

УДК 621.373(045)

¹О.Г. Водчиць, канд. техн. наук
²В.П. Ясинецький, канд. військ. наук
³Р.В. Бойко, канд. техн. наук

ПІДВИЩЕННЯ ЗАВАДОЗАХИЩЕНОСТІ РАДІОЗВ'ЯЗКУ

^{1,3}Факультет військової підготовки, НАУ, e-mail: fvp@nau.edu.ua
²Кафедра ремонту та експлуатації бойових авіаційних комплексів і радіотехнічного забезпечення польотів авіації, НАУ

Розглянуто деякі аспекти щодо підвищення заводозахищеності систем радіозв'язку. Розроблено рекомендації щодо підвищення швидкодії синтезаторів частот шляхом удосконалення системи фазового автоматичного підстроювання частоти.

Вступ

Процес функціонування систем радіозв'язку в умовах радіоелектронної протидії за своєю фізичною сутністю є радіоелектронним конфліктом, де, з одного боку, бере участь система радіозв'язку, а з іншого – система радіоелектронної боротьби.

Проблема підвищення заводозахищеності військових систем радіозв'язку є досить важливою, насамперед, за умов постійного вдосконалення систем радіоелектронної боротьби.

Радіоелектроніка сьогодні зазнає постійних змін, які пов'язані з появою нових напрямів її розвитку:

- упровадження мікропроцесорної техніки;
- нові принципи побудови радіотехнічних систем;
- удосконалення елементної бази.

Крім того, постійно зростають вимоги щодо засобів радіозв'язку відносно їх заводозахищеності.

Усе це, в свою чергу, вимагає пошуку нових напрямів удосконалення як засобів радіозв'язку в цілому, так і пристроїв та вузлів, які належать до їх складу.

Одним із головних пристроїв у засобах радіозв'язку є прийнятно-передавальний пристрій, основу якого складає синтезатор частот.

Важливою характеристикою синтезатора частот, від якої значною мірою залежить заводозахищеність засобів радіозв'язку, є час його перестройки з однієї частоти на іншу, тобто швидкодія синтезатора частот.

Постановка завдання

Аналіз існуючих синтезаторів частот показує, що зменшення часу перестройки з однієї частоти на іншу можливе тільки у разі зміни принципів їх побудови, точніше, зміни структури системи фазового автоматичного підстроювання частоти (ФАПЧ), яка є основою синтезатора частот.

Для розгляду можливої зміни структури системи ФАПЧ за основу було обрано синтезатор частот, який має найменший час перестройки та дискретність сітки частот (рис. 1).

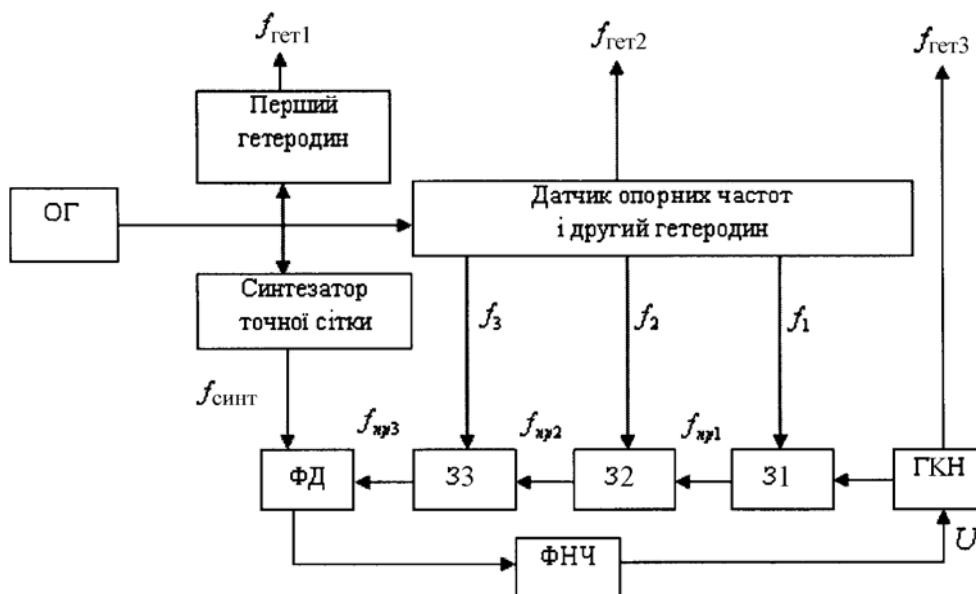


Рис. 1. Структурна схема синтезатора частот:

$f_{\text{гет}}$ – частота гетеродина; $f_{\text{нр}}$ – проміжна частота; $f_{\text{синт}}$ – частота синтезатора;
 ОГ – опорний генератор; З – змішувач частоти

Цей синтезатор частот побудований за методом непрямого синтезу з колом ФАПЧ генератора, що керується напругою (ГКН). Джерелом частот порівняння для кола ФАПЧ є синтезатор точної сітки.

