

УДК 621.3

В. О. Дурєєв, к.т.н., доцент, доц. каф. (ORCID 0000-0002-7981-6779)
С. М. Бондаренко, к.т.н., доцент, доц. каф. (ORCID 0000-0002-4687-1763)
О. А. Антошкін, к.т.н., доцент, ст. викл. каф. (ORCID ID 0000-0003-2481-2030)
Ю. В. Михайловська, PhD, с.н.с. відділу (ORCID 0000-0003-1090-5033)
М. В. Маляров, к.т.н., доцент, доц. каф. (ORCID ID 0000-0002-4052-7128)
М. М. Мурін, к.т.н., доцент, викл. каф. (ORCID 0000-0002-9898-0128)
Національний університет цивільного захисту України, Черкаси, Україна

ЗАСТОСУВАННЯ ШИРОТНО-ІМПУЛЬСНОЇ МОДУЛЯЦІЇ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ВИКОНАВЧИМ ПРИСТРОЄМ АДАПТИВНОЇ СИСТЕМИ ПРОТИПОЖЕЖНОГО ЗАХИСТУ

Розроблено функціональну модель приладу широтно-імпульсної модуляції для перетворення безперервного нормованого вхідного аналогового сигналу в пропорційний вихідний сигнал широтно-імпульсної модуляції виконавчого пристрою системи протипожежного захисту. Виконано аналіз наукової літератури, що дозволило урахувати в математичних моделях застосування широтно-імпульсної модуляції керуючого сигналу для управління роботою інерційним виконавчим пристроєм, що не розглядалося раніше. Особливістю розробленої функціональної моделі є застосування широтно-імпульсної модуляції керуючого сигналу для управління роботою інерційним виконавчим пристроєм. Доведено, що для формування сигналу управління роботою виконавчого пристрою, модель приладу широтно-імпульсної модуляції управляючого сигналу повинна ураховувати тип, параметри роботи та конструктивні особливості виконавчого пристрою. Проведене дослідження впливу широтно-імпульсно модульованого управляючого сигналу на виконавчий пристрій. Представлено залежності розкидів сигналу на виході виконавчого пристрою з заданою постійною часу від безрозмірного параметру, що представлено в логарифмічній системі координат. Визначено залежність розкиду та помилки сигналу на виході виконавчого пристрою з заданим значенням постійної часу від величини управляючого сигналу, частоти широтно-імпульсної модуляції та інерційності реального виконавчого пристрою. Запропоновано безрозмірний критерій для визначення параметрів широтно-імпульсної модуляції сигналу керування виконавчим пристроєм з заданою інерційністю та розкидом управляючого сигналу. Результати застосування функціональної моделі підтверджують вірність прийнятої гіпотези, а розраховані параметри роботи виконавчого пристрою відповідають експериментальним даним. Сформульовано рекомендації по визначенню параметрів безперервного управління виконавчим пристроєм.

Ключові слова: адаптивна система, постійна часу, виконавчий пристрій, широтно-імпульсна модуляція, скважність

1. Вступ

Сучасність формулює свої вимоги у будь-якій сфері людської діяльності. І автоматичні системи протипожежного захисту не є виключенням. Розробка нових систем по виявленню та гасінню пожеж на початковій стадії розвитку, вдосконалення вже існуючих є актуальною та важливою. Так системи протипожежного захисту дозволяють досягти скорочення часу виявлення, локалізації (як задачі-мінімум) та ліквідації пожежі. Однак в умовах воєнного часу, коли економіка нашої держави працює в умовах наднавантажень, оптимізація витрат на протипожежний захист за умови виконання системами своїх функцій та дотримання вимог чинного законодавства виходить на перший план. При тому, що застосування коштовних компонентів – домішок, піноутворювачів, сучасних газових вогнегасних речовин, нових та перспективних вогнегасних речовин призводить до збільшення вартості боротьби з пожежами або надзвичайними ситуаціями, особливо в умовах обмеженого запасу таких компонентів та складної логістики. Збільшення

зони пожежі тягне за собою спрацьовування додаткових сповіщувачів, зрошувачів, випускних насадків. Це тягне за собою необхідність перенастроювання роботи системи постачання вогнегасної речовини, збільшення витрат піноутворювача через систему дозування тощо. Підтримка мінімальної потрібної (нормативної) концентрації домішок або піноутворювача в рідких вогнегасних речовинах в умовах обмеженого запасу домішок, дозволить локалізувати і далі успішно ліквідувати пожежу до прибуття аварійно-рятувальних підрозділів ДСНС чи відомих формувань.

Для зменшення витрат і раціонального застосування коштовних компонентів, можуть бути використані виконавчі механізми з клапанами у своєму складі, які мають функцію роботи в імпульсному режимі. Алгоритм і режим їх спрацьовування визначається довжиною та потужністю імпульсу, який формується приладом перетворення від керуючого вхідного сигналу, характеристики якого залежать від інтенсивності розвитку пожежі.

Саме з наведених вище причин системи автоматичного протипожежного захисту все частіше застосовують в своїх робочих алгоритмах сучасні цифрові технології з широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ) управляючих сигналів. Це стосується не тільки автоматичних систем пожежної сигналізації та оповіщення про пожежу і управління евакуацією, а й систем автоматичного пожежогасіння. Ще більшої актуальності набувають питання не тільки детермінованого вмикання систем автоматичних систем протипожежного захисту при виникненні пожежі, а саме управління окремими елементами систем безпеки з функцією самоналаштування в умовах випадкових змін інтенсивності розвитку пожежі.

