



УДК 62-55.621.391

## ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ПОТУЖНОСТІ ПЕРЕДАВАЧА АДАПТИВНИХ РАДІОКАНАЛІВ ЗВ'ЯЗКУ ПІД ЧАС ДІЇ МУЛЬТИПЛІКАТИВНИХ ЗАВМИРАНЬ



**О. В. Ананьїн, канд. техн. наук**

**Постановка проблеми.** У практиці організації тропосферного радіозв'язку істотною проблемою є вплив завмирань. Ефективним засобом її вирішення є розробка адаптивних каналів радіозв'язку з системами автоматичного регулювання потужності передавача (АРПП). Регулювання потужності випромінювання передавача важливе для радіосистем мобільного зв'язку. Дана робота є продовженням досліджень із моделювання систем АРПП радіоканалів, результати яких були викладені в авторській публікації [1]. Напрям наукових досліджень безпосередньо пов'язаний з тематикою науково-дослідних робіт, які проводилися в Державному університеті інформаційно-комунікаційних технологій на замовлення Державного комітету зв'язку та інформатизації України і ВАТ «Укртелеком» у 2005–2009 рр.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Способи усунення завмирань на тропосферних радіолініях розглядалися в низці вітчизняних досліджень достатньо тривалий час, але їхній аналіз і синтез у відомій літературі відсутній [2; 3]. Системи мобільного радіозв'язку з системами АРПП, наприклад радіосистеми стандарту CDMA, також описані в технічній літературі [4, с. 608], але подібна література та фірми-виробники надають тільки загальні описи таких систем, не розкриваючи схемних рішень і математичний апарат для проектування систем АРПП. Методам знаходження якісних показників, що дають змогу оцінити стійкість, робастність, швидкодію і точність систем АРПП з синтезованими регуляторами, які здатні значно поліпшити якість роботи адаптивних радіоканалів зв'язку з системами АРПП, присвячено низку монографій і досліджень [5; 6; 7].

**Мета дослідження.** Здійснити порівняльну оцінку систем АРПП з цифровим ПІД-регулятором і атенуатором, що перестроюється за допомогою двигуна, і систем АРПП з цифровим ПІД-регулятором і атенуатором, що перестроюється за допомогою сигналу управління, під час дії мультиплікативних завмирань. У загальному випадку такі системи АРПП досліджувалися в [1], але їхній порівняльний аналіз у цій публікації відсутній. Завдання дослідження розв'язувалися з використанням загальних методів теорії аналогових і цифрових систем автоматичного керування, зокрема методів оптимізації, методів перетворення Лапласа й z-перетворення, а також математичного апарата та інтерактивної системи Matlab [8].

**Виклад основного матеріалу.** Головним завданням будь-якої системи АРПП є забезпечення (наскільки це можливо) інваріантності каналів радіозв'язку щодо впливу завмирань. Саме за рахунок систем АРПП канали радіозв'язку набувають адаптивних властивостей до завмирань сигналу [7]. У загальному випадку системи АРПП є нестационарними, що обумовлено наявністю середовища розповсюдження радіохвиль, і нелінійними за рахунок механізму перестроювання потужності передавача в прямому каналі радіозв'язку, а також мають ланку чистого запізнювання [6; 7]. Це потребує застосування в системах АРПП спеціальних пропорційно-інтегрально-диференціальних (ПІД) регуляторів. Оскільки об'єктом керування в розглянутих системах є радіопередавач прямого каналу радіозв'язку, у системах АРПП керуючий пристрій доцільно включати в контурі динамічного зворотного зв'язку на виході зворотної радіоланки.

