

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Сумський державний університет

Класичний фаховий коледж

(повна назва інституту/факультету)

Електронні інформаційні системи

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

(підпис)

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

_____ 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня бакалавр

(бакалавр / магістр)

зі спеціальності 171Електроніка

(код та назва)

освітньо-професійної програми Електронні інформаційні системи

(освітньо-професійної / освітньо-наукової)

(назва програми)

на тему: Гальванооптичні сенсори, як елементи електронних інформаційних систем

Здобувача (ки) групи ЕІс2-91к Панченко Артем Сергійович

(шифр групи)

(прізвище, ім'я, по батькові)

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Артем Панченко

(підпис)

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ здобувача)

Керівник _____ к.ф.-м.н. Віталій Бібик

(посада, науковий ступінь, вчене звання, ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)

Консультант¹⁾ _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)

АНОТАЦІЯ

Обґрунтуванням актуальності теми є те що гальванооптичні сенсори, як елементи електронних інформаційних систем є сучасним та необхідним при роботі в ІТ сфері.

Мета роботи полягає у вивченні основ, принципу роботи, класифікацій та особливостей гальванооптичних сенсорів що використовуються в інформаційних системах.

Фотоелектрична (PV) технологія полягає в тому що безпосередньо перетворює енергію електромагнітного випромінювання, таку як сонячна енергія, в електрику. Перетворення відбувається в сонячній батареї або фотоелектричному модулі, який складається з кількох з'єднаних разом сонячних батарей. Ці пристрої також називають фотоелектричними генераторами. Промисловість виробляє фотоелектрична модулі та елементи стандартних розмірів і форми. Вони призначені для великомасштабного або локального виробництва електроенергії від прямого та ідеально незатіненого сонячного світла.

Водночас, ці модулі не забезпечують максимальний потенційний потенціал електроенергії в тіні, типова ситуація в міських районах і внутрішніх приміщеннях.

Об'єктом дослідження кваліфікаційної роботи є самі гальванооптичні сенсори.

Предмет дослідження є фотоелектричні датчики, та гальванооптичні сенсори.

Робота викладена на 37 сторінках, у тому числі включає 17 рисунків, список цитованої літератури із 29 джерел.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ДАТЧИК, СЕНСОР, ФОТОЕЛЕКТРИЧНИЙ ЕФЕКТ, ФОТОГАЛЬВАНІЧНИЙ ЕЛЕМЕНТ.

ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1 ФОТОЕФЕКТ ЯК ОСНОВА ГАЛЬВАНООПТИЧНОГО СЕНСОРУ	5
1.1 Поняття фотоефекту.....	5
1.2 Пояснення фотоефекту та поняття фотонів	6
1.3 Властивості фотона та мінімальні умови фотоелектричного ефекту ...	8
1.4 Закони фотоефекту та його характеристики	8
1.5 Застосування фотоефекту.....	10
РОЗДІЛ 2. ФОТОЕЛЕКТРИЧНІ СЕНСОРИ ЯК ЕЛЕМЕНТИ ЕЛЕКТРОННИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ	11
2.1 Поняття фотоелектричного датчику	11
2.2 Принципи роботи	11
2.3 Класифікація за методом зондування	13
2.4 Класифікація за конфігурацією.....	14
РОЗДІЛ 3. ЕЛЕКТРОННІ ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ З ЗАСТОСУВАННЯ ГАЛЬВАНООПТИЧНИХ ДАТЧИКІВ	21
3.1 FAIR Фотоелектрична система	21
3.2 Онтологія PV	23
3.3 Стабілізація вироблення енергії шляхом інтеграції накопичувача в фотоелектричний модуль	25
ВИСНОВКИ	33
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	34

ВСТУП

Оскільки виробничий світ і процеси стають все більш автоматизованим, промислові датчики стали ключем до підвищення як продуктивності, так і безпеки.

Промислові датчики — це очі та вуха зір і слух нового заводу, вони бувають усіх розмірів, форм і технологій. Найпоширенішими технологіями є індукційна, ємнісна, фотоелектрична, магнітна та ультразвукова. Кожна технологія має унікальні сильні та слабкі сторони, тому вимоги самої програми визначатимуть, яку технологію слід використовувати. Ця робота присвячена гальванооптичним сенсорам, як елементам електронних інформаційних систем та фотоелектричним датчикам і визначає, що це таке, їхні переваги та деякі основні режими роботи.

Фотоелектричні датчики легко присутні в повсякденному житті. Вони допомагають безпечно керувати відкриванням і закриванням дверей гаража, відкривати крани раковини помахом руки, керувати ліфтами, відкривати двері в продуктовому магазині, виявляти автомобіль-переможець на гонках і багато іншого. а відповідних обставин світло можна використовувати для штовхання електронів, звільняючи їх від поверхні твердого тіла.

Оскільки на основі фотоелектричного ефекту побудовано всі датчики, тому і розгляд самого поняття є актуальним. Фотоелектричним ефектом (або фотоелектричною емісією або фотоемісією), матеріал, який може демонструвати це явище, називається фотоемісійним, а викинуті електрони називаються фотоелектронами, але немає нічого, що відрізняло б їх від інших електронів. Усі електрони ідентичні один одному за масою, зарядом, спіном і магнітним моментом [1]

РОЗДІЛ 1

ФОТОЕФЕКТ ЯК ОСНОВА ГАЛЬВАНООПТИЧНОГО СЕНСОРУ

1.1 Поняття фотоефекту

Фотоефект - це явище, при якому електрони вириваються з поверхні металу, коли на нього падає світло. Ці викинуті електрони називаються фотоелектронами. Важливо відзначити, що випромінювання фотоелектронів і кінетична енергія викинутих фотоелектронів залежить від частоти світла, яке падає на поверхню металу. Процес, у якому фотоелектрони вириваються з поверхні металу під дією світла, зазвичай називають фотоемісією.

Фотоелектричний ефект виникає тому, що електрони на поверхні металу ~~прагнуть~~ поглинають енергію від падаючого світла та використовують її для подолання сил взаємодії ~~тяжіння~~, які зв'язують їх із ~~металевими~~ ядром. На рис.1.1 наведена ілюстрація випромінювання фотоелектронів у результаті фотоелектричного ефекту.

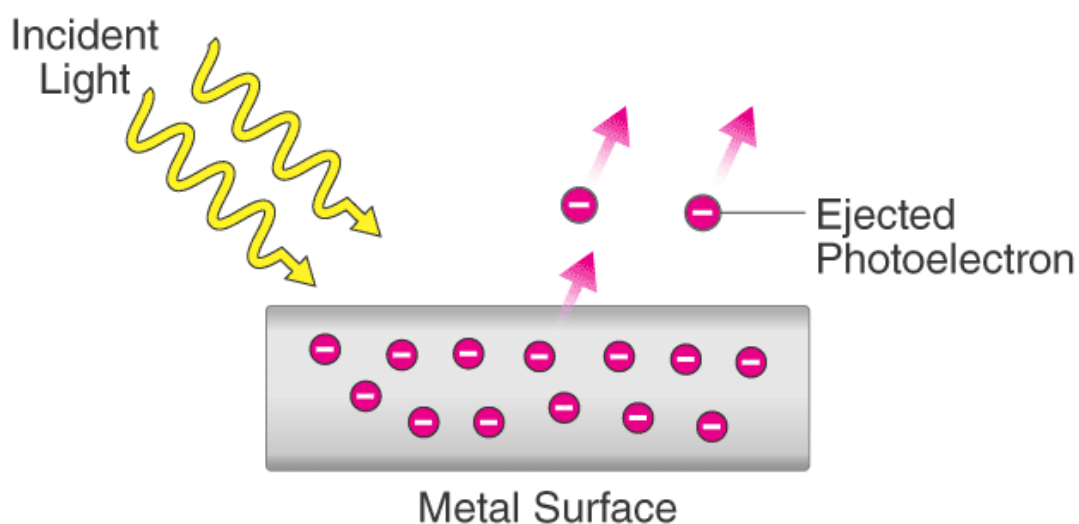


Рис.1.1 Випромінювання фотоелектронів у результаті фотоелектричного ефекту [2]

Фотоелектричний ефект був вперше представлений відкритий Вільгельмом Людвігом Францем Галлваксом у 1887 році, а експериментальна перевірка була проведена Генріхом Рудольфом Герцем. Вони помітили, що коли поверхня піддається впливу електромагнітного випромінювання з вищою пороговою частотою, випромінювання поглинається, а електрони випускаються. Сьогодні ми вивчаємо фотоефект як явище, яке пов'язане з поглинанням електромагнітного випромінювання матеріалом і вивільненням електрично заряджених частинок.