Таким чином, зараз існує проблема розробки автоматичних систем пожежогасіння з функцією самоналаштування, які мають у своєму складі інерційні об'єкти з широтно-імпульсним управлінням.

2. Аналіз літератури та постановка проблеми

В найбільш сучасних та перспективних системах протипожежного захисту застосовуються цифрові методи обробки інформації про стан надзвичайної ситуації. При цьому, в якості виконавчих пристроїв застосовуються сервісні прилади у вигляді відсічних клапанів та приводів, що працюють в імпульсному та безперервному режимах. При реалізації ШІМ сигналу на вході, застосовуються електронні схеми, що регулюють роботу таких виконавчих пристроїв.

Аналіз виміру рівня вихідного сигналу для виконавчого пристрою з заданою інерційністю в умовах швидкої зміни умов на вході в систему управління, представлено в [1]. Механізмом виконавчого пристрою в роботі виступав управляючий клапан, що керував роботою системою в умовах зміни рівня сигналу на вході, що характерно для ШІМ. Проте робота не передбачала аналіз та складання моделей блоку ШІМ для вхідного сигналу з параметрами виконавчого пристрою.

В роботі [2] розглянуто аналіз перехідних процесів виконавчого пристрою. Проведено аналіз параметрів роботи виконавчого пристрою. Визначені підходи контролю рівня стійкості роботи механізму в умовах зміни рівня вхідного сигналу. Варіантів реалізації блоків ШІМ в роботі не представлено, також не показано можливі структурні схеми блоків модуляції. Крім того, в роботі не розглянуті можливість адаптивної роботи приладів управління та їх вхідних параметрів від зміни параметрів роботи виконавчих приладів.

В [3] представлено реалізацію контролера регулювання потужності при зміні

сигналу рівня напруги. Запропоновано регулятор динаміки роботи в умовах зміни параметрів на вході регулятора. Відмічене, що в розробленій моделі регулятора потужності, параметри його роботи змінюються адаптивно до зміни вхідних параметрів, з умови забезпечення заданої ефективності та стабільності роботи підсилювача. Проте відмічена неможливість забезпечення зміни динаміки роботи підсилювача без зниження потрібного рівня потужності і точності при зміні вхідного сигналу.

В [4] представлено результати аналізу роботи перетворювача, що описується рівняннями п'ятого порядку, з урахуванням точності його вихідного сигналу. Запропоновано модель управління роботою модифікованого перетворювача з урахуванням зв'язку вихідних сигналів з сигналами на вході. Показано, що процес управління роботою перетворювача впливає та залежить від його конструкції. Проте в роботі не представлено моделі блоку ШІМ.

В [5] представлена система управління з застосуванням ШІМ синхронного перетворювача частоти коливань. Показано механізм моделювання частоти коливань в реальному часі для трьох режимів роботи перетворювача. Запропоновано метод застосування ШІМ на основі концепції застосування синхронного перетворювача з його структурою з урахуванням аналізу чутливості перетворювача. Показано переваги застосування ШІМ за рахунок покращення динаміки управління та запасу стійкості роботи. Проте застосування методу для інерційної моделі виконавчого пристрою в роботі не представлено.

В [6] розглядається модель автоматичного регулятора каскадного двоконтурного контролера струму та напруги з інтегрованою динамічною моделлю регулятора напруги. Показано, що в умовах урахування вихідного сигналу, такий перетворювач розглядається як синхронний при керуванні та емуляції його роботи. Наведені функціональні схеми регулятора та три моделі його роботи для демонстрації продуктивності його роботи. Проте структурно-функціональних схем, що демонструють ШІМ контролера не представлено.

В [7] представлено модель синтезатору вихідного сигналу в вигляді вихідної провідності. Регулятор має можливість контролювати декілька пов'язаних між собою вихідних сигналів з урахуванням вимог по точності роботи та заданих вхідних параметрах. Показано, що для реалізації такої можливості, синтезатор працює послідовно в різних режимах, що забезпечує контроль відповідного вихідного сигналу. Показано алгоритм застосування замкнутих полюсів для отримання зворотного зв'язку в довільних місцях для контролю режимів роботи виконавчого пристрою. Проте, можливості застосування адаптивного підходу для управління роботою виконавчого механізму не наведено.

В [8] представлена можливість застосування цифрового контролера виконавчого пристрою без додаткового застосування обладнання, що потребує додаткове живлення. Алгоритм роботи контролера базується на застосуванні ШІМ керуючих сигналів з контролем роботи проміжних перетворювачів. Наведено експериментальні результати визначення похибок роботи контролера, що відповідають рівню випадкової похибки при багатократних вимірах. Відмічене, що для роботи виконавчого механізму не потрібно додавання або заміни апаратного обладнання, що знижує вартість застосування наведеного підходу. Наведено алгоритм контролю стану системи широтно-імпульсного модулювання та його несправностей. Проте моделі та схеми блоку ШІМ не наведено, параметри виконавчого механізму не показано.

В [9] представлено підхід моделювання роботи регулятора роботи виконавчим механізмом на основі методу з'єднання компонентів, шляхом моделювання роботи складових регулятора. Наведено підхід до математичного моделювання складових виконавчого пристрою та регулятора його роботи з можливістю застосування ШІМ управляючих сигналів. Даний підхід застосовується для моделювання роботи регулятора та виконавчого механізму з розширеними каскадними контролерами та алгоритмами управління. Проте, алгоритм що дозволяє моделювати та скласти функціональну схему блоку ШІМ управляючих сигналів в роботі не наведено.