Модель системи АРПП з ПІД-регулятором і атенуатором, що перестроюється за допомогою двигуна під час дії мультиплікативних завмирань в інтерактивній системі Matlab зображена на рис. 1. Вважаємо, що під час складання моделі системи АРПП в каналі радіозв'язку змінюються умови розповсюдження радіохвиль за рахунок впливу мультиплікаційних завмирань. Дію двигуна з механізмом регулювання

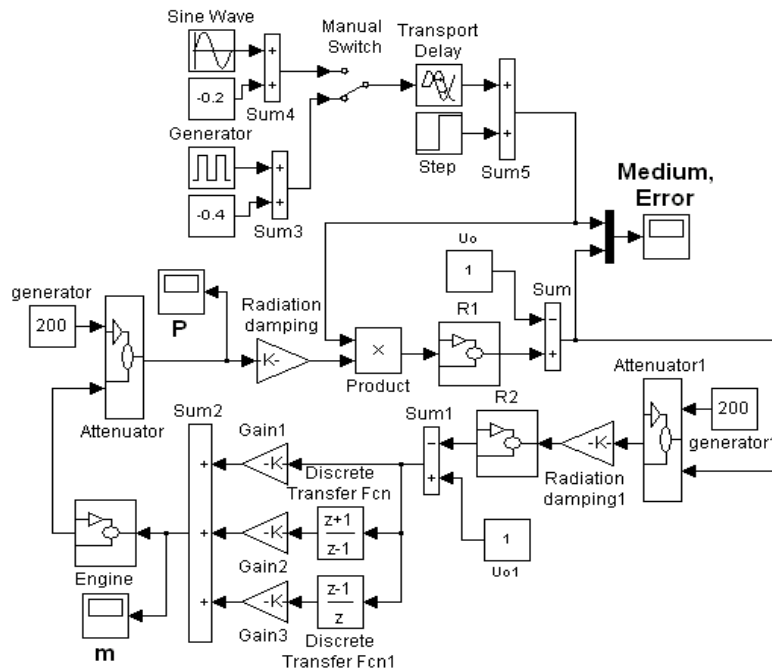


Рис. 1. Модель системи АРПП з ПД-регулятором і атенюатором в інтерактивній системі Matlab

(Engine), за допомогою якого перестроюється потужний атенюатор, опишемо передаточною функцією:

$$G_o(s) = \alpha_o[s(s+b)]^{-1} = 10[s(s+10)]^{-1}, \quad (1)$$

де постійна часу двигуна  $T_d = 1/b = 0,1c$ . Потужність генератора НВЧ-коливаний приємо:  $P_{\max} = 20Wt$ . Для отримання на виході передавача номінальної потужності  $P_{ном} = 10Wt$  на вході керованого атенюатора вводиться вставка  $m_0 = 5$ . Управління двигуном здійснюється цифровим ПД-регулятором.