Якщо бути більш точним, світло, що падає на поверхню металу під час фотоелектричного ефекту, викликає викид виривання електронів. Електрон, який виривається внаслідок фотоефекту, називається фотоелектроном і позначається e^- . Струм, що утворюється в результаті викиду електронів, називається фотоелектричним струмом.

1.2 Пояснення фотоефекту та поняття фотонів

Фотоефект не можна пояснити, розглядаючи світло як хвилю. Однак це явище можна пояснити частинковою природою світла, у якій світло можна візуалізувати як потік частинок електромагнітної енергії. Ці «частки» світла називаються фотонами. Енергія, яку утримує фотон, пов'язана з частотою світла за допомогою рівняння Планка.

$$E = h\nu = hc/\lambda \quad (1.1)$$

де E позначає енергію фотона;

h — постійна Планка;

ν позначає частоту світла;

c - швидкість світла (у вакуумі);

λ – довжина хвилі світла.

Таким чином, можна зрозуміти, що різні частоти світла несуть фотони різної енергії. Наприклад, частота синього світла більша, ніж червоного (довжина хвилі синього світла набагато коротша за довжину хвилі червоного). Тому енергія фотона синього світла буде більшою, ніж енергія фотона червоного світла.

Порогова енергія для фотоелектричного ефекту. Для виникнення фотоелектричного ефекту фотони, які падають на поверхню металу, повинні нести достатню енергію, щоб подолати сили тяжіння взаємодії, які зв'язують електрони з ядрами металів. Мінімальна кількість енергії, необхідна для видалення електрона з металу, називається пороговою енергією (позначається символом Φ). Щоб фотон мав енергію, що дорівнює пороговій енергії, його частота повинна дорівнювати пороговій частоті (яка є мінімальною частотою світла, необхідної для виникнення фотоелектричного ефекту). Порогова частота зазвичай позначається символом ν_{th} , а відповідна довжина хвилі (яка називається пороговою довжиною хвилі) позначається символом λ_{th} . Зв'язок між пороговою енергією і пороговою частотою можна виразити наступним чином.

$$\Phi = h\nu_{th} = hc/\lambda_{th} \quad (1.2)$$

Зв'язок між частотою падаючого фотона та кінетичною енергією випущеного фотоелектрона. Тому залежність між енергією фотона та кінетичною енергією випущеного фотоелектрона можна записати так:

$$E_{\text{фотон}} = \Phi + E_{\text{електрон}} \Rightarrow h\nu = h\nu_{th} + \frac{1}{2}m_e v^2 \quad (1.3)$$

де, $E_{\text{фотон}}$ - позначає енергію падаючого фотона, яка дорівнює $h\nu$;

Φ -позначає порогову енергію поверхні металу, яка дорівнює $h\nu_{th}$;

$E_{\text{електрон}}$ -позначає кінетичну енергію фотоелектрона, яка дорівнює $\frac{1}{2}m_e v^2$ (m_e = маса електрона = $9,1 \cdot 10^{-31}$ кг).

Якщо енергія фотона менше порогової енергії, випромінювання фотоелектронів не буде (оскільки сили тяжіння між ядрами та електронами подолати неможливо). Таким чином, фотоэффект не виникне, якщо $\nu < \nu_{th}$. Якщо частота фотона точно дорівнює пороговій частоті ($\nu = \nu_{th}$), відбудеться випромінювання фотоелектронів, але їхня кінетична енергія буде дорівнювати нулю. На рис. 1.2 наведено як детально описує вплив частоти падаючого світла на кінетичну енергію фотоелектрона.

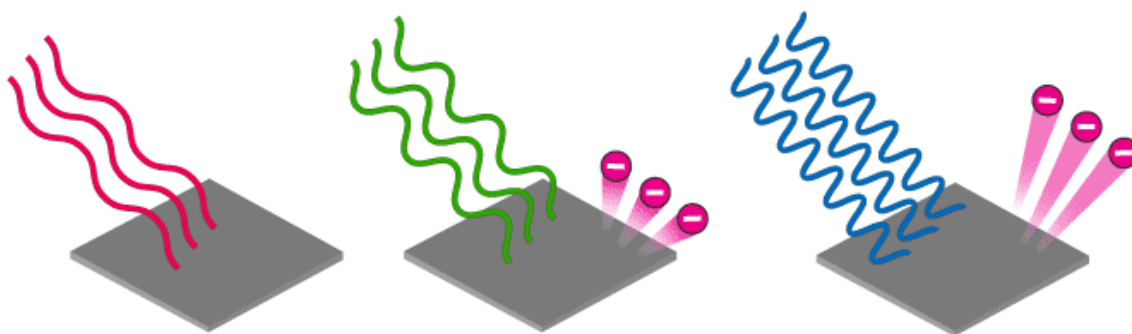


Рис. 1.2 Вплив частоти падаючого світла на кінетичну енергію фотоелектрона [5]

Зі зображення видно, що фотоелектричний ефект не виникає, коли червоне світло падає на металеву поверхню, оскільки частота червоного світла нижча за порогову частоту металу.

Фотоэффект виникає, коли зелене світло потрапляє на металеву поверхню, і випромінюються фотоелектрони.

Фотоэффект також виникає, коли синє світло потрапляє на металеву поверхню. Однак кінетична енергія випущених фотоелектронів набагато вища для синього світла, ніж для зеленого. Це тому, що синє світло має більшу частоту, ніж зелене світло.

Важливо відзначити, що порогова енергія змінюється від металу до металу. Це пояснюється тим, що сили тяжіння, які зв'язують електрони з металом, різні для різних металів. Можна також відзначити, що фотоэффект може мати місце і в неметалів, але порогові частоти неметалевих речовин зазвичай дуже високі.

Внесок Ейнштейна в фотоелектричний ефект. Фотоелектричний ефект - це процес, який включає викид або звільнення електронів з поверхні матеріалів (зазвичай металу), коли на них падає світло. Фотоелектричний ефект є важливою концепцією, яка дозволяє нам чітко зрозуміти квантову природу світла та електронів.

Після тривалих досліджень у цій галузі пояснення фотоелектричного ефекту було успішно пояснено Альбертом Ейнштейном. Він дійшов висновку, що цей ефект стався в результаті перенесення світлової енергії в дискретних квантованих пакетах. За цю чудову роботу він був удостоєний Нобелівської премії в 1921 році.

За Ейнштейном, кожен фотон енергії E є:

$$E = h\nu \quad (1.4)$$

де E = енергія фотона в джоулях;

h = постійна Планка ($6,626 \times 10^{-34}$ Дж);

ν = частота фотона в Гц.

1.3 Властивості фотона та мінімальні умови фотоелектричного ефекту

Для фотона всі квантові числа дорівнюють нулю. Фотон не має ні маси, ні заряду, і вони не відбиваються в магнітному та електричному полі. Фотон рухається зі швидкістю світла в порожньому просторі. Під час взаємодії речовини з випромінюванням випромінювання поводить ся так, що воно складається з маленьких частинок, які називаються фотонами.

Фотони - це віртуальні частинки. Енергія фотона прямо пропорційна його частоті і обернено пропорційна довжині хвилі. Імпульс і енергія фотонів пов'язані, як зазначено нижче

$$E = pc \quad (1.6)$$

де, p = величина імпульсу;

c = швидкість світла.

Мінімальна умова фотоелектричного ефекту. Порогова частота (γ_{th}). Це мінімальна частота падаючого світла або випромінювання, яка спричиняє фотоелектричний ефект, тобто викид фотоелектронів із металевої поверхні відомий як порогова частота для металу. Він постійний для конкретного металу, але може бути різним для різних металів.

Якщо $\gamma = \gamma_{th}$, частота падаючого фотона і γ_{th} = порогова частота.

Якщо $\gamma < \gamma_{th}$, не буде викиду фотоелектронів і, отже, фотоелектричного ефекту.

Якщо $\gamma = \gamma_{th}$, фотоелектрони просто викидаються з поверхні металу; в цьому випадку кінетична енергія електрона дорівнює нулю.

Якщо $\gamma > \gamma_{th}$, то фотоелектрони будуть виходити з поверхні разом з кінетичною енергією.

Порогова довжина хвилі (λ_{th}). Під час випромінювання електронів металева поверхня, яка відповідає найбільшій довжині хвилі падаючого світла, відома як порогова довжина хвилі.

Для довжин хвиль вище цього порогу випромінювання фотоелектронів не буде. Для $\lambda = \lambda_{th}$ довжина хвилі падаючого фотона. Якщо $\lambda < \lambda_{th}$, то матиме місце фотоелектричний ефект, і вибитий електрон матиме кінетичну енергію.

Якщо $\lambda = \lambda_{th}$, то матиме місце лише фотоелектричний ефект, а кінетична енергія вибитого фотоелектрона дорівнюватиме нулю.

Якщо $\lambda > \lambda_{th}$, фотоелектричного ефекту не буде.

