

# Експериментальне дослідження аналогово-імпульсного пристрою фазової синхронізації з астатизмом першого та другого порядку

Олександр Борсук

Кафедра теоретичної радіотехніки та радіовимірювання, кафедра радіоелектронних пристроїв та систем,  
Національний університет "Львівська політехніка", УКРАЇНА, м.Львів, вул.С.Бандери, 12, E-mail: hawkroot@mail.ru

**Abstract – The results of experimental research of impulse-analog phase lock loop with astaticism 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> order are given in this paper.**

Ключові слова – phase lock loop, astaticism, impulse-analog.

## I. Вступ

Пристрій фазового автопідстроювання частоти (ФАПЧ) – це автоматична система керування другого класу, тобто система автоматичного регулювання, частота настройки якої визначається частотою керуючого сигналу, а сигнал похибки визначає різницю між фазами керуючого сигналу і керованого сигналу зворотного зв'язку.

ФАПЧ володіє властивостями фільтрації і поводить себе як стежний поліноміальний фільтр. ФАПЧ є пристрій з багатофункціональними можливостями і використовується в різних галузях радіоелектроніки. Математичною моделлю ФАПЧ є динамічна система складних нелінійних диференціальних рівнянь які не завжди мають аналітичний розв'язок. Тому в більшості випадків для аналізу та синтезу пристрою використовують наближені методи розв'язку. Такий підхід впливає на точність аналізу ФАПЧ, яка залежить від типу сигналу, чи зміни сигналу на вході, а також від порядку астатизму.

В доповіді приводиться синтез аналогово-імпульсного пристрою фазової синхронізації з астатизмом I та II порядку, а також результати проведених експериментальних досліджень.

## II. Основна частина

Для реалізації аналогово-імпульсного пристрою ФАПЧ використана класична структура, зображена на рис.1.

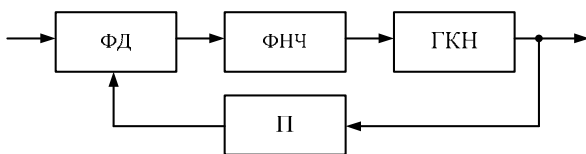


Рис. 1. Структурна схема пристрою ФАПЧ (ФД - фазовий детектор, ФНЧ - фільтр нижніх частот, ГКН - генератор керований напругою, П - подільник частоти)

Схема пристрою спроектована на аналогових та дискретних елементах. Використана мікросхема ФАПЧ МС14046ВСР. Подільник частоти побудований на лічильниках. Фільтр складається з пасивного фільтра нижніх частот та активного на операційному підсилювачі.

З врахуванням параметрів комплектуючих елементів було розраховано сімейство логарифмічних амплітудно-частотних характеристик (ЛАЧХ) рис.2, з використанням яких була проведена корекція динамічних властивостей пристрою. На основі ЛАЧХ було побудовано кола з послідовною та паралельною корекцією та введений другий інтегратор.

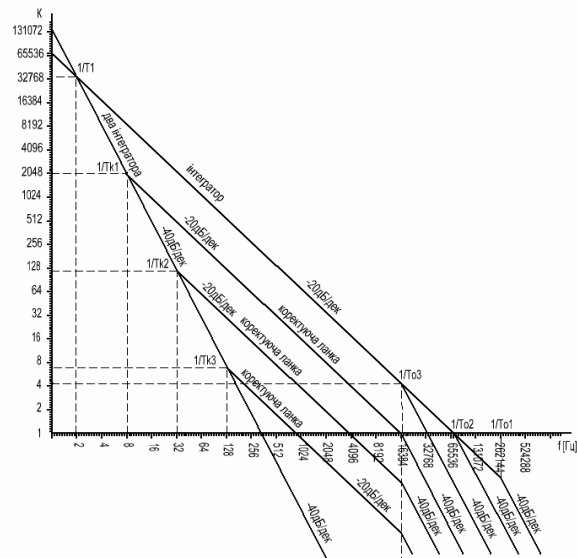


Рис. 2. Сімейство логарифмічних амплітудно-частотних характеристик

Структурні схеми пристрою ФАПЧ з введенням ланок корекції отримали такий вигляд, на рис.3:

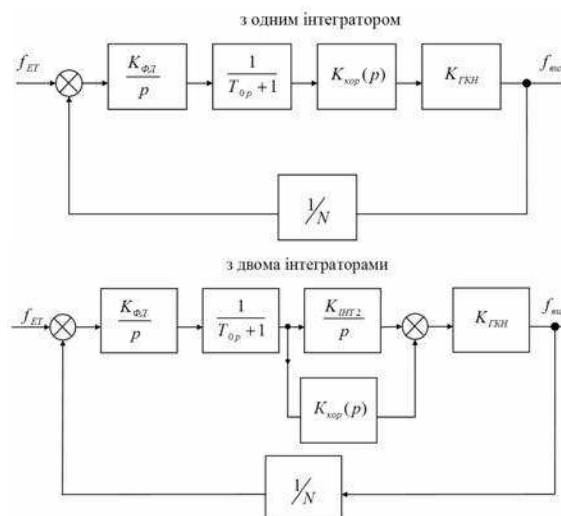


Рис. 3. Структурні схеми пристрою ФАПЧ з введенням ланок корекції

Фільтри нижніх частот були реалізовані на операційному підсилювачі, а також було введено додатково суматор, принципова схема ФНЧ зображена на рис.4.

