

СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ БЛИСКАВОК ДЛЯ ОБ'ЄКТІВ ЕНЕРГЕТИКИ

Прилепа Р.Ф., магістрант, Шостак В.О., к.т.н., доц.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра теоретичної електротехніки

Вступ. Моніторинг грозової активності набуває все більшого поширення, що пов'язано із необхідністю прогнозування, попередження про грози та локації грозових розрядів. Важливий спосіб отримання інформації щодо ураження блискавкою об'єкту є відеофіксація розряду блискавки [1-4]. Записані кадри дозволяють оперативно та точно визначити місце та час розряду, оцінити ступінь аварійності ситуації та спланувати необхідні дії.

Розробка комплексної локальної системи моніторингу (СМ) блискавок, яка б включала в себе як систему відео спостереження, так і датчики реєстрування характеристик електромагнітних (ЕМ) полів, створюваних розрядом блискавки, має важливе значення [1-6]. Зокрема для України, очікується, що системи даного типу будуть найбільше затребувані в її центральній та південній частинах, де зосереджено велику кількість об'єктів відновлювальної енергетики та промисловості, що пов'язана із використанням чи переробкою вибухонебезпечних речовин. Такі системи можуть бути застосовані взагалі на будь-яких об'єктах генерації та розподілення енергії або на інших важливих спорудах. Наприклад, в 2017 році на ЧАЕС було введено в експлуатацію Новий безпечний конфайнмент над четвертим енергоблоком Чорнобильської станції, під яким планують виконувати роботи з демонтажу та утилізації зруйнованого реактора. Ураження блискавкою даного укриття та несвоєчасне виявлення місця ураження блискавкою, в т.ч. під час виконання робіт на реакторі, може призвести до серйозних аварій та небезпечних екологічних наслідків. Застосування СМ з відео фіксацією (ВСМ) допоможе уникнути цього.

Мета роботи. Розробка пропозицій щодо локальної системи моніторингу блискавок для об'єктів енергетики та обґрунтування принципу роботи і характеристик системи магнітного пеленгування та тригерування.

Матеріали та результати досліджень. В основі роботи ВСМ покладено принцип реєстрації місця ураження блискавкою об'єкту за допомогою відеокамер. Для підвищення надійності системи ВСМ та її тригерування застосовано модуль, що визначає напрям до місця розряду блискавки та здатен оцінити відстань до неї на основі методу магнітної пеленгації [7, 8]. Використання даного модулю обґрунтовано тим, що звичайні ІР-відеокамери спостереження можуть пропустити удар блискавки в силу своїх технічних особливостей [5, 6], що пов'язані із дуже короткою тривалістю імпульсу струму розряду блискавки у випадку відсутності тривалої складової у струмі розряду (близько 20% розрядів не мають тривалої компоненти у струмі блискавки [5]). А методом пеленгації за сигналом магнітного поля можна буде зафіксувати також розряди блискавки з лише імпульсними компонентами струму. Окрім того, модуль магнітного пеленгування виконує роль

тригеруючого елементу. Тригерування системи відеомоніторингу пов'язано з необхідністю виокремлення фрагменту запису саме з розрядом блискавки у об'єкт. Це тригерування дозволить уникати необхідності у накопиченні великих масивів відеозаписів і аналізі їх операторами або спеціальними програмними засобами, що вимагає значних матеріальних та обчислювальних ресурсів. Блок-схему обговорюваної ВСМ представлено на рис. 1.