1.4 Закони фотоелектричного ефекту та його характеристика

Для світла будь-якої заданої частоти; ($\gamma > \gamma_{th}$), фотоелектричний струм прямо пропорційний інтенсивності світла.

Для будь-якого матеріалу існує певна мінімальна (енергетична) частота, яка називається пороговою частотою, нижче якої випромінювання

фотоелектронів повністю припиняється, незалежно від того, наскільки високою є інтенсивність падаючого світла.

Виявлено, що максимальна кінетична енергія фотоелектронів зростає зі збільшенням частоти падаючого світла, якщо частота ($\gamma > \gamma_{Th}$) перевищує порогову межу. Максимальна кінетична енергія не залежить від інтенсивності світла.

Фотовипромінювання є миттєвим процесом. Експериментальне дослідження фотоефекту зображено на рис.1.3

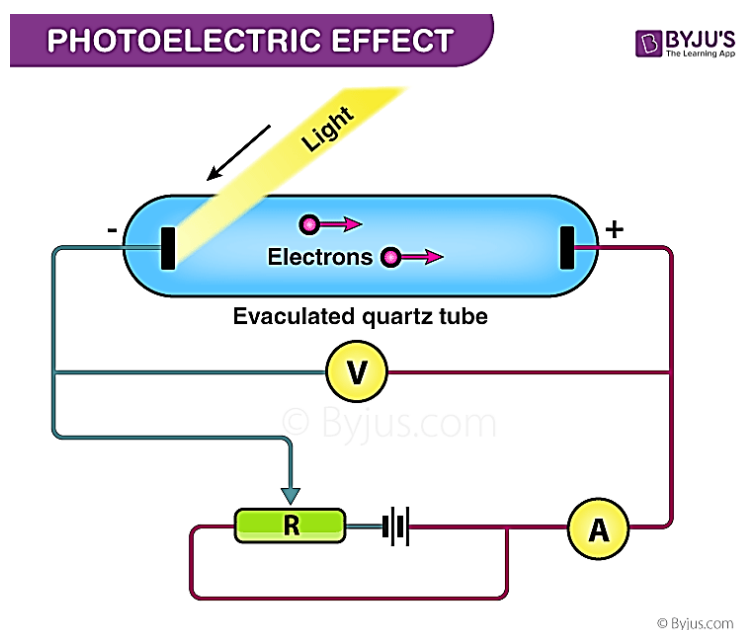


Рис. 1.3 Дослідження фотоефекту [6]

Даний експеримент використано для експериментального дослідження фотоефекту. У вакуумну скляну трубку поміщено дві цинкові пластини С і D. Пластини С діють як анод, а D діє як фоточутлива пластина.

Дві пластини з'єднані з батареєю В і амперметром А. Якщо випромінювання падає на пластину D через кварцове вікно, W електронів вилітає з пластини, і в колі тече струм. Це відоме як фотострум. Пластинку С можна підтримувати на потрібному потенціалі (+ve або -ve) відносно пластини D.

Порогова частота залежить від матеріалу, вона різна для різних матеріалів. Фотоелектричний струм прямо пропорційний інтенсивності світла.

Кінетична енергія фотоелектронів прямо пропорційна частоті світла. Потенціал зупинки прямо пропорційний частоті, і процес відбувається миттєво. Фактори, що впливають на фотоефект. Вплив інтенсивності падаючого випромінювання на фотоелектричний ефект. Різниця потенціалів між металевою пластинною, колектором і частотою падаючого світла підтримується постійною, а інтенсивність світла змінюється. Електрод С, тобто збиральний електрод, робиться позитивним відносно D (металева пластина). При фіксованому значенні частоти і потенціалу між металевою пластинною і колектором фотоелектричний струм відзначається відповідно до інтенсивності падаючого випромінювання.

Це показує, що фотоелектричний струм і інтенсивність падаючого випромінювання пропорційні один одному. Фотоелектричний струм визначає кількість фотоелектронів, викинутих за секунду. Вплив різниці потенціалів між металевою пластинною та колектором на фотоелектричний ефект. Частота та інтенсивність падаючого світла зберігаються постійними, а різниця потенціалів між пластинами змінюється.

Підтримуючи постійну інтенсивність і частоту світла, позитивний потенціал С поступово збільшується. Фотоелектричний струм зростає при позитивному збільшенні потенціалу між металевою пластинною і колектором до характерного значення. Фотоелектричний струм не змінюється, якщо потенціал збільшується вище характерного значення для будь-якого збільшення прискорювальної напруги. Це максимальне значення струму називається струмом насичення.

1.5 Застосування фотоефекту

Використовується для виробництва електроенергії в сонячних панелях. Ці панелі містять металеві комбінації, які дозволяють виробляти електроенергію з широкого діапазону довжин хвиль.

Датчики руху та положення: у цьому випадку фотоелектричний матеріал розміщується перед ультрафіолетовим або інфрачервоним світлодіодом. Коли

об'єкт поміщається між світлодіодом (LED) і датчиком, світло вимикається, і електронна схема реєструє зміну різниці потенціалів.

Датчики освітлення, такі як ті, що використовуються в смартфонах, дозволяють автоматично регулювати яскравість екрана відповідно до освітлення. Це пояснюється тим, що величина струму, що генерується через фотоелектричний ефект, залежить від інтенсивності світла, що потрапляє на датчик.

Цифрові камери можуть виявляти та занеу фіксувати світло, оскільки вони мають фотоелектричні датчики, які реагують на різні кольори світла.

Рентгенівська фотоелектронна спектроскопія (XPS): Ця техніка використовує рентгенівські промені для опромінення поверхні та вимірювання кінетичної енергії випущених електронів. Можна отримати важливі аспекти хімії поверхні, такі як елементний склад, хімічний склад, емпірична формула сполук і хімічний стан.

Фотоелементи використовуються в охоронній сигналізації.

Використовується у фотопомножувачах для виявлення слабого освітлення.

Використовувався в трубках відеокамер на початку телебачення.

На цьому ефекті засновані прилади нічного бачення.

Фотоэффект також сприяє вивченню деяких ядерних процесів. Він бере участь у хімічному аналізі матеріалів, оскільки випромінювані електрони, як правило, переносять певну енергію, характерну для атомного джерела.

РОЗДІЛ 2.

ФОТОЕЛЕКТРИЧНІ СЕНСОРИ ЯК ЕЛЕМЕНТИ ЕЛЕКТРОННИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

2.1 Поняття фотоелектричного датчику

Фотоелектричні датчики виявляють об'єкти, зміни стану поверхні та інші елементи за допомогою різноманітних оптичних властивостей. Фотоелектричний датчик складається в основному з випромінювача для випромінювання світла та приймача для отримання світла. Коли випромінюване світло переривається або відбивається сенсорним об'єктом, це змінює кількість світла, яке надходить до приймача. Приймач виявляє цю зміну та перетворює її на електричний вихід. Джерелом світла для більшості фотоелектричних датчиків є інфрачервоне або видиме світло (зазвичай червоне або зелене, синє для визначення кольорів).

Класифікація фотоелектричних датчиків, показано на рис.1.1

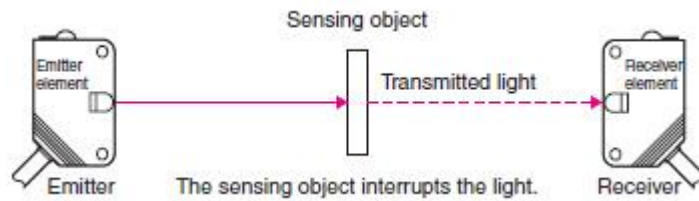
Особливості фотоелектричних датчиків.

Велика відстань зондування. Наприклад, датчик наскрізного променя може виявляти об'єкти на відстані понад 10 метрів. Це неможливо за допомогою магнітних, ультразвукових чи інших методів вимірювання.

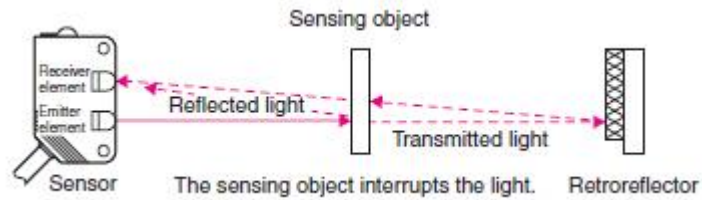
Практично немає обмежень щодо об'єктів зондування. Ці датчики працюють за принципом, згідно з яким об'єкт перериває або відбиває світло, тому вони не обмежені виявленням металевих предметів, як датчики наближення. Це означає, що їх можна використовувати для виявлення практично будь-яких об'єктів, включаючи скло, пластик, дерево та рідину.

Швидкий час відгуку. Час відгуку надзвичайно швидкий, оскільки світло поширюється з високою швидкістю, а датчик не виконує механічних операцій, оскільки всі схеми складаються з електронних компонентів.

