

УДК 621.373

С.А. Макаров, О.М. Чекунова

**ПІДВИЩЕННЯ ШВИДКОДІЇ СИНТЕЗАТОРІВ ЧАСТОТ ЗАСОБІВ РАДІОЗВ'ЯЗКУ**

*Розглянуті принципи підвищення швидкодії синтезаторів частот приймально-передавальних засобів авіаційного радіозв'язку за рахунок зміни структури системи фазового автопідстроювання (ФАП) та визначено перспективний напрямок подальшого вдосконалення системи ФАП синтезатора частот, що дозволить підвищити завадостійкість та скритність засобів радіозв'язку в цілому.*

**Постановка проблеми**

Радіотехніка сьогодні потребує постійних змін, які пов'язані з появою принципово нових напрямків у розвитку радіоелектроніки, впровадженням нових принципів побудови радіотехнічних систем, удосконаленням елементної бази. Постійно зростають вимоги, які висуваються до системи зв'язку, що змушує удосконалювати вказані системи та елементи, які входять до них. Потребують удосконалення приймально-передавальні засоби зв'язку, на основі яких будуються системи зв'язку. Одним із основних пристроїв приймально-передавальних засобів зв'язку є синтезатор частот, удосконалення якого шляхом введення допоміжних кіл зворотнього зв'язку в систему фазового автопідстроювання частоти дозволить зменшити час перебудови з однієї частоти на іншу та, у кінцевому результаті, забезпечити підвищення швидкодії засобів зв'язку.

**Мета статті** – зменшення часу перестройки з однієї частоти на іншу за рахунок зміни принципів побудови синтезатора частоти, точніше – зміни структури системи ФАП, що становить основу синтезатора частот.

**Аналіз літератури**

У [1] наведений синтезатор частот радіостанції Р-163. Удосконалювання системи ФАП базового синтезатора частот проводилося на основі принципу компенсації збурювань, запропонованого в літературі [2]. Зазначений принцип стосовно до систем ФАП припускає введення допоміжних зворотних зв'язків по фазі вхідного, вихідного або обох разом сигналів [4 – 5].

**Основний матеріал**

Синтезатори частот у приймально-передавальних засобах авіаційного радіозв'язку мають різні принципи побудови. До найбільш швидкодіючих відносяться синтезатори частот радіостанцій Р-140, Р-161, Р-163, що використовуються в частинах ПС України [1]. Синтезатор частот радіостанції Р-140 є складовою частиною збуджувача ВО-71 та синтезатором частот діапазонно-кварцевої стабілізації частоти із частотним автопідстроюванням (ЧАП) і ком-

пенсацією залишкового розстроювання. В даному синтезаторі час перестройки становить 1 с при кроці сітки частот 100 Гц. Структурна узагальнена схема синтезатора частот радіостанції Р-161 наведена на рис. 1.

Синтезатор частот, що забезпечує формування коливань третього гетеродина, побудований за методом непрямого синтезу з кільцем ФАП генератора, керованого напругою (ГКН). Джерелом частот порівняння для кільця ФАП є синтезатор дрібної сітки, що працює в діапазоні від 12,8 до 14,8 МГц із кроком 10 Гц. У даному синтезаторі час перебудови складає 300 мс при кроці сітки частот 10 Гц.

Синтезатор частот радіостанції Р-163-500К побудований за методом непрямого синтезу з кільцем імпульсно-фазового автопідстроювання частоти (ІФАП) ГКН з подільником частоти із змінним коефіцієнтом розподілу (ДЗКР) у колі зворотнього зв'язку [1]. Як елемент порівняння застосовується частотно-фазовий детектор (ЧФД). Джерелом опорного коливання є сигнал з виходу подільника частоти з фіксованим коефіцієнтом розподілу (ДФКР). Код коефіцієнта розподілу на ДПКР надходить від мікроелектронної обчислювальної машини (МЕОМ). У даному синтезаторі час перестройки складає 600 мс, при кроці сітки частот 1 кГц.

Аналіз синтезаторів частот показує, що зменшення часу перестройки з однієї частоти на іншу можливе тільки при зміні принципів побудови синтезаторів частот, точніше, зміні структури системи ФАП, що становить основу синтезатора частот. Як базовий для удосконалення був обраний синтезатор частот збудника "Лазур", що має найменший час перебудови, а також малий крок сітки частот, рівний 10 Гц.

Удосконалювання системи ФАП базового синтезатора частот проводилося на основі принципу компенсації збурювань, запропонованого радянським вченим Г.В. Щипановим [2]. Зазначений принцип стосовно до систем ФАП припускає введення допоміжних зворотних зв'язків по фазі вхідного, вихідного або обох разом сигналів [4, 5]. Було введено в систему ФАП кола зворотного зв'язку за фазою з динамічно регульованою крутістю модуляційної характеристики фазового модулятора (ФМ) [4, 5].



Динамічне регулювання параметрів кола зворотного зв'язку по фазі на ділянці перехідного процесу дозволяє значно скоротити час входження в синхронізацію, а в стаціонарному режимі забезпечити задану точність і завадостійкість.