В [10] представлені математичні пакети, що дозволяють моделювати роботу виконавчих пристроїв. В якості пакетів застосовуються додатки VisSim, MatCad та Maple, Практична можливість застосування наведених програм можлива при наявності моделі виконавчого механізму та регулятора з блоком ШІМ. Крім того потрібна можливість модулювання зміни сигналів модуляції в залежності від рівня аналогового впливу, що видає блок широтно-імпульсної модуляції.

Аналіз літератури показав актуальність застосування виконавчих пристроїв в якості яких можуть виступати клапанні прилади системи дозування домішок до рідкої вогнегасної речовини. Такі механізми здатні працювати в режимі імпульсної дії, що забезпечується взаємодією цифрових пристроїв керування роботою виконавчих пристроїв в сучасних та перспективних системах протипожежного захисту. Проте, існує проблема урахування зміни факторів і параметрів пожежі на режими роботи протипожежного обладнання. На поточний час відсутні дослідження щодо впливу зміни аналогового сигналу, що характеризує стан та фазу розвитку пожежі на режими роботи виконавчих пристроїв перспективної адаптивної системи протипожежного захисту. Також не розглянуті алгоритми визначення параметрів широтно-імпульсної модуляції та їх вплив на конструкцію виконавчих пристроїв для забезпечення потрібних характеристик приладів системи протипожежного захисту.

Таким чином невирішеною та важливою частиною проблеми з підвищення ефективності роботи системи протипожежного захисту, є розробка моделі пристрою широтно-імпульсного модулювання спрацювання виконавчого пристрою з заданими статичними властивостями.

3. Мета та завдання дослідження

Метою представленої роботи є дослідження впливу параметрів широтно-імпульсно модульованого управляючого сигналу на параметри управління виконавчим пристроєм адаптивної системи пожежогасіння.

Досягнення мети може бути реалізовано за умови розв'язання наступних завдань:

- розробити функціональну модель приладу широтно-імпульсної модуляції;
- провести дослідження впливу широтно-імпульсно модульованого управляючого сигналу на виконавчий пристрій.

4. Матеріали та методи досліджень

Об'єкт дослідження – широтно-імпульсне модулювання керуючого сигналу виконавчого пристрою в адаптивній системі протипожежного захисту. Предмет дослідження – моделювання роботи пристрою широтно-імпульсної модуляції для дослідження роботи виконавчого пристрою. У якості гіпотези прийнято, що ви-

конавчий пристрій являє собою інерційну позиційну ланку першого порядку.

Структурно-динамічне моделювання широтно-імпульсного керуючого сигналу системи виконано із застосуванням математичного пакета прикладних програм, що дає можливість тестувати різні параметри без необхідності фізичного експерименту.

Дослідження впливу параметрів широтно-імпульсного модульованого сигналу на обраний вихідний сигнал інерційного об'єкта автоматичної системи пожежогасіння з реалізованою функцією адаптивності виконано на основі розгорнутих параметричних досліджень точності відтворення виконавчим механізмом керуючого сигналу.

Функціональна модель пристрою широтно-імпульсної модуляції розроблена з використанням програми VisSim [10]. Дослідження управляючого сигналу широтно-імпульсної модуляції та вихідного сигналу виконавчого пристрою проводилося з використанням програми Maple.

5. Розробка функціональної моделі приладу широтно-імпульсної модуляції

Функціональна модель приладу ШІМ, що перетворює вхідний аналоговий сигнал X в пропорційний вихідний Y , представлено на рис. 1.