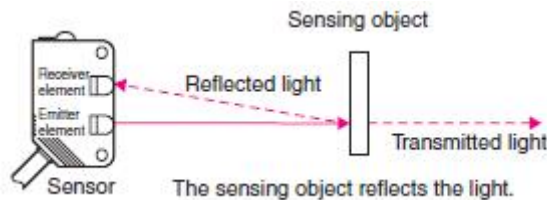
Висока роздільна здатність. Неймовірно висока роздільна здатність, досягнута цими датчиками, походить від передових технологій проектування, які дали дуже маленький точковий промінь і унікальну оптичну систему для отримання світла. Ці розробки дозволяють виявляти дуже маленькі об'єкти, а також точне визначення положення.



а) датчики наскрізного променя



б) світловідбиваючі датчики



в) дифузно-відбиваючі датчики

Рис.2.1 Класифікація фотоелектричних датчиків а) датчики наскрізного променя б) світловідбиваючі датчики в) дифузно-відбиваючі датчики [4]

Безконтактне зондування. Ймовірність пошкодження сенсорних об'єктів або датчиків невелика, оскільки об'єкти можна виявити без фізичного контакту. Це забезпечує роки служби датчика.

Ідентифікація кольору. Швидкість, з якою об'єкт відбиває або поглинає світло, залежить як від довжини хвилі випромінюваного світла, так і від кольору об'єкта. Цю властивість можна використовувати для визначення кольорів.

Легке регулювання. Розташувати промінь на об'єкті легко за допомогою моделей, які випромінюють видиме світло, оскільки промінь є видимим.

2.2 Принципи роботи

Властивості світла, прямолінійне поширення. Коли світло поширюється по повітрю чи воді, воно завжди поширюється прямолінійно. Щілина на зовнішній стороні датчика наскрізного променя, який використовується для виявлення малих об'єктів, є прикладом того, як цей принцип застосовується на практиці. На рис.2.2 зображено приклад проходження світла.

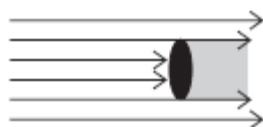


Рис.2.2 Проходження світла [5]

Заломлення — це явище відхилення світла, коли воно проходить похило через межу двох середовищ з різними показниками заломлення. Ефект заломлення зображено на рис. 2.3.

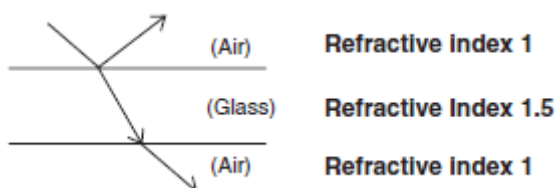


Рис.2.3 Заломлення світла, відбиття

(звичайне відбиття, ретровідбиття, дифузне відбиття) [1]

Плоска поверхня, наприклад скло або дзеркало, відбиває світло під кутом, рівним куту падіння світла. Таке відображення називається регулярним відображенням. Кутовий куб використовує цей принцип, розташовуючи три плоскі поверхні перпендикулярно одна одній. Світло, що випромінюється в бік кутового куба, постійно поширює регулярні відбиття, і відбите світло зрештою рухається прямо назад до випромінюваного світла. Це називається світловідбиванням.

Більшість світлоповертавачів складаються з кутових кубиків розміром у кілька квадратних міліметрів і розташованих у точній конфігурації. Матові поверхні, такі як білий папір, відбивають світло в усіх напрямках. Таке розсіювання світла називається дифузним відбиттям. Цей принцип є методом чутливості, який використовують дифузно-відбиваючі датчики. Поляризація світла зображено на рис.2.4

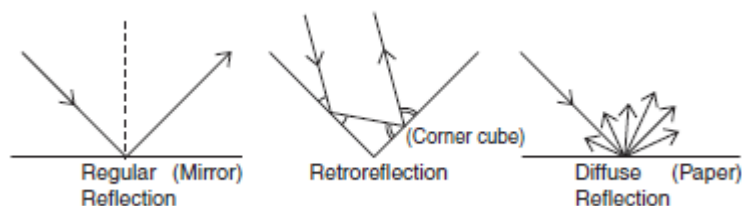


Рис.2.3 Поляризація світла [5]

Світло можна представити у вигляді хвилі, яка коливається горизонтально і вертикально. Фотоелектричні датчики майже завжди використовують світлодіоди як джерело світла. Світло, випромінюване світлодіодами, коливається у вертикальному та горизонтальному напрямках і називається неполяризованим світлом. Існують оптичні фільтри, які стримують коливання неполяризованого світла лише в одному напрямку. Вони відомі як поляризаційні фільтри. Світло від світлодіода, що проходить через поляризаційний фільтр, коливається лише в одному напрямку і називається поляризованим світлом (точніше, лінійним поляризованим світлом).

Поляризоване світло, що коливається в одному напрямку (скажімо, у вертикальному напрямку), не може пройти через поляризаційний фільтр, який стримує коливання в перпендикулярному напрямку (наприклад, горизонтальному напрямку). Функція MSR на світловідбиваючих датчиках і додатковий фільтр захисту від взаємних перешкод для датчиків наскрізного променя працюють за цим принципом. Джерела світла та генерація світла зображено на рис.2.4

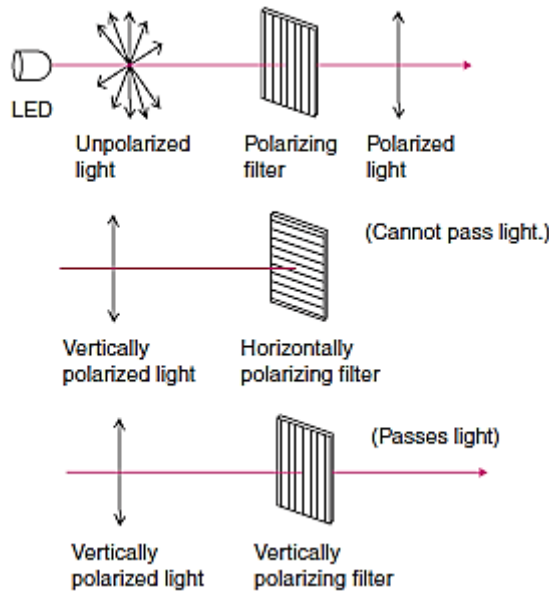


Рис. 2.4 Джерела світла та генерація [11]

Більшість фотоелектричних датчиків використовують імпульсно-модульоване світло, яке в основному випромінює світло неодноразово через фіксовані проміжки часу. Вони можуть сприймати об'єкти, розташовані на деякій відстані, оскільки ця система легко усуває вплив зовнішнього світла. У моделях, оснащених захистом від взаємних перешкод, цикл випромінювання змінюється в межах заданого діапазону для обробки когерентного світла та зовнішніх світлових перешкод. Приклад немодульованого світла зображено на рис. 2.5.

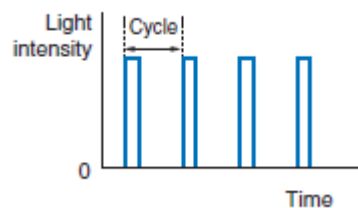


Рис.2.5 Немодульоване світло [65]

Немодульоване світло – це безперервний промінь світла певної інтенсивності, який використовується з певними типами датчиків, наприклад датчиками позначки. Незважаючи на те, що ці датчики мають швидкий час відгуку, їхні недоліки включають короткі відстані сприйняття та

сприйнятливість до зовнішніх світлових перешкод. На рис. 2.6 зображено приклад кольору і тип джерела. На рис.2.7 зображено приклад тріангуляції.

