

УДК 621.398.39

О. М. ТКАЛЕНКО,

Державний університет телекомунікацій, Київ

Аналіз застосування цифрового нечіткого регулятора в системі АРПП при дії мультиплікативних завад

Розглянуто математичну модель системи АРПП, побудовану в інтерактивній системі MATLAB із використанням регулятора, який працює на базі нечіткої логіки. Проаналізовано процеси, що відбуваються в системі за наявності мультиплікативних завад.

Ключові слова: система автоматичного регулювання потужності передавача; мультиплікативні завади; адитивні завади; нечітка логіка; регулятор; математична модель; фазі-система; атенуатор.

Вступ

Якість радіоприйому сигналів у радіоканалі зв'язку оцінюється не лише якістю радіоприймального пристрою, тобто його здатністю приймати сигнали різної потужності, забезпечувати їх неспотворене підсилення, перетворення та передавання на вхід кінцевого пристрою, а й характеристиками середовища поширення. Прийом радіосигналів практично завжди здійснюється за наявності завад. Здебільшого для високоякісного радіоприйому сигналів у радіоканалі зв'язку організовують зворотний радіоканал з метою управління потужністю випромінювання радіопередавача, що може суттєво зменшити або повністю компенсувати вплив завад на якість радіоприйому [5; 8]. Зворотний радіоканал разом з основним радіоканалом утворюють замкнену систему автоматичного регулювання потужності передавача (АРПП). Така система істотно нелінійна та нестационарна, тому синтез регуляторів, які забезпечують високоякісну роботу систем, для системи АРПП являється достатньо складним завданням.

У цій статті пропонуємо розв'язання цього завдання із застосуванням цифрових нечітких (що працюють на базі нечіткої логіки) регуляторів. Для дослідження систем скористаємось методом математичного моделювання в інтерактивній системі MATLAB [4; 6].

Основна частина

Одну з можливих функціональних схем системи автоматичного регулювання потужності передавача АРПП подано на рис. 1.

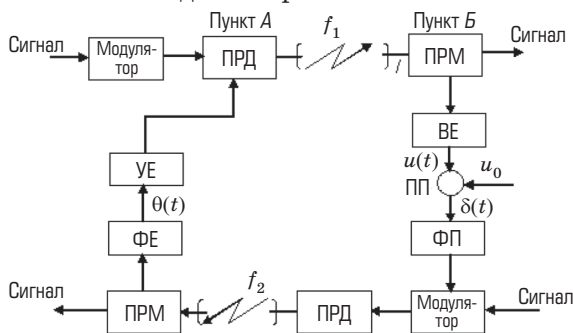


Рис. 1. Функціональна схема системи автоматичного регулювання потужності передавача АРПП

Передавач ПРД у пункті А випромінює сигнал потужністю $P \leq P_{\max}$ на частоті f_1 . Сигнал випромінювання Б на вході приймача ПРМ створює НВЧ сигнал $u_c(t)$. Завдання полягає у підтриманні необхідного рівня НВЧ сигналу $u_c(t)$, достатнього для високоякісного прийому.

Перетворений вимірювальним елементом (ВЕ) рівень сигналу $u(t)$ порівнюється з рівнем опорної напруги u_0 у пристрої порівняння (ПП). За результатами цього порівняння виробляється сигнал помилки розузгодження $\delta(t) = u_0 - u(t)$, який у формуальному пристрої (ФП) перетворюється до форми, зручної для передавання по зворотному каналу, і через модулятор та передавач у пункті Б передається в бік приймача пункту А на іншій частоті f_2 . Тут цей сигнал виділяється приймачем і перетворюється формувальним елементом (ФЕ) на сигнал управління $\theta(t)$, який надходить на управляючий елемент (УЕ). Як УЕ використовується зазвичай двигун із механізмом регулювання, за допомогою якого перестроюється потужний атенуатор.

Управління потужністю передавача відбувається за безпосередньої дії управляючого сигналу на електрично керований НВЧ атенуатор, який міститься в передавачі та вмикається в роз'єднання тракту між джерелом потужності (генератором НВЧ коливань) та навантаженням (антенною системою). Атенуатор може плавно регулювати вихідну потужність передавача в пункті А, змінюючи тим самим рівень сигналу на вході приймача в пункті Б. Якщо при завмиранні рівень сигналу $u_c(t)$ у пункті Б починає зменшуватися, то потужність передавача у пункті А має зрости настільки, аби рівень сигналу $u_c(t)$ у пункті Б досяг початкового.

