублювання) та прізвище відповідального працівника. Перелік посад і професій працівників, які повинні проходити стажування (дублювання), а також тривалість стажування (дублювання) визначаються керівником підприємства. Тривалість стажування (дублювання) залежить від стажу і характеру роботи, а також від кваліфікації працівника. Керівнику підприємства надається право своїм наказом (розпорядженням) звільняти від проходження стажування (дублювання) працівника, який має стаж роботи за відповідною професією не менше 3 років або переводиться з одного цеху до іншого, де характер його роботи та тип обладнання, на якому він працюватиме, не змінюються.

Стажування (дублювання) проводиться за програмами для конкретної професії, посади, робочого місця, які розробляються на підприємстві і затверджуються керівником підприємства (структурного підрозділу) на робочих місцях свого або іншого подібного за технологією підприємства. У

Created by Universal Document Converter

процесі стажування працівники повинні виконувати роботи, які за складністю, характером, вимогами безпеки відповідають роботам, що передбачаються функціональними обов'язками цих працівників.

5.2. Класифікація приміщень за небезпекою електротравм

Відповідно до ПУЗ, приміщення за небезпекою електротравм поділяються на три категорії [36]:

- без підвищеної небезпеки;
- з підвищеною небезпекою;
- особливо небезпечні.

Категорія приміщення визначається наявністю в приміщенні чинників підвищеної або особливої небезпеки електротравм. До чинників підвищеної небезпеки належать:

- температура в приміщенні, що впродовж доби перевищує 35°С;
- відносна вологість більше 75 %, але менше повного насичення (100 %);
- струмопровідна підлога — металева, бетонна, цегляна, земляна тощо;
- струмопровідпий пил;
- можливість одночасного доторкання людини до неструмовідних частин електроустановки і до металоконструкцій, що мають контакт із землею.

До чинників особливої небезпеки електротравм належать:

- відносна вологість близька до насичення (до 100%);
- агресивне (середовище, що пошкоджує ізоляцію.

Якщо в приміщенні відсутні чинники підвищеної і особливої небезпеки, то воно належить до приміщень без підвищеної небезпеки електротравм.

Created by Universal Document Converter

При наявності одного з чинників підвищеної небезпеки, приміщення належить до приміщень підвищеної небезпеки електротравм.

При наявності одночасно двох чинників підвищеної небезпеки або одного чинника особливої небезпеки, приміщення вважається особливо небезпечним.

Із наведеного видно, що класифікація приміщень за небезпекою електротравм враховує тільки особливості цих приміщень, стан їх середовища не враховує електротехнічних параметрів електроустановок.

Категорія приміщень є одним з основних чинників, які визначають вимоги щодо виконання електроустановок, безпечної їх експлуатації, величини напруги, заземлення (занулення) електроустановок. Умови поза приміщеннями прирівнюються до особливо небезпечних.

5.3. Оцінка впливу вражаючих факторів надзвичайних ситуацій мирного і воєнного часу на об'єкти господарювання

Головну небезпеку для наземних об'єктів становлять ударна хвиля, світлове (теплове) випромінення, вторинні уражаючі фактори і радіоактивне зараження місцевості. Проте іноді доводиться враховувати і вплив проникаючої радіації та електромагнітного імпульсу [37].

Критеріями оцінки фізичної стійкості об'єкта прийняті:

– при впливі ударної хвилі — надлишкові тиски, при яких елементи виробничого комплексу не руйнуються або одержують такі ушкодження чи руйнування (слабкі і середні), при яких вони можуть бути відновлені в короткі терміни;

– при впливі світлового випромінювання — максимальні значення світлових імпульсів, при яких не відбувається загоряння матеріалів, сировини, устаткування, будинків і споруд;

Created by Universal Document Converter

– при впливі вторинних факторів — надлишкові тиски, при яких руйнування і пошкодження не призводять до аварій, пожеж, вибухів, затоплень, небезпечного зараження місцевості й атмосфери, тобто не призводять до ураження людей і виходу з ладу засобів виробництва.

Оцінка стійкості об'єкта включає визначення:

– видів уражаючих факторів, вплив яких можливий на об'єкт, та їх параметрів;

– впливу ударної хвилі на елементи об'єкта;

– можливості виникнення пожеж;

– впливу вторинних вражаючих факторів. Після цього робиться висновок.

