

Методи сполучення фотодатчиків з мікроконтролерами

Жихарев^f М. А., ORCID [0000-0003-1753-3746](https://orcid.org/0000-0003-1753-3746)

Кафедра електронних приладів та систем
Факультет електроніки
Національний технічний університет України
"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"
Київ, Україна

Семікіна^s Т. В., к.т.н. ст.н.сп., ORCID [0000-0002-6182-4703](https://orcid.org/0000-0002-6182-4703)

ІФН ім. В.С. Лашкарьова НАН України
Київ, Україна

Анотація—У представленій роботі розглядаються технічні характеристики фоторезисторів, фотодіодів, фототранзисторів, котрі використовуються в якості первинного перетворювача в оптичних пристроях вимірювання інтенсивності чи дози випромінювання з метою вибору первинного оптичного перетворювача для подальшого конструювання детектора ультрафіолетової радіації. В результаті проведеного аналізу в якості первинного перетворювача пропонується застосовувати фотодіоди, завдяки притаманній їм високій чутливості та швидкодії, а також низькій собівартості. Зроблено огляд методів сполучення первинних перетворювачів з вторинними перетворювачами. В роботі пропонується підхід конструювання детектора ультрафіолету без окремого підсилювача, із застосуванням тільки мікроконтролерів. Проведено аналіз типів мікроконтролерів, їх технічні характеристики, коротко наведено принципи роботи. Основна увага приділена методам сполучення мікроконтролерів з оптичними датчиками.

Ключові слова — мікроконтролери; фотодатчики; фоторезистори; фотодіоди; фототранзистори; датчик світла.

I. ВСТУП

Вимірювальні прилади знаходять своє застосування у метрології, промислових системах автоматизації, побутових приладах, робототехніці і т.д.. Особлива увага на теперішній час приділяється розробці детекторів ультрафіолетового (УФ) випромінювання. Це пов'язано з потребою виміру дози випромінювання як в традиційних галузях застосування ультрафіолетових бактерицидних ламп (медицина, біологія, екологія), так і в нових, до яких відноситься оптична комунікація на УФ випромінюванні [1], вивчення сонця та атмосфери в світловому діапазоні 300 – 400 нм [2], вивчення атмосфери планет та екосфери Марса [3], для створення ультрафіолетового нітратного сенсору з метою створення мапи забруднення океанів [4], для аерозольного флуоресцентного сенсору, котрий виявляє біологічні частки присутні в повітрі [5], та інші. Особливо актуальною розробка детекторів УФ є на теперішній час, коли пропонується масове використання УФ ламп в місцях скупчення людей, таких як метро, лікарні, в якості ефективного методу протидії розповсюдження корона вірусної інфекції. Оскільки доза випромінювання УФ також є величиною потенційно небезпечною в разі довготривалого знаходження поряд з джерелом УФ, то розробка детектору УФ радіації є вельми

актуальною задачею. Тому метою представленої роботи є аналіз та вибір складових детектору УФ. Основними складовими будь-якого вимірювального пристрою є датчик (первинний перетворювач) і вторинний перетворювач, в якості якого можна використувати аналого-цифровий перетворювач або мікроконтролер (МК). В роботі розглянуто декілька варіантів оптичних первинних перетворювачів, а саме фоторезистори, фотодіоди та фототранзистори. В якості вторинних перетворювачів пропонується використання МК, які мають цілу низку переваг таких як: невелика площа, яку МК займає на платі; гнучкість налаштування електронної схеми; багатифункціональність; збільшення швидкодії. Тому перед інженерами електроніки, які розробляють нову вимірювальну апаратуру стоїть задача оптимального вибору первинного перетворювача, мікроконтролера та методу сполучення між ними. Методом сполучення приділену основну увагу в представленій роботі.

II. АНАЛІЗ ФОТОДАТЧИКІВ

Фотодатчик - це прилад, який змінює свої характеристики при потраплянні на них світла. Найчастіше використовуються фоторезистори, фотодіоди та фототранзистори. Кожен з них має свої переваги та



недоліки. Тому вибір оптичного датчику залежить від поставленого технічного завдання.