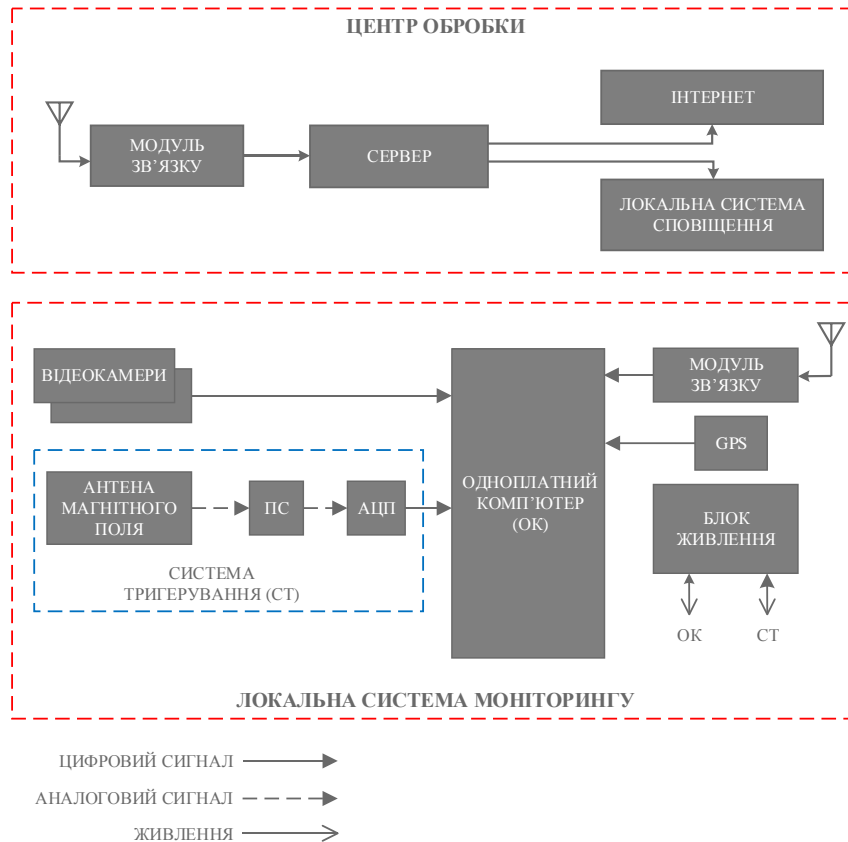


Рисунок 1 – Блок-схема локальної системи моніторингу блискавок: ПС – перетворювач сигналу; АЦП – аналогово-цифровий перетворювач; GPS – приймач системи глобального позиціонування (Global Positioning System).

Принцип роботи ВСМ наступний: під час реєстрації антеною магнітного поля від удару блискавки вихідний аналоговий сигнал підсилюється та фільтрується (у ПС), після чого надходить на одноплатний комп'ютер (ОК) через АЦП. Цей сигнал в ОК використовують для тригерування процесу збереження циклічного запису від відеокамер. Отриманий фрагмент відеозапису надсилається через модуль зв'язку із міткою часу, отриманою з приймача GPS, до центру обробки, де відбувається опрацювання отриманої інформації на сервері. Після цього вона може бути доступна через мережу Інтернет, а відповідні сигнали надсилаються на локальну систему попередження/сповіщення. Більш детально принципи роботи комплексної ВСМ обґрунтовано в роботі [6].

Дана система може бути представлена також у спрощеному варіанті. Зазвичай на об'єктах, зокрема і енергетичних, вже встановлено системи відеоспостереження для забезпечення охорони даного об'єкту та технологічних задач. В такому випадку можливо використання спрощеної ВСМ, в якій використовується мікроконтролер та відсутній модуль IP-відеокамери. Інформація із даної системи буде містити лише мітку часу, в який відбувся удар блискавки, що дозволить виокремити відео фрагмент із всього відеоряду звичайної системи відеоспостереження, що був записаний на сервер.

Принцип роботи системи тригерування базується на визначенні співвідношення складових вектору магнітного поля, а за ним – кута між антенами магнітного поля (наприклад, рамковими [7]) та місцем розряду блискавки. Цей метод має назву магнітна пеленгація – MDF (Magnetic Direction Finding) [7, 8].

Метод магнітної пеленгації використовує дві ортогонально розташовані антени (NS та EW, рис. 2) для вимірювання амплітуди магнітного поля спричиненого блискавкою. Вихідний сигнал U_{EW} антени EW є прямопропорційний косинусу кута Θ , а сигнал U_{NS} антени NS – синусу кута Θ . Відношення амплітуд сигналів, виміряних кожною антеною, використовують для визначення азимуту місця удару блискавки (кута Θ). Перетин двох або більше таких азимутів з різних станцій, що зафіксували один і той же розряд блискавки, дає можливість визначити розташування місця розряду [7, 8].