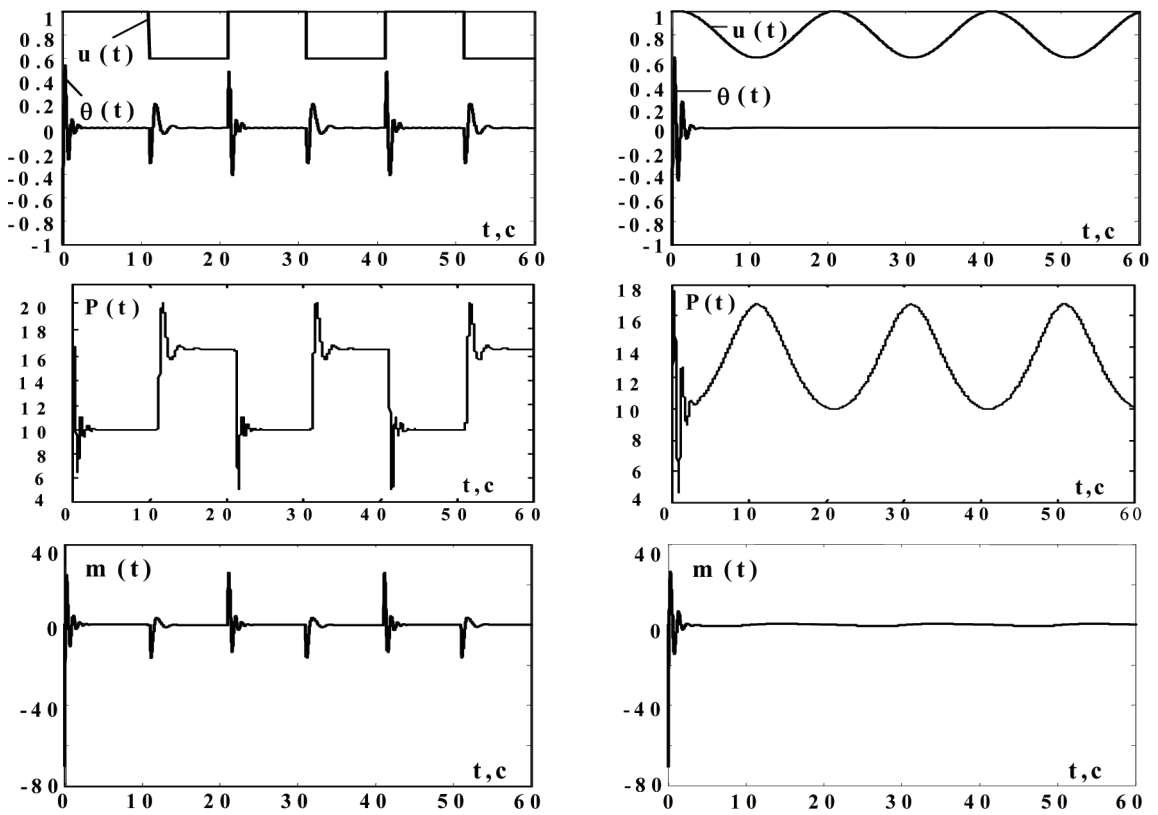
Спосіб запису передаточної функції цифрового ПД-регулятора кожної ідеальної радіоланки (R1 та R2), що характеризує нелінійну залежність потужності на виході передавача, яка регулюється в інтерактивній системі Matlab описаний в [1, с. 5]. Припустімо, що якість НВЧ-сигналу, який приймається на вході радіоприймача, є досить задовільною, якщо опорний сигнал дорівнює 1. Під час моделювання згасання сигналу в ідеальному (без завад) середовищі розповсюдження радіохвиль імітується пропорційним блоком з коефіцієнтом  $k = 1/P_{ном}$  (блок Radiation damping). Імітація завад у середовищі розповсюдження радіохвиль здійснюється таким чином: припустімо, що виникають періодичні завмирання сигналу на вході приймача або, що еквівалентно, періодичні зменшення відношення сигнал/шум, наприклад, на 40% від нормального. Цю ситуацію можна імітувати за допомогою періодичного генератора (generator) з амплітудою імпульсів – 0,4. Для моделювання період

імпульсів вибраний 20 с, а тривалість імпульсів – 10 с. Такі імпульси необхідно подавати під час увімкнення моделі з затримкою (Transport Delay) приблизно 3 с, після того як у системі наступить стійкий стан рівноваги. Періодичні завмирання сигналу на вході приймача імітуються за допомогою генератора синусоїдальних коливаний (Sine Wave) зі зміщенням. Для моделювання вибрані коливання з періодом 20 с, амплітудою – 0,2 та зміщенням – 0,2. Коефіцієнти настроювання, які потребує ПД-регулятор для певного вхідного сигналу при мультиплікативних завмираннях наведені в таблиці, зображеній в інтерактивній системі Matlab.

	Sin	Step
Gain 1	40	40
Gain 2	3,3	3,3
Gain 3	190	190
$\theta_{\max}$	0,00085	0

Процеси в системі (дивись рис. 1) з цифровим ПД-регулятором і потужним атенюатором, що перестроюється за допомогою двигуна, під час дії мультиплікативних завмирань, які відображаються на індикаторах Medium, Error (середовище розповсюдження, похибка), P (потужність), m (керуюча дія) для ступінчастих і синусоїдальних перехідних процесів показані на рис. 2.