На рис. 2 наведена структурна схема системи ФАП з колами додаткового зворотного зв'язку. На відміну від відомих раніше систем ФАП, розроблена схема містить фазовий детектор з динамічно регульованим зворотним зв'язком (ФДДРЗЗ). У ФДДРЗЗ, крім основного фазового детектора (ФД1), введений фазовий модулятор (ФМ) і система динамічного регулювання крутості модуляційної характеристики ФМ у колі негативного зворотного зв'язку по фазі, побудована на основі квадратурного каналу, використаний нелінійний елемент із зоною нечутливості (НЕЗН); причому постійна часу другого фільтра нижніх частот (ФНЧ2) перевищує постійну часу ФНЧ1. Створення процесу динамічного регулюван-

ня крутості модуляційної характеристики ФМ дозволило принципово змінити характер перехідних процесів і властивості системи ФАП.

Особливістю НЕЗН є те, що при малих постійних напругах на його вході вихідна напруга дорівнює нулю та зміна крутості ФМ фактично не відбувається. При малих розстроювання за частотою, коли постійна напруга на виході ФНЧ2 перевищить деякий граничний рівень у НЕЗН, на виході останнього з'явиться постійна напруга. Ця напруга, плавно зростаючи, приведе до зменшення крутості модуляційної характеристики ФМ1, що, у свою чергу, еквівалентно збільшенню крутості характеристики основного фазового детектора (ФД1). Таким чином, у процесі підстроювання по фазі відбувається збільшення еквівалентного коефіцієнта посилення в кільці ФАП, утвореного елементами ФД1, ФНЧ1 і ГКН. Отже, загальний час перестройки в пристрої зменшується за рахунок зміни крутості модуляційної характеристики фазового модулятора.

Час входження в синхронізацію дорівнює

$$t_{\text{п}} = t_{3\text{ч}} + t_{3\text{ф}}, \quad (1)$$

де  $t_{\text{п}}$  – час входження в синхронізацію;

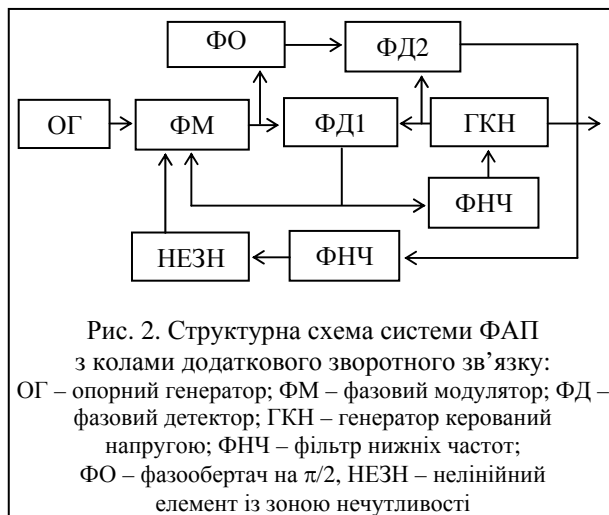
$t_{3\text{ч}}$  – час захоплення за частотою;

$t_{3\text{ф}}$  – час захоплення по фазі.

У системі ФАП (рис. 2) час захоплення за частотою  $t_{3\text{ч}}$  рівний часу  $t_{3\text{ч}}$  системи ФАП, застосовуваної в синтезаторі частот радіостанції Р-161. Час захоплення за фазою, наприклад, для систем ФАП другого порядку визначається виразом [5]:

$$t_{3\text{ф}} = (2 / K_{\text{д}} K_{\text{ГКН}} \cos \xi_{\text{ст}}) \ln(2 / \xi_3), \quad (2)$$

де  $K_{\text{д}}$  – коефіцієнт передачі фазового детектора (ФД);



