

## ДАТЧИКИ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ БЛИСКАВОК

**Козлов О.Ю., студент, Шостак В.О., к.т.н., доц.**

*КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра техніки і електрофізики високих напруг*

**Вступ.** Для точного визначення місць уражень блискавками важливих об'єктів великих розмірів до систем блискавкозахисту включають засоби відео реєстрації [1-4]. Їх алгоритм роботи для обмеження об'єму даних, які зберігають і далі аналізують та використовують, включає застосування принципу тригерування і запису короткого фрагменту з прив'язкою до моменту розряду на об'єкті. Для системи тригерування потрібні датчики, які реагують на явища, що супроводжують блискавку, в т.ч. в багатьох випадках дуже короткотривалу. В [1] запропоновано систему моніторингу блискавок, яка теж містить систему тригерування і потребує розробки відповідних датчиків.

**Задачі роботи:** 1) Аналіз характеристик блискавок та вибір принципів генерування сигналів для тригерування записів в системі моніторингу блискавок. 2) Формування вимог до характеристик вибраних датчиків, таких як: фотодатчик, датчики електричного и магнітного полів, аудіодатчики. 3) Врахування необхідності фільтрації сигналів на тригерування (зокрема, виключення сторонніх впливів – габаритних вогнів споруд, літаків та ін.). 4) Планування функції дистанційної оцінки форми та амплітуди імпульсу блискавки.

**Матеріали і результати досліджень.** Для побудови датчиків спочатку необхідно проаналізувати діапазони характеристик різних явищ, що супроводжують блискавки. Блискавки бувають позитивні, негативні і біполярні. За напрямком розвитку між хмарою та землею вони можуть розвиватися як донизу, так і догори (з високих споруд). Для невисоких споруд на рівнині переважають багатократні "негативні" блискавки направлені з хмари до землі. Перші розряди цих блискавок характеризуються відносно великими довжинами фронту (2–10 мкс, середня – 5 мкс) і великими довжинами хвиль (20–200 мкс, середня – 75 мкс) в порівнянні з повторними розрядами (в середньому фронт/довжина імпульсу – 0,6/32 мкс) [5]. Одноразові блискавки спостерігаються в 20% випадків, а у решті випадків число ударів блискавки коливається від 2 до 10, хоча спостерігали і понад 20 [5]. "Позитивні" блискавки з хмари до землі в домінуючій кількості випадків є одноударними. Вся тривалість багатократного розряду блискавки може досягати однієї секунди і більше, але такі затяжні удари є рідкісним явищем. Велика частина ударів має тривалість не більше 0,3 с [5]. Інтервали часу між повторними ударами змінюються в межах від 0,01 до 0,5 с, а в середньому складають 0,06 с [5].

Для більшості аспектів блискавкозахисту головним параметром є амплітуда струму блискавки. Зазвичай вона знаходиться в межах  $I_{\text{БЛ}} = 5 \dots 300$  кА [5]. Іншим параметром, що впливає на величину перенапруг в ураженому об'єкті, є крутизна фронту імпульсу струму блискавки  $di_{\text{БЛ}}/dt$ . Її значення варіюється десь в межах 0,5-150 кА/мкс [5], а 50% - значення – 12 та 40 кА/мкс для перших та наступних ударів негативних блискавок, відповідно [6, 7].

Оскільки планується, що оптичні датчики будуть реєструвати блискавку на відстані від 100 до 500 м, необхідно орієнтуватися в інтенсивності світіння та часових параметрах спалахів. Згідно результатів досліджень в США, які цитовано в [3], характерна вертикальна довжина каналу блискавки становить 0,5...10 км, основна енергія випромінювання концентрується в діапазоні хвиль довжиною 300...1000 нм, а тривалість світіння каналу зазвичай не перевищує 1 мс. Для негативних перших ударів середня пікова оптична потужність сягає близько  $360 \text{ мкВт/м}^2$ , в той час як ширина імпульсу – 484 мкс.

Ці і інші дані свідчать, що в багатьох випадках, за відсутності безперервного струму, блискавка являє собою досить короткотривале явище, в т.ч. супроводжується короткочасними світінням та змінами електричного і магнітного полів, які можна зареєструвати лише спеціальними пристроями. При побудові системи датчиків необхідно врахувати, що на спорудах висотою порядку 50...150 м можуть бути блискавки обох полярностей, направлені донизу та догори, з усіма складовими струму в ударі (імпульси та безперервні/тривалі компоненти) або лише з окремими з них. В останньому випадку важко забезпечити надійне тригерування лише одним оптичним датчиком та реєстрацію відеокамерою із звичайною частотою кадрів. Імпульси тривалістю менше 1 мс взагалі можуть пропускатися такою відеокамерою. Тому одним з можливих підходів є побудова комплексної системи реєстрації з використанням одночасно кількох видів датчиків та реєстраторів [1, 3].