Іноді вихідна потужність передавача в пункті А регулюється потужним атенуатором дискретно. Наприклад, динамічний діапазон регулювання, який дорівнює 45 дБ, поділяється на 9 градацій, по 5 дБ кожна.

Зауважимо, що систему АРПП часто подають у вигляді двох зв'язаних каналів (рис. 2): каналу передавання даних, або радіоканалу зв'язку, та каналу радіоуправління. Тут радіопередавальний

пристрій (РПдП) містить у собі модулятор і передавач. Кожний із каналів включає в себе таку радіоланку: радіопередавач РПдП — середовище поширення — радіоприймач РПрП.

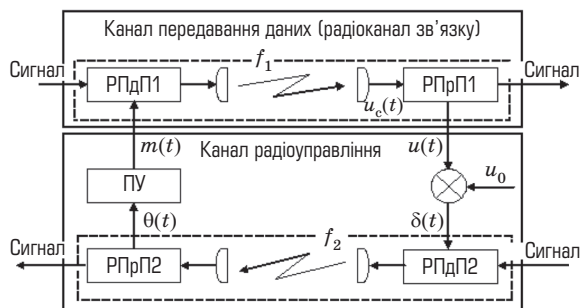


Рис. 2. Спрощена схема системи автоматичного регулювання потужності передавача АРПП

Сигнал $u(t)$, який знімається з РПрП1, порівнюється з опорним сигналом u_0 у пристрої порівняння, помилка розузгодження якого через відповідну радіоланку подається на пристрій управління ПУ (регулятор), який через електрично керований НВЧ атенюатор управляє потужністю передавача РПдП1, зменшуючи тим самим помилку розузгодження. Опорний сигнал u_0 задає якість прийманого НВЧ сигналу $u_c(t)$ на вході радіоприймача РПрП1.

Зазначена радіоланка — суттєво нестационарний елемент системи, що включає в себе ланку чистого запізнювання. При лінійному наближенні передатну функцію радіоланки можна подати у вигляді

$$G_{pz}(s) = \alpha_3 e^{-\tau_3 s} / (s + b). \quad (1)$$

Математична модель цієї радіоланки описує загасання та запізнювання (при $\alpha_3 = b$ лише запізнювання) радіосигналу в ідеальному (без завад) середовищі поширення та фільтрацію сигналу вихідним фільтром у приймачі. Для опису завадової обстановки в середовищі поширення радіохвиль необхідна додаткова математична модель.

Потужність на виході передавача, що регулюється атенюатором, можна подати за допомогою такої нелінійної залежності:

$$P(m) = P_{\max} [1 - 0,1 m_d(t)], \quad 0 \leq m_d(t) \leq 10, \quad (2)$$

де P_{\max} — потужність генератора НВЧ коливань; $m_d(t)$ — сигнал на вході атенюатора.

Математичну модель системи АРПП, побудовану в інтерактивному середовищі MATLAB [7], наведено на рис. 3. Окремі елементи цієї системи: модель атенюатора (Attenuator), модель радіоланок (R1 і R2) та структурну схему нечіткого регулятора (Controller) зображено відповідно на рис. 4, а, б, в.

При складанні моделі системи вважаємо, що в радіоканалі змінюються умови поширення радіохвиль, наприклад відношення сигнал/шум на вході приймача РПрП1. Двигун із механізмом регулювання (Engine), за допомогою якого пере-

строюється потужний атенюатор, опишемо передатною функцією

$$G_d(s) = \alpha_d [s(s + b)]^{-1} = 10 [s(s + 10)]^{-1}, \quad (3)$$

де стала часу двигуна $T_d = 1/b = 0,1$ с. Потужність генератора НВЧ коливань візьмемо таку, що дорівнює $P_{\max} = 200$ Вт. Для отримання на виході передавача РПдП1 номінальної потужності $P_{\text{ном}} = 100$ Вт на вхід керованого атенюатора подається напруга уставки $m_0 = 5$ (див. рис. 4, а). Управління двигуном здійснює цифровий нечіткий регулятор Controller (див. рис. 4, в); $m(t)$ — сигнал на виході регулятора.