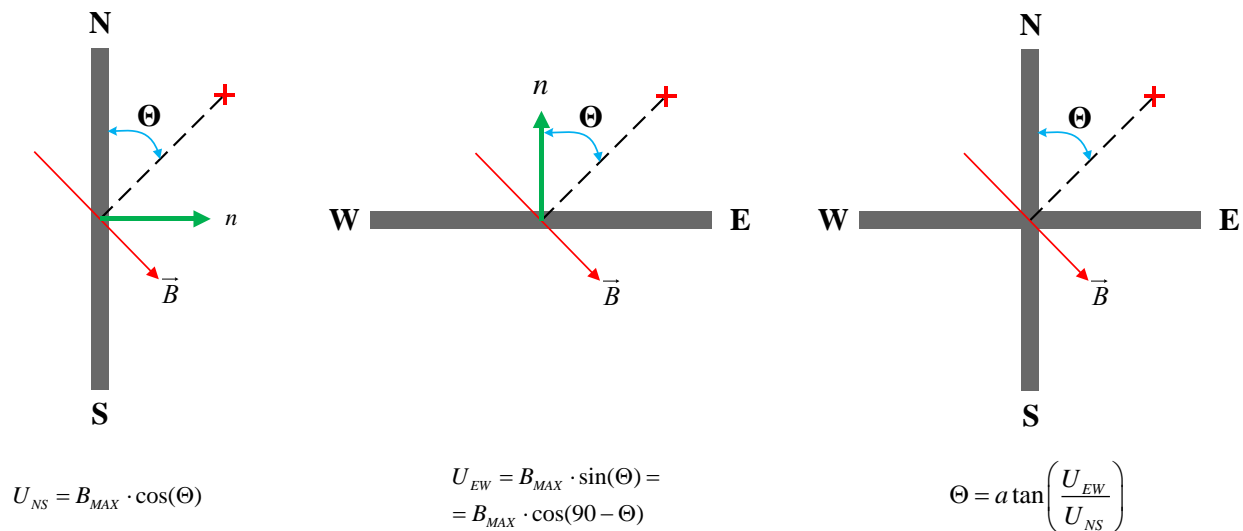


Рисунок 2 – Знаходження напрямку до місця удару блискавки

В якості антен магнітного поля пропонується використання двох феритових антен, що дозволить мати компактнішу систему, ніж у випадку використання двох рамкових антен [9]. Частота резонансу такої антени повинна складати не менше 100 кГц, щоби коректно визначати вихідний сигнал із антени [9]. Моделювання, відповідно до схеми заміщення антени зображеної на рис. 3, показує, що при індуктивності у 22 мГн та ємності у 100 пФ смуга пропускання становить 165 кГц.

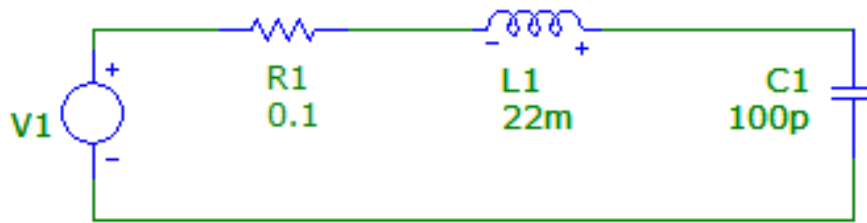


Рисунок 3 – Схема заміщення магнітної антени: R1 та L1 – опір та індуктивність антени; C1 – конденсатор для налаштування точки резонансу антени.

В той же час метод MDF звичайно застосовують в діапазоні 3-30 кГц, що відповідає довжині хвиль 10-100 м, оскільки саме у цьому діапазоні спостерігають найбільшу енергію випромінювання для горизонтальної компоненти магнітного поля, створюваного струмом блискавки. Тому отриманий сигнал потрібно відфільтрувати, попереднього його підсилити, відповідно до блок-схеми зображеної на рис. 4 [9]. Антени EW та NS здатні реєструвати весь спектр магнітного випромінювання (в даному випадку від 0 до 165 кГц для параметрів антени зображеної на рис. 3), тому виникає необхідність у використанні двох послідовно включених високочастотного та низькочастотного фільтрів, які обмежать смугу пропускання в діапазоні 3 – 30 кГц. Перш ніж пройти фільтрування сигнал посилюється за допомогою операційного підсилювача (ОП) LM318. Для захисту від можливих перенапруг, що можуть виникнути на антені, застосовано два діоди, що увімкнені між землею та лінією живлення. Для кожної антени, EW та NS, передбачено дві ідентичні схеми ПС на виході із яких реєструється напруга U_{EW} та U_{NS} (канал А та В, відповідно).