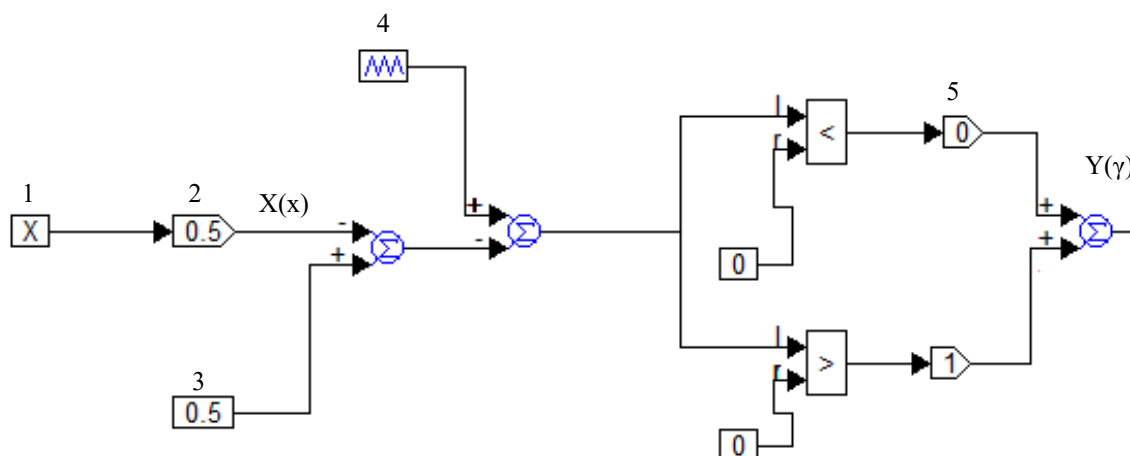
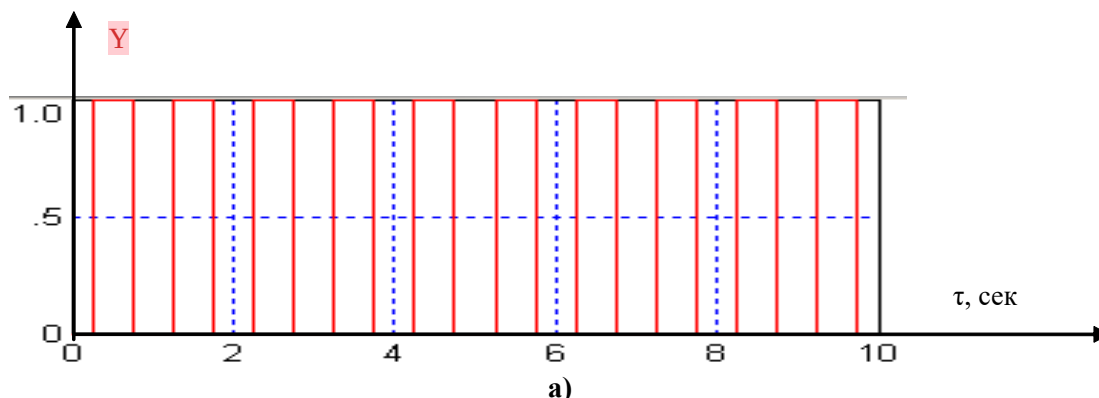
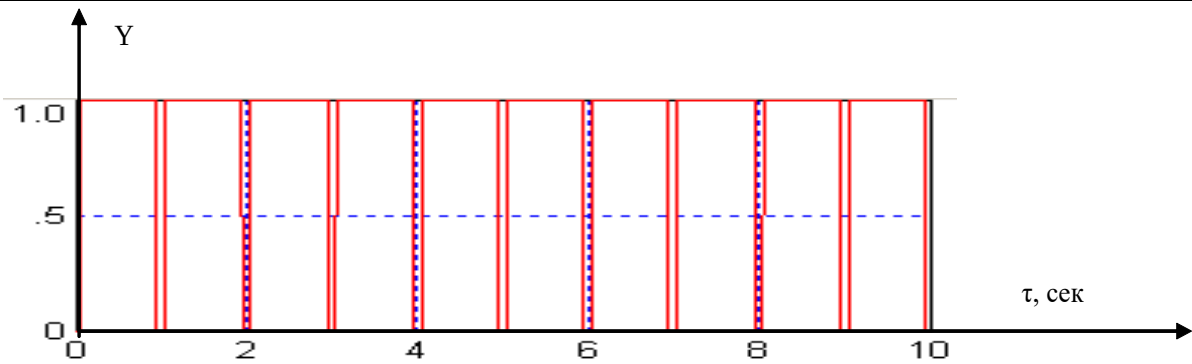


Рис. 1. Функціональна модель приладу ШІМ: 1 – вхідний сигнал X ; 2 – вхідний скорегований сигнал; 3 – сигнал скважності; 4 – сигнал пилоподібної форми; 5 – вихідний сигнал Y

На рис. 1 представлені графічні зображення роботи пристрою ШІМ вихідного сигналу Y для виконавчого пристрою ВМ-47, в залежності від рівня вхідного сигналу X та заданої скважності γ для двох режимів роботи.





б)

Рис. 2. Вихідний сигнал Y ШІМ: а – режим роботи 1; б – режим роботи 2

Залежність ШІМ вихідного сигналу наведена рис. 3.

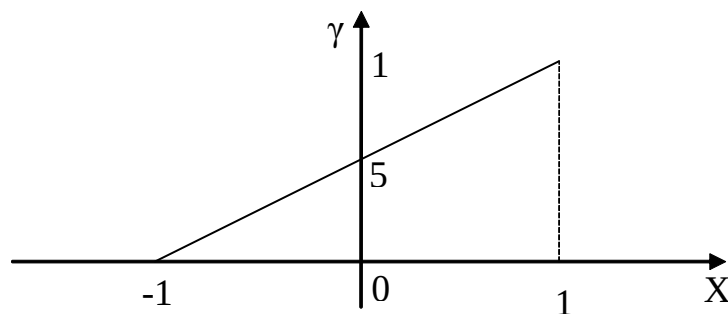


Рис. 3. Вихідний сигнал

Перший режим роботи ШІМ – рівень вхідного сигналу $X=0$, скважність $\gamma=0,5$. Другий режим – рівень вхідного сигналу $X=0,8$, скважність $\gamma=0,8$. Частота сигналу пілкоподібної форми в обох режимах роботи $\omega=1$.

6. Дослідження впливу широтно-імпульсно модульованого управляючого сигналу на виконавчий пристрій

При впливі ШІМ на вхідний сигнал виникають коливання вихідного сигналу, що відповідає умовам, коли регульований параметр приймає стале значення.

Для зручності досліджень, введемо відносне значення сигналу на виході виконавчого пристрою в умовах, коли регульований параметр приймає стале значення. Розкид параметрів вихідного сигналу має вигляд

$$\bar{\sigma} = \left| \bar{y}_{\max} - \bar{y}_{\min} \right|. \quad (1)$$

Для вибору параметрів регулювання виконавчим пристроєм системи протипожежного захисту з заданими значеннями статичної та динамічної точності, потрібна інформація про конструктивні особливості виконавчого пристрою та його механізми. Ця інформація дозволяє визначити розкид вихідного сигналу виконавчого пристрою та його залежність від параметрів роботи складових системи протипожежного захисту.