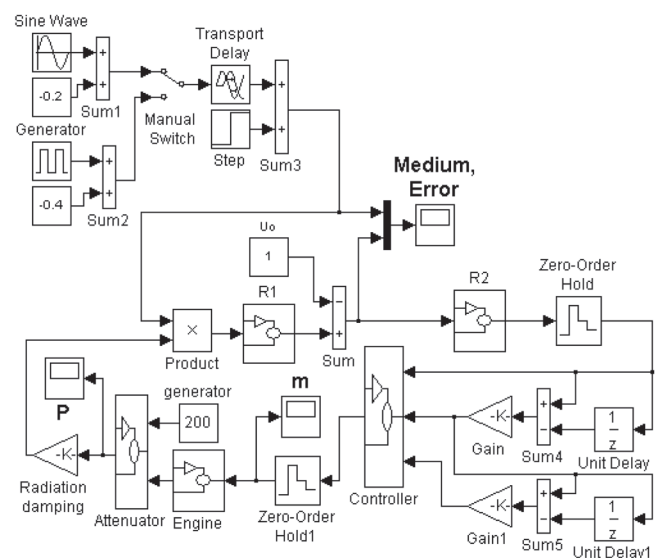


Рис. 3. Модель системи АРПП з атенюатором, що перестроюється двигуном, за наявності мультиплікативних завад

Кожну радіоланку R1 і R2 (див. рис. 3) з урахуванням тільки запізнювання сигналу в середовищі поширення та фільтра приймача опишемо передатною функцією (див. рис. 4, б):

$$G_p(s) = \alpha_3 e^{-\tau_3 s} / (s + b) = 10 e^{-0,01 s} / (s + 10). \quad (4)$$

Синтез нечіткого регулятора НР виконуємо для трикутних функцій належності з кроком квантування (кроком надходження даних у нечіткий регулятор) $h = 0,01$ с. Похибка $\theta(t)$ подається на аналого-цифровий перетворювач АЦП Zero-Order Hold (див. рис. 3). На виході АЦП квантована похибка $\theta(k)$, її перша $\dot{\theta}(k) = [\theta(k) - \theta(k-1)]/h$ та друга $\ddot{\theta}(k) = [\dot{\theta}(k) - \dot{\theta}(k-1)]/h$ різниці подаються на вхід НР Controller (див. рис. 4, в). Сигнал із виходу НР надходить на цифроаналоговий перетворювач ЦАП (Zero-Order Hold1 — фіксатор нульового порядку з передатною функцією $H(s) = (1 - e^{-hs})/s$) і далі на вхід двигуна (Engine).

У нечіткому регуляторі НР настроюються діапазони значень вхідної та вихідної змінних $[\theta_{\min}, \theta_{\max}]$, $[\dot{\theta}_{\min}, \dot{\theta}_{\max}]$, $[\ddot{\theta}_{\min}, \ddot{\theta}_{\max}]$, $[m_{\min}, m_{\max}]$ для зменшення помилки в перехідних і встановлених