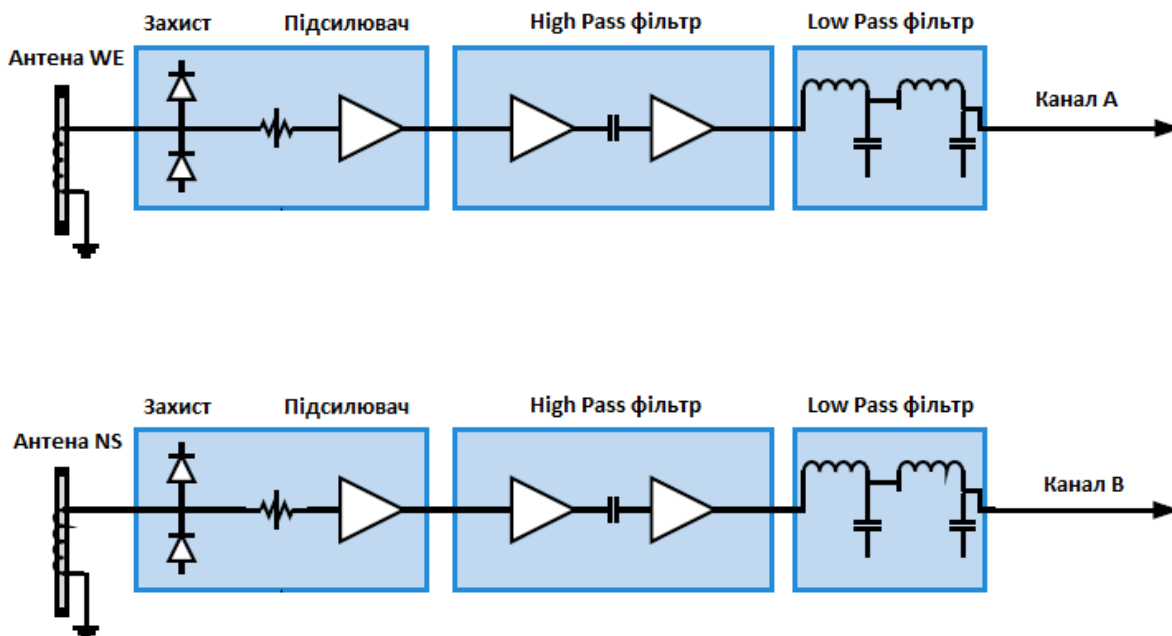


Рисунок 4 – Блок-схема ПС для системи тригерування [9]

Високочастотний активний фільтр (High-Pass) виконано на основі ОП LM318. Таке рішення обумовлено тим, що вихідний сигнал після фільтру має пройти далі без зміни амплітуди, що неможливо у випадку застосування пасивного фільтру (рис. 5).