Для дослідження впливу широтно-імпульсно модульованого управляючого сигналу на виконавчий механізм, виконаємо дослідження за параметрами статичних характеристик інерційного виконавчого пристрою з двосторонньою дією з

проведенням ШІМ керуючого сигналу.

Згідно з гіпотезою, передаточна функція виконавчого пристрою:

$$W(p) = \frac{K_{\text{ВП}}}{T_{\text{ВП}}p + 1}, \quad (2)$$

де $K_{\text{ВП}}$ – коефіцієнт посилення; $T_{\text{ВП}}$ – інерційність пристрою, с.

Функціональна модель приладу ШІМ з урахуванням (2), та відносними вхідним $\bar{x}$ та вихідним $\bar{y}$ сигналами має наступний вигляд (рис. 4).

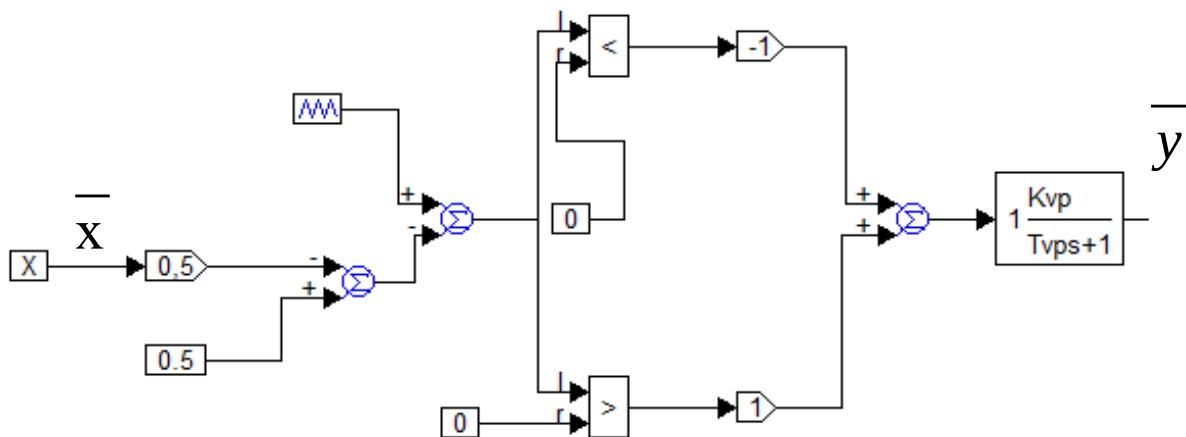


Рис. 4. Функціональна модель приладу ШІМ з виконавчим пристроєм

Графічні результати досліджень вихідного сигналу $\bar{y}$ від параметрів ШІМ та виконавчого пристрою, показано на рис. 5. Параметри ШІМ: $\bar{x} = 0$; $f = 1$, Гц, Виконавчий пристрій: $K_{\text{ВП}}=1$; $T_{\text{ВП}}=1$, с.

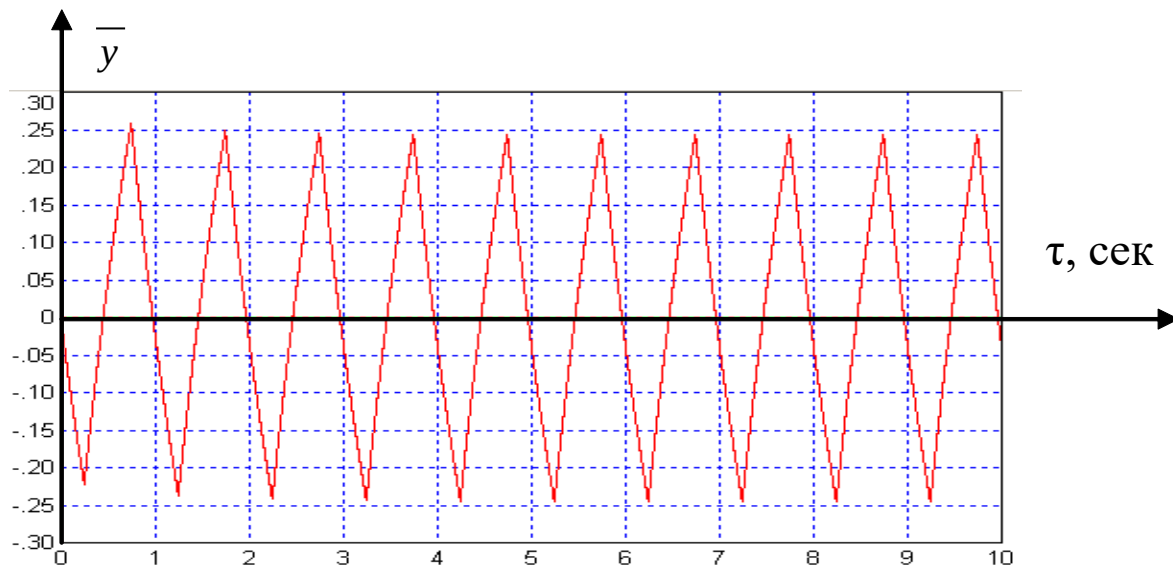


Рис. 5. Вихідний сигнал $\bar{y}$

Графічні результати дослідження впливу сигналу $\bar{x}$ керування на розкид параметрів вихідного сигналу $\bar{\sigma}$ показано на рис. 6.

