

УДК 621.3.072.6

О.М. Чекунова, С.В. Женжера, Б.А. Поліщук

Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## ВАРІАНТ УДОСКОНАЛЕННЯ БОРТОВОЇ РАДІОСТАНЦІЇ МХ-ДМХ ДІАПАЗОНУ ХВИЛЬ ЗА РАХУНОК ВВЕДЕННЯ СИГНАЛІВ ОДНОСМУГОВОЇ МОДУЛЯЦІЇ ТА ШВИДКОДІЮЧОЇ СИСТЕМИ ФАЗОВОГО АВТОПІДСТРОЮВАННЯ ЧАСТОТИ

У роботі запропоновано можливість покращення тактико-технічних характеристик бортовій радіостанції МХ-ДМХ діапазону за рахунок введення сигналів односмугової модуляції та швидкодіючої системи фазового автопідстроювання частоти (ФАПЧ).

**Ключові слова:** система фазового автопідстроювання частоти (ФАПЧ), швидкодія, сигнали односмугової модуляції.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Зростання вимог, які висуваються до систем зв'язку, змушує удосконалювати вказані системи та елементи, які входять до них. Поява нових технологічних можливостей та елементної бази дозволяє знаходити ефективні рішення такої задачі як розробка швидкодіючих систем фазового автопідстроювання частоти. Це обумовлено передусім їх потенційною можливістю забезпечувати рівність частот двох або декількох сигналів, застосуванням для передачі інформації широкосмугових сигналів, реалізацією з високою точністю режиму стеження по частоті одного сигналу за іншим, якісною фільтрацією сигналів на фоні завад тощо.

Стрімке удосконалення приймально-передавальної апаратури бортових радіостанцій весь час потребує підвищення вимог до своїх якісних показників, зокрема до систем ФАПЧ.

Особливість швидкодіючої системи ФАПЧ полягає в тому, що для вирішення поставленої задачі доводиться застосовувати складні, комбіновані та багатоколові структури побудови систем.

Дану задачу запропоновано вирішити зміною принципів побудови системи ФАПЧ введенням динамічно регульованого параметру додаткового зворотного зв'язку за фазою.

**Метою статті** є можливість покращення тактико-технічних характеристик бортовій радіостанції МХ-ДМХ діапазону за рахунок введення сигналів односмугової модуляції та швидкодіючої системи фазового автопідстроювання частоти.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В матеріалах електронних ресурсів [5–6] представлені загальні відомості про системи ФАПЧ, принципи її побудови та роботи. В монографії [1] запропоновано використання систем синтезу і стабілізації частоти із змінною структурою та параметрами елементів, тобто адаптивних систем. В публікації [2] розглянуто класифікацію класів систем ФАПЧ та приклади підвищення їх якісних показників. В роботі [3]

представлено клас нелінійних систем фазового автопідстроювання.

В публікаціях [4; 7] розглянуто математичні моделі швидкодіючих систем ФАПЧ, результати їх імітаційного моделювання. В технічній документації запропоновано принципи побудови бортовій радіостанції МХ-ДМХ діапазону, зокрема приймального пристрою.

### Виклад основного матеріалу

На рис. 1 наведено фрагмент структурної схеми удосконаленого приймального пристрою бортовій радіостанції МХ-ДМХ діапазону. Сигнал від перетворювача проміжної частоти поступає на один з входів 4-го змішувача, а також на фільтр пілот-сигналу (ФПС) на частоті  $1,6 \text{ МГц} \pm \Delta f_{\text{пф}}$ . З ФПС сигнал поступає на 4-й гетеродин, що виробляє сигнал на частоті  $1,6 \text{ МГц} \pm \Delta f_{\text{допл}}$  та надходить на другий вхід ЗМ-4. В ЗМ-4 порівнюються два сигнали. СФ виділяє сигнал зі смугою частот  $0,3 \dots 3,4 \text{ кГц}$ .