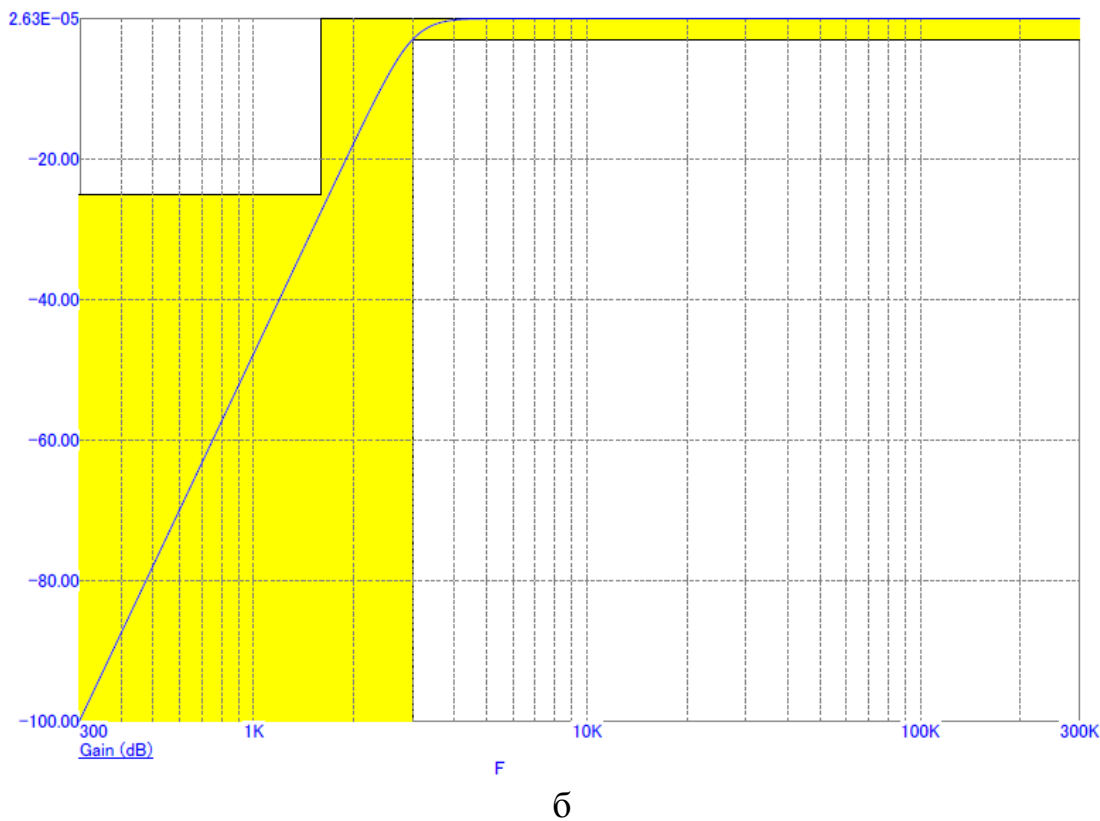
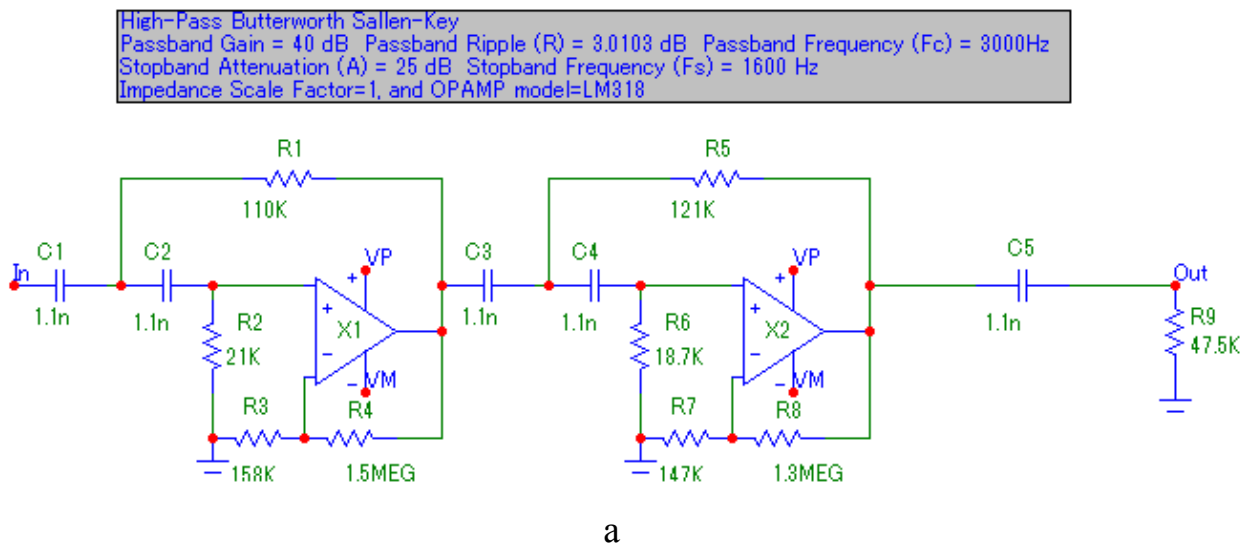
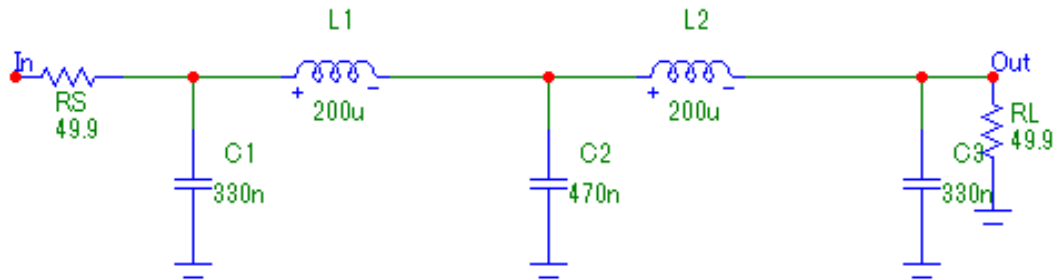