Графічні результати дослідження впливу інерційності T та частоти f вхідного сигналу на розкид $\bar{\sigma}$ вихідного сигналу, показано на рис. 7.

7. Обговорення результатів дослідження впливу параметрів управляючого сигналу

Розроблено функціональну модель приладу ШІМ. Особливістю розробленої функціональної моделі є застосування ШІМ керуючого сигналу для управління роботою інерційним виконавчим пристроєм, що не розглядалося раніше. У порівнянні з існуючими моделями, розроблена функціональна модель урахує 12 факторів: аналоговий вхідний сигнал X , скорегований вхідний сигнал $X(x)$, частоту пилоподібного сигналу ω , скважність γ , частоту сигналу ШІМ f , вихідний сигнал ШІМ $Y(\gamma)$, мінімальне, максимальне та нормоване значення сигналу на виході виконавчого пристрою $Y_{\min}$, $Y_{\max}$, Y , розкид сигналу на виході виконавчого пристрою σ , коефіцієнт посилення виконавчого пристрою $K_{\text{ВП}}$, інерційність виконавчого пристрою $T_{\text{ВП}}$. Це дозволило визначити, що сигнал ШІМ з заданою частотою провокує коливання сигналу на вході виконавчого пристрою, коли величина обраного регульованого параметру приймає сталі значення. Розкид сигналу на виході виконавчого пристрою має пропорційну залежність від рівня сигналу на вході. Визначено, що при нульовому вхідному сигналі значення розкиду сигналу на виході приймає максимальну величину. При цьому максимальний рівень вхідного сигналу сприяє мінімальному розкиду сигналу на виході виконавчого пристрою.

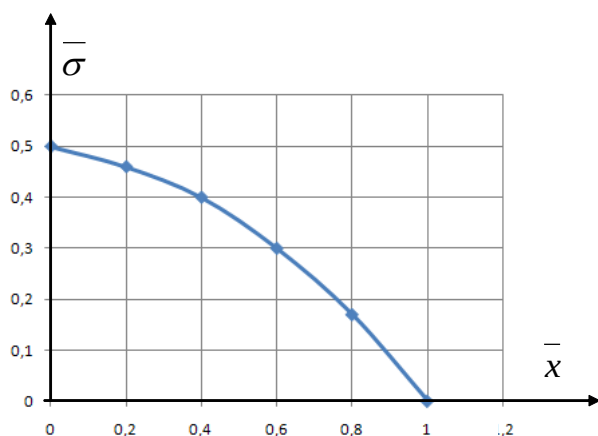


Рис. 6. Зміна вихідного сигналу

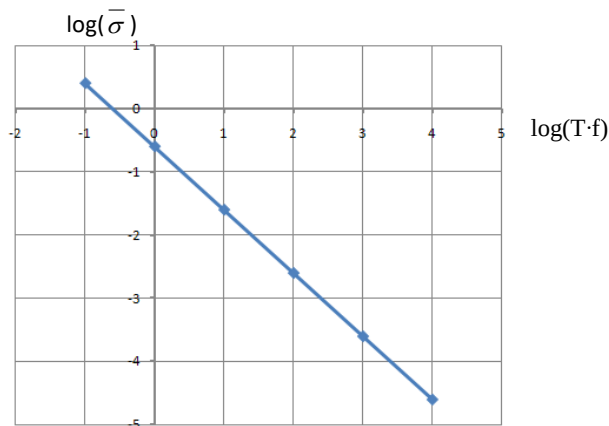


Рис. 7. Розкид вихідного сигналу

Проведене дослідження впливу широтно-імпульсно модульованого управляючого сигналу на виконавчий пристрій. Особливістю проведених досліджень є представлення залежностей розкидів сигналу на виході виконавчого пристрою з заданою постійною часу від безрозмірного параметру, що представлено в логарифмічній системі координат. У порівнянні з існуючими дослідженнями виявлено, що величина розкиду значень вихідного сигналу $\bar{\sigma}$ в значному ступені визначається співвідношенням частоти f ШІМ управляючого сигналу та інерційності виконавчого пристрою. Визначено, що розкид $\bar{\sigma}$ залежить від значення безрозмірного критерію $f \cdot T_{\text{ВП}}$. Забезпечення заданої величини розкиду вихідного сигналу виконавчого пристрою забезпечується зменшенням частоти ШІМ управляючого сигналу, який в свою чергу зменшує постійну часу виконавчого пристрою.

Обмеженням застосування функціональної моделі приладу ШІМ є можливість її застосування виключно при відомих значеннях параметрів роботи усіх елементів системи протипожежного захисту. Типи застосованих в системі пристроїв та механізмів ураховуються в функціональній моделі ШІМ управляючого

сигналу параметрами постійної часу та коефіцієнту посилення.

Недоліком наведеної функціональної моделі є неможливість урахування зміни рівня вхідного сигналу та порядку скважності за межами прийнятих робочих діапазонів адаптивної системи протипожежного захисту, що відповідає широкій зміні режимів та стану протікання надзвичайної ситуації.

Подальший розвиток представленого методу функціонального моделювання роботи адаптивної системи протипожежного захисту полягає в урахуванні широкого діапазону режимів роботи системи, що відповідає зміні умов, режимів та рівня протікання надзвичайної ситуації. Урахування в моделі вказаних параметрів дозволить більш точно розрахувати управляючий сигнал ШІМ до виконавчого пристрою при зміні режиму та стану протікання надзвичайної ситуації. Проте це значно ускладнює функціональну модель системи управління за рахунок визначення параметрів спрацювання усіх складових системи протипожежного захисту, що само по собі являє окрему проблему. Напроти, більш загальний підхід дає можливість спростити дослідження роботи виконавчого пристрою.