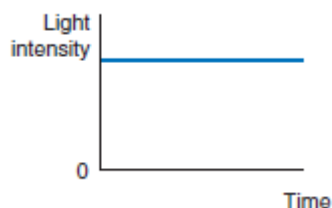


Рис. 2.6 Колір і тип джерела світла [65]

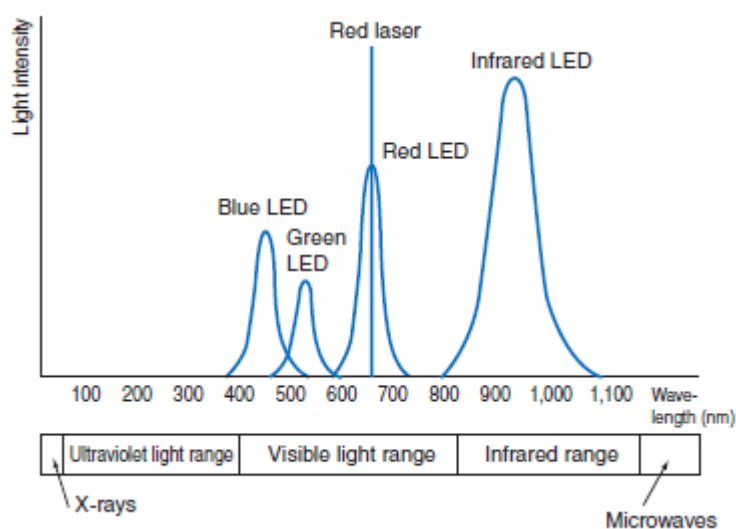


Рис. 2.7 Тріангуляція [6]

Датчики, що встановлюються на відстані, зазвичай працюють за принципом тріангуляції. Цей принцип проілюстровано на наступній діаграмі. Світло від випромінювача потрапляє на об'єкт сприйняття і відбиває розсіяне світло. Лінза приймача концентрує відбите світло на детекторі положення (напівпровідник, який видає сигнал відповідно до того, де на нього падає світло). Коли об'єкт зондування знаходиться в точці А поблизу оптичної системи, світло концентрується в точці а на детекторі положення. Коли об'єкт зондування знаходиться в точці В на відстані від оптичної системи, світло концентрується в точці b на детекторі положення.

2.3 Класифікація за методом зондування

Метод датчиків наскрізного променя. Випромінювач і приймач встановлені один навпроти одного, щоб світло від випромінювача потрапляло в приймач. Коли сенсорний об'єкт, що проходить між випромінювачем і приймачем, перериває випромінюване світло, це зменшує кількість світла, що потрапляє в приймач. Це зменшення інтенсивності світла використовується для виявлення об'єкта. На рис.2.8 зображено приклад датчиків наскрізного променя.

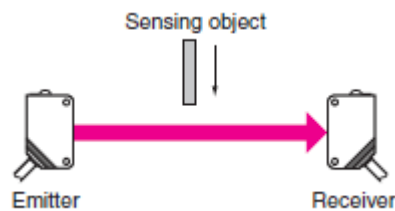


Рис. 2.8 Метод датчиків наскрізного променя [5]

Метод чутливості ідентичний датчикам наскрізного променя, а деякі моделі, які називаються щілинними датчиками, налаштовані з інтегрованим випромінювачем і приймачем.

Стабільна робота та великі відстані зондування від кількох сантиметрів до кількох десятків метрів. Позиція зондування не залежить від змін траєкторії об'єкта зондування. Розпізнавання блиску об'єкта, кольору чи нахилу не впливає на роботу.

Дифузно-відбиваючі датчики. Випромінювач і приймач встановлені в одному корпусі, і світло зазвичай не повертається до приймача. Коли світло від випромінювача потрапляє на сенсорний об'єкт, об'єкт відбиває світло, і воно потрапляє в приймач, де інтенсивність світла збільшується. Це збільшення інтенсивності світла використовується для виявлення об'єкта. На рис.2.9 зображено приклад датчиків дифузно-відбиваючого датчику.

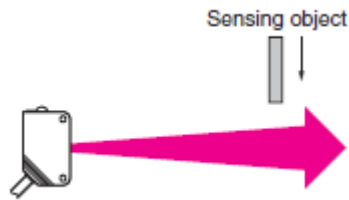


Рис. 2.9 Дифузно-відбиваючі датчики [5]

Відстань зондування від кількох сантиметрів до кількох метрів. Легке регулювання монтажу. Інтенсивність відбитого світла, стабільність роботи та відстань зондування змінюються залежно від умов (наприклад, кольору та гладкості) на поверхні об'єкта зондування.

Світловідбиваючі датчики. Метод зондування. Випромінювач і приймач встановлені в одному корпусі, і світло від випромінювача зазвичай відбивається назад до приймача відбивачем, встановленим на протилежному боці. Коли сенсорний об'єкт перериває світло, він зменшує кількість отриманого світла. Це зменшення інтенсивності світла використовується для виявлення об'єкта.

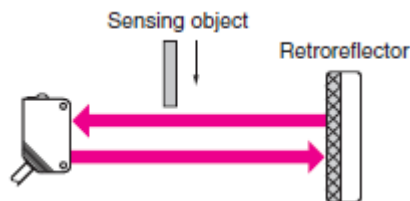


Рис.2.10 Метод зондування [5]

Відстань зондування коливається від кількох сантиметрів до кількох метрів. Просте підключення та регулювання оптичної осі (економія праці). На роботу не впливає колір або кут об'єктів, що сприймаються. Світло двічі проходить крізь об'єкт чутливості, що робить ці датчики придатними для чутливості до прозорих об'єктів.

Об'єкти зондування з дзеркальним покриттям можуть бути не виявлені, оскільки кількість світла, відбитого назад до приймача від таких блискучих поверхонь, створює враження, ніби об'єкт зондування відсутній. Цю проблему

можна подолати за допомогою функції MSR. Світловідбиваючі датчики мають мертву зону на близькій відстані.

Дистанційні датчики. Метод зондування. Приймач у датчику – це фотодіод, що складається з двох частин, або детектор положення. Світло, відбите від об'єкта зондування, концентрується на приймачі. Зондування базується на принципі триангуляції, який стверджує, що місце концентрації променя залежить від відстані до об'єкта зондування.

На рис.2.10 показано систему виявлення, яка використовує двокомпонентний фотодіод. Кінець фотодіода, найближчий до корпусу, називається кінцем N (ближній), а інший кінець називається кінцем F (дальнім). Коли об'єкт зондування досягає заданого положення, відбите світло концентрується посередині між кінцем N і кінцем F, а фотодіоди на обох кінцях отримують однакову кількість світла. Якщо об'єкт зондування знаходиться ближче до датчика, то відбите світло концентрується на N-кінці. І навпаки, відбите світло концентрується на F-кінці, коли об'єкт зондування знаходиться далі, ніж задана відстань. Датчик обчислює різницю між інтенсивністю світла на кінці N і F, щоб визначити положення об'єкта зондування.

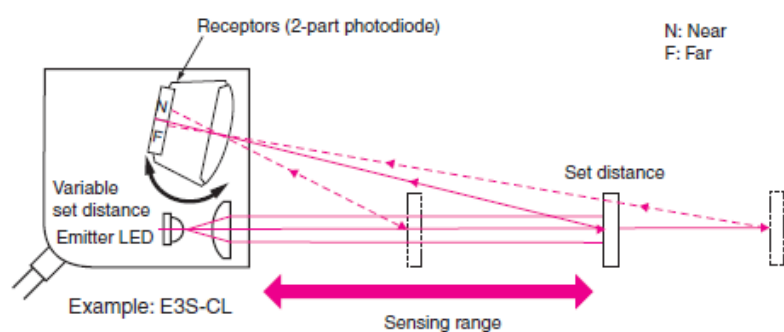


Рис. 2.10 Система виявлення, яка використовує двокомпонентний фотодіод [7]

2.4 Класифікація за конфігурацією

Фотоелектричні датчики, як правило, складаються з випромінювача, приймача, підсилювача, контролера та джерела живлення. Вони класифікуються, як показано нижче, відповідно до конфігурації компонентів.

Датчики з окремими підсилювачами. Датчики з наскрізним променем мають окремі випромінювач і приймач, а датчики відбиття мають вбудовані випромінювач і приймач. Підсилювач і контролер розміщені в одному підсилювачі.

Компактний розмір, оскільки інтегрований випромінювач-приймач складається просто з випромінювача, приймача та оптичної системи. Чутливість можна регулювати дистанційно, якщо випромінювач і приймач встановлені у вузькому просторі. Сигнальний провід від блоку підсилювача до випромінювача та приймача чутливий до шуму.

Вбудовані датчики підсилювача. Усе, крім джерела живлення, вбудовано в ці датчики. (Датчики наскрізного променя поділяються на випромінювач, що складається виключно з випромінювача, і приймач, що складається з приймача, підсилювача та контролера.) Джерело живлення є автономним блоком.

Приймач, підсилювач і контролер інтегровані, щоб усунути потребу в проводці слабкого сигналу. Це робить датчик менш чутливим до шуму. Вимагає менше проводів, ніж датчики з окремими підсилювачами. Хоча ці датчики, як правило, більші за датчики з окремими підсилювачами, датчики з нерегульованою чутливістю такі ж малі.

Датчики з вбудованими джерелами живлення. Джерело живлення, випромінювач і приймач встановлюються в одному корпусі з цими датчиками. Датчики можна підключити безпосередньо до комерційного джерела живлення, щоб забезпечити великий контрольний вихід безпосередньо з приймача. Ці датчики набагато більші, ніж датчики з іншими конфігураціями, оскільки випромінювач і приймач містять додаткові компоненти, такі як трансформатори джерела живлення.