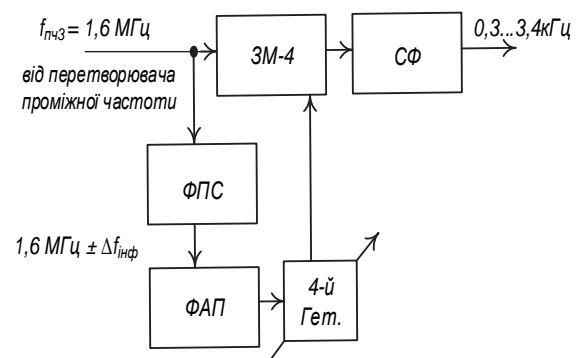


Рис. 1. Фрагмент структурної схеми приймального пристрою

Запропоноване інженерне рішення побудови приймального пристрою бортовій радіостанції дозволить приймати сигнали односмугової модуляції, та підвищити швидкодію системи ФАПЧ за рахунок введення ланцюга додаткового зворотного зв'язку за фазою, управляючий сигнал якої керується регулю-

ваним підсилювачем. Функціональна схема даної системи ФАПЧ представлена на рис. 2.

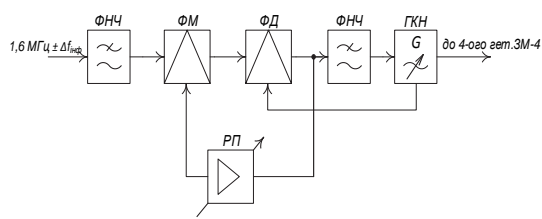


Рис. 2. Функціональна схема швидкодіючої системи ФАПЧ

Робота системи полягає в наступному. З ФПС сигнал на частоті  $1,6 \text{ МГц} \pm \Delta f_{\text{инф}}$  подається через ФМ на ФД. Високочастотна напруга з ГКН надходить на другий вхід ФД, де відбувається порівняння частоти зовнішнього сигналу з частотою вихідного сигналу ГКН. Вихідна напруга ФД надходить безпосередньо на вхід РП, коефіцієнт підсилення якого регулюється за сигналом з виходу ФД по обраному закону, при цьому в режимі стеження обирається мінімальне значення коефіцієнту підсилення РП, яке дозволяє зсунути фазу сигналу ГКН на мінімальне значення на виході ФМ, та через ФНЧ на вхід управління частотою ГКН, змінюючи його вихідну частоту пропорційно величині і полярності своєї напруги. Вихідна напруга РП подається на другий вхід ФМ, на виході якого отримується деякий зсув фази.

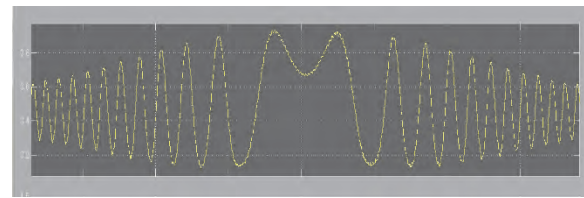
Під впливом керованої напруги ФД на виході ГКН підтримується коливання з частотою, рівною деякому встановленому номінальному значенню.

В перехідному режимі, при появі розстройки в системі, на виході ФД з'являється змінна напруга з частотою биттів. За рахунок наявності зворотного зв'язку на виході ФД з'являється постійна напруга, величина якої пропорційна коефіцієнту підсилення РП, а знак – пропорційний знаку розстройки. В системі відбувається процес захоплення по частоті.

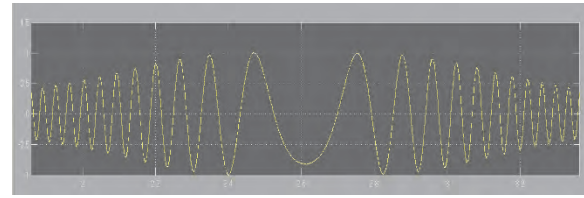
В момент захоплення частоти, на виході ФД з'являється постійна напруга, величина і полярність якої пропорційні різниці фаз коливань, що надходять. Після захоплення частоти величина зсуву фази між вхідним опорним сигналом і сигналом ГКН конвертується в ФД в постійну напругу зміщення, фільтрується, а потім надходить назад до ГКН, де підтримує процес слідування за частотою (режим синхронізму).