Created by Universal Document Converter

РОЗДІЛ 6.
ЕКОЛОГІЯ

6.1. Альтернативні джерела енергії

Вичерпання корисних копалин і високий рівень дії на навколишнє середовище традиційної енергетики викликав у всьому світі пошук і використання нетрадиційних альтернативних джерел енергії.

До альтернативних джерел енергії відносяться поновлювані джерела - енергія сонця, вітру, геотермальна, океанічна, енергія біомаси, термоядерна енергія і інші джерела.

Енергія сонця. Це практично невичерпне джерело енергії. Використання лише 1% сонячній енергії могло б забезпечити всі сьогоднішні потреби світової енергетики. Головне - її використовувати так, щоб її вартість була мінімальною. З вдосконаленням технологій і подорожчанням традиційних енергоресурсів, ця енергія знаходитиме все більше застосування.

Сонячну енергію можна використовувати в двох напрямах:

- пряме використання для опалювання, гарячого водопостачання;
- перетворення її в електричну.

Використання сонячного тепла найбільш простій і дешевий спосіб. Найбільш поширений спосіб уловлювання сонячної енергії за допомогою різного типу колекторів. Цілеспрямоване використання енергії сонця поки невелике, але інтенсивно збільшується.

Перетворення сонячної енергії в електричну здійснюється за допомогою фотоелектричних перетворювачів (сонячних батарей) або шляхом нагрівання води до кипіння з отриманням пари, що приводить в дію

Created by Universal Document Converter

турбогенератори. Основні труднощі застосування фотоперетворювачів пов'язані з високою металоємністю, їх дорожнечею, а також необхідністю відведення для їх розміщення великих територій. В даний час проводять дослідження по заміні металевих фотоперетворювачів на еластичних синтетичних з використанням дахів і стенів будинків для розміщення батарей [38].

Сонячна енергія використовується в автомобільному, морському, авіаційному транспорті, на космічних станціях і супутниках. Використання енергії сонця має велике майбутнє, але поки воно повинне розвиватися, удосконалюватися і знижувати собівартість енергії.

Енергія вітру. Використання вітрової енергії відоме із старовини, а останнім часом інтерес до неї значно зріс. Так, в США використовується декілька десятків тисяч вітрових агрегатів. Істотні встановлені потужності мають в своєму розпорядженні Великобританія, Німеччина, Данія, Нідерланди, Швеція і інші країни.

До теперішнього часу випробувані ветродвигатели різної потужності аж до гігантських. Економічнішими є комплекси з невеликих вітрових установок, об'єднаних в одну систему.

Основні чинники дії на навколишнє середовище - висока металоємність вітроприладів, відчуження великих земельних територій, вібраційна і шумова дія, загибель перелітних птахів під ударами лопатей. Особливо висока шумова дія виникає при експлуатації могутніх установок.

З урахуванням екологічних чинників сонячні і вітрові електростанції вже сьогодні економічніші, ніж теплові і атомні.

Геотермальна енергія заснована на використанні глибинного тепла Землі. Вона може використовуватися у вигляді теплової енергії (наприклад, столиця Ісландії Рейк'явік отримує тепло виключно від гарячих підземних джерел) і для отримання електроенергії.

Created by Universal Document Converter

Геотермальні станції влаштовані відносно просто, тут не потрібне паливо, золоуловлювачі. Пара, що відкачується зі свердловин, поступає в турбіни і приводить в дію електрогенератори. Основні екологічні проблеми геотермальних станцій пов'язані з відпрацьованими мінералізованими водами. За відсутності зворотного закачування відпрацьованих вод виникає небезпека засолення водних об'єктів, ґрунтів; також відбувається теплове забруднення навколишнього середовища, просіла земної поверхні над геотермальним пластом, що розробляється. В Україні перспективними зонами для використання геотермальної енергії є Карпати, Закарпаття, Крим, проте цей напрям розвивається слабо.

Енергія морів і океанів. Енергетичні ресурси океану представляють велику цінність, як поновлювані і практично невичерпні ресурси. До них відноситься енергія приливів і відливів, хвиль, течій, різниці температур на різних глибинах. В даний час ця енергія використовується замало із-за високої вартості. Проте, інженерні розрахунки і проекти показують, що це енергія майбутнього і можливе використання її набагато ширше.