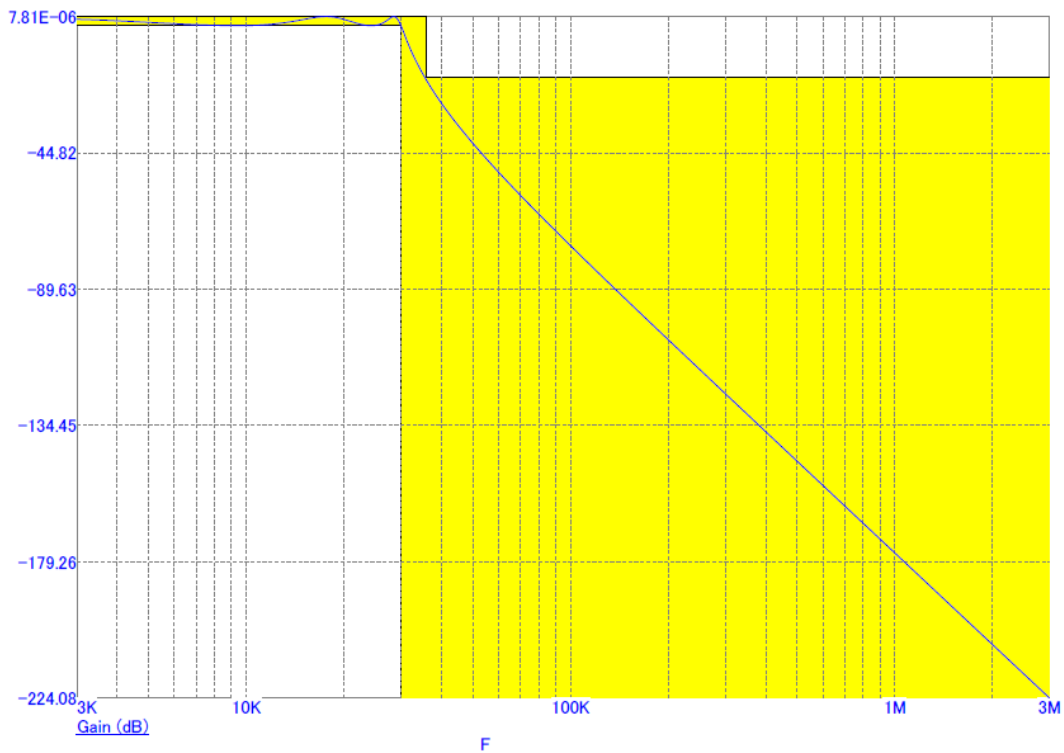
Рисунок 5 – Високочастотний фільтр (High-Pass) за схемою Баттерворта:
 а – принципова схема фільтру; б – АЧХ даного фільтру.

Фільтр низьких частот (Low-Pass) виконано за схемою Чебишева, оскільки він має найбільш круто спадаючу АЧХ після проходження частоти зрізу (рис. 6).