Найбільш ефективним способом дослідження основних властивостей швидкодіючих систем ФАПЧ є імітаційне моделювання.

Результати моделювання. Часові діаграми вихідного сигналу ФД класичної та проектуємої системи ФАПЧ при пилоподібній зміні частоти вхідного сигналу, яка ілюструє режими: биття, захоплення, утримання і зриву синхронізму, представлена на рис. 3.



а



б

Рис. 3. Часова діаграма вихідного сигналу ФД:

а – класичної системи ФАПЧ;

б – проектуємої системи ФАПЧ

Була досліджена імітаційна модель швидкодіючої системи ФАПЧ приймального пристрою бортової радіостанції МХ-ДМХ діапазону з використанням ФМ.

Залежність смуги захоплення класичної та проектуємої системи ФАПЧ від смуги пропускання ФНЧ при початковій різниці фаз ГКН і генератору вхідного сигналу  $-\pi/2$  наведено на рис. 4.

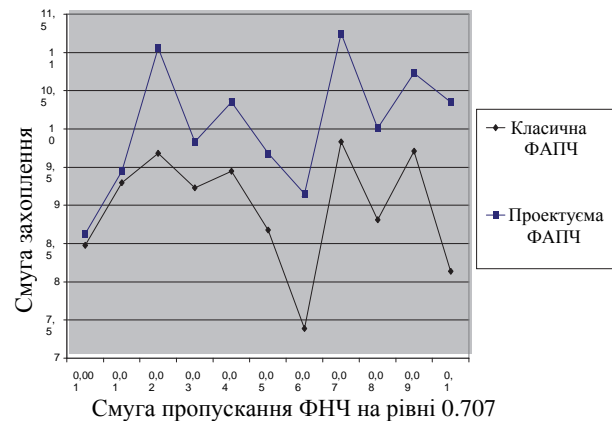


Рис. 4. Залежність смуги захоплення системи ФАПЧ від смуги пропускання ФНЧ при початковій різниці фаз  $-\pi/2$

Залежність смуги захоплення класичної та проектуємої систем ФАПЧ від смуги пропускання ФНЧ при початковій різниці фаз  $-\pi/4$  наведено на рис. 5 та при початковій різниці фаз 0 рад зображено на рис. 6.

Аналіз результатів моделювання свідчить, що смуга захоплення проектуємої системи ФАПЧ приймального пристрою бортової радіостанції МХ-ДМХ діапазону може бути збільшена до 30 % в залежності від початкової різниці фаз генератору вхідного сигналу і генератору керованої напругою та смуги пропускання фільтру ФНЧ основного кола системи ФАПЧ у порівнянні з класичними системами.

ми ФАПЧ, що свідчить про підвищення швидкодії системи ФАПЧ в цілому.

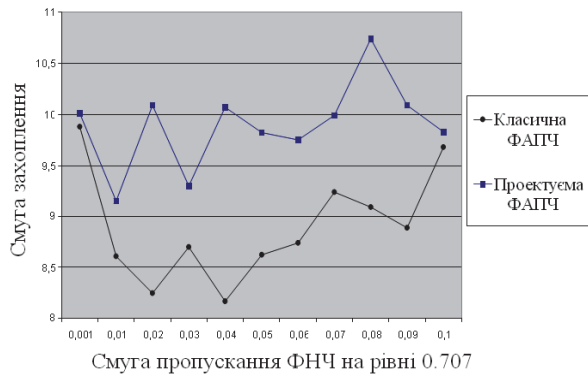


Рис. 5. Залежність смуги захоплення системи ФАПЧ від смуги пропускання ФНЧ при початковій різниці фаз  $-\pi/4$

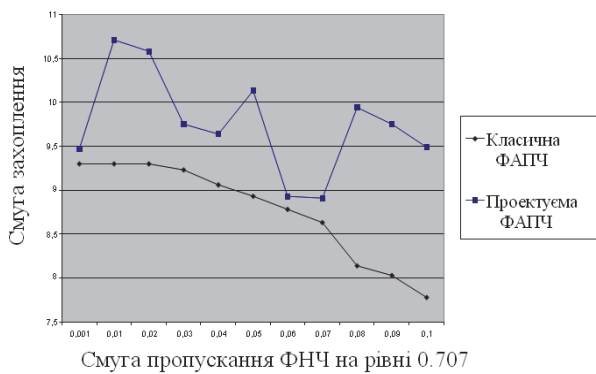


Рис. 6. Залежність смуги захоплення системи ФАПЧ від смуги пропускання ФНЧ при початковій різниці фаз 0