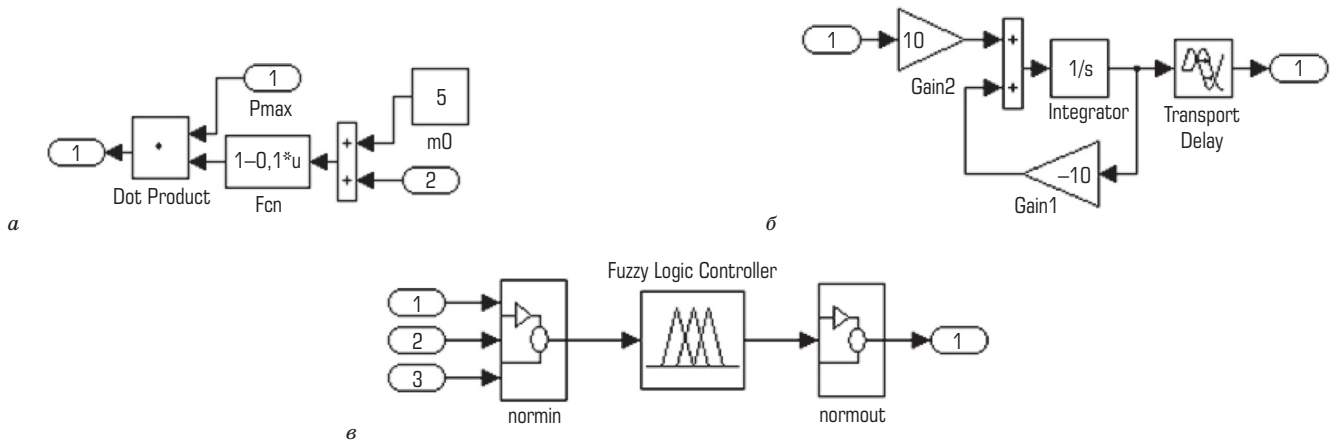


Рис. 4. Елементи системи: а — атенюатор; б — модель радіоланок R1 і R2; в — контролер

режимах роботи системи. Щоб зменшити кількість параметрів настроювання нечіткого регулятора діапазони значень змінних узяті симетричні: $\theta_{\min} = -\theta_{\max}$, $\dot{\theta}_{\min} = -\dot{\theta}_{\max}$ тощо. Тоді формули перерахунку вхідних і вихідних змінних нечіткого регулятора на єдину універсальну множину набирають такого вигляду:

$$u_1^* = -(\theta^* - \theta_{\min}) / (2\theta_{\min}), \quad (5)$$

$$u_2^* = -(\dot{\theta}^* - \dot{\theta}_{\min}) / (2\dot{\theta}_{\min}), \quad (6)$$

$$u_3^* = -(\ddot{\theta}^* - \ddot{\theta}_{\min}) / (2\ddot{\theta}_{\min}), \quad (7)$$

$$m^* = m_{\min}(1 - 2u_c^*). \quad (8)$$

На основі цих формул побудовано структурні схеми блоків нормування normin та normout (див. рис. 4, в).

Вважатимемо, що якість прийманого НВЧ сигналу $u_c(t)$ на вході радіоприймача РПрП1 достатньо задовільна, якщо опорний сигнал u_0 дорівнює 1 (див. рис. 3) і в усталеному режимі $u(t) = u_0 = 1$. Сигнал $u(t)$ отримується в результаті загасання вихідного сигналу радіопередавача РПдП1 у середовищі поширення та перетворення вхідного сигналу радіоприймача РПрП1 $u_c(t)$ на сигнал $u(t)$. При моделюванні загасання сигналу в середовищі поширення без завад імітується пропорційним блоком із коефіцієнтом $k = 1/P_{\text{ном}}$ — блок Radiation damping (див. рис. 3).

Середовище поширення без завад імітується в такий спосіб. В усталеному режимі при нульовій помилці (Error) на вході радіоланки R2 (див. рис. 3) і на виході двигуна (Engine) сигнал дорівнює нулю, а на виході атенюатора (Attenuator) він дорівнює 100 (що відповідає номінальній вихідній потужності передавача РПдП1). На виході блока Radiation damping, що імітує загасання сигналу випромінювання в середовищі поширення, та на нижньому вході перемножувача (Product) сигнал дорівнює одиниці. На другий (верхній на рисунку вхід перемножувача) від джерела Step також подається одиничний сигнал. Таким чином, в усталеному режимі на виході радіоланки R1 є одиничний сигнал, причому помилка (Error) на вході радіоланки R2 дорівнює нулю. Система автоматичного регулювання потужності передавача АРПП перебуває у зваженому, стійкому стані. При введенні в дію моделі (див. рис. 3) зазначений стійкий стан настає приблизно через 2,5 с.

Розглянемо, як відбувається імітація завад у середовищі поширення радіохвиль. Припустимо, що періодичні завмирання сигналу виникають на вході приймача РПрП1 або, що те саме, відбувається періодичне зменшення відношення сигнал/шум, наприклад на 40% порівняно з нормальним. Цю ситуацію можна імітувати періодичним відніманням сигналу, абсолютна величина якого дорівнює 0,4, із джерела одиничного сигналу Step (рис. 5, а). Таке віднімання виконується за допомогою періодичного генератора (generator) з амплітудою імпульсів, що дорівнює $-0,4$. При моделюванні період імпульсів вибрано 20 с, а тривалість імпульсів узяті 10 с. Такі імпульси необхідно подавати при ввімкненні моделі із затримкою (Transport Delay) близько 3 с, після того як у системі настане стійка рівновага. Завдання системи автоматичного регулювання потужності передавача АРПП — звести до нуля помилку розузгодження, яка виникає при надходженні імпульсів.

