

УДК 621.3.072.6

С.А. Юхновський

Командування Повітряних Сил Збройних Сил України, Вінниця

## ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЛЬТРУЮЧИХ ЗДІБНОСТЕЙ СИСТЕМИ ФАЗОВОГО АВТОПІДСТРОЮВАННЯ ЧАСТОТИ З ДИНАМІЧНИМ РЕГУЛЮВАННЯМ КОЕФІЦІЄНТА ПІДСИЛЕННЯ ЗА ЗАКОНОМ КОРЕНЯ ЧЕТВЕРТОГО СТУПЕНЯ

У роботі досліджені фільтруючі характеристики системи фазового автопідстроювання частоти з динамічним регулюванням параметрів додаткового зворотного зв'язку за фазою за законом кореня четвертого ступеня по відношенню до внутрішніх і зовнішніх завад. Дослідження проведені в порівнянні з нелінійним законом регулювання квадратного кореня.

**Ключові слова:** система фазового автопідстроювання, динамічне регулювання параметрів додаткового зворотного зв'язку за фазою, нелінійний закон регулювання.

### Вступ

#### Постановка проблеми та аналіз публікацій.

Системи фазового автопідстроювання (ФАП) являються основою пристроїв телекомунікаційних систем. Їх широке застосування в інформаційних системах вимагає висування до них жорстких вимог по таким параметрам як час входження у синхронізм системи, так і час перебудови з однієї частоти на іншу. Як проаналізовано з [1; 3], саме динамічним регулюванням параметрів зворотного зв'язку за фазою висунуті вимоги можуть бути задоволені і система на разі стає адаптивною. Хоча в монографії [1] приведено класифікацію можливих адаптивних систем, однак недостатньо дослідженими залишаються адаптивні системи ФАП з нелінійними законами регулювання. Дослідження проводилися в публікаціях [2; 4], але в статті [5] авторами було запропоновано новий закон регулювання параметрів додаткового зворотного зв'язку за фазою виду  $\sqrt[4]{x}$  та доведена доцільність його використання з метою підвищення швидкодії системи ФАП.

**Мета статті:** дослідження фільтруючих здібностей системи ФАП з динамічним регулюванням параметрів додаткового зворотного зв'язку за фазою за нелінійним законом регулювання виду  $\sqrt[4]{x}$  для подальшої розробки методики визначення основних властивостей даного класу систем.

### Виклад основного матеріалу

У реальних умовах робота системи ФАП практично постійно проходить при наявності більш чи менш інтенсивних завад, різних як по своєму характеру, так і по джерелу виникнення.

Завади у вхідному сигналі можуть виникати, наприклад, при наявності комбінаційних складових у спектрі вхідного сигналу і проявляються у флук-

туаціях його фази і амплітуди. Ці завади є зовнішніми по відношенню до системи ФАП.

З другого боку, генератор, керований напругою (ГКН), завжди володіє визначеною нестабільністю частоти (нестабільністю амплітуди звичайно можливо знехтувати), що є результатом коливань живлячих напруг і температури навколишнього середовища, різних наводок на ланцюг управління чи на елементи генератора, а також результатом впливу можливих вібрацій, пов'язаних з умовами роботи схеми. Такі флуктуації частоти ГКН можна розглядати як результат впливу внутрішніх завад.

При функціонуванні системи необхідно оптимально використовувати низький рівень шумів коливань опорної частоти і коливання ГКН. У цьому випадку необхідно вибрати параметри системи так, щоб забезпечити задану смугу пропускання. Внаслідок чого виникає завдання з'ясувати, як впливає введення в тракт системи додаткового зворотного зв'язку за фазою з динамічним регулюванням параметрів за нелінійним законом виду  $\sqrt[4]{x}$  на фільтрацію одночасно діючих як зовнішніх, так і внутрішніх завад.

Дослідження частотних характеристик проведемо при припущенні того, що поява завад у вхідному сигналі і сигналі ГКН системи призводить до випадкових змін початкової фази цих сигналів. Таке припущення відповідає реальним умовам роботи системи ФАП [1].

При визначенні передаточних функцій системи відносно варіації фази вхідного сигналу і сигналу ГКН, використаємо модель системи відносно зовнішніх і внутрішніх завад, наведену на рис. 1. З'єднані послідовно блоки системи, що знаходяться між вузлами, об'єднано у вигляді окремих ланцюгів зі своїми передаточними функціями і проведено структурне перетворення (рис. 2).