Далі коротко розглянуто вимоги до характеристик датчиків різних типів.

*Фотодатчик.* За основу датчика тригерування запису відеокамер та реєстрації форми імпульсу світіння, обрано фотодіод, оскільки серед доступних типів фотодатчиків саме фотодіоди мають потрібні часові характеристики. Схему фотодатчика і його взаємодію з іншими компонентами в системі реєстрації зображено на рис 1.

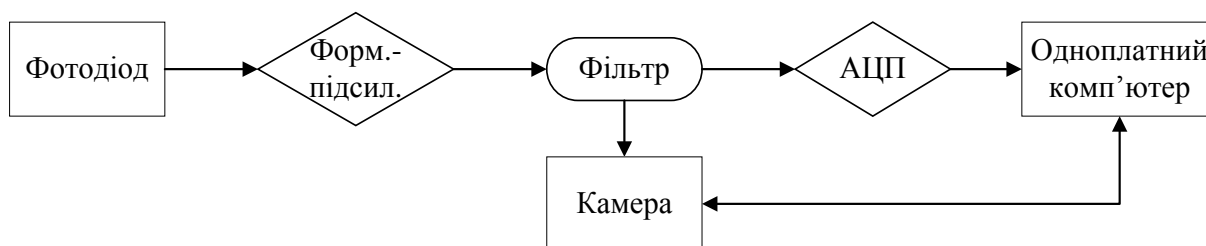


Рисунок 1 – Блочна схема фотодатчика в системі моніторингу блискавок

Схема з датчиком та програмне забезпечення системи моніторингу мають відповідати таким вимогам:

- реєструвати спалахи з довжиною хвилі світла від 300 нм до 1000 нм;
- фільтрувати вплив габаритних вогнів споруд (в т.ч. в режимі спалахів), відсвічування транспорту чи сонця, а також повільну складову варіації світіння, пов'язану зі зміною дня та ночі, проходження хмар і т.п.;
- вихідна довжина імпульсу тригерування повинна мати протяжність не менше ніж 0,1 с, а його амплітуда не менше ніж 0,8 В і не більше ніж 30 В;

- вихідний опір готового пристрою повинен бути узгодженим з опором кабелю, яким відбувається з'єднання блоку фільтра з АЦП и становити 50 Ом.

Фотодіод призначений для перетворення оптичного випромінювання від каналу блискавки в електричний. Він може бути доповнений мініоб'єктивом. Також передбачають його захист від перевантажень і, як і всіх інших датчиків і відповідних компонентів систем – від атмосферних впливів.

Формувач-підсилювач призначений для підсилення та обмеження сигналу від фотодіода до рівня, який необхідний для сприйняття комп'ютером та камерою.

Фільтр виконує функції виключення згаданих в переліку вище впливів. Він повинен мати два виходи, один з яких аналоговий – для подання додатково сформованого «зовнішнього» тригерного сигналу на камеру, а інший – цифровий, для подальшого запису форми сигналу.

АЦП – аналогово-цифровий перетворювач, перетворює аналоговий сигнал в цифровий для сприймання комп'ютером.

Одноплатний комп'ютер (ОК) має двосторонній зв'язок з камерою для керування налаштуваннями камери (частоти кадрів, експозиції та ін.) і передачі записаної інформації для подальшої обробки.

*Датчик магнітного поля.* За даними [2], найбільша інтенсивність магнітного поля блискавки відповідає частотам від 700 Гц до 1650 Гц, і для покращення вимірювальних характеристик та видачі готового тригерувального сигналу без перетворювачів вони використовують електронні датчики вимірювання магнітного поля. Виходячи з реагування на імпульсні компоненти поля під час зворотних ударів, можна орієнтуватися на максимум поля поблизу 2...20 кГц, а взагалі діапазон випромінювання має достатню потужність до сотень кілогерц та одиниць мегагерц [7]. Для реєстрації їх придатні звичайні рамкові, котушкові та інші прості антени для відповідного діапазону (наприклад, середніх чи коротких хвиль [8]), в т.ч. пара взаємно перпендикулярних рамок.