Енергія біомаси. У біомасі щорічно концентрується до 1% сонячної енергії, проте вона перевищує ту, яку людина отримує з різних джерел. Найбільш простій спосіб використання біомаси, це пряме спалювання. Такий спосіб використовується в країнах, що розвиваються. Раціональнішою є переробка біомаси в біогаз, етиловий спирт. Шляхом анаеробного зброджування (без доступу кисню) органічних відходів - відходів тваринництва, опадів очищення каналізаційних стоків, рослинних сільськогосподарських відходів - отримують біогаз і осад, використовуваний як добриво.

В Україні "біогазовий напрям" переробки численних органічних відходів, є перспективним для сільськогосподарських і комунальних підприємств.

Created by Universal Document Converter

6.2. Ресурсозбереження, безвідходні і маловідходні технології, утилізація відходів, екологізація виробництва

Основною причиною забруднення навколишнього середовища є ресурсоємні забруднюючі технології, що приводять до утворення відходів і їх величезного накопичення. Технології, що дозволяють отримати мінімум твердих, газоподібних і рідких відходів, називаються маловідхідними. Розробка маловідхідних технологій - найбільш раціональний спосіб охорони навколишнього середовища від забруднень [38].

До основних напрямів екологізації виробництва відносяться наступні заходи:

- створення принципово нових технологічних процесів, що дозволяють скоротити утворення відходів;
- раціональне і комплексне використання сировини;
- енергозбереження;
- розробка систем переробки відходів;
- розробка і впровадження безстічних і водооборотних технологічних систем.

Енергозбереження.

Основний шлях вирішення еколого-енергетичних проблем - це енергозбереження. По розрахунках українських вчених за рахунок енергозбереження в Україні можна було б в 2 рази скоротити виробництво електроенергії, а це означає, що не були б потрібні всі побудовані АЕС.

Основні напрями енергозбереження полягають в наступному.

Зменшення енергоємності продукції за рахунок модернізації технологій. Наприклад, в США на одиницю продукції, що випускається, витрачалося в середньому в два рази менше електроенергії, чим в колишньому СРСР, в Японії така витрата була в три рази меншою.

Значно економиться енергія за рахунок зниження металоємності

Created by Universal Document Converter

продукції, підвищення її якості, збільшення терміну життя. При підвищенні теплоізоляції перекриттів, дверних і віконних отворів будівель і споруд, трубопроводів значно знижуються втрати тепла. Важливу роль в енергозбереженні грає оснащення промислових підприємств, житлових будинків і інших об'єктів лічильниками газу і тепла.

Підвищення ККД котлів ТЕС, котельних, а також використання електроенергії. Зниження втрат в електро- і тепломережах при виробництві і транспортуванні електричної і теплової енергії. Помітно підвищується ККД при будівництві ТЕЦ замість ТЕС.

Заміна ламп розжарювання на люмінесцентних веде до скорочення витрати електроенергії в два, три рази (ККД ламп розжарювання складає 5 - 8%, люмінесцентних ламп - 20%, а новітніх натрієвих ламп високої напруги - до 30%).

Утилізація енерговміщуючих відходів. Значні об'єми відходів вугільної, коксохімічної, нафтопереробної, деревообробної, сільськогосподарської промисловості можна використовувати як енергетичні ресурси. Багато з них можна брикетувати простим способом і використовувати як тверде паливо. Інший перспективний напрям переробки відходів - це їх газифікація, зрідження (отримання рідкої вуглеводневої маси) отримання біогазу.

Перехід на інтелектуальні технології (комп'ютерні, телекомунікаційні, біогенні і ін.), як значно менш енергоємні, а також більш високорентабельні і екологічно чисті. Інтелектуальний потенціал України має високий рівень, треба тільки, щоб він використовувався в наший країні.

Найважливішим напрямом в охороні навколишнього середовища є створення безстічних і водооборотних технологічних систем водокористування, заміна водоємних процесів тими, що використовують мало води. Оборотне водопостачання - багатократне використання у виробництві відпрацьованих вод після їх очищення і обробки.

Created by Universal Document Converter

Прогресивним напрямом є передача стічних вод на інші підприємства, пред'являючи менш жорсткі вимоги до якості води і якщо домішки що містяться в ній покращують якість продукції, що випускається (наприклад, передача стічних вод хімічних підприємств на підприємства будівельного виробництва).