А. Фоторезистори

Фоторезистор - це датчик, електричний опір якого змінюється в залежності від інтенсивності його освітлення. Чим інтенсивніше світло, тим менше стає опір елемента.

Як правило, фоторезистори виготовляються в інтегральному або дискретному вигляді. Як приклад дискретного фоторезистора можна привести GL5528, його світловий опір (10 люкс): 10-20 кОм, а темновий опір (0 люкс): 1 МОм [6].

Швидкодія фоторезисторів невелика, тому працювати вони можуть лише на дуже низьких частотах. По цій причині в нових розробках вони майже не застосовуються. Але вони мають низьку вартість і їх доцільно використовувати для фотореле, які не вимагають особливої точності.

В. Фотодіоди

Фотодіод відрізняється від звичайного діода тим, що зі збільшенням рівня освітленості його зворотний струм починає рости. Найчастіше в якості фотодіода застосовують напівпровідникові елементи з р-п переходом. Фотодіод входить до складу багатьох електронних пристроїв завдяки тому, що він має високу швидкодію та чутливість до опромінення. Основне застосування фотодіодів – це фотодетектори та робота в ключовому режимі.

У темряві фотодіод володіє характеристиками звичайного діода. Зворотний струм діода при освітленні підвищується. Значення, на яке підвищується зворотний струм, називають фотострумом. При застосуванні фотодіодів в якості фотодетекторів величина фотоструму фактично визначає чутливість та поріг спрацювання фотодетектора. На прикладі фотодіода GNL-5012PD можна побачити, що зворотні фотоструми мають значні величини (зворотний струм при максимальній освітленості 2 мкА, темновий зворотний струм 10 нА) [7]. Для того, щоб фотодіод був первинним перетворювачем в дозиметрі УФ потрібно значне зростання зворотного фотоструму при опроміненні УФ і мале збільшення фотоструму при освітленні в інфрачервоному та видимому діапазонах. Як правило, фоторезистори не мають такої селективності.

Для застосування в детекторі УФ треба розглядати діоди перш за все чутливі до УФ випромінювання. В якості таких діодів використовуються широкзонні напівпровідники. Особливий інтерес представляють чутливі до УФ напівпровідникові структури на основі тонких плівок матеріалів групи А2В6, які виготовляються та досліджуються в інституті фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова Національної Академії Наук України, які доцільно використовувати в якості первинного перетворювача в детекторі УФ [8].

С. Фототранзистори

Фототранзистор відрізняється від звичайного біполярного транзистора тим, що напівпровідниковий базовий шар пристрою доступний для впливу

зовнішнього оптичного випромінювання, за рахунок цього струм через прилад залежить від інтенсивності цього опромінення.

Відрізняється від фотодіода тим, що володіє внутрішнім підсиленням фотоструму і тому більшою чутливістю до потоків оптичного випромінювання. Для застосування в оптичних вимірювальних приладах можна використати фототранзистор ТЕМТ1000 зі струмом колектора при максимальній освітленості 7 мА, темновим струмом колектора 1 нА [9].

Фототранзистор має ціну близьку до фотодіода, чи більшу. Тому при проектуванні схеми потрібно враховувати такі фактори, як поріг чутливості, чутливість та вірогідність виходу із ладу в процесі експлуатації. Але з точки зору складності технології виготовлення, зробити фотодіод простіше ніж фототранзистор.

Конструювання детектора УФ може йти декількома шляхами. Перший варіант включає наступну послідовність: первинний перетворювач, підсилювач, аналого-цифровий перетворювач чи мікроконтролер. Другий варіант реалізується у вигляді підсилювача, який видає на вторинний перетворювач сигнал, що змінюється порогово за допомогою використання компаратора. В даній роботі аналізуються обидва варіанти з метою знаходження оптимального.