Вказані передаточні функції дозволять проана-

лізувати амплітудно-частотну характеристику системи ФАП, оцінити фільтруючі здібності запропонованої системи по відношенню до внутрішніх і зовнішніх завад.

Передаточні функції системи ФАП з нелінійним законом регулювання коефіцієнта підсилення модифікованого підсилювача можна представити у наступному вигляді

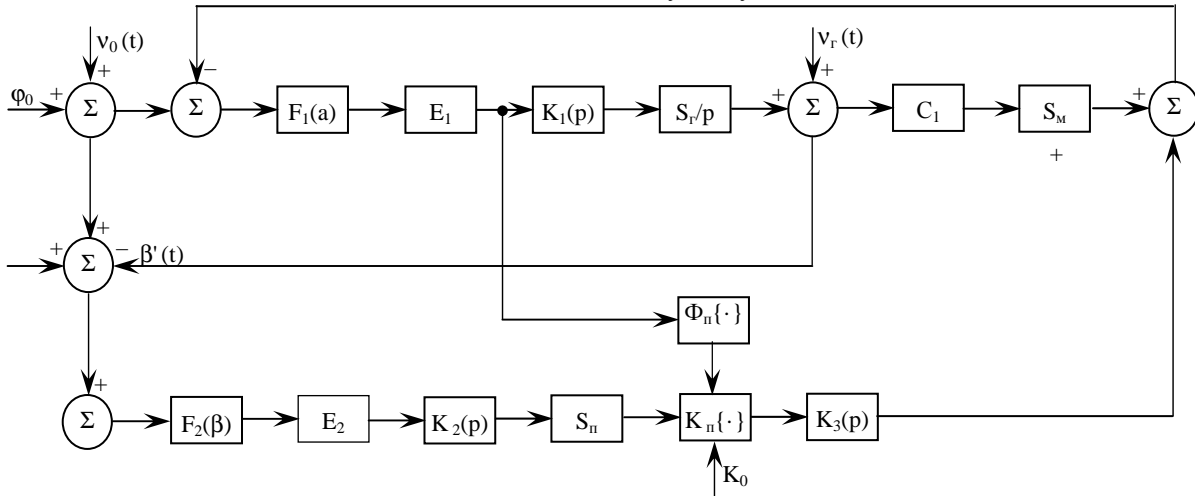


Рис. 1. Функціональна схема моделі системи ФАП відносно зовнішніх і внутрішніх завад

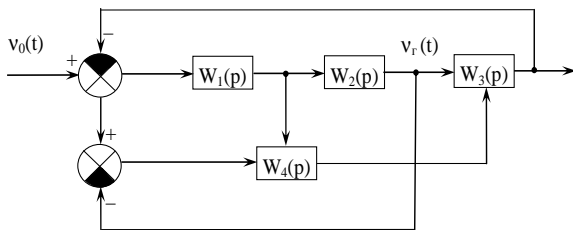


Рис. 2. Структурна схема моделі системи ФАП відносно зовнішніх і внутрішніх завад

$$W_0(p) = \frac{W_E(p)W_1(p)}{1 - W_E(p)W_1(p)}, \quad (1)$$

де  $W_0(p)$  – передаточна функція системи ФАП відносно варіації фази вхідного сигналу;  $W_E(p)$  – передаточна функція еквівалентної ланки, до якої входить  $W_2(p), W_3(p), W_4(p)$ ;  $W_1(p) = E_1 \kappa_1$ ; де  $E_1$  – максимальна напруга, яку видає ФД1,  $\kappa_1 = F_1(a(p))$  – нормована характеристика ФД1,  $a(p)$  – різниця фаз сигналів на виході ФД1.

$$W_E(p) = \frac{W_2(p)W_3(p)}{1 + W_4(p)W_2(p)W_3(p)}, \quad (2)$$

де  $W_2(p) = K_1(p)C_1 \cdot S_r/p$ ,  $W_3(p) = K_3(p)S_M$ ;

$W_4(p) = \psi K_0 \left(1 + E_2 \sqrt[4]{\kappa_2 K_2(p)}\right)$ ;  $K_1(p) = \frac{1 + mpT_1}{1 + pT_1}$  –