РОЗДІЛ 3

ЕЛЕКТРОННІ ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ З ЗАСТОСУВАННЯ ГАЛЬВАНООПТИЧНИХ ДАТЧИКІВ

3.1 FAIR Фотоелектрична система

Цифровий опис об'єкта – це складне завдання. Один із способів підійти до цього завдання — визначити, для якого завдання слід використовувати цифровий опис. Потім можна визначити дані, необхідні для вирішення завдання. У цьому випадку фотоелектрична система (PV система) повинна використовуватися в інформаційній системі, яка дозволяє користувачеві візуалізувати фотоелектричну систему та знаходити інформацію про кожен компонент, який використовується в системі. Необхідні такі дані:

Визначення, які компоненти існують і як вони взаємопов'язані. Далі ці дані називаються даними структурного складу. Це описано за допомогою PVOntology. Дані можна класифікувати як описові метадані, оскільки вони описують структуру фотоелектричної системи.

Властивості компонентів. Ці дані називаються основними даними і являють собою набір моделей кожного компонента. Для пристроїв, які не є вимірювальними, використовуються стандарти IEC 61850 і GeoJSON; у випадку компонентів MeasurementDevices використовується лише стандартний SensorML. Дані також можна класифікувати як описові метадані, оскільки вони описують властивості кожного компонента.

Опис вимірювальних даних кожного датчика. Структура даних вимірювання датчика належить до категорії структурних метаданих. Місце зберігання даних вимірювань кожного датчика

Розташування даних вимірювання належить до категорії адміністративних метаданих. Обидва пункти 3 і 4 описані за допомогою стандарту SensorML.

На рис.3.1 зображено підключену до мережі фотоелектричну систему з незалежним акумулятором. Система складається з трьох фотоелектричних модулів, об'єднаних в лінію. Вона підключена до інвертора потужності, який перетворює постійний струм на змінний і подає енергію через лічильник енергії в електромережу.

З іншого боку лічильника енергії підключено ще один інвертор потужності, який може або перекачувати енергію з мережі в накопичувач

акумулятора, або подавати енергію з накопичувача акумулятора в мережу. Рис. 2 -це вже дані про структурний склад зразкової фотоелектричної системи, але для отримання формального опису використовується PVOntology.

Кожен із компонентів (за винятком лічильника енергії) має основні дані, які описані за допомогою IEC 61850, а також географічне положення, надане світовою геодезичною системою WGS84, описане в GeoJSON. Основні дані лічильника енергії та структура вимірних даних, а також розташування вимірювань описані за допомогою SensorML. Далі представлено PVOntology, а потім короткий вступ до використовуваних стандартів IEC 61850, GeoJSON і SensorML. Перед поясненням концепції інтеграції стандартів, що використовуються, з FDOs, представлені колекції дослідницьких даних, які використовуються в інтеграції.

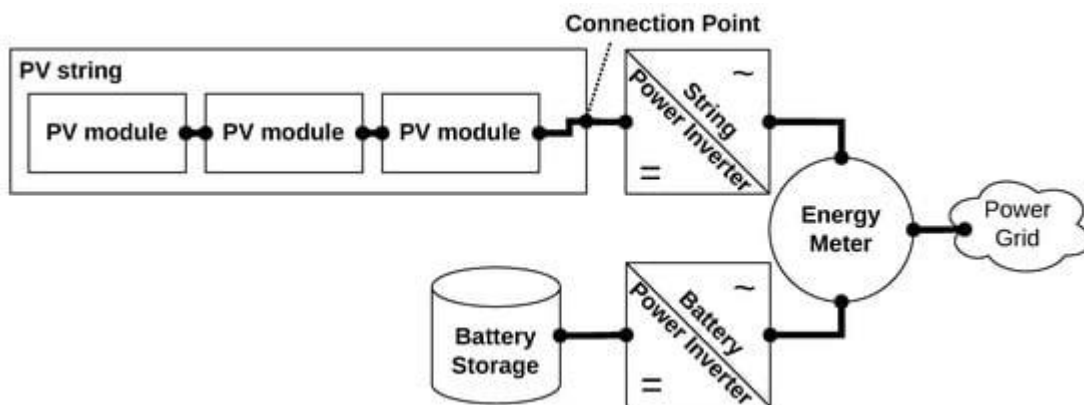


Рис.3.1 Приклад фотоелектричної системи [4]

3.2 Онтологія PV

PVOntology, показана на Рис.3.2, описує структурний склад фотоелектричної системи. Він визначає класи та зв'язки між ними, які зустрічаються в звичайних фотоелектричних системах. Онтологія складається з приблизно двадцяти класів, з яких шість є основними

класами: PhotovoltaicSystem , SystemConcept , SystemComponent , Controller , MeasurementDevice і ConnectionPoint .

Усі інші класи є підкласами SystemComponent . Кореневим вузлом графа онтології PV є PhotovoltaicSystem. Він декларує повну фотоелектричну систему та визначає чотири відносини до чотирьох з інших п'яти основних класів. Відношення usesSystemConcept є відношенням 1-до-1, яке вказує, яка з чотирьох концепцій фотоелектричної системи, використовується. usesMeasuringDevice і usesController охоплюють прилади системи.

Точка входу в структуру апаратного забезпечення фотоелектричної генерації електроенергії задана composedOf . Усі субодиночки, що містяться в цьому відношенні, є екземплярами підкласу SystemComponent . Усі ці три відношення є відношеннями «один до багатьох».

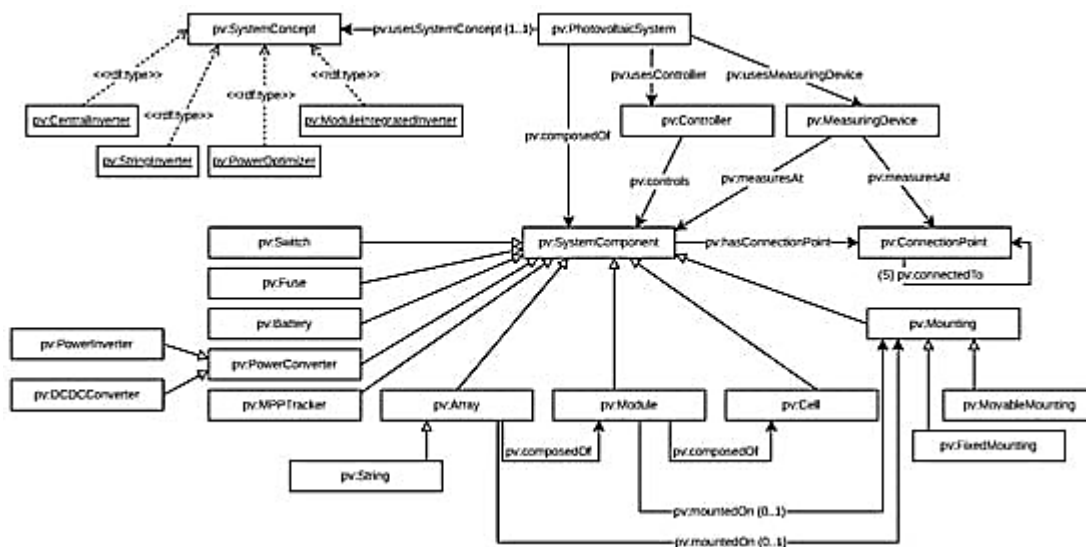


Рис.3.2. Огляд PVOntology [4]

Як згадувалося раніше, клас SystemConcept визначає концептуальну установку фотоелектричної системи. Відповідно існує чотири концепції фотоелектричних систем: CentralInverter , StringInverter , ModuleIntegratedInverter і PowerOptimizer.

Центральний інвертор, концепція створюється за допомогою використання одного інвертора для всієї системи, усі фотоелектричні лінії (фотоелектричні

модулі, з'єднані послідовно) підключаються паралельно до одного інвертора. Перевага цієї концепції полягає в тому, що потрібен лише один інвертор, але через паралельне з'єднання ліній виникає втрата узгодженості, якщо деякі лінії затінені (максимальна точка потужності усереднюється для всіх струн).

Щоб подолати втрату узгодженості, кожна лінія повинна мати власний інвертор, який може працювати з кожною ланцюгом на максимальній потужності. Ця концепція називається концепцією *StringInverter*. У практичних реалізаціях систем до одного інвертора часто підключаються дві ланцюжки з однаковою кількістю модулів і властивостями шейдингу. Інший підхід полягає в установці інвертора на кожен фотоелектричний модуль.

Це призводить до концепції *ModuleIntegratedInverter*, яка дозволяє отримати максимальну потужність кожного модуля, але також передбачає високі витрати на придбання та обслуговування. Остання концепція, *PowerOptimizer*, використовує так званий оптимізатор потужності для кожного фотоелектричного модуля. Це трансформатор DC/DC, що дозволяє працювати кожному модулю на максимальній потужності. Ці модулі з'єднані послідовно з центральним інвертором, який перетворює постійний струм на змінний. Ця концепція може зменшити витрати на модульний інтегрований підхід, зберігаючи ті самі переваги.