III. МЕТОДИ СПОЛУЧЕННЯ ФОТОДАТЧИКА З МІКРОКОНТРОЛЕРОМ

А. Принцип роботи мікроконтролера. Аналіз роботи МК

Мікроконтролер - це спеціальна мікросхема, призначена для управління різними електронними пристроями. В даній час мікроконтролери настільки дешеві і доступні, що їх зазвичай використовують замість простих логічних схем на основі дискретних компонентів, що дозволяє досягти гнучкості проектування і скоротити площу друкованої плати [10]. Сучасні електронні прилади сьогодні покладаються на величезну кількість мікроконтролерів, кожен з яких вирішує певне завдання.

Будь-який МК, як і будь-яка мікропроцесорна система, базується на трьох основних функціональних блоках: процесор (арифметично-логічний пристрій + пристрій управління), пам'ять (RAM, ROM, FLASH), порти вводу-виводу. Процесор за допомогою портів вводу-виводу отримує або відправляє різні дані у вигляді чисел, здійснює над ними арифметичні операції і потім зберігає їх в пам'ять. Обмін даними між процесором, пам'яттю і портами відбувається по дротах, які в цифровій електроніці прийнято називати шиною. Це загальна ідея роботи мікропроцесорної системи.

Фізична структура мікроконтролерів різних серій може досить сильно відрізнятися, але загальна база у них буде схожа, і вона буде складатися з наступних блоків: оперативна пам'ять, постійна пам'ять, АЛП, таймери, порти вводу-виводу, регістри, лічильники.



В. Мікроконтролери PIC

Контролер периферійного інтерфейсу (PIC) – це серія мікроконтролерів, розроблена компанією Microchip. Мікроконтролер PIC досить швидко і просто реалізує програми. Простота програмування і простота взаємодії з іншими периферійними пристроями робить PIC досить успішним мікроконтролером.

Серія мікроконтролерів PIC представляє більше 500 різних контролерів, що мають різні функціональні блоки, відрізняються архітектурою, розрядністю, об'ємом пам'яті, кількістю портів вводу-виводу, продуктивністю та ін. [10].

За рахунок великого вибору мікроконтролерів та простоти програмування ці МК здобули велику популярність як у виробничих, так і у аматорських приладах та розробках.

С. Мікроконтролери AVR

Серія мікроконтролерів AVR відрізняється простотою і доступністю програмування, номенклатура цих МК дуже велика, існують як МК що мають невелику швидкодію та малу кількість периферії, так і швидкодіючі контролери з великою кількістю можливостей. Це робить їх одними з найпопулярніших МК. Але при цьому вони мають суттєвий недолік у порівнянні з іншими розглянутими МК – більш висока вартість. МК AVR використовуються як у аматорських, так і у виробничих розробках.

Д. Мікроконтролери ARM

Мікроконтролери ARM засновані на 32-бітних і 64-бітних багатоядерних процесорах. Вони побудовані так, щоб обробляти якомога менше операцій для збільшення швидкодії. Усуваючи непотрібні операції і оптимізуючи обробку інформації, ці МК забезпечують більшу продуктивність у порівнянні з розглянутими раніше мікроконтролерами.

Процесори ARM широко використовуються в споживчих електронних пристроях, таких як смартфони, планшети, комп'ютери, програвачі та інші мобільні пристрої. Через скорочений набір команд їм потрібно менше транзисторів, що дозволяє зменшити розмір матриці інтегральної схеми. Процесори ARM з меншими розмірами спрощують проектування і скорочують енергоспоживання, що робить їх придатними для більш мініатюрних пристроїв. При цьому вони мають низьку вартість, але вимагають більших трудовитрат для їх програмування. Саме завдяки цьому наразі МК ARM є найпопулярнішими для розробок високого класу. У Таблиця 1 наведено основні характеристики розглянутих МК [10], а саме розрядність, інтерфейси, пам'ять, шинну архітектуру, енергоспоживання, варіативність сімейств, виробників та вартість.

IV. МЕТОДИ СПОЛУЧЕННЯ ФОТОДАТЧИКА З МІКРОКОНТРОЛЕРОМ

Найпоширеніший варіант підключення фотодатчиків до МК реалізується за схемою дільника напруги.