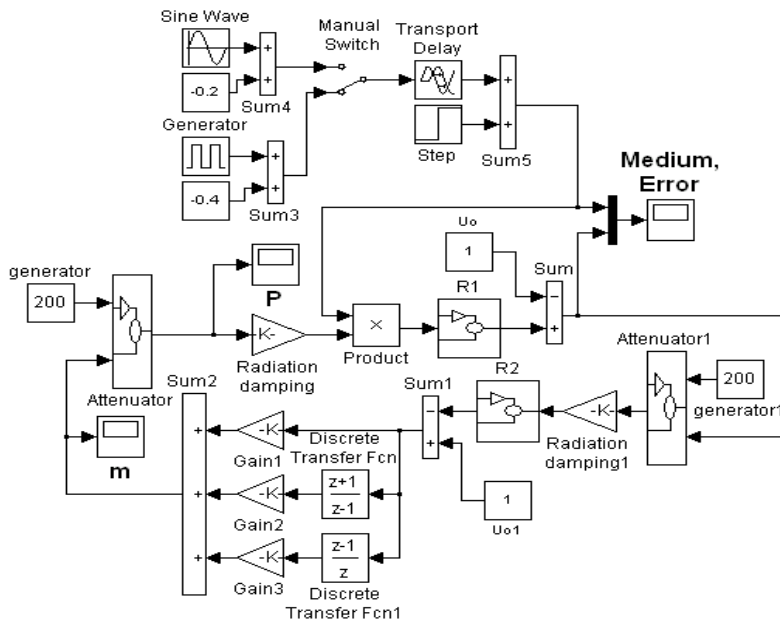
Система АРПП з електронним атенюатором, що



**Рис. 2. Перехідні процеси в системі АРПП з цифровим ПІД-регулятором і потужним атенюатором під час дії мультиплікативних завмирань**

перестроюється за допомогою сигналу управління, відрізняється від системи АРПП, зображеної на рис. 1, відсутністю двигуна з механізмом регулювання. Потужність передавача в цій системі регулюється керуючим сигналом з ПІД-регулятора на електронний

атенюатор (attenuator), який знаходиться в передавачі та включається в роз'єднання тракту між джерелом потужності та антенною системою. Модель системи АРПП з ПІД-регулятором і атенюатором, що перестроюється за допомогою сигналу управління в інтер-

