

## МОДИФІКОВАНИЙ СТЕЖНИЙ ПРИСТРІЙ ТРАЄКТОРНИХ ВИМІРЮВАНЬ

Д. т. н. А. П. Бондарєв<sup>1</sup>, к. т. н. Ю. І. Бударецький<sup>2</sup>, М. Я. Олійник<sup>2</sup>

Національний університет «Львівська політехніка»<sup>1</sup>,  
Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного<sup>2</sup>  
Україна, м. Львів  
bondar@ukr.net, kombat26abr@gmail.com

*Запропоновано структурну схему практичної реалізації модифікованого стежного пристрою траєкторних вимірювань. Наведено результати його імітаційного моделювання у порівнянні з класичним вимірювачем, визначено діапазон захоплення і супроводу частоти вхідного сигналу та похибки її вимірювання в широкому діапазоні зміни енергетичного потенціалу.*

*Ключові слова: стежний вимірювач, захоплення та супровід частоти, похибки вимірювання частоти.*

Завдання виявлення і супроводу високодинамічних цілей обумовлює використання стежних вимірювачів на базі пристроїв фазового автопідстроювання частоти. Основним критерієм оптимізації таких пристроїв є мінімізація фазової похибки стеження, чому присвячено роботи [1, 2]. Головною суперечністю у проектуванні стежних вимірювачів є вибір еквівалентної шумової смуги для широкого діапазону супроводу та короткого часу захоплення. Збільшення цієї смуги зменшує динамічну похибку, але збільшує її флуктуаційну складову. Крім того, класичний метод оптимізації передбачає апріорне визначення енергетичного потенціалу. Але у реальних ситуаціях цей показник динамічно змінюється. Авторами [3] технологічне протиріччя було розв'язано шляхом структурної оптимізації стежного вимірювача. У модифікованому варіанті в класичну схему стежного вимірювача перед фазовим детектором було включено вузькосмуговий фільтр, а після фазового детектора — активний фільтр верхніх частот [4, 5].

Метою цієї роботи є дослідження модифікованого стежного пристрою траєкторних вимірювань за допомогою імітаційного моделювання на ЕОМ.

За тестову модель вхідного процесу стежного пристрою було прийнято доплерівський зсув частоти сигналу, що відбивається від повітряної цілі, яка наближається та віддаляється від спостережного пункту (рух по колу з постійною швидкістю), і це приводить до доплерівського зсуву частоти від плюс 40 кГц до мінус 40 кГц. При цьому на тестовій траєкторії віддаль до цілі змінюється від 80 до 70 км, що відповідає зміні енергетичного потенціалу від 12 до 7 кГц (рис. 1).

Задані умови визначають дуже складну цілефонову обстановку, яка формує вхідний процес  $S_{вх}$  стежного вимірювача.

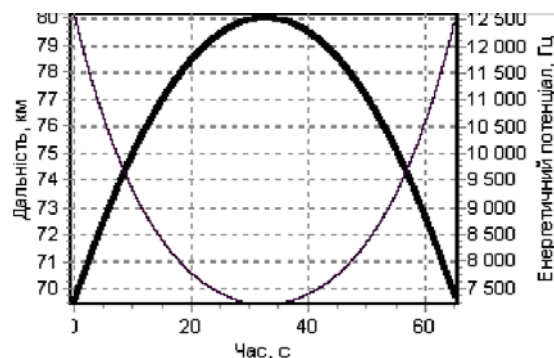


Рис. 1. Модель параметрів цілі та сигнальної суміші на тестовій траєкторії

На рис. 2 наведено модифікований варіант структурної схеми стежного вимірювача, який пропонується для вимірювання швидкості цілі на підставі оцінки доплерівської частоти, а на рис. 3 — результати його моделювання у порівнянні з класичною схемою.

Наведені на рис. 3, а дані показують, що класична система ФАПЧ схоплює сигнал на 26 с і супроводжує його до 50 с із розузгодженням від плюс 8 кГц до мінус 22 кГц.

З результатів моделювання, що наведені на рис. 3, б, видно, що модифікований пристрій схоплює сигнал вже на 3 с і має смугу захоплення від плюс 38 кГц та смугу утримання від плюс 38 кГц до мінус 39,9 кГц.