Для отримання оптимальних перехідних процесів необхідне настроювання нечіткого регулятора. Діапазони зміни вхідних і вихідних змінних $[\theta_{\min}, \theta_{\max}]$, $[\dot{\theta}_{\min}, \dot{\theta}_{\max}]$, $[\ddot{\theta}_{\min}, \ddot{\theta}_{\max}]$, $[m_{\min}, m_{\max}]$ після настроювання регулятора НР у системі (див. рис. 3) при отриманні оптимальних перехідних процесів такі: $[-0,25; 0,25]$, $[-0,5; 0,5]$, $[-1,5; 1,5]$, $[-20; 20]$.

Процеси в системі, відображувані на індикаторі Medium, Error (середовище поширення, похибка) та на індикаторі P (потужність), ілюструє рис. 5.

Режим відпрацювання системою стрибкоподібної зміни параметрів середовища поширення радіохвиль є найбільш складний, виникають великі похибки розузгодження при перехідних процесах. Але тривалість перехідних процесів не перевищує

2,5 с, і після завершення кожного перехідного процесу похибка системи стає практично нульовою. Система автоматичного регулювання потужності передавача РПдП1 забезпечує добру якість прийманого НВЧ сигналу $u_c(t)$ на вході радіоприймача РПрП1. При періодичних зменшеннях відношення сигнал/шум на вході приймача РПрП1 на 40% від нормального потужність передавача автоматично збільшується від номінальної 100 Вт приблизно до 170 Вт (рис. 5, б).

Періодичні завмирання сигналу на вході приймача РПрП1 можна імітувати за допомогою генератора синусоїдних коливань (Sine Wave) зі зміщенням (рис. 6, а). При моделюванні вибрано коливання з періодом 20 с, амплітудою, яка дорівнює $-0,2$, та зміщенням $-0,2$. Діапазони зміни вхідних і вихідних змінних $[\theta_{\min}, \theta_{\max}]$, $[\dot{\theta}_{\min}, \dot{\theta}_{\max}]$, $[\ddot{\theta}_{\min}, \ddot{\theta}_{\max}]$, $[m_{\min}, m_{\max}]$ після настроювання регулятора НР у системі (див. рис. 3) для отримання мінімальної поточної помилки такі: $[-0,04; 0,04]$, $[-0,2; 0,2]$, $[-0,7; 0,7]$, $[-25; 25]$.