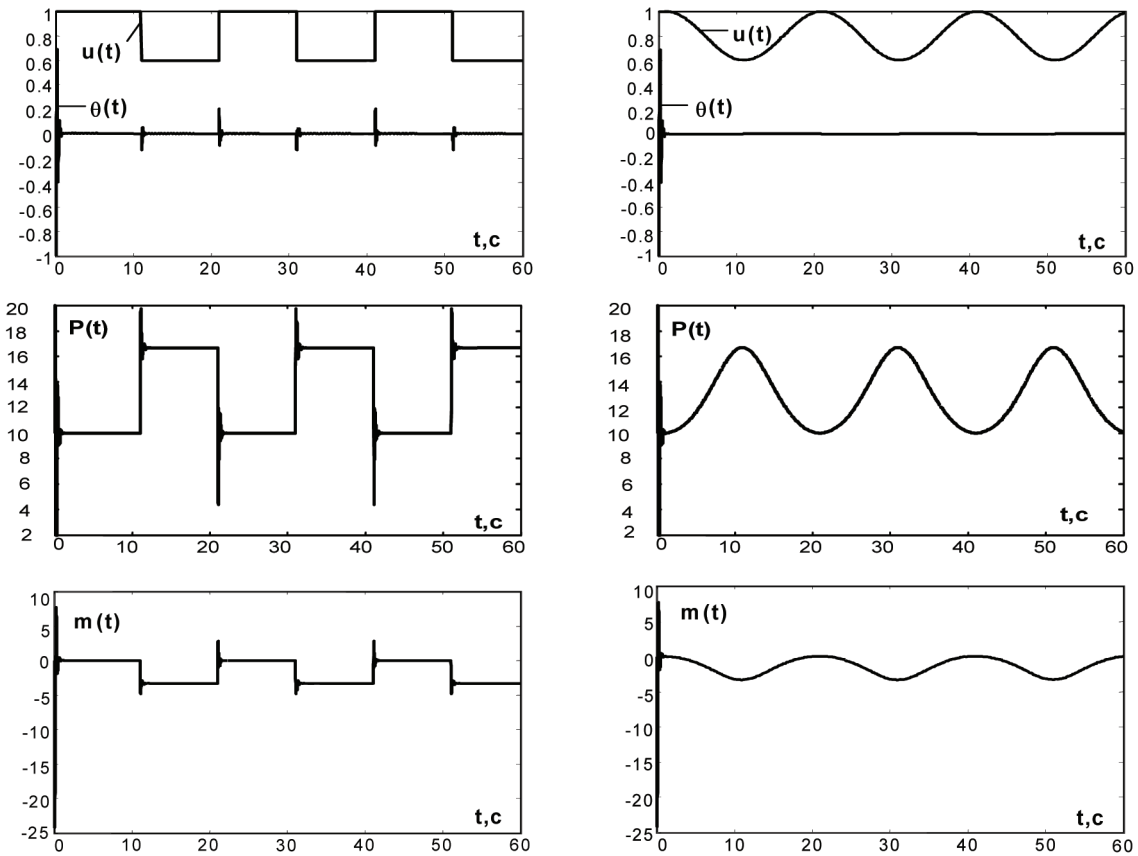


**Рис. 3. Модель системи АРПП з ПІД-регулятором і атенюатором в інтерактивній системі Matlab**

активній системі Matlab під час дії мультиплікативних завмирань, зображена на рис. 3.

Потужність генератора НВЧ-коливань прийемо:  $P_{\max} = 20\text{Вт}$ . Для отримання на виході передавача R1 номінальної потужності  $P_{\text{ном}} = 10\text{Вт}$  на вході керованого атенюатора вводиться вставка  $m_0 = 5$ . Керування атенюатором здійснюється цифровим ПД-регулятором,  $m(t)$  – сигнал на виході регулято-

ра (на вході атенюатора). Процеси в системі АРПП з цифровим ПД-регулятором і атенюатором, що перестроюється за допомогою сигналу керування під час дії мультиплікативних завмирань відображаються на індикаторах medium, error (середовище розповсюдження, похибка), P, m (керуюча дія) та для ступінчастих і синусоїдальних завмирань зображені відповідно на рис. 4.



**Рис. 4. Перехідні процеси в системі АРПП з цифровим ПД-регулятором і атенюатором, що перестроюється за допомогою сигналу управління**

По осях ординат викладені відносні одиниці, але для реальних систем потужність вимірюватиметься у ватах, а керуючі дії – у вольтгах. На рис. 5 і рис. 6 зображені графіки, змін максимальної поточної похибки від періоду періодичних мультиплікативних завмирань при використанні системи АРПП з ПД-регулятором і потужним атенюатором, що перестроюється за допомогою двигуна і систем АРПП з цифровим ПД-регулятором і атенюатором, що перестроюється за допомогою сигналу управління за різних ступенів завмирань. Графіки побудовані на основі дослідження систем АРПП з цифровим ПД-регулятором і атенюатором, що перестроюється за допомогою двигуна, (дивись рис. 1 – система з двигуном) і систем АРПП з цифровим ПД-регулятором і атенюатором, що перестроюється за допомогою сигналу управління, (дивись рис. 3 – система без двигуна) під час дії мультиплікативних завмирань.

Максимальна поточна похибка під час дії мультиплікативних завмирань у системі АРПП з ПД-регулятором і електронним атенюатором, що перестроюється за допомогою сигналу керування, при ступені завмирань 40% дорівнює 0,00085, тобто співвідношення сигнал/шум на вході приймача при цьому зменшується на 0,085% відносно нормального. Максимальна поточна похибка при мультиплікативних завмираннях у системі АРПП з ПД-регулятором і потужним атенюатором, що перестроюється за допомогою двигуна, при ступені завмирань 40% дорівнює 0,002, тобто співвідношення сигнал/шум на вході приймача в разі використання цієї системи зменшується на 0,2% відносно нормального.