А. Підключення фотодатчика з використанням аналого-цифрового перетворювача

Підключення фотодатчиків буде розглянуто на прикладі фотодіода. На виході ланцюга фотодіода можна отримати певну напругу, яку потрібно перетворити в число, з яким буде працювати програма мікроконтролера. Для цього використовується АЦП. В такому випадку фотодіод можна використовувати в ключовому або вимірювальному режимі. Фотодіод підключається за схемою дільника напруги (див. Рис. 1), нижнє плече якого буде змінюватися в залежності від рівня світла, що падає на фотодіод. Знімається напруга з виходу дільника напруги, подається на аналоговий вхід, який перетворює його в число. Підключивши і знявши дані з фотодіода можна отримати набір даних, які відповідають показанням фотодіода при різній освітленості. Визначивши його поведінку можна обчислити поріг спрацьовування. Далі в програмі записується потрібний поріг щоб отримати прилад, який є перемикачем, що залежать від освітленості.

Перевагою цієї схеми є простота і дешевизна. Але при цьому для здійснення цієї схеми необхідний МК, який має вбудований аналого-цифровий перетворювач (АЦП). Не на всіх портах МК є АЦП, тому в багатозадачних пристроях всі порти з АЦП можуть бути задіяні, тоді потрібно використовувати іншу схему підключення фотодіода [11].

ТАБЛИЦЯ 1 ОСНОВНІ ВІДМІННОСТІ МІЖ МІКРОКОНТРОЛЕРАМИ AVR, ARM І PIC

Характеристика	PIC	AVR	ARM
Розрядність	8/16/32 біт	8/32 біт	32 біт, 64 біт
Інтерфейси	PIC, UART, USART, LIN, CAN, Ethernet, SPI, I2S	UART, USART, SPI, I2C, іноді CAN, USB, Ethernet	UART, USART, LIN, I2C, SPI, CAN, USB, Ethernet, I2S, DSP, SAI, IrDA
Пам'ять	SRAM, FLASH	Flash, SRAM, EEPROM	Flash, SDRAM, EEPROM
Шинна архітектура	Частково RISC	RISC	RISC
Енергоспоживання	Низьке	Низьке	Низьке
Сімейства	PIC16, PIC17, PIC18, PIC24, PIC32	Tiny, Atmega, Xmega, спец. AVR	ARMv4, 5, 6, 7 ...
Виробники	Microchip	Atmel (Microchip)	Apple, Nvidia, Qualcomm, Samsung Electronics, TI ...
Вартість	Середня	Середня	Низька
Приклади популярних МК	PIC18FXX8, PIC16F88X, PIC32MXX	Atmega8, 16, 32; варіації для Arduino	LPC2148, ARM Cortex-M0, ARM Cortex-M3, ARM Cortex-M7

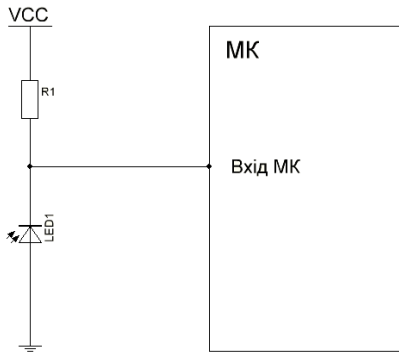


Рис. 1 Підключення фотодіода до МК через АЦП

В. Підключення фотодіода до МК без використання АЦП

Фотодіод можна підключати на цифровий вхід МК без використання АЦП, але так як фотодіод може змінювати фотострум у великому діапазоні відповідно буде значно змінюватися напруга на виході. Тоді МК не зможе розпізнавати значний діапазон напруг з фотодіода, в результаті чого будуть відбуватися помилкові спрацьовування. Це відбувається через те, що у МК рівень логічного нуля і одиниці не є «0» або «1». Насправді ці рівні у кожного МК можуть незначно відрізнятися. Даний рівень знаходиться за формулою і зазвичай лежить в наступних значеннях:

- Для нуля 0 – 1,3 В;
- Для одиниці 1,6 і вище В.