Low-Pass Chebyshev Standard
 Passband Gain = 0 dB Passband Ripple (R) = 3.0103 dB Passband Frequency (Fc) = 30000Hz
 Stopband Attenuation (A) = 20 dB Stopband Frequency (Fs) = 36000 Hz
 Impedance Scale Factor=1



а



б

Рисунок 6 – Низькочастотний фільтр (Low-Pass) за схемою Чебишева:
 а – принципова схема фільтра; б – АЧХ даного фільтра.

Даний фільтр не використовує ОП та являється пасивним фільтром низьких частот, вихідна амплітуда сигналу якого буде меншою по відношенню до вхідного. Таке рішення дозволяє не лише обрізати вихідний сигнал по частоті, а

також зменшити вхідну напругу для подальшого аналізу мікроконтролером, оскільки максимальна вхідна напруга АЦП та мікроконтролеру складає 5 В.

Моделювання вищезазначених систем виконувалося за допомогою вбудованих функцій САПР Micro-Cap 10. Під час синтезу фільтрів підбиралися їх частоти зрізу відповідно до діаграми Бode (сукупність АЧХ і ФЧХ в логарифмічному масштабі): для High-Pass фільтру – 3 кГц, Low-Pass – 30 кГц.

Розглянемо варіант коли на об'єкті буде розташовано чотири антени-станції, наприклад, у кутах прямокутника (позначені хрестиками на рис. 7). У випадку якщо джерело сигналу буде знаходитися у межах контуру розташування датчиків та об'єкту (зони 1-3 на рис. 7), система моніторингу надішле на сервер мітку часу, в який відбувався удар блискавки. Тобто у випадку ураження об'єкту блискавкою або безпосередньо біля нього система повинна спрацювати та визначити, що для всіх чотирьох антен азимут, який був визначений за методом MDF, знаходиться в цих зонах. Якщо удар блискавки відбувся за межами згаданого контуру (зона 4), система не має спрацювати. Для зони 3 у випадку удару блискавки з азимутом перпендикулярним площині однієї антени та паралельним іншій виходить, що сигнал на одній із них буде наближатися до нуля. Даний аспект повинен бути врахований у алгоритмі роботи системи, пеленгування має здійснюватися усіма

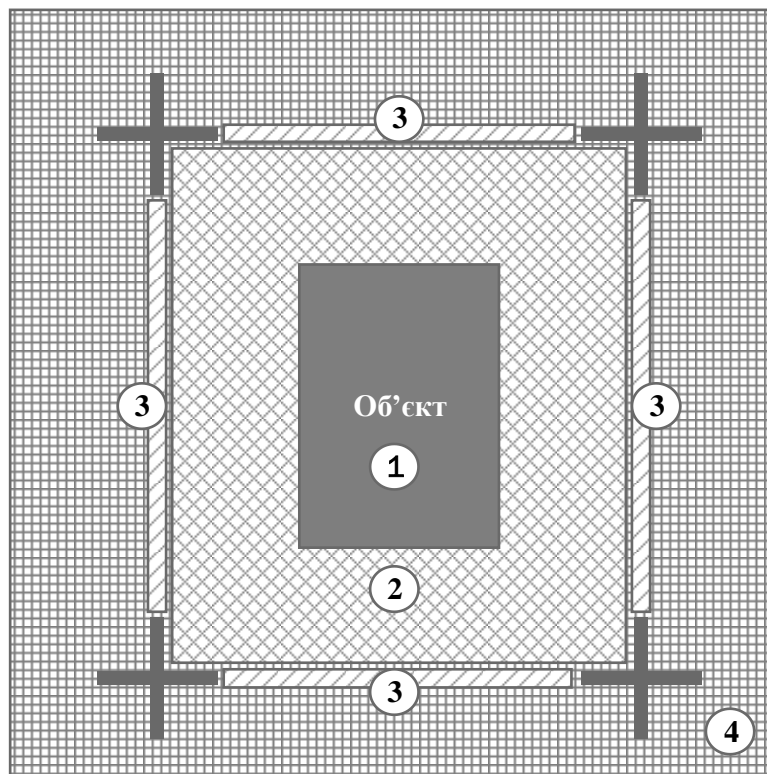


Рисунок 7 – Схема зон поблизу чотирьох датчиків магнітного поля навколо об'єкту: 1 – об'єкт спостереження; 2 – зона прилегла до об'єкту; 3 – контур розташування датчиків; 4 – зовнішня зона поза контуром розташування датчиків.