### Висновки

В даній статті запропоновані пропозиції щодо удосконалення приймального пристрою бортової радіостанції МХ-ДМХ діапазону, у якому застосована швидкодіюча система фазового автопідстроювання частоти, що дозволило покращити технічні

характеристики як самого приймача, так і радіостанції в цілому. Надало можливість радіостанції більш широкого використання для забезпечення оперативного обміну інформацією за рахунок використання сигналів односмугової модуляції.

Оцінка результатів моделювання показує, що смуга захоплення проектуємої системи ФАПЧ приймального пристрою бортової радіостанції МХ-ДМХ діапазону хвиль збільшується від 5 % до 30 % в залежності від початкової різниці фаз ГКН і генератору вхідного сигналу (смуги пропускання фільтру ФНЧ основного кола системи ФАПЧ), в порівнянні з класичними системами ФАПЧ.

### Список літератури

1. Романов С.К. Системы импульсно-фазовой автоподстройки в устройствах синтеза и стабилизации частот / С.К. Романов, Н.М. Тихомиров, А.В. Леньшин. – М.: Радио и связь, 2010. – 327 с.
2. Стеклов В.К. Комбинированные системы ФАП / В.К. Стеклов, А.А. Руденко, А.К. Юдин. – К: Техніка, 2004. – 327 с.
3. Стеклов В.К. Анализ нелинейных систем фазовой автоподстройки / В.К. Стеклов, В.В. Мирошников. – К: Зв'язок, 2005. – № 1. – С. 60-63.
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. Загальні відомості про системи ФАПЧ [Електронний ресурс]: – Режим доступу: <http://www.cqham.ua/>.
6. Функціональні схеми ФАПЧ. [Електронний ресурс]: – Режим доступу: <http://www.chipinfo.ua/>.
7. Зайцев Г.Ф. Система фазової автопідстройки частоти з зворотним зв'язком. Математична модель системи з зворотним зв'язком / Г.Ф. Зайцев, В.Л. Болгач, А.П. Полоневич // Зв'язок. – 2013. – № 1. – С. 68-74.

Надійшла до редколегії 15.06.2017

Рецензент: канд. техн. наук доц. С.А. Макаров, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

## ВАРИАНТ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ БОРТОВОЙ РАДИОСТАНЦИИ МХ-ДМХ ДИАПАЗОНА ВОЛН ЗА СЧЕТ ВВЕДЕНИЯ СИГНАЛОВ ОДНОПОЛОСОВОЙ МОДУЛЯЦИИ И БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ФАЗОВОЙ АУТОПОДСТРОЙКИ ЧАСТОТЫ

О.М. Чекунова, С.В. Женжера, Б.А. Полищук

В работе предложена возможность улучшения тактико-технических характеристик бортовой радиостанции МХ-ДМХ диапазона за счет введения сигналов однополосовой модуляции и быстродействующей системы фазового автоподстраивания частоты (ФАПЧ).

**Ключевые слова:** система фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ), быстродействие, сигналы однополосовой модуляции.

## A VARIANT OF IMPROVEMENT OF THE MX-DMX RADIOSTATION RANGE IN THE WAVE RANGE FOR THE ACCOUNT OF INTRODUCING SIGNALS OF A SINGLE-BAND MODULATION AND A QUICK FREQUENCY SYSTEM OF PHASE FREQUENCY AUTO CONSTRUCTION

O. Chekunova, S. Zhenzhera, B. Polishchuk

The possibility of improving the tactical and technical characteristics of the on-board radio station of the MX-DMX range by introducing single-band modulation signals and a high-speed phase-locked loop (PLL) system is proposed.

**Keywords:** phase-locked loop (PLL), speed, single-band modulation signals.