Відповідно у значеннях 1,3 - 1,6 МК буде некоректно сприймати значення, що є певним недоліком [11]. Тому розглянемо альтернативний варіант підключення з компаратором.

С. Підключення фотодіода до МК без використання АЦП з компаратором

Одна з найбільш популярних схем підключення фотодіода до МК є схема з використанням компаратора.

Компаратор - це операційний підсилювач без зворотного зв'язку з великим коефіцієнтом посилення. Тому, якщо подати на один його вхід (наприклад, інвертуючий) якийсь постійний рівень опорної напруги, а на інший вхід (неінвертуючий) сигнал, що змінюється, то вихідна напруга у нього зміниться стрибком, від мінімальної до максимальної в той момент, коли рівень вхідного сигналу перевищить рівень сигналу опорної напруги, встановленої на іншому вході, і навпаки.

Якщо необхідний ключовий режим фотодатчика, то можна застосувати схему на основі компаратора, наприклад ним може бути LM393 (рис.2) [11]. Для пояснення роботи схеми на Рис. 3 представлено випадок показання напруги на виході схеми при зміні освітленості (верхній графік) і рівні напруги на виході компаратора (нижній графік). Графіки є часовими залежностями, за якими можна прослідкувати як змінюються вихідна напруга з фотодіода та напруга на виході схеми.

В даній схемі використовується дільник напруги на основі резистора $R1$ і фотодіода.

Формула для вихідної напруги з дільника:

$$U_{out} = U_{in} \cdot \frac{R_{LED2}}{R_{LED2} + R1},$$

де U_{out} - вихідна напруга з дільника напруги; U_{in} - напруга, що входить у дільник; R_{LED2} - опір фотодіода; $R1$ - опір резистора $R1$. З цієї формули можна зробити висновок, що при освітленні фотодіода (фотострум збільшується, відповідно опір зменшується) вихідна напруга буде зменшуватись.