Таким чином, результати застосування функціональної моделі ШІМ управляючого сигналу підтверджують вірність прийнятої гіпотези, а розраховані параметри роботи виконавчого пристрою відповідають експериментальним даним. Результати досліджень дозволяють зробити рекомендації по підбору динамічних параметрів, що покращить параметри спрацювання перспективних сповіщувачів: статичну та динамічну температури спрацювання, час спрацювання.

Отже, отримані результати моделювання роботи СП підтверджують правильність обраної гіпотези, а визначені параметри роботи СП співпадають з даними експерименту. Таким чином, мету роботи досягнуто. Результати проведених досліджень дозволяють надати рекомендації по вибору параметрів роботи виконавчого пристрою та частоти управляючого сигналу ШІМ.

8. Висновки

1. Розроблено функціональну модель приладу широтно-імпульсної модуляції для перетворення безперервного нормованого вхідного аналогового сигналу в пропорційний вихідний сигнал широтно-імпульсної модуляції виконавчого пристрою системи протипожежного захисту. Особливістю розробленої функціональної моделі є застосування широтно-імпульсно модульованого керуючого сигналу для управління роботою інерційним виконавчим пристроєм. Доведено, що для формування сигналу управління роботою виконавчого пристрою, модель приладу широтно-імпульсної модуляції управляючого сигналу повинна ураховувати тип, параметри роботи та конструктивні особливості виконавчого пристрою. Так функціональна модель приладу широтно-імпульсної модуляції ураховує 12 факторів: аналоговий вхідний сигнал, скорегований вхідний сигнал, частоту пилоподібного сигналу, скважність, частоту сигналу, вихідний сигнал, мінімальне, максимальне та нормоване значення сигналу на виході виконавчого пристрою, розкид сигналу на виході виконавчого пристрою, коефіцієнт посилення виконавчого пристрою, інерційність виконавчого пристрою.

2. Проведене дослідження впливу широтно-імпульсно модульованого управляючого сигналу на виконавчий пристрій. Представлено залежності розкидів сигналу на виході виконавчого пристрою з заданою постійною часу від безрозмірного параметру, що представлено в логарифмічній системі координат. Визначено залежність розкиду та помилки сигналу на виході виконавчого пристрою з зада-

ним значенням постійної часу від величини управляючого сигналу, частоти широтно-імпульсної модуляції та інерційності реального виконавчого пристрою. Запропоновано безрозмірний критерій для визначення параметрів широтно-імпульсної модуляції сигналу керування виконавчим пристроєм з заданою інерційністю та розкидом управляючого сигналу. Сформульовано рекомендації по визначенню параметрів широтно-імпульсної модуляції сигналу для безперервного управління виконавчим пристроєм на базі електромагнітного клапану ВМ-47, що покращує параметри роботи перспективної адаптивної системи протипожежного захисту. Доречно урахування в функціональній моделі діапазону режимів роботи системи, що відповідає зміні умов, режимів та рівня протікання надзвичайної ситуації.

Література

1. Passenbrunner T., Sassano M., Trogmann H., del Re L., Paulweber M., Schmidt M., Kokal H. Inverse torque control of hydrodynamic dynamometers for combustion engine test benches. Proceedings of the American Control Conference. 2011. P. 4598–4603. URL: https://www.researchgate.net/publication/224254112_Inverse_torque_control_of_hydrodynamic_dynamometers_for_combustion_engine_test_benches
2. Torabnia S., Banazadeh A. Development of a water brake dynamometer with regard to the modular product design methodology, Proceedings of the ASME 2014. 12th Biennial Conference on Engineering Systems Design and Analysis. 2014. № 15. P. 20229–20232. doi:10.1115/ESDA2014-20232
3. Shao T., et al. A robust power regulation controller to enhance dynamic performance of voltage source converters, In IEEE Transactions on Power Electronics. 2019. Vol. 34. P. 12407–12422. Dec. doi: 10.1109/TPEL.2019.2906057
4. Kustanovich Z., Reissner F., Shivratri S., Weiss G. The sensitivity of grid-connected synchronverters with respect to measurement errors. IEEE Access. 2021. Vol. 9. P. 118985–118995. doi:10.1109/ACCESS.2021.3107345
5. Aouini R., Marinescu B., Ben Kilani K., Elleuch M. Synchronverter-based emulation and control of HVDC transmission. IEEE Trans. PowerSystems. 2016. Vol. 31. P. 278–286. URL: https://www.researchgate.net/publication/322998600_Synchronverter-based_emulation_and_control_of_HVDC_transmission
6. Ashabani M., Jung J. Synchronous voltage controllers: Voltage-based emulation of synchronous machines for the integration of renewable energy sources. IEEE Access. 2020. Vol. 8. P. 49497–49508. doi:10.1109/ACCESS.2020.2976892
7. Busada C. A., Jorge S. G., Solsona J. A. Output admittance synthesizer for synchronverters. In IEEE Transactions on Industrial Electronics. 2021. doi:10.1109/TIE.2023.3277109
8. Abo-Khalil A. G., Al-Qawasmi A.-R., Eltamaly A. M., Yu B. G. Condition monitoring of DC-Link Electrolytic Capacitors in PWM power converters using OBL method. Sustainability. 2020. № 12. P. 719–726. URL: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/9/3719>
9. Mandrile F., Musumeci S., Carpaneto E., Bojoi R., Dragicevic T., Blaabjerg F. State-space modeling techniques of emerging grid-connected converters. Energies. 2020. Vol. 13. doi:10.3390/en13184824
10. Забара С. Моделювання систем у середовищі MATLAB. Університет «Україна», 2015. 137 с. URL: <https://www.yakaboo.ua/modeljuvannja-sistem-u-seredovischi-matlab.html>