Created by Universal Document Converter

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Розроблено нову високоефективну енергоустановку для акумулювання енергії від поновлюваних джерел енергії. Розроблена енергоустановка складається з пристрою збору енергії (вітрогенератора і сонячної панелі), двох суперконденсаторів, літієвого елементу, комутаційного блоку, блоку вибору джерела живлення, перетворювача напруги і мікроконтролера.

2. Запропоновано використовувати в якості накопичувачів альтернативної енергії суперконденсатори в енергоустановці для живлення автономних бездротових датчиків газу, які розташовані в місцях з відсутнім електроживленням та призначені для здійснення моніторингу токсичних і горючих газів і передачі отриманих даних по радіоканалу.

3. Проаналізовано схеми перетворювачів напруг для застосування в схемі енергоустановки. У даній роботі, для досягнення поставлених цілей, обрано перетворювач постійної напруги TPS61200 який працює в діапазоні від 0,3 В...5,5 В, що відповідає напругам, що генеруються сонячною панеллю і вітрогенератором. Більш того, зазначений перетворювач генерує струм необхідний для роботи датчиків CH_4 з ефективністю 90 %, для датчика CO вона становить приблизно 80 %.

4. Завдяки можливості збору енергії одночасно від більш ніж одного альтернативного джерела енергії, значно збільшується час автономної роботи бездротових датчиків газу, призначених для автономної роботи в складі бездротових сенсорних мереж з моніторингу токсичних і вибухонебезпечних газів в місцях з відсутнім живленням від мережі. В якості резервного джерела енергії запропоновано використовувати первинний літієвий елемент, а не акумулятор, так як саморозряд первинних літієвих елементів приблизно 1 % на рік.

					ДРМ 322.18.00.00.000 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробив		Руцький Н.Ю.			ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	Літ.	Аркуш 110 / Аркушів
Перевірив		Лупенко А.М.					
Консульт.		Лупенко А.М.					
Н. Контр.		Коваль В.П.				гр.ЕМм-61, ФПТ, ТНТУ	
Зав каф.		Тарасенко М.Г.					

Created by Universal Document Converter

5. Запропоновано алгоритм для підвищення енергоефективності процесу збору енергії від сонячної батареї що збільшує ефективність зарядки суперконденсатора. Відповідно до цього алгоритму, знаходження точки максимальної потужності сонячної панелі здійснюється декрементною зміною часу розряду індуктивного елемента і порівнянням вихідної потужності сонячної панелі до і після цих змін. Якщо вихідна потужність сонячної панелі максимальна, балансування припиняється. Перебалансування струму навантаження сонячної панелі виконується періодично шляхом нової зміни часу розряду індуктивного елемента і знаходження нової оптимальної точки.

6. Запропоновано спосіб зарядки накопичувального елемента на основі якого можна здійснювати зарядку суперконденсатора вітрогенератора від сонячної панелі якщо напруга на суперконденсаторі сонячної панелі досягла максимум. На базі подібного принципу можна проводити зарядку суперконденсатора сонячної панелі від вітрогенератора.

7. Досліджено роботу енергоустановки для забезпечення автономної роботи бездротових датчиків чадного газу і метану. Результати показують, що датчик чадного газу може працювати 240 годин від кожного повністю зарядженого суперконденсатора. Це час для датчика метану складає 39 годин. Отримані результати є наслідком різного енергоспоживання датчиків CO і CH_4 .

8. Проведено теоретичні розрахунки часу автономної роботи датчиків. Результати показують, що втрати в DC/DC перетворювачі і саморозряд суперконденсатора обумовлюють різницю між теоретичними і експериментальними даними за часом автономної роботи бездротових датчиків газу.

9. Розглянуто перспективи застосування енергоустановки зі збору енергії для бездротових датчиків газу. Запропоновано можливість застосування розробленої енергоустановки в нафтогазовій промисловості, наприклад, для трубопровідних мереж.