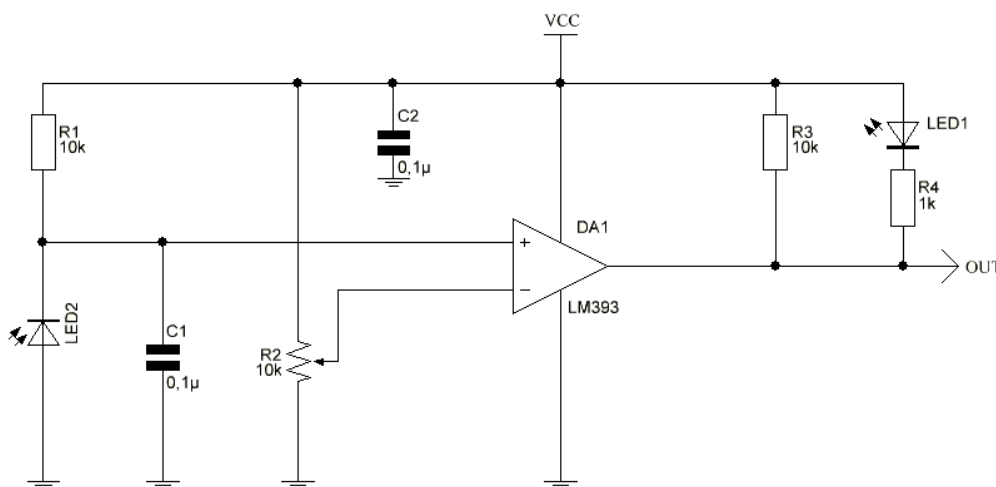


Рис. 2 Принципова схема датчика світла з мікросхемою LM393

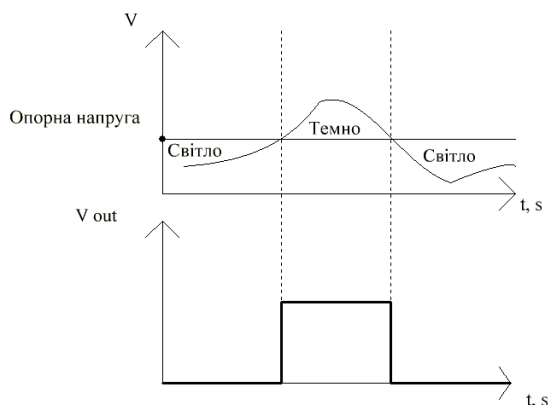


Рис. 3 Вихідні імпульси компаратора при різній освітленості

Вихідна напруга з дільника буде приходити на неінвертуючий вхід компаратора. При цьому на інвертуючий вхід приходить напруга, яка регулюється за допомогою налаштування резистора R2, ця напруга виставляється в залежності від вимог до схеми і називається опорною. Далі в компараторі порівнюються ці дві напруги, якщо сигнал на неінвертуючому вході більше, ніж на вході, що інвертує, то компаратор видає логічну «1».

Отриманий логічний «0» або «1» подається через «OUT» до мікроконтролера. Через шину «VCC» подається напруга живлення схеми.

Конденсатори C1, C2 в схемі виконують роль фільтрів. Резистор R3 виконує функцію підтяжки сигналу до порта МК. Резистор R4 обмежує струм для світлодіода.

ВИСНОВКИ

В роботі проведено аналіз схем сполучення оптичних датчиків і МК. Розглянуто принцип дії різних типів фотодатчиків, таких як фоторезистори, фотодіоди, фототранзистори. В якості первинного перетворювача чутливого до УФ випромінювання запропоновано використовувати фотодіод на основі широкозонних напівпровідників групи A2B6. Зроблено аналіз та порівняння технічних характеристик різних типів мікроконтролерів (PIC, AVR, ARM). Для застосування в розробці пристрою для контролю УФ

випромінювання запропоновано два варіанта підключення фотодіода до МК. Результати наведеного аналізу можуть бути використані при проектуванні детектору УФ та інших нових оптичних електронних пристроїв.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] J. C. Carrano, T. Li, C. J. Eiting, R. D. Dupuis, and J. C. Campbell, "Very high-speed ultraviolet photodetectors fabricated on GaN," *J. Electron. Mater.*, vol. 28, no. 3, pp. 325–333, 1999, DOI: [10.1007/s11664-999-0035-9](https://doi.org/10.1007/s11664-999-0035-9).
- [2] E. Monroy, T. Palacios, O. Hainaut, F. Omnès, F. Calle, and J.-F. Hochedez, "Assessment of GaN metal–semiconductor–metal photodiodes for high-energy ultraviolet photodetection," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 80, no. 17, pp. 3198–3200, 2002, DOI: [10.1063/1.1475362](https://doi.org/10.1063/1.1475362).
- [3] R. V. L. N. Sridhar *et al.*, "Lyman Alpha Photometer: a far-ultraviolet sensor for the study of hydrogen isotope ratio in the Martian exosphere," *Curr. Sci.*, vol. 109, no. 6, p. 1114, Sep. 2015, DOI: [10.18520/v109/i6/1114-1120](https://doi.org/10.18520/v109/i6/1114-1120).
- [4] R. Pidcock *et al.*, "A Novel Integration of an Ultraviolet Nitrate Sensor On Board a Towed Vehicle for Mapping Open-Ocean Submesoscale Nitrate Variability," *J. Atmos. Ocean. Technol.*, vol. 27, no. 8, pp. 1410–1416, 2010, DOI: [10.1175/2010JTECH0780.1](https://doi.org/10.1175/2010JTECH0780.1).
- [5] J. H. Jung, J. E. Lee, and G.-N. Bae, "Real-Time Fluorescence Measurement of Airborne Bacterial Particles Using an Aerosol Fluorescence Sensor with Dual Ultraviolet- and Visible-Fluorescence Channels," *Environ. Eng. Sci.*, vol. 29, no. 10, pp. 987–993, 2012, DOI: [10.1089/ees.2011.0449](https://doi.org/10.1089/ees.2011.0449).
- [6] "Datasheet of photoresistor GL5528," URL: <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/LightImaging/SEN-09088.pdf>.
- [7] "Datasheet of photodiode 5012PD," URL: <https://belchip.by/sitedocs/00004482.pdf>.
- [8] S. Y. Pavelets, Y. N. Bobrenko, T. V. Semikina, B. S. Atdaev, G. I. Sheremetova, and M. V. Yaroshenko, "Ultraviolet Sensors Based on ZnxCd1-xS Solid Solutions," *Ukr. J. Phys.*, vol. 64, no. 4, p. 308, 2019, DOI: [10.15407/ujpe64.4.308](https://doi.org/10.15407/ujpe64.4.308).
- [9] "Datasheet of phototransistor TЕМТ1000," URL: <https://www.vishay.com/docs/81554/temt1000.pdf>.
- [10] "Razlichie mezhdru mikrokotrollerami AVR, ARM, 8051 i PIC [Difference between AVR, ARM, 8051 and PIC microcontrollers]." [Online]. Available: http://digitrode.ru/computing-devices/mcu_cpu/1253-mikrokontrollery-8051-pic-avr-i-arm-otlichiya-i-osobennosti.html.
- [11] O. V. Nepomnyashchy, E. A. Veisov, G. A. Skotnikov, and M. V. Savitskaya, *Mikroprotsessornyie sistemyi [Microprocessor systems]*. Krasnoyarsk, 2009, URL: http://digitrode.ru/computing-devices/mcu_cpu/1253-mikrokontrollery-8051-pic-avr-i-arm-otlichiya-i-osobennosti.html.