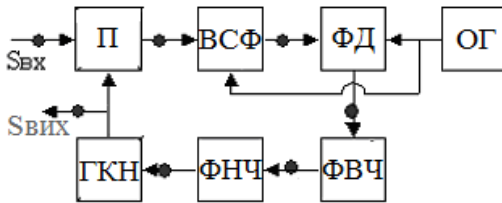


Рис. 2. Структурна схема модифікованого стежного вимірювача: П — перемножувач; ВСФ — вузькосмуговий фільтр; ФД — фазовий детектор; ОГ — опорний генератор; ГКН — генератор, що керується напругою; ФНЧ — фільтр нижніх частот; ФВЧ — активний фільтр верхніх частот

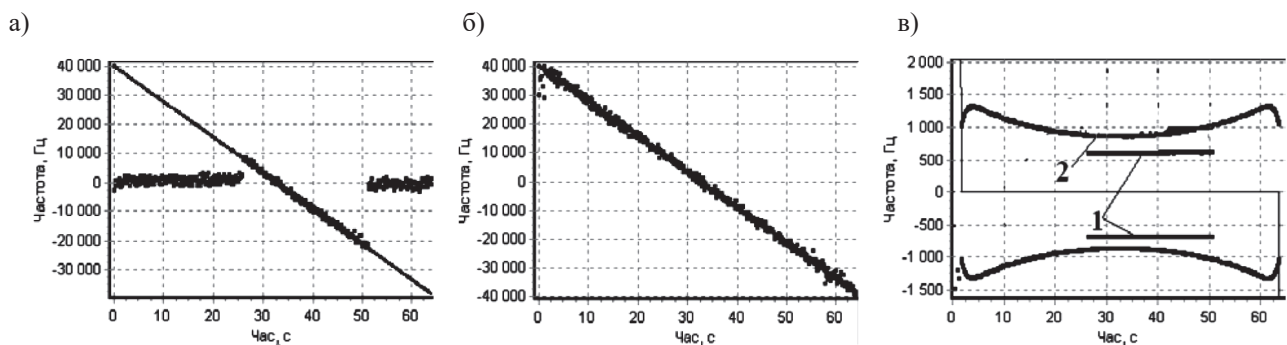


Рис. 3. Результати моделювання класичного (а) та модифікованого (б) вимірювачів та порівняння похибок вимірювання частоти (в)

На рис. 3, в у збільшеному масштабі наведено похибки вимірювання зсуву доплерівської частоти сигналу, що відбивається від цілі. Результати моделювання показують, що класичний пристрій дає меншу похибку вимірювання доплерівської частоти цілі, але у значно звуженому діапазоні стеження. Натомість модифікований пристрій із дещо збільшеною частотною похибкою забезпечує стеження практично у всьому заданому діапазоні доплерівських частот. Порівняльний аналіз класичного та модифікованого стежних вимірювальних пристроїв показав збільшення смуги захоплення та утримання модифікованого пристрою у 2,5 раза відносно класичного за одночасного збільшення похибки стеження на 20%.

#### ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Шахгильдян В.В., Ляховкин А.А. *Системы фазовой автоподстройки частоты*. Москва, Связь, 1972.
2. Тихонов В.И., Миронов М.А. *Марковские процессы*. Москва, Сов. радио, 1977, 488 с.
3. Бондарев А.П., Мартинів М.С. *Пристрій фазової автопідстройки частоти*. Патент України на винахід № 66435, бюл. № 5, 2004.
4. Bondariev A., Altunin S., Horbatyi I., Maksymiv I. Firmware implementation and experimental research of the phase-locked loop with improved noise immunity. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2018, № 5/9 (95), p. 17–25.
5. Бондарев А.П., Мартинів М.С. Порівняльне імітаційне моделювання пристроїв слідкування за несучою радіолокаційного сигналу. *Моделювання та інформаційні технології*, 2006, вип. 35, с. 85–90.

A. P. Bondariev, Yu. I. Budaretskyi, M. Ya. Oliinyk

#### Modified tracking device for trajectory measurements

The authors propose a structural scheme of a practical realization of the modified tracking device for trajectory measurements. The paper presents the simulation results of the device in comparison with the classical meter. The range of capture and tracking of the input signal frequency, as well as the error of its measurement in a wide range of energy potential changes are defined.

Keywords: tracking meter, frequency capture and tracking, frequency measurement errors.