Created by Universal Document Converter

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Сонячна енергія – наше майбутнє - Енергія Сонця. Solar energy [Електронний ресурс] / Режим доступу: https://solar.pp.ua/sonyachna-energiya-nashe-majbutnye.html (дата звернення: 27.01.2019).
2. Солнечная энергетика [Електронний ресурс] / Режим доступу: http://portal.tpu.ru/SHARED/n/NASA/Education/NiVIE/Tab/p2.pdf/. – (дата звернення: 27.01.2019).
3. Автономные водородные энергоустановки с возобновляемыми источниками энергии [Текст] / О. С. Попель, С. Е. Фрид, Э. Э. Шпильрайн и др. // Теплоэнергетика. - 2006. - №3. - С. 42-50.
4. LysenE.H. Introduction to Wind Energy [Text]/ E.H. Lysen. -SWD,1982.-150p.
5. ГОСТ С 50 - 605 - 81 - 94 Нетрадиционная энергетика. Ветроэнергетика. Установки ветроэлектрические. Требования к испытаниям [Текст].-Введ. 1995-01-01.-М.: Изд-во стандартов, 1996. - 19 с: ил.
6. Elistratov V.V. Wind turbine with spiral blades [Text] /V. V. Elistratov, E. N. Bykov: Ecobaltika'2006. Book of proceedings. - St.-Petersburg, 2006. - 168 p.
7. Somov A., Baranov A., Savkin A., Ivanov M., Calliari L., Passerone R., Karpov E., and Suchkov A., Energy-Aware Gas Sensing Using Wireless Sensor Networks // in Wireless Sensor Networks Series: Lecture Notes in Computer Science, Edited by Gian Pietro Picco, Wendi Heinzelman, Berlin Heidelberg: Springer, 2012, pp.245-260.
8. Obaidat Mohammad S., Misra Sudip, Principles of Wireless Sensor Networks, Cambridge University Press, 2014. - 433 Pages

Created by Universal Document Converter

9. Akyildiz Ian F., Can Vuran Mehmet, Wireless Sensor Networks, John Wiley & Sons, 2012. – 520 Pages.
10. Abdelgawad Ahmed, Bayoumi Magdy, Resource-Aware Data Fusion Algorithms for Wireless Sensor Networks, Springer Science & Business Media, 2012. – 108 Pages
11. Husain Iqbal, Electric and Hybrid Vehicles: Design Fundamentals, Second Edition, CRC Press, 2011. – 523 Pages.
12. Catalytic Combustible Gas Sensors [Електронний ресурс] / Режим доступу: http://www.intlsensor.com/pdf/catalyticbead.pdf (дата звернення: 27.01.2019).
13. Figaro Engineering INC [Електронний документ]. / Режим доступу: http://www.figaro.co.jp/en/technicalinfo/principle/mos-type.html (дата звернення: 27.01.2019).
14. Zhang Yu, Gao Wenzhu, Song Zhenyu, An Yupeng, Li Li, Song Zhanwei, Yu William W., Wang Yiding. Design of a novel gas sensor structure based on mid-infrared absorption spectrum // Sensors and Actuators B: Chemical, Volume 147, Issue 1, 2010. Pages 5–9.
15. Gas Detection Handbook Fifth Edition, Mine Safety Appliances Company [Електронний ресурс] / Режим доступу: http://www.gilsoneng.com/reference/ gasdetectionhandbook.pdf (дата звернення: 27.01.2019)
16. Electrochemical Sensors [Електронний ресурс] / Режим доступу: http://www.intlsensor.com/pdf/electrochemical.pdf (дата звернення: 04.02.2019)
17. Bhattacharyya P., Basu P., Mondal B., Saha H. A low power MEMS gas sensorbased on nanocrystalline ZnO thin films for sensing methane // Microelectronics Reliability, Volume 48, Issues 11-12, 2008. - Pages 1772–1779.
18. Vasiliev A.A., Pavelko R.G., Gogish-Klushin S. Yu., Kharitonov D.Yu.,

Created by Universal Document Converter

Gogish-Klushina O.S., Sokolov A.V., Pisliakov A.V., Samotaev N.N. Alumina MEMS platform for impulse semiconductor and IR optic gas sensors // Sensors and Actuators B: Chemical, Volume 132, Issue 1, 2008. – Pages 216–223.