Methods of Coupling of Photosensors to Microcontrollers

M. A. Zhykhariev^f, ORCID [0000-0003-1753-3746](https://orcid.org/0000-0003-1753-3746)

Department of electronic devices and systems

Faculty of Electronics

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”
Kyiv, Ukraine

T. V. Semikina^g, PhD Senior Researcher, ORCID [0000-0002-6182-4703](https://orcid.org/0000-0002-6182-4703)

V.E. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics NAS of Ukraine

Kyiv, Ukraine

Abstract—The paper deals with the methods of coupling photosensors with microcontrollers. The urgency of the work is due to the need to find ways to reduce the spread of the COVID-19. One of methods consists in place ultraviolet lamps in crowded places, such as subways, hospitals, as an effective method of counteracting the spread of a COVID-19. Because the dose of ultraviolet radiation is also potentially dangerous in the case of a long-term stay near the source of ultraviolet, the development of a detector of ultraviolet radiation is a very important task. The development of a ultraviolet detector involves the analysis and selection of a sensor (primary converter) and a secondary converter. Analog-to-digital converter or microcontroller can be used like secondary converter. In work are considered different photo detectors like photoresistors, photodiodes and phototransistors. The technical characteristics of photoresistors, photodiodes and phototransistors are presented in order to select the primary optical transducer for further construction of the ultraviolet radiation detector. As a result of the analysis, it is proposed to use photodiodes as the primary converter, because it has high sensitivity and speed, as well as low cost. For use in the ultraviolet detector, it is necessary to select diodes that are sensitive to ultraviolet radiation. For this task, must be used wide-gap semiconductors. It is proposed to take ultraviolet sensitive semiconductor structures based on thin films of A2B6 materials, due to the fact that these structures are manufactured and researched at the National Academy of Sciences of Ukraine and have technical characteristics at the level of foreign analogues. As secondary converters it is suggested to use microcontrollers, which have a number of advantages such as: the small area that the microcontroller occupies on the board, flexibility of electronic circuit setup, multifunctionality, increased performance, high accuracy and speed of calculations. In the article given describes how to connect the primary converters to the microcontroller. For some photosensors in the work proposes the approach of constructing an ultraviolet detector without a separate amplifier, using only microcontrollers. Also in article are briefly presented analyze of different microcontrollers, such as PIC, AVR, ARM, their technical characteristics, principles of work. The main attention is paid to methods of coupling microcontrollers with optical sensors on the example of a photodiode.

Keywords —microcontrollers; photo sensors; photoresistors; photodiodes; phototransistors; light sensor.