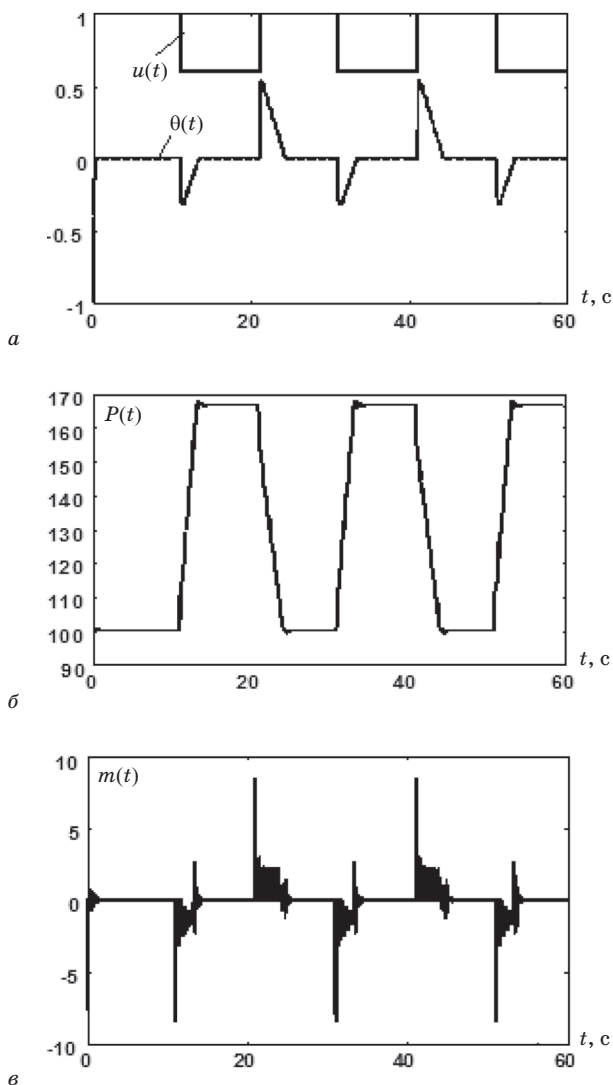


Рис. 5. Імітація завад у середовищі поширення

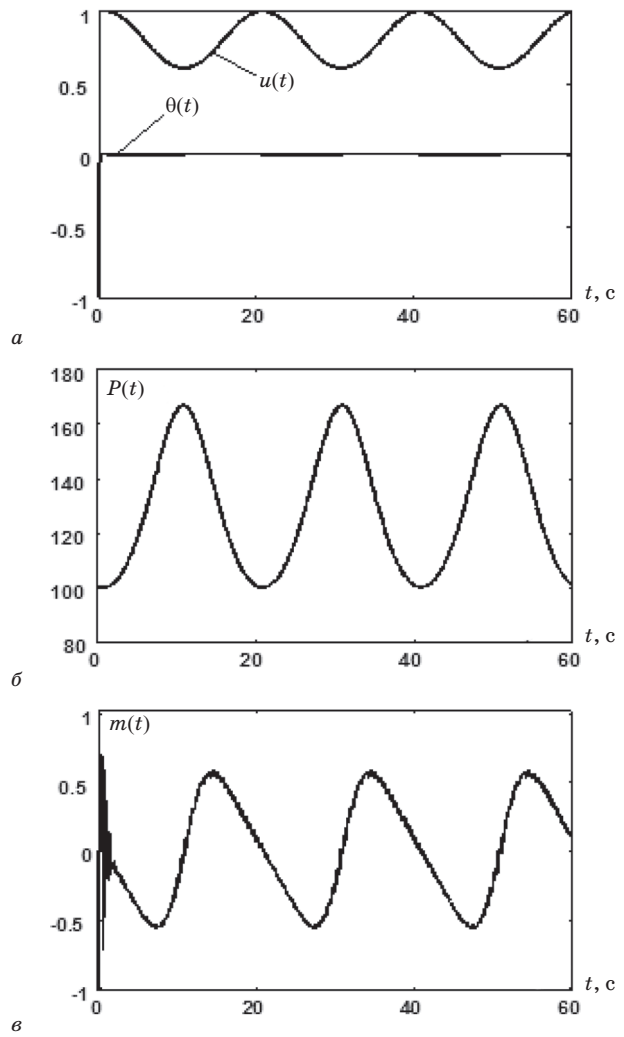


Рис. 6. Імітація періодичних завмирань сигналу

Процеси в системі відображаються на індикаторі Medium, Error (середовище поширення, похибка) та на індикаторі P (потужність), як це наведено на рис. 6. Максимальна поточна похибка при настроєному нечіткому регуляторі не перевищує $3,5 \cdot 10^{-3}$. При періодичних завмираннях сигналу на вході приймача РПрП1 система автоматичного регулювання потужності передавача РПдП1 відповідно автоматично збільшує потужність передавача від номінальної 100 Вт приблизно до 170 Вт (див. рис. 6, б), забезпечуючи добру якість прийманого НВЧ сигналу $u_c(t)$.

Висновки

Дослідження системи автоматичного регулювання потужності передавача АРПП із цифровим нечітким регулятором за допомогою методу математичного моделювання показує, що нечіткий регулятор забезпечує досить добру якість роботи системи, яка характеризується похибками розузгодження в перехідних і усталених режимах її роботи. Система з високою точністю відпрацьовує заданий рівень опорної напруги, яким оператор задає необхідну якість прийманого НВЧ сигна-

лу $u_c(t)$ на вході радіоприймача РПрП1. Тому застосування нечіткого регулятора для систем, що функціонують на базі наведеної математичної моделі, доцільне й перспективне.