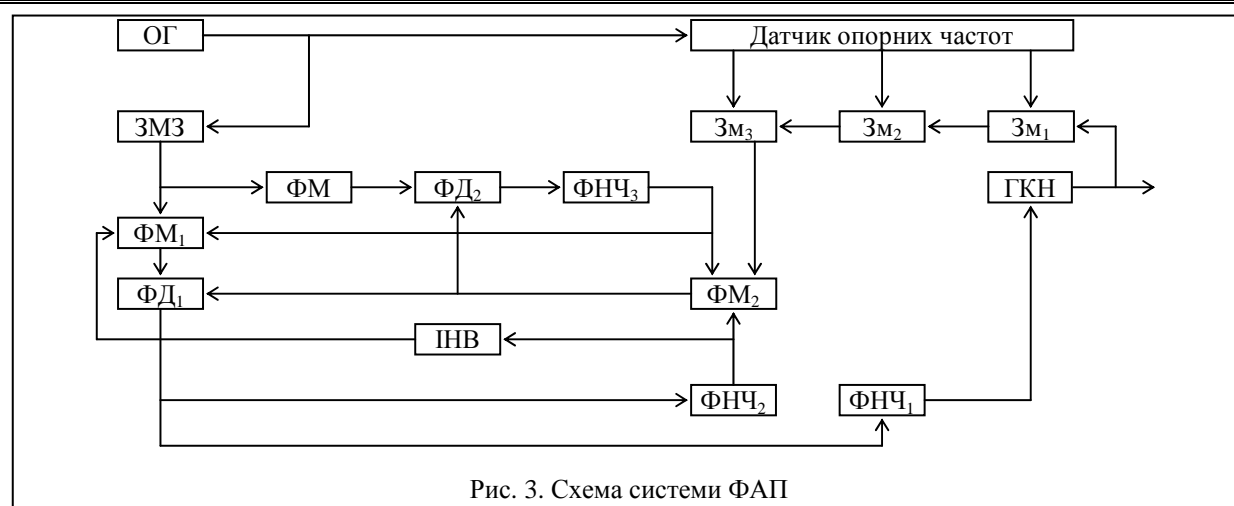


Рис. 3. Схема системи ФАП

$K_{ГКН}$  – коефіцієнт передачі ГКН;

$\xi_{ст}$  – сталі значення фазової помилки спостереження;

$\gamma_3$  – задане відхилення фазової помилки спостереження за час, рівне  $t_{3ф}$ .

Час захоплення по фазі для системи ФАП (рис. 2) дорівнює

$$t_{эф} = \left( \frac{2}{\frac{K_d K_{ГКН}}{1 + K_d S_{ФМ}}} \right) \ln(2/\gamma_3), \quad (3)$$

де  $S_{ФМ}$  – крутість модуляційної характеристики ФМ.

Зміна  $S_{ФМ}$  від  $S_{max}$  до  $S_{min}$  приведе до зменшення часу захоплення по фазі в  $1 + K_d(S_{max} - S_{min})$  раз порівняно з системою ФАП, яка застосовується в синтезаторі частот радіостанції Р-161. Встановлено, що перехідні процеси в системі ФАП (рис. 2) носять аперіодичний характер. Час входження в синхронізацію у 6 разів менший системи ФАП базового синтезатора частот.

Недоліком розглянутого пристрою є великий час пошуку за частотою й мала смуга захоплення по фазі. Цей недолік усувається в системі ФАП, яка наведена на рис. 3.

Ефективність системи ФАП у більшості випадків визначається ФМ. До основних параметрів, які визначають якість ФМ, відносяться його динамічний діапазон (ДД) і лінійність модуляційної характеристики, а також можливість регулювання крутості модуляційної характеристики. Особливістю схеми (рис. 3) є те, що максимальні зміни по фазі, які вносяться ФМ, визначаються його динамічним діапазоном  $\psi = K_d S_{ФМ}$ .

Такий варіант побудови системи ФАП дозволяє підвищити її швидкодю за рахунок розширення ДД еквівалентного ФМ, у якого  $\psi' = 2\psi$ . Це дозволяє збільшити максимальну швидкість пошуку на 50 %.

Смуга захоплення системи ФАП (рис. 3) збільшиться із зростанням  $\psi$  на 80 %.

Застосування розглянутих вище систем у синтезаторі частот радіостанції Р-161 дозволяє істотно зменшити час перестройки з однієї частоти на іншу.

### Висновки

1. Зменшення часу пошуку за частотою й входження в синхронізм системи ФАП досягається за рахунок динамічного регулювання параметрів додаткового кола зворотного зв'язку по фазі.

2. Час захоплення за фазою в системах ФАП менший порівняно з базовою системою ФАП в  $1 + K_d(S_{max} - S_{min})$  разів.

Системи з динамічно регульованими параметрами кола додаткового зворотного зв'язку є адаптивними системами.

Метою подальших досліджень є математичне описання запропонованої системи ФАП як адаптивної системи. Метою адаптивного керування такої системи є скорочення часу входження у синхронізацію при мінімальній помилці стеження у режимі, який встановився.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Радиостанция Р-163-500К: Техническое описание. ДНЯ 1.201. 005 ТЕ. – Запорожье: НПО Радиоприбор, 1994. – Альбом 1. – 108 с.
2. Щипанов Г.В. Теория й методи проектування регуляторів // Автоматика й тіломеханіка. – 1939. – № 3.
3. Пат. України № 15169А МКИ H03L 3/00. Пристрій фазової автопідстройки частоти / С.М. Макарук, С.А. Макаров. Чинний від 30.06.1997. – Бюл. № 3.
4. Макаров С.А., Качан М.В. Якісні методи опису поведінки системи фазової автопідстройки з колом додаткового зворотного зв'язку // Радіоелектронні та комп'ютерні системи. – 2003. – № 4. – С. 24 – 28.
5. Манасевич В. Синтезатори частот (Теорія й проектування). – М.: Связь, 1979. – 128 с.

Надійшла 01.12.2005

Рецензент: д-р техн. наук професор Г.В. Альошин, Харківський університет Повітряних сил.