Розв'язок

В основу вдосконалення системи ФАПЧ базового синтезатора частот покладено принцип компенсації збурень [1].

Указаний принцип стосовно систем ФАПЧ передбачає введення додаткових зворотних зв'язків за фазою вхідного, вихідного або обох сигналів [2; 3].

Новим є введення в систему ФАПЧ кіл зворотного зв'язку за фазою з динамічно регульованою крутизною модуляційної характеристики фазового модулятора (ФМ). Динамічне регулювання параметрів кола зворотного зв'язку за фазою на ділянці перехідного процесу дозволить значно скоротити час входження в синхронізм, а в стаціонарному режимі забезпечити задану точність і завадостійкість.

На рис. 2 зображено розроблену структурну схему системи ФАПЧ з колами додаткового зворотного зв'язку.

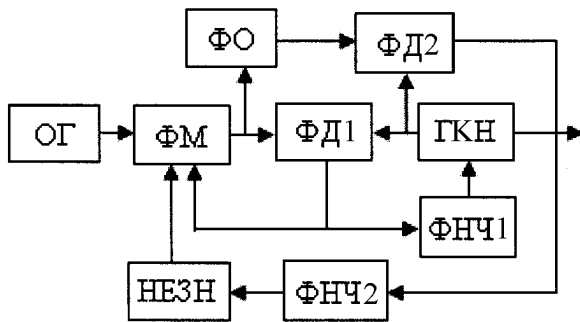


Рис. 2. Система ФАПЧ з колами додаткового зворотного зв'язку:
ФО – фазообертач на $\pi/2$

На відміну від відомих систем ФАПЧ запропонована система ФАПЧ містить фазовий детектор з динамічно регульованим зворотним зв'язком (ФДДРЗС).

У ФДДРЗС, крім основного фазового детектора ФД1, уведено ФМ і систему динамічного регулювання крутизни модуляційної характеристики ФМ в колі негативного зворотного зв'язку за фазою, яка побудована на основі квадратурного каналу та використання нелінійного елемента з зоною нечутливості НЕЗН. Причому постійна часу другого фільтра нижніх частот ФНЧ2 перевищує часову сталу ФНЧ1.

Створення процесу динамічного регулювання крутизни модуляційної характеристики ФМ дозволило принципово змінити характер перехідних процесів і властивості системи ФАПЧ.

Особливістю НЕЗН є те, що при малих постійних напругах на його вході вихідна напруга дорівнює нулю і зміни крутизни ФМ фактично не відбувається.

При малих розстройках за частотою, коли постійна напруга на виході ФНЧ2 перевищить деякий пороговий рівень у НЕЗН, на виході останнього появиться постійна напруга. Ця напруга, плавно зростаючи, приведе до зменшення крутизни модуляційної характеристики ФМ1 за керуючим входом. Це, у свою чергу, еквівалентно збільшенню крутизни характеристики основного фазового детектора ФД1.

Таким чином, у процесі підстроювання за фазою відбувається збільшення еквівалентного коефіцієнта підсилення в колі ФАПЧ, яке утворено елементами ФД1, ФНЧ1 і ГКН.

Отже, загальний час перестройки в пристрої знижується за рахунок зменшення крутизни модуляційної характеристики фазового модулятора. Час входження в синхронізм дорівнює:

$$t_c = t_{z,ч} + t_{z,ф},$$

де t_c – час входження в синхронізм; $t_{z,ч}$ – час захоплення за частотою; $t_{z,ф}$ – час захоплення за фазою.

У цій системі ФАПЧ час захоплення за частотою $t'_{z,ч}$ дорівнює часу $t_{z,ч}$ системи ФАПЧ. Час захоплення за фазою визначають за виразом [3]:

$$t_{z,ф} = (2 / K_D K_{ГКН} \cos \xi_{п.ст}) \ln(2 / \gamma_3),$$

де K_D – передавальний коефіцієнт ФД; $K_{ГКН}$ – передавальний коефіцієнт ГКН; $\xi_{п.ст}$ – стале значення фазової помилки спостереження; γ_3 – задане відхилення фазової помилки спостереження за час $t_{z,ф}$.