### Висновки

Таким чином, якість прийому, що визначається відношенням сигнал/шум на вході радіоприймального пристрою, у разі використання систем АРПП з ПД-регулятором навіть за наявності великих завмирань сигналу практично не погіршується, оскільки як система АРПП з ПД-регулятором і потужним атенюатором,

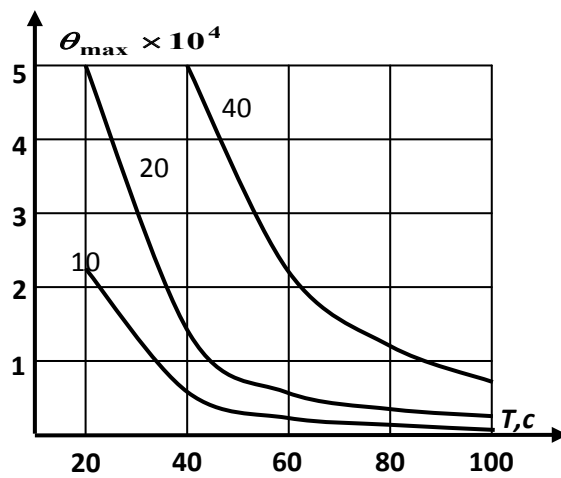


Рис. 5. Залежність величини похибки від періоду мультиплікативних завмирань у системі АРПШ з ПІД-регулятором і потужним атенюатором, що перестроюється за допомогою двигуна

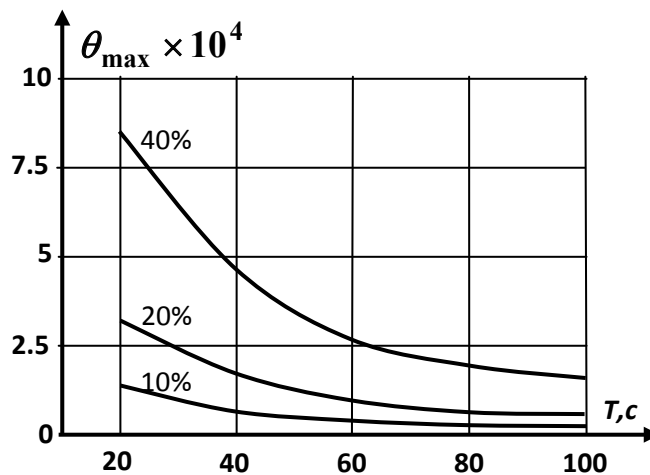


Рис. 6. Залежність величини похибки від періоду мультиплікативних завмирань у системі АРПШ з ПІД-регулятором і електронним атенюатором, що перестроюється за допомогою сигналу управління

що перестроюється за допомогою двигуна, так і система з ПІД-регулятором і електронним атенюатором, що перестроюється за допомогою сигналу керування, відновлюють відношення сигнал/шум під час дії мультиплікативних завмирань на вході радіоприймального пристрою практично до попереднього рівня.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Ананьїн О. В. Моделювання системи автоматичного регулювання потужності передавача у радіоканалах / О. В. Ананьїн: зб. наук. пр. / ВІПІ НТУУ «КПІ». – Вип. 3. – К., 2009. – С. 4–8.
2. Радиорелейные и спутниковые системы передачи. Учебник для вузов / [Немировский А. С., Данилович О. С., Мари-монт Ю. И. и др.]; под ред. А. С. Немировского. – М.: Радио и связь, 1986. – 392 с.
3. Военные системы радиосвязи / [Килимник Ю. П., Никольский И. Н., Пивоваров В. Ф. и др.]; под ред. Ю. П. Килимни-

ка – Л.: ВАС, 1985. – 576 с.

4. Шувалов В. П. Телекоммуникационные системы и сети: Учеб. пособ. Том II. / В. П. Шувалов, Г. П. Катунин, В. Н. Попантонопуло. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 672 с.
5. Гостев В. И. Нечёткие регуляторы в системах автоматического управления: Монография / В. И. Гостев. – К.: Радиоаматор, 2008. – 972 с.
6. Францевич О. М. Математичні моделі адаптивного радіоканалу зв'язку з системами регулювання потужності передавача на базі нечіткої логіки: дис. ... канд. техн. наук / О. М. Францевич. – К., 2005. – 140 с.
7. Кунах Н. І. Системи автоматичного нечіткого та ПІД-регулювання потужністю передавача в адаптивних каналах радіозв'язку: дис. ... д-ра техн. наук / Н. І. Кунах. – К., 2007. – 323 с.
8. Кондрашов В. Е. MATLAB как система программирования научно-технических расчётов / В. Е. Кондрашов, С. Б. Королев. – М.: Мир, 2002 – 359 с.