передаточна функція ФНЧ1;  $K_2(p) = \frac{1}{1 + pT_2}$  –

передаточна функція ФНЧ2;  $K_3(p) = \frac{1}{1 + pT_3}$  – пере-

даточна функція ФНЧ3;  $C_1$  – коефіцієнт перетво-

рення частоти ГКН;  $S_r$  – крутизна нелінійної функції характеристики управління ГКН;  $S_M$  – крутизна модуляційної характеристики ФМ;  $\psi$  – динамічний діапазон ФМ;  $K_0$  – коефіцієнт підсилення модифікованого підсилювача;  $\kappa_2 = F_2(a(p) - \beta'(p))$  – нормована характеристика ФД2;  $\beta'(p)$  – фазовий зсув сигналу у ФО;

$$W_r(p) = \frac{1}{\frac{1}{W_3(p)W_4(p)} - W_1(p)W_2(p)}, \quad (3)$$

де  $W_r(p)$  – передаточна функція системи ФАП відносно варіації фази сигналу ГКН.

Складуючи почленно (1) з (3), отримаємо:

$$W_0(p) + W_r(p) = 1. \quad (4)$$

З рівняння (4) можна зробити висновок про те, що в системі ФАП зменшення коефіцієнта передачі для зовнішніх завад  $W_0(p)$  обов'язково приводить до збільшення коефіцієнта передачі для внутрішніх завад  $W_r(p)$ , незалежно від типів фільтрів, що застосовуються, і параметрів системи.

Підставляючи значення  $K_1(p)$ ,  $K_2(p)$  і  $K_3(p)$ , отримаємо наступні вирази:

$$W_0(p) = \frac{1}{\frac{1}{\frac{\psi K_0 \left(1 + E_2 \sqrt[4]{\frac{\kappa_2}{1 + pT_2}}\right)}{E_1 \kappa_1} - 1} + \frac{p(1 + pT_1)(1 + pT_2)}{\kappa_1 E_1 C_1 \Omega (1 + mpT_1)}}, \quad (5)$$

$$W_r(p) = \frac{1}{\frac{1 + pT_3}{\psi K_0 \left(1 + E_2 \sqrt[4]{\frac{\kappa_2}{1 + pT_2}}\right)} - \frac{E_1 \kappa_1 C_1 \Omega (1 + mpT_1)}{p(1 + pT_1)}}. \quad (6)$$

Знаючи передаточні функції  $W_0(p)$  і  $W_{\Gamma}(p)$ , отримаємо передаточну функцію системи ФАП для фазової помилки стеження і варіації фази вхідного сигналу.

$$W_a(p) = \frac{W_0(p)}{W_{\Gamma}(p)} = \frac{E_1^2 C_1^2 \Omega^2 a (1 + mpT_1)^2 (1 + pT_3)}{\psi K_0 p^2 (1 + pT_1)^2 (1 - E_2 \sqrt{\frac{K_2}{1 + pT_2}})} \quad (7)$$

Використовуючи вирази (5), (6), (7), побудуємо амплітудно-частотні характеристики (АЧХ) (рис. 3, 4) з нелінійними законами адаптації виду  $\sqrt[4]{x}$  та  $\sqrt{x}$  для порівняння при  $m = 0.3$ ,  $\psi = 2\pi$ ,  $a = \frac{\pi}{16} \dots \frac{7\pi}{16}$ ,  $K_0 = 0,771; 1,236; 2,296; 4,18; 5,316$  – для  $\sqrt[4]{x}$ ;  $K_0 = 0,628; 0,84; 1,33; 2,263; 2,827$  – для  $\sqrt{x}$ , отриманих в процесі моделювання.

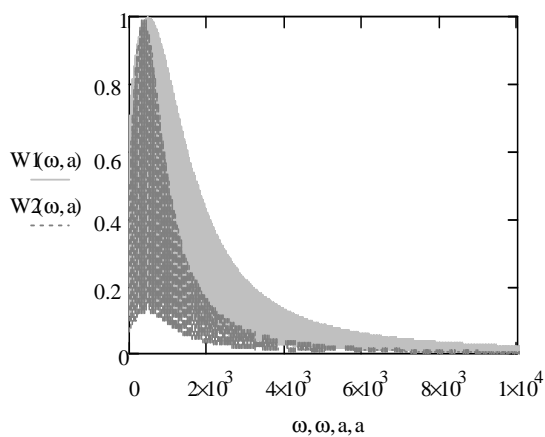


Рис. 3. АЧХ системи ФАП із законами адаптації виду  $\sqrt[4]{x}$  та  $\sqrt{x}$  для  $K_0 = 5,316$  і  $K_0 = 2,827$  відповідно