Час захоплення за фазою для даної системи ФАПЧ (рис. 2) дорівнює:

$$t_{z,ф} = \left(2 / \frac{K_D K_{ГКН}}{1 + K_D S_{ФМ}} \cos \xi_{п.ст} \right) \ln(2 / \gamma_3),$$

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

Зміна $S_{ФМ}$ від S_{max} до S_{min} приведе до зменшення часу захоплення за фазою в $1 + K_D(S_{max} - S_{min})$ раз порівняно з системою ФАПЧ синтезатора, показаного на рис. 1. Недоліком цього пристрою є великий час пошуку за частотою і мала смуга захоплення за фазою. Цей недолік усувається в системі ФАПЧ, показаній на рис. 3. Ефективність системи ФАПЧ у більшості випадків визначається ФМ. До основних параметрів якості ФМ належать його динамічний діапазон (ДД) і лінійність модуляційної характеристики, а також можливість регулювання крутизни модуляційної характеристики.

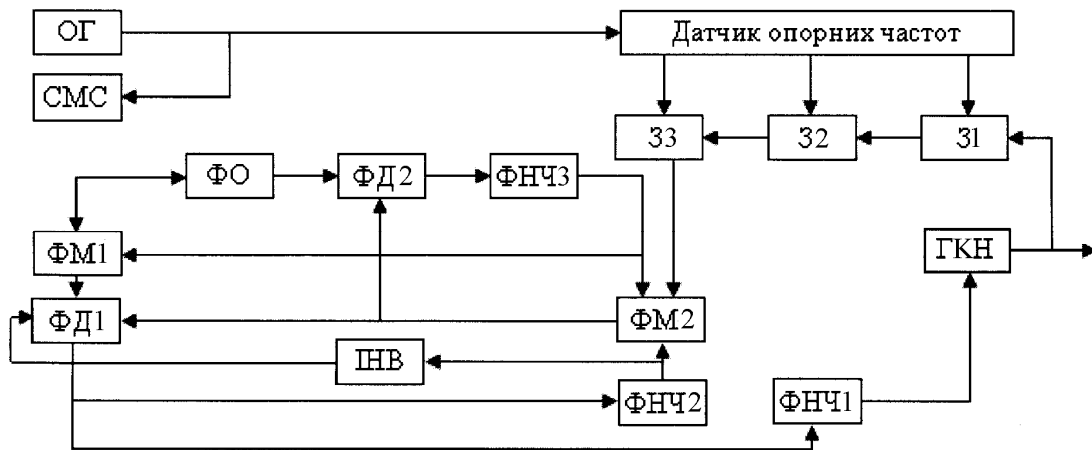


Рис. 3. Удосконалена схема системи ФАПЧ:
ИНВ–інвертор

Особливістю схеми (рис. 3) є те, що максимальні зміни за фазою, які вносяться ФМ, визначаються його ДД:

$$\psi = K_d S_{\text{ФМ}}.$$

Такий варіант побудови системи ФАПЧ дозволить підвищити її ефективність за рахунок розширення ДД еквівалентного ФМ, у якого $\psi' = 2\psi$. Це дозволить збільшити максимальну швидкість пошуку, яка в базовій системі ФАПЧ не більше 0,61 від максимальної швидкості захоплення, а якщо ДД ФМ $\psi = \pi/2$, у системі ФАПЧ з ФМ вона наблизиться до 0,95 і зростатиме зі збільшенням ψ . При цьому смуга захоплення системи ФАПЧ збільшується зі зростанням ψ .

Висновок

Застосування розглянутих систем ФАПЧ у сучасних синтезаторах частот дозволить зменшити час їх перестройки з однієї частоти на іншу, а через динамічне регулювання параметрів додат-

кового кола зворотного зв'язку за фазою можна зменшити час пошуку за частотою і входження в синхронізм системи ФАПЧ. Це дозволить істотно підвищити завадозахищеність систем радіозв'язку. Подальше підвищення завадозахищеності систем радіозв'язку може бути досягнуто за рахунок удосконалення синтезатора точної сітки.

Література

1. Шипанов Г.В. Теория и методы проектирования регуляторов // Автоматика и телемеханика. – 1993. – № 3. – С. 28–34.
2. Макаров С.А., Качан М.В. Якісні методи опису поведінки системи фазової автопідстройки з колом додаткового зворотного зв'язку // Радіоелектронні та комп'ютерні системи: Наук. техн. журн. – 2003. – № 4. – С. 45–49.
3. Манасевич В.В. Синтезаторы частот: Теория и проектирование. – М.: Связь, 1979. – 232 с.

Стаття надійшла до редакції 23.06.05.

А.Г. Водчиц, В.П. Ясинецкий, Р.В. Бойко
Повышение помехозащищенности радиосвязи

Рассмотрены некоторые аспекты повышения помехозащищенности радиосвязи. Разработаны рекомендации по увеличению быстродействия синтезаторов частот путем усовершенствования системы фазовой автоматической подстройки частоты.

O.G. Vodchyts, V.P. Yasinecky, R.V. Boiko
Increase of noise immunity of a radio communication

Some aspects of increase of noise immunity of radio communication systems are considered. Recommendations on increase in speed of synthesizers of frequencies are developed, by improvement of system of phase frequency trim.