V. Durieiev, PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department
S. Bondarenko, PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department
O. Antoshkin, Phd, Associate Professor, Senior Lecturer of the Department
Yu. Mykhailovska, PhD, Senior Researcher of the Department
M. Maliarov, PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department
M. Murin, PhD, Lecturer of the Department
National University of Civil Protection of Ukraine, Cherkasy, Ukraine

APPLICATION OF PULSE WIDTH MODULATION FOR CONTROLLING THE EXECUTIVE DEVICE OF THE ADAPTIVE FIRE PROTECTION SYSTEM

A functional model of the pulse-width modulation device was developed to convert a continuous normalized input analog signal into a proportional output signal of the pulse-width modulation executive device of the fire protection system. An analysis of the scientific literature was carried out, which made it possible to take into account in mathematical models the use of pulse-width modulation of the control signal for controlling the operation of an inertial executive device, which was not considered before. A feature of the developed functional model is the use of pulse-width modulation of the control signal to control the operation of the inertial actuator. It has been proved that for the formation of the control signal of the operation of the executive device, the model of the device of pulse width modulation of the control signal must take into account the type, parameters of operation and structural features of the executive device. The study of the impact of the pulse-width modulated control signal on the executive device was carried out. The dependence of the signal spread at the output of the executive device with a given time constant on the dimensionless parameter presented in the logarithmic coordinate system is presented. The dependence of the spread and error of the signal at the output of the executive device with a given value of the time constant on the value of the control signal, the frequency of pulse-width modulation and the inertia of the real executive device is determined. A dimensionless criterion is proposed for determining the parameters of the pulse-width modulation of the control signal of the executive device with the given inertia and spread of the control signal. The results of the application of the functional model confirm the validity of the accepted hypothesis, and the calculated operating parameters of the executive device correspond to the experimental data. Recommendations for determining the parameters of continuous control of the executive device have been formulated.

Keywords: adaptive system, time constant, executive device, pulse width modulation, duty cycle

References

1. Passenbrunner, T., Sassano, M., Trogmann, H., del Re L., Paulweber, M., Schmidt, M., Kokal, H. (2011). Inverse torque control of hydrodynamic dynamometers for combustion engine test benches. Proceedings of the American Control Conference, 4598 – 4603. Available at: https://www.researchgate.net/publication/224254112_Inverse_torque_control_of_hydrodynamic_dynamometers_for_combustion_engine_test_benches
2. Torabnia, S., Banazadeh, A. (2014). Development of a water brake dynamometer with regard to the modular product design methodology, Proceedings of the ASME 2014. 12th Biennial Conference on Engineering Systems Design and Analysis, 15, 20229–20232. doi:10.1115/ESDA2014-20232
3. Shao, T., et al. (2019). A robust power regulation controller to enhance dynamic performance of voltage source converters, In IEEE Transactions on Power Electronics, 34, 12407–12422. Dec. 2019. doi: 10.1109/TPEL.2019.2906057
4. Kustanovich, Z., Reissner, F., Shivratri, S., Weiss, G. (2021). The sensitivity of grid-connected synchronverters with respect to measurement errors. IEEE Access, 9, 118985–118995. doi:10.1109/ACCESS.2021.3107345
5. Aouini, R., Marinescu, B., Ben, Kilani, K., Elleuch, M. (2016). Synchronverter-based emulation and control of HVDC transmission. IEEE Trans. PowerSystems, 31, 278–286. Available at: https://www.researchgate.net/publication/322998600_

Synchronverter-based_emulation_and_control_of_HVDC_transmission

6. Ashabani, M., Jung, J. (2020). Synchronous voltage controllers: Voltage-based emulation of synchronous machines for the integration of renewable energy sources. *IEEE Access*, 8, 49497–49508. doi:10.1109/ACCESS.2020.2976892

7. Busada, C. A., Jorge, S. G., Solsona, J. A. (2021). Output admittance synthesizer for synchronverters. In *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. doi:10.1109/TIE.2023.3277109

8. Abo-Khalil, A. G., Al-Qawasmi, A.-R., Eltamaly, A. M., Yu, B. G. (2020). Condition monitoring of DC-Link Electrolytic Capacitors in PWM power converters using OBL method. *Sustainability*, 12, 719–726. Available at: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/9/3719>

9. Mandrile, F., Musumeci, S., Carpaneto, E., Bojoi, R., Dragicevic, T., Blaabjerg, F. (2020). State-space modeling techniques of emerging grid-connected converters. *Energies*, 13. doi:10.3390/en13184824

10. Zabara, S. (2015). Modelyuvannya sistem u seredovishchi MATLAB. *Universitet Ukraïna*, 137. Available at: <https://www.yakaboo.ua/modeljuvannja-sistem-u-seredovischi-matlab.html>

Надійшла до редколегії: 23.02.2025

Прийнята до друку: 22.04.2025