З аналізу проведеного моделювання видно, що для закону регулювання виду  $\sqrt[4]{x}$  смуга пропускання системи ФАП при найбільшому та найменшому значенні  $K_0$  розширюється, тобто фільтруючі здібності системи по відношенню до зовнішніх завад погіршуються. Але слід зауважити, що смугу пропу-

скання можна корегувати за допомогою варіювання параметру  $K_0$  в ланцюгу зворотного зв'язку по фазі, досягнувши найменшого значення.

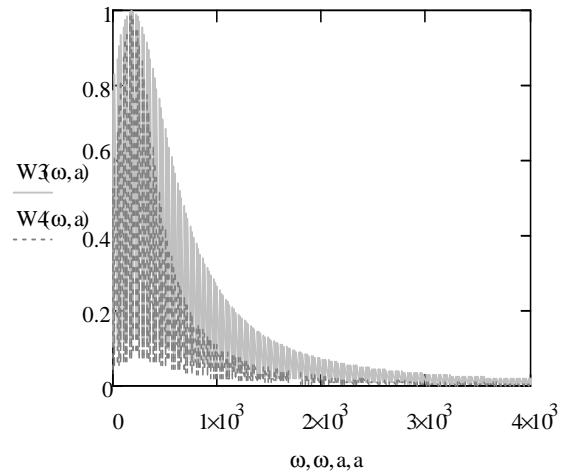


Рис. 4. АЧХ системи ФАП із законами адаптації виду  $\sqrt[4]{x}$  та  $\sqrt{x}$  для  $K_0 = 0,771$  і  $K_0 = 0,628$  відповідно

### Список літератури

1. Стеглов В.К. Комбинированные системы ФАП / В.К. Стеглов. – К.: Техника, 2003. – 323 с.
2. Стеглов В.К. Анализ нелинейных систем фазовой автоподстройки / В.К. Стеглов, В.В. Мирошников // Зв'язок. – К., 2005. – № 1. – С. 60-63.
3. Макаров С.А. Система фазової автоподстройки з колом зворотного зв'язку, параметри якого регулюються динамічно / С.А. Макаров, К.В. Подоляко // 1-й Міжнародний радіоелектронний Форум «Прикладна радіоелектроніка. Состояние и перспективы развития»: Сб. научн. тр. – Х.: АН ПРЭ, ХНУРЭ, 2002. – С. 494-497.
4. Чекунова О.М. Математична модель оптимальної по швидкодії нелінійної системи ФАП / О.М. Чекунова, С.А. Макаров, О.В. Чечуй // Радіотехніка. – 2007. – Вип. 150. – С. 100-103.
5. Макаров С.А. Математична модель швидкодіючої самонастроювальної нелінійної системи фазового автоподстроювання частоти / С.А. Макаров, О.М. Чекунова, С.А. Юхновський // Радіотехніка. – 2014. – Вип. 176. – С. 258-61.

Надійшла до редколегії 11.11.2016

Рецензент: д-р техн. наук проф. Ю.І. Лосєв, Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків.

### ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЛЬТРУЮЩИХ СПОСОБНОСТЕЙ СИСТЕМЫ ФАП С ДИНАМИЧЕСКИМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ КОЭФФИЦИЕНТА УСИЛЕНИЯ ПО ЗАКОНУ КОРНЯ ЧЕТВЕРТОЙ СТЕПЕНИ

С.А. Юхновский

Исследованы фильтрующие характеристики системы ФАП с динамическим регулированием параметров дополнительной обратной связи по фазе по закону корня четвертой степени по отношению к внутренним и внешним помехам.

**Ключевые слова:** система фазовой автоподстройки, динамическое регулирование параметров дополнительной обратной связи по фазе, нелинейный закон регулирования.

### STUDY FILTERS CAN FAP WITH DYNAMIC SYSTEMS GAIN CONTROL UNDER FOURTH ROOT

S.A. Yukhnovsky

Filter characteristics are investigated FAP regulation system with dynamic feedback parameter further phase for the fourth power law with respect to internal and external interference.

**Keywords:** phase-locked, dynamic adjustment of parameters further feedback phase, non-linear control law.