19. Moon S. E., Lee H.-K., Choi N.-J., Lee J., Choi C.A., Yang W.S., Kim J., Jong J.J., Yoo D.-J. Low power consumption micro C2H5OH gas sensor based on micro-heater and screen printing technique // Sensors and Actuators B: Chemical, Volume 187, 2013. – Pages 598–603.
20. Ma H., Ding E., Wang W. Power reduction with enhanced sensitivity forpellistor methane sensor by improved thermal insulation packaging // Sensors and Actuators B: Chemical 187, Volume 187, 2013. - Pages 221–226.
21. Haridas D., Gupta V. Enhanced response characteristics of SnO2 thin filmbased sensors loaded with Pd clusters for methane detection // Sensors and Actuators B: Chemical, Volumes 166–167, 2012. - Pages 156–164.
22. Korotcenkov G., Cho B.K. Engineering approaches to improvement ofconductometric gas sensor parameters. Part 2: Decrease of dissipated (consumable) power and improvement stability and reliability // Sensors and Actuators B: Chemical, Volume 198, 2014. – Pages 316–341.
23. Ali S.Z., De Luca A., Racz Z., Tremlett P., Wotherspoon T., Gardner J.W., Udrea F. Low power NDIR CO2 sensor based on CMOS IR emitter for boiler applications // IEEE Sensors 2014, 2-5 Nov. 2014, pp. 934- 937.
24. Gibson Desmond, MacGregor Calum. A Novel Solid State Non-Dispersive Infrared CO2 Gas Sensor Compatible with Wireless and Portable Deployment // Sensors, Volume 13, Issue 6, 2013. – Pages 7079-7103.
25. Li Haitao, Mu Xiaoyi, Yang Yuning, Mason Andrew J. Low Power Multimode Electrochemical Gas Sensor Array System for Wearable Health and Safety Monitoring // IEEE Sensors Journal, Volume 14, Issue 10, 2014. – Pages 3391 – 3399.

Created by Universal Document Converter

26. Weddell Alex S., Magno Michele, Merrett Geoff V., Brunelli Davide, Al-Hashimi Bashir M., Benini Luca, A survey of multi-source energy harvesting systems // Design, Automation & Test in Europe Conference & Exhibition, 18-22 March 2013, pp. 905 – 908.
27. Baranov Alexander, Spirjakin Denis, Akbari Saba, Somov Andrey. Optimization of power consumption for gas sensor nodes: A survey // Sensors and Actuators A: Physical, Volume 233, 2015. – Pages 279 – 289.
28. Ma Dongsheng, Bondade Rajdeep. Reconfigurable Switched-Capacitor Power Converters: Principles and Designs for Self-Powered Microsystems, Springer Science & Business Media, 2012. - 178 Pages.
29. Erickson Robert W., DC-DC Power Converters [Электронный ресурс]. Систем.
требования: Adobe Acrobat Reader. / Режим доступа: http://web.eecs.utk.edu/~dcostine/ECE482/Spring2016/materials/DCPowerConv.pdf (дата обращения: 14.04.2016).
30. Williamson Sheldon S. Energy Management Strategies for Electric and Plug-in Hybrid Electric Vehicles, Springer Science & Business Media, 2013. – 253 Pag
31. LTC3388-1/LTC3388-3 20 V High Efficiency Nanopower Step-Down Regulator
[Электронный ресурс]. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. / Режим доступа: http://cds.linear.com/docs/en/datasheet/338813fa.pdf (дата обращения: 14.04.2016)
32. Emadi Ali, Khaligh Alireza, Nie Zhong, Lee Young Joo. Integrated Power Electronic Converters and Digital Control, CRC Press, 2009. – 350 Pages.
33. TPS6120x Low Input Voltage Synchronous Boost Converter With 1.3-A Switches
[Электронный ресурс]. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. / Режим доступа:, http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps61200.pdf (дата

Created by Universal Document Converter

обращения: 15.04.2016).

34. Берк К. Анализ данных с помощью Microsoft Excel/ Берк К., Кэйри П.. М.: Издательский дом "Вильяме", 2005. – 560 с.
35. Оськин, С. В. Технико-экономическая оценка эффективности эксплуатации электрооборудования [Текст] / С. В. Оськин, Г. М. Оськина // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2006.– № 1.– С. 2–3.
36. Запорожець О. І. Основи охорони праці. Підручник/ О. І. Запорожець, О. С. Протоєрейський, Г.М Франчук., І. М. Боровик – К.: Центр учбової літератури, 2009. – 264 с.
37. Березуцький В.В. Безпека життєдіяльності: Навчальний посібник / В.В. Березуцький, Л.А.Васьковець Л.А., Н.П.Вершиніна та ін.; За ред. проф. В. В. Березуцько-го. –Х.: Факт, 2005. – 384 с.
38. Джигирей В.С. Екологія та охорона навколишнього природного середовища: Навч. посібник. - К.: Т-во "Знання", 2002. - 203 с.

Created by Universal Document Converter