Класи *MeasuringDevice* і *Controller* дозволяють визначати датчики та актуатори, що належать до приладів фотоелектричної системи. Інформація, записана від датчика, може бути використана в роботі установки, наприклад, для захисту модулів від температури, відстеження положення сонця або для прогнозування, наприклад, прогнозування виробництва електроенергії чи прогнозування заміни. Звичайно, будь-яка інформація з датчиків також може представляти інтерес для проведення енергетичних досліджень або моделювання за допомогою змодельованих датчиків, які також базуються на онтології. Використовуються для керування поведінкою системи, як-от встановлення максимальної вихідної потужності або вирівнювання

фотоелектричної системи з сонячним відстеженням до сонця. Актуатори також можуть бути активовані під час експериментальних досліджень.

Точки `ConnectionPoints` використовуються для опису електричного з'єднання `SystemComponents`. Компонент може мати одну або багато точок підключення, позначених властивістю об'єкта `hasConnectionPoint`.

Використання явної точки замість зв'язків між компонентами має перевагу в тому, що точки зв'язку вказуються явно в електричній мережі.

Наприклад, якщо три компоненти з'єднані один з одним одним проводом, підхід із зв'язком закінчується ситуацією трикутника (с1 з'єднаний з с2, с2 з'єднаний з с3, с3 з'єднаний з с1). У такій трикутній ситуації неможливо визначити, чи використовується лише один дріт, чи для їх з'єднання використовується до трьох проводів. Цю проблему можна обійти, використовуючи явну точку зв'язку.

`SystemComponent` — це абстрактний вищий клас для більш конкретних компонентів фотоелектричної системи, і його слід розглядати лише як допоміжний клас моделювання, це вищий клас усіх компонентів, з яких може складатися фотоелектрична система.

Фотоелектрична система складається з одного або багатьох системних компонентів, тобто фотоелектрична система моделюється шляхом створення списку компонентів, які належать до системи. Таким чином, список компонентів має включати лише ті компоненти, на які прямо чи опосередковано не посилається клас `PhotovoltaicSystem`.

3.3 Стабілізація вироблення енергії шляхом інтеграції накопичувача в фотоелектричний модуль

В електричній мережі змінного струму класичне рівняння коливання диктує, що в кожен момент вироблена та споживана повна потужність має бути рівною для підтримки бажаного рівня кута ротора, частоти та напруги в

синхронних машинах, що утворюють енергосистему. У сучасних електричних мережах, які є досить жорсткими та підтримуються великими теплоелектростанціями, що спалюють викопне паливо, це може статися за допомогою відповідних методів керування потужністю та варіаціями.

Однак, коли в мережі будуть домінувати генератори відновлюваної енергії, такі як фотоелектричні установки замість синхронних генераторів і обертового обладнання, брак інерції стане проблемою. Крім того, коли замість керованих клапанів на електростанціях і вимикачів у розподільних лініях бере участь сонце і місцева погода, їх переривчастість стає ще однією проблемою.

Широкомасштабне використання відновлюваних джерел енергії для виробництва електроенергії має значний вплив на існуючу електричну мережу. Основними проблемами, які впливають на стабільність мережі з високим рівнем проникнення фотоелектричної енергії, є відсутність інерції та коливання у виробництві електроенергії. Незважаючи на надійність існуючих звичайних мереж, інерція змінюватиметься від однієї частини мережі до іншої в мережі, де домінує PV, а також змінюватиметься з часом (щогодини чи щодня).

Цю відсутність інерції можна вирішити за допомогою синхронних конденсаторів і таких методів, як контроль падіння та алгоритми віртуальної та синтетичної інерції, застосовані до накопичувачів-інверторів.

Однак коливання в електропостачанні залишатимуться проблемою, доки не будуть розроблені дуже швидкі та високонадійні методи прогнозування сонячної радіації. Через невід'ємно складну природу місцевої погоди, ймовірно, буде важко і невизначено мати дуже точні та швидкі методи прогнозування погоди.

У такій ситуації сховище є рішенням для підтримки мережі шляхом заповнення розриву (або зміни) між доставкою сонячної енергії та споживанням енергії. Таким чином, прогноз сонячної енергії та накопичення енергії повинні розглядатися одночасно (напрямки досліджень 1 і 3 логічно пов'язані), а розробка доступних технологій накопичення має вирішальне значення для енергетичного переходу в секторі електроенергії.

Як згадувалося вище, включення накопичувачів в електричну мережу полегшує широкомасштабну інтеграцію підключених до мережі фотоелектричних генераторів і PV-IEA. Однак в ізольованих і автономних програмах сховище стає необхідністю.

Наприклад, медичне та рятувальне обладнання, яке використовує електроенергію від фотоелектричних установок, може працювати безпечно, якщо воно забезпечене накопичувачем, який гарантує безпечне постачання енергії. Існує багато підходів до зберігання, яке не є внутрішньою частиною фотоелектричного модуля, наприклад, свинцево-кислотні батареї, насосна гідроакумуляція та Sun in the box серед інших. Нещодавно було показано, що термодинамічна межа перетворення сонячної енергії в енергію палива для узагальненої фотоелектрично-електрохімічної системи (при 1 сонячному освітленні α та альbedo = 0) становить 52,09%.

Однак будь-яке дешеве, ефективне та екологічно чисте сховище, яке можна інтегрувати в фотоелектричний модуль, матиме кілька переваг: пристрої з вищою об'ємною щільністю енергії через відсутність проводів і спільного використання, швидше і дешевше виробництво в результаті меншого споживання матеріалів і енергії в порівнянні з виготовленням окремих компонентів окремо, можливість мати автономні пристрої для портативних рішень, де не потрібні зовнішні джерела живлення, і зручні пристрої, які легше встановлювати.

Складність використання накопичувача як внутрішньої частини модуля полягає в управлінні температурою, оскільки фізична інтеграція накопичувача призводить до вищої температури з нерівномірним температурним профілем у модулі.

Крім того, силова електроніка, яка використовується для оптимізації робочої точки (MPPT) фотоелектричних генераторів і керування системою акумуляторів, працюватиме при вищій температурі. Вищі робочі температури впливають як на продуктивність, так і на надійність інтегрованих систем фотоелектричних батарей: з одного боку, фотоелектричні елементи

вироблятимуть менше енергії; з іншого боку, термін служби перетворювача живлення може зменшитися, а його продуктивність може погіршитися.

Тому загальний вплив високих робочих температур необхідно вивчити більш детально, а також знайти оптимальне розміщення всіх компонентів, щоб знизити робочу температуру всіх компонентів системи та збільшити їх продуктивність і термін служби.

Крім того, поєднання методів зберігання та охолодження (може допомогти знизити загальну робочу температуру, тому необхідні подальші дослідження, які поєднують накопичення енергії з активним і пасивним підходами до охолодження).

Розмір системи також є проблемою для інтегрованих систем фотоелектричних батарей. З одного боку, батареї є найдорожчим компонентом, тому бажано мінімізувати обсяг накопичувача. Однак це суперечить безперервній (удень і вночі) потребі в енергії в острівних і автономних системах. Крім того, розмір батареї має прямі наслідки для циклічної роботи батареї (кількість циклів, глибина та швидкість заряду/розряду), а отже, і термін служби батареї. Тому необхідні подальші дослідження, щоб розробити методологію правильного визначення розмірів інтегрованих рішень для фотоелектричних накопичувачів.

Необхідно дотримуватися двох підходів: з одного боку, необхідно вивчати рішення загального призначення, оскільки це дозволить широкомасштабне впровадження, з іншого боку, наприклад, забезпечити певний мінімальний час роботи медичного та рятувального обладнання незалежно від наявності сонячного джерела). Нарешті, необхідно забезпечити безпеку. На сьогоднішній день літій-іонні батареї, виготовлені з рідких електролітів, є найбільш використовуваною технологією. Повідомлялося про несправності батареї, що призводять до вибуху або несправності, часто через витік рідкого електроліту під час інтенсивної роботи.

Дуже важливо запобігти цьому. Тут допоможе технологічний розвиток, оскільки останні дослідження спрямовані на розробку так званих твердотільних

аккумуляторів, які замінюють рідкий електроліт твердим електролітом. Їхня загальна продуктивність все ще гірша, ніж поточні літій-іонні батареї, але дослідження покращать продуктивність і довговічність твердотільних батарей, а також їх об'ємну та гравіметричну густину енергії.

Підходи, що поєднують збір і зберігання енергії, які є ефективними способами отримання компактних і надійних енергетичних систем, розглядаються в роботі. Історія інтеграції накопичувачів електроенергії на рівні фотоелектричних модулів налічує менше двох десятиліть, і кількість досліджень у цій галузі швидко зростає (усі були переглянуті в посиланні).