Література

1. Алтунин, А. Е. *Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях: монография* / А. Е. Алтунин, М. В. Семухин.— Изд-во Тюмен. гос. ун-та, 2000.— 352 с.

2. Гостев, В. И. *Синтез нечетких регуляторов систем автоматического управления* / В. И. Гостев.— К.: Радиоаматор, 2003.— 512 с.

3. Гостев, В. И. *Синтез цифровых регуляторов систем автоматического управления* / В. И. Гостев, Д. А. Худой, А. А. Баранов.— К.: Радиоаматор, 2000.— 400 с.

4. Дьяконов, В. *Математические пакеты расширения MATLAB: спец. справочник* / В. Дьяконов, В. Круглов.— СПб.: Питер, 2001.— 480 с.

5. *Интеллектуальные системы автоматического управления; под ред. И. М. Макарова, В. М. Лохина.*— М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001.— 576 с.

6. Кондрашов, В. Е. *MATLAB как система программирования научно-технических расчетов* / В. Е. Кондрашов, С. Б. Королев.— М.: Мир, 2002.— 359 с.

7. Леоненков, А. В. *Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH* / А. В. Леоненков.— СПб.: БХВ-Петербург, 2003.— 736 с.

8. Олссон, Г. *Цифровые системы автоматизации и управления* / Г. Олссон, Дж. Пиани.— СПб.: Невский Диалект, 2001.— 557 с.

Рецензент: доктор техн. наук, професор Б. Ю. Жураковський, Державний університет телекомунікацій, Київ.

О. Н. Ткаленко

АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦИФРОВОГО НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА В СИСТЕМЕ АРМП ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ МУЛЬТИПЛИКАТИВНЫХ ПОМЕХ

Рассмотрена математическая модель системы АРМП, составленная в интерактивной системе MATLAB с использованием регулятора, работающего на базе нечеткой логики. Проанализированы процессы, протекающие в системе при наличии мультипликативных помех.

Ключевые слова: система автоматического регулирования мощности передатчика; мультипликативные помехи; аддитивные помехи; нечеткая логика; регулятор; математическая модель; фаззи-система; аттенюатор.

О. М. Tkalenko

ANALYSIS OF THE USE OF DIGITAL FUZZY CONTROLLER IN THE SYSTEM ACPT WHEN EXPOSED MULTIPLICATIVE NOISES

In the article the mathematical model of the system ACPT, composed in an interactive system MATLAB, using the controller, which is based on fuzzy logic. The processes of the system in the presence of multiplicative noises.

Keywords: system of automatic control of power of transmitter; multiplicative distorting actions; additive distorting actions; fuzzy logic; controller; mathematical model; fuzzy-system; attenuator.

УДК 621.391.82

В. С. НАКОНЕЧНИЙ, доктор техн. наук, ст. наук. співробітник,
Державний університет телекомунікацій, Київ

КОНЦЕПТУАЛЬНІ ЗАСАДИ МЕТОДОЛОГІЇ ПОБУДОВИ РАДІОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ РОЗПІЗНАВАННЯ

Розглянуто ідеологію розробки сучасних радіотехнічних систем розпізнавання. Обґрунтовано й визначено концептуальні засади та головні положення методології їх побудови. Подано найбільш загальний опис створюваної системи з використанням функціоналу ефективності, який слугує вихідною позицією для подальшої деталізації опису за допомогою декомпозиції метасистеми на підсистеми та елементи, пов'язані з нею певними залежностями.

Ключові слова: класифікаційні ознаки; об'єкт моніторингу; радіотехнічна система; ефективність розпізнавання.

Вступ

Створення високоефективних радіотехнічних систем розпізнавання (РТСР) об'єктів моніторингу (ОМ) в сучасних умовах вимагає фундаментальних і прикладних наукових досліджень, пошуків новітніх підходів до формування ідеології, розробки методології та технологій побудови зазначених систем. На основі аналізу причин виникнення і суті проблеми щодо принципів побудови РТСР, а також пошуку підходів і методів її розв'язання було розроблено методологію створення проблемно-орієнтованих радіотехнічних систем радіолокаційного моніторингу та розпізнавання.

Мета статті — розкрити суть проблеми, що полягає в підвищенні ефективності розпізнавання ОМ.