*Датчик електричного поля* блискавки звичайно включає у себе «швидку» антену з робочим діапазоном від 1 кГц до 350 кГц і можливістю реєстрації блискавок типу хмара-земля з вірогідністю > 90% та з досить низьким рівнем хибних спрацювань для блискавок хмара-хмара від 10 % до 40 % [4]. Для кругового стеження за ситуацією можливе використання «антени кругового випромінювання/огляду» [8]. В нашій системі пропонується реєструвати повільну зміну електричного поля, яка відбувається на стадії безперервного струму, в т.ч. і за відсутності імпульсних компонент. Така зміна триває протягом часток секунди і, відповідно, в цьому випадку необхідно брати антени «повільного» типу (характерні частоти – долі та одиниці герц).

*Датчик звуку.* Більшість блискавок в своєму звуковому спектрі мають два сплески, на частоті від 0,25 Гц до 2 Гц та від 125 Гц до 250 Гц [3]. Тому датчик звуку повинен бути обладнаним смуговим фільтром з вищевказаними характеристиками та максимальним рівнем сприйняття 100 Дб [9].

Як первинний датчик звуку встановлено мікрофон, сигнал з якого підсилюється/обмежується до необхідного рівня, а далі за допомогою смугового фільтру обробляється для виключення впливу непотрібних частот та формування тригерного сигналу прямо на камеру. З іншого виходу фільтра сигнал оцифровується (за допомогою АЦП) та подається на ОК. Зв'язок камери з комп'ютером такий самий, як і для оптичного датчика.

Важливим є питання захисту датчиків та пристроїв обробки інформації від електромагнітних завад, що виникають від близьких розрядів блискавок. Для організації такого захисту використовуються оптокабелі (фотоелемент – система реєстрації, станції реєстрації – центр керування об'єктом). Для зменшення впливу електромагнітних завад також може бути використано автономне живлення систем (на сонячних батареях), ретельне екранування пристроїв та ліній, застосування обмежувачів перенапруг та передача даних безпроводними каналами.

Формування тригерного сигналу на ОК і камеру відбуваються за логікою «або», тобто потрібен хоча б один сигнал від будь-якого з датчиків, щоб почалась відео фіксація (запис в пам'ять). Як тільки вихідний сигнал одного з датчиків перевищить встановлений рівень спрацювання, на виході з'явиться тригерний імпульс, який дасть команду на камеру для запису місця ураження та комп'ютеру для запису відео і форми імпульсу світіння.

Для перевірки та налагодження системи передбачено тестування її окремих компонентів і в цілому в лабораторії з використанням генераторів розрядів, що моделюють блискавку.

**Висновок.** Описані вимоги до датчиків системи реєстрації відео та інших сигналів, пов'язаних з блискавками, з метою точної фіксації факту і визначення місця ураження блискавок у об'єкти великих розмірів дозволяють провести їхню розробку і випробування, а також спроектувати згадану систему в цілому.

#### Перелік посилань

1. Р. Прилепа, В. Шостак. Автоматизована система реєстрації блискавок, які уражують об'єкти великих розмірів // *Міжн. н.-т. конф. молодих учених, аспірантів і студентів. "Сучасні проблеми електроенергетехніки та автоматики"*. – Київ: ФЕА НТУУ «КПІ», 2016.
2. Z. Yang, S. Jiang. Design of Lightning Detection System Based on ARM // *32<sup>nd</sup> Int. Conf. on Lightning Protection*, Shanghai, 2014, p. 346-350.
3. N. Yan, Z. Shi, N. Xu, B. Wang and Z. Fu. Lightning stroke optical triggering circuit design for overhead line // *32<sup>nd</sup> Int. Conf. on Lightning Protection*, Shanghai, 2014, p. 205-209.
4. J. Chen, Y. Wu, Z. Zhao. The New lightning detection system in China: its method and performance // *Asia-Pacific Int. Symp. on EMC*, Beijing, China, 2010, p.1138-1141.
5. Н. В. Собчук. Перенапруги і блискавкозахист в електричних мережах / В. С. Собчук, Н. В. Собчук, О. Б. Бурикін – [http://posibnyky.vntu.edu.ua/p\\_bz/index\\_1\\_1.htm](http://posibnyky.vntu.edu.ua/p_bz/index_1_1.htm).
6. ДСТУ EN 62305-1: 2012. Protection Against Lightning – Part I: General Principles.
7. В. И. Кравченко. Грозозащита радиоэлектронных средств. – М.: Радио и связь, 1991. – 264 с.
8. К. Каллемаа. Ультракотковолновые антенны // Журнал «Радио», № 8, 1973. – с.20-23.
9. Громкость звука. Уровень шума и его источники – <http://www.kakras.ru/doc/shum-decibel.html>.