Було продемонстровано, що батареї та суперконденсатори можуть бути інтегровані в фотоелектричні модулі в різних конфігураціях, таких як планарна, в площині, паралельна, один пристрій, оптоволокну та коаксіальна для застосувань як з низькою, так і з високою потужністю.

Також розроблено комерційні портативні рішення, які повністю об'єднують фотоелектричні пристрої, накопичувачі та блоки управління енергією в одному пакеті. Оскільки використання фотоелектричних технологій поширюється від зовнішніх до дверей/усередині приміщень, ми очікуємо, що незабаром інтеграція фотоелектричних модулів і накопичувачів відіграватиме важливу роль. Однак, щоб уможливити широкомасштабну інтеграцію накопичувачів у фотоелектричних модулях, необхідно подолати вищезазначені проблеми.

Висновки

1. При виконанні роботи було виділено що гальванооптичні датчики - це сенсорні пристрої які використовуються для отримання електричної напруги або струму.

2. Показано що при побудові електронних інформаційних систем може

використовуватися гальванооптичний модуль який має такі переваги як відсутність стороннього живлення і достатньо високу чутливість в т.ч інфрачервоному діапазоні хвиль. Він складається зі світловода коліматора скляних елементів та фотодетектора.

3. Встановлено що гальванооптичні датчики використовуються в різних галузях таких як автоматизація та контроль, медицина, військова техніка, фізика та інші. Ці пристрої мають високу точність, швидкість реакції та надійність, що робить їх досить універсальними та застосовуваними.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Паленський, П.; Дітріх, Д. Управління попитом: реагування на попит, інтелектуальні енергетичні системи та розумні навантаження. IEEE Trans. пром.інформ. 2011 , 7 , 381–388.

2. Рехмані, МН; Рейслайн, М.; Рачеді, А.; Ерол-Кантарчі, М.; Раденковіч, М. Інтеграція відновлюваних джерел енергії в інтелектуальну мережу: останні розробки в інформаційних і комунікаційних технологіях. IEEE Trans. пром.інформ. 2018 , 14 , 2814–2825.

3. Ансарі, МН; Вакілі В.Т.; Бахрак, Б. Оцінка фреймворків великих даних для аналізу інтелектуальних мереж. J. Big Data 2019 , 6 , 1–14.

4. Услар, М. Семантична сумісність у домені енергосистем. У матеріалах

Першого міжнародного семінару з взаємодії гетерогенних інформаційних систем — IHIS '05, Бремен, Німеччина, 4 листопада 2005 р.

5. Вілкінсон, доктор медичних наук; Дюмонтъє, М.; Альберсберг, ІІІ; Appleton, G.; Акстон, М.; Баак, А.; Бломберг, Н.; Бойтен, J.W.; да Сілва Сантос, L.B.; Борн, П.Е.; та ін. Керівні принципи управління науковими даними та управління ними FAIR. *Sci. Дані* 2016 , 3 , 160018.

6. Коллінз, С.; Генова, Ф.; Харроуер, Н.; Ходсон, С.; Джонс, С.; Лааксонен, Л.; Мітхен, Д.; Петраускайте, Р.; Віттенбург, П. Перетворення даних FAIR на реальність: підсумковий звіт і план дій від групи експертів Європейської комісії з даних FAIR ; Офіс публікацій Європейського Союзу: Люксембург, 2018.

7. Кан, Р.; Wilensky, R. Структура для розподілених цифрових об'єктних послуг. *Міжн. Дж. Цифра. Libr.* 2006 , 6 , 115–123.

8. Фонд ДОНА. Специфікація протоколу інтерфейсу цифрових об'єктів ; Фондація DONA: Гувахаті, Індія, 2018.

9. Віттенбург, П. GEDE — Звіт тематичної групи цифрових об'єктів. 2019. Доступно в Інтернеті: <https://github.com/GEDE-RDA-Europe/GEDE/blob/master/Digital-Objects/Foundation Documents/DOTerminology.pdf> (дата доступу: 9 серпня 2021 р.).

10. Шульц, Е.; Григорій, А.; Маганья, Б. Нові екосистеми FAIR: практична перспектива. *рез. Ідеї Результати* 2022 , 8 , e94149.

11. Шульц, Е.; Віттенбург, П. Принципи FAIR і цифрові об'єкти: прискорення конвергенції в інфраструктурі даних. У матеріалах аналізу та управління даними в інтенсивних доменах даних ; Manolopoulos, Y., Stupnikov, S., Eds.; Springer International Publishing: Берлін/Гейдельберг, Німеччина, 2019; С. 3–16.

12. Якобсен, А.; де Міранда Азеведо, Р.; Juty, N.; Батіста, Д.; Коулз, С.; Корнет, Р.; Курто, М.; Кросас, М.; Дюмонтъє, М.; ЕVELO, Коннектикут; та ін. Принципи FAIR: тлумачення та міркування щодо впровадження. *Data Intell.* 2020 , 2 , 10–29.

13. Бенгамед, О.М.; Бургер, К.; Каляперумал, Р.; да Сілва Сантос, L.O.B.;

Суханек, М.; Сліфка, Я.; Wilkinson, MD Точка даних FAIR: інтерфейси та інструменти. *Data Intell.* 2022 , 1–18.

14. Андерс, І.; Blanchi, С.; Бродер, Д.; Хеллстрем, М.; Ислам, С.; Джейкал, Т.; Ланном, Л.; Пітерс, К.; Квік, Р.; Шлеммер, А.; та ін. Специфікації цифрових об'єктів FAIR Версія PR 1.2: Запропонована рекомендація форуму FDO ; Форум цифрових об'єктів FAIR: Лейден, Нідерланди, 2022 р.

15. Де Смедт, К.; Куреас, Д.; Віттенбург, П. FAIR. Цифрові об'єкти для науки — від фрагментів даних до практичних одиниць знань. Публікації 2020 , 8 , 21.

16. Вайгель, Т.; Плале, Б.; Парсонс, М.; Чжоу, Г.; Ло, Ю.; Швардман, У.; Квік, Р.; Хеллстрем, М.; Куракава, К. Рекомендація RDA щодо інформації про ядро PID: версія 1 ; RDA: Йокогама, Японія, 2018.

17. Пфейл, А.; Джейкал, Т.; Швейкерт, Дж.; Пирогов А.; Відеген Барранко, П.; Кребс, Ф.; Кох, К.; Гюнтер, Г.; Curdt, С.; Weinelt, M. Helmholtz Профіль інформації про ядро ; Технічний звіт; Співпраця щодо метаданих Гельмгольца: Гельмгольц, Німеччина, 2023 р.

18. Грубер, Т. Р. Підхід до перекладу специфікацій портативної онтології. *знати. Acquis.* 1993 , 5 , 199–220.

19. Чандрасекаран, Б.; Джозефсон, JR; Бенджамінс, В. Р. Що таке онтології та навіщо вони нам потрібні? *IEEE Intell. сист.* 1999 , 14 , 20–26.

20. Euzenat, J.; Швайко, П. *Ontology Matching* ; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2013.

21. Гуаріно, Н.; Оберле, Д.; Штааб, С. Що таке онтологія? In *Handbook on Ontologies* ; Staab, S., Studer, R., Ред.; Springer: Берлін/Гейдельберг, Німеччина, 2009; С. 1–17.

22. Оберле, Д. Як онтології приносять користь корпоративним додаткам. *Семант. Web* 2009 , 5 , 473–491.

23. Гасевич, Д.; Деведшич, В.; Djuric, D. Інженерія, керована моделлю, і розробка онтології ; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2009

24. Гуаріно, Н.; Джаретта, П. Онтології та бази знань — До

термінологічного роз'яснення. На шляху до дуже великих баз знань ; Mars, NJ, Ed.; IOS Press: Омша, Японія, 1995; С. 25–32.

25. Беннет, М.; Бацлавські, К. Роль онтологій у зв'язаних даних, великих даних і семантичних веб-додатках: редакція. апл. Онтол. 2017 , 12 , 189–194

26. Uschold, M. Knowledge level modeling - Concepts and terminology. знати. інж. Rev. 1998 , 13 , 5–29.

27. Джаррар, М.; Демі, Дж.; Меерсман, Р. Про використання концептуального моделювання даних для онтологічної інженерії. J. Data Semant. I 2003 , 2800 , 185–207.

28. Ной Н.Ф.; Кляйн, М. Еволюція онтології: не те саме, що еволюція схеми. знати. Інф. сист. 2004 , 6 , 428–440.

29. Когаловський М.Р.; Калініченко Л. А. Концептуально-онтологічне моделювання в інформаційних системах. програма. обчис. програмне забезпечення 2009 , 35 , 241–256.