антенами, а відповідні розряди повинні позначатися як такі, що можуть призвести до пошкодження об'єкту та виступати в ролі тригеруючого сигналу, як і у випадках 1 та 2. Вибір розмірів контуру для установки антенних станцій, позицій антен та амплітудних параметрів сигналів в системі магнітного пеленгування є предметом окремого дослідження.

Висновок. Запропоновано принципи роботи і структуру локальної системи моніторингу (СМ) розрядів блискавок для об'єктів енергетики та інших важливих споруд. Вона базується на використанні пар феритових антен магнітного поля для пеленгування місця розряду і може включати додаткові ІТ-відеокамери або застосовувати наявні на об'єкті системи відеоспостереження. Датчики магнітного поля ужито також для тригерування СМ. Частотні характеристики основних компонентів системи магнітного пеленгування грозових розрядів визначено моделюванням у схемотехнічному пакеті і підтверджено їх прийнятність.

Перелік посилань

1. Matsui M. and Takano N. (2010). Evaluation of lightning location accuracy of JLDN with a lightning video camera system. *2010 Asia-Pacific Intl Symp. on Electromagnetic Compatibility*, Beijing, China, 1142-1145.
2. Huang B., Fu Z., Chen J. and Gu C. (2014). Remote online observation system of power system lightning stroke. *Proc. 32nd Intl Conf. on Lightning Protection (ICLP-2014)*, Shanghai, China, 922-926.
3. Shanqiang G., Biwu Y., Chun Z., Tao W. and Qing L. (2016). Application of lightning optical path monitoring system on 500 kV transmission lines in mountain area. *Proc. 33rd Intl Conf. on Lightning Protection (ICLP-2016)*, Estoril, Portugal, 1-5.
4. Yan N. n., Shi Z., Xu N., Wang B. and Fu Z. c. (2014). Lightning stroke optical triggering circuit design for overhead line. *Proc. 32nd Intl Conf. on Lightning Protection (ICLP-2014)*, Shanghai, China, 205-209.
5. Shostak V., Prylepa R. and Kozlov O. (2018). Tests of Video Cameras for Lightning Monitoring System, *Proc. 34th International Conference on Lightning Protection (ICLP-2018)*, Rzeszow, Poland, 2018, pp. 1-7. DOI: 10.1109/ICLP.2018.8503294
6. Shostak V., Prylepa R., Kozlov O., Brzhezitsky V. (2017). Design of conception on lightning monitoring system for strikes to structures. *Technology audit and production reserves*, № 6/1(38), 2017, с. 47-59. DOI: 10.15587/2312-8372.2017.119319.
7. Tao W., Shi Q. and Lihua S. (2017). Lightning localization using two MDF stations, *IEEE 5th International Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC-Beijing)*, Beijing, 2017, pp. 1-4. DOI: 10.1109/EMC-B.2017.8260394
8. Ismail R. and Baharudin Z. A. (2016). A review on basic principle of lightning location in multi-station system and the ability of single-station measurement, *IEEE International Conference on Power and Energy (PECon)*, Melaka, 2016, pp. 62-67. DOI: 10.1109/PECON.2016.7951534.
9. Wanke E., Andersen R., Volgnandt T. (2014). A World-Wide Low-Cost Community-Based Time-of-Arrival Lightning Detection and Lightning Location Network http://en.blitzortung.org/Compendium/Documentations/Documentation_2014-05-11_Red_PCB_10.4_PCB_12.3_PCB_13.1_PCB_14.1.pdf
10. Suszcynsky D.M., Kirkland M.W., Jacobson A.R., Franz R.C., Knox S.O., Guillen J.L.L., and Green J.L. (2000). FORTE observations of simultaneous VHF and optical emissions from lightning: Basic phenomenology. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, Vol. 105, Issue D2, 2000, pp. 2191-2201. DOI: 10.1029/1999JD900993.