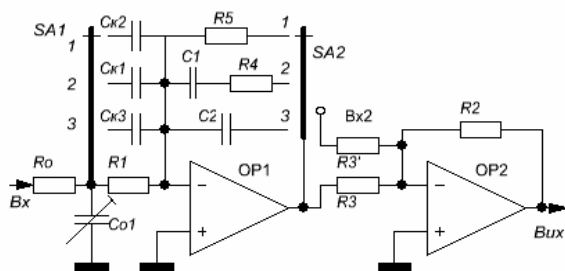


Рис. 4. Принципова схема ФНЧ і додаткового суматора

Рівняння послідовного коректуючого кола (1) та паралельного коректуючого кола (2) для астатизму першого та другого порядку відповідно, мають наступний вигляд:

$$K_{кор}(p) = \frac{T_{km} + 1}{T_1 + 1}, \quad (1)$$

$$K_{кор}(p) = \frac{(T_{km} + 1)K_{инт2}}{p}, \quad (2)$$

де  $m = 1, 2, 3$ .

Використання характеристичних рівнянь (3) та (4) динамічної системи з астатизмом першого та другого порядку відповідно, дало можливість розрахувати перехідні процеси у пристрої ФАПЧ, вигляд яких представлений на рис.5.

Ці криві показують процес встановлення фази в залежності від демпферуючого параметру системи  $\xi$ , котрий часто в літературі називають вгамівністю.

Одержані криві показують реакцію фази вихідного сигналу системи на одиничний стрибок на вході.

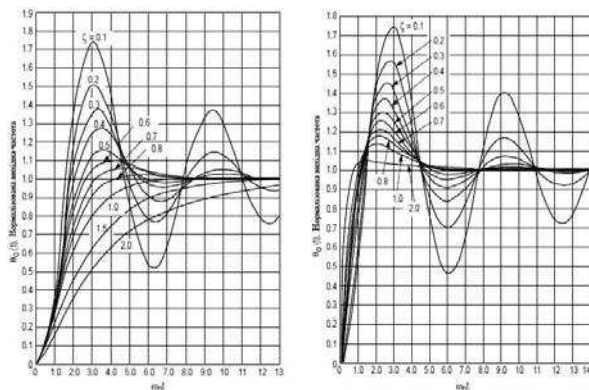


Рис. 5. Перехідні характеристики пристрою ФАПЧ з астатизмом першого та другого порядку, відповідно

Зміна вихідної частоти як функція в часі на сигнал, котрий змінюється з постійною швидкістю на вході характеризується такими ж самими кривими.

Значення перерегулювання та коливальності процесу як функція демпферування (величина  $\xi$ ) можна визначити відповідного графіка. Кожна з наведених залежностей зображена як функція у нормованому часі  $\omega_{\Pi} t$ . Для відповідних значень вгамівності  $\xi$  і

часу регулювання  $t$  частота  $\omega_{\Pi}$  можна визначити істинні значення параметрів.

$$1 + \frac{K_{ФД}}{p} \cdot \frac{1}{RC_p + 1} \cdot K_{ГКН} \cdot \frac{1}{N} = 0, \quad (3)$$

$$1 + \frac{K_{ФД}}{p} \cdot \frac{R_2 C_p + 1}{2R_1 C} \cdot K_{ГКН} \cdot \frac{1}{N} = 0 \quad (4)$$

Підбором параметрів вдалося добитися скорочення тривалості перехідного процесу та зменшення перерегулювання.

Результати теоретичних розрахунків фазової похибки показали, що, в залежності від виду вхідного сигналу та від порядку астатизму залежить точність роботи імпульсного пристрою ФАПЧ.

Якщо це позиційний сигнал типу одинична сходинка то не залежно від порядку астатизму похибка буде рівна нулеві.

Якщо це буде сигнал з постійною швидкістю то похибка виникне тільки при першому порядку астатизму і набуде тільки конкретного значення яке буде залежати від величини швидкості зміни сигналу та добротності пристрою. Для всіх інших порядків астатизму похибка рівна нулеві.

Якщо це буде сигнал із постійним прискоренням то при першому порядку астатизму похибка буде рівна нескінченності, а при другому набуде тільки конкретного значення яка залежатиме від величини прискорення а також від добротності пристрою за прискоренням зміни вхідного сигналу. Результати наведені в таблиці 1.

ТАБЛИЦЯ 1

Тип сигналу	Порядок астатизму		
	перший	другий	третій
Позиційний	нуль	нуль	нуль
Постійна швидкість	константа	нуль	нуль
Постійне прискорення	$\infty$	константа	нуль

Експериментальні дослідження показали відповідність вимірної фазової похибки до теоретичних розрахунків.

## Висновок

Астатизм другого порядку, реалізований у аналогово-імпульсному ФАПЧ, покращив точність роботи пристрою через зменшення, а навіть в деяких випадках ліквідацією фазової похибки стеження. Крім того це забезпечило більшу завадостійкість пристрою, до впливу різного роду шумів. Але астатизм другого порядку дещо погіршив динамічні властивості пристрою, оскільки час входження в режим синхронізму став більшим.

## References

- [1] Шахильдян В.В. Системы фазовой автоподстройки частоты / В.В. Шахильдян, А.А. Ляховкин. – М.: Связь, 1972. – 447 с.
- [2] Бесекерский В.А. Теория систем автоматического управления / В.А. Бесекерский, Е.П. Попов. – Санкт-Петербург: Профессия, 2003. – 751 с.