

## АПАРАТНЕ ПІДВИЩЕННЯ ЗАВАДОСТІЙКОСТІ ПРИЙМАННЯ ГРУПОВОГО МОВНОГО СИГНАЛУ

*Шляхом комп'ютерного моделювання показана можливість підвищення завадостійкості приймання сигналу, модульованого груповим мовним повідомленням.*

*The possibility of increasing of the noise immunity of receiving of the signals, modulated by group voice message, is showed by computer simulation.*

### 1. ВСТУП

Радіосигнали із кутовою модуляцією груповим мовним повідомленням широко застосовують у радіорелейних лініях тропосферного зв'язку цивільного та спеціального призначення [1, 2]. Основною проблемою застосування таких ліній є висока нестабільність енергетичних співвідношень в точці приймання, яка вимагає дуже великої потужності передавача надвисокочастотного електромагнітного випромінювання для забезпечення у точці приймання відношення сигнал-шум (ВСШ), достатнього для надійного розпізнавання інформації. Але збільшення потужності передавальних пристроїв станцій тропосферного зв'язку не може бути застосовано для густонаселених територій земної кулі, оскільки їх випромінювання є шкідливим для здоров'я людини.

Питання зменшення необхідного ВСШ приймача, а відтак і необхідної потужності передавача, вирішувалось у працях [3, 4, 5, 6], шляхом застосування у приймачі синхронного фазового детектора (СФД) на основі фазового автопідстроювання частоти (ФАПЧ) замість класичного частотного детектора (ЧД). З іншого боку, у роботі [7] запропонований модифікований СФД, для якого у працях [8, 9, 10] показана можливість значного підвищення завадостійкості у часткових випадках застосування простих видів кутової модуляції.

Метою цієї статті є показати можливість значного підвищення завадостійкості приймання сигналу з кутовою модуляцією груповим мовним повідомленням шляхом моделювання проходження такого сигналу через модифікований синхронний фазовий демодулятор.

---

<sup>1</sup> Національний університет "Львівська політехніка"

## 2. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Спектр групового модульовального сигналу має вигляд, поданий на рис. 1, і складається зі спектрів парціальних каналів, які розташовані по осі частот один біля одного на відстані захисного інтервалу в діапазоні від 0,3 до 32 кГц. Кожен з каналів має стандартну для каналів мовної інформації смугу пропускання яка лежить в межах від 0,3 кГц до 3,4 кГц і працює у чотирьохпроводному режимі зі стандартними рівнями приймання і передавання. Службовий канал (СК) має безпосереднє включення в лінійний спектр групового каналу, а решта є продуктами перенесення стандартного мовного каналу 0,3..3,4 кГц вгору по частоті шляхом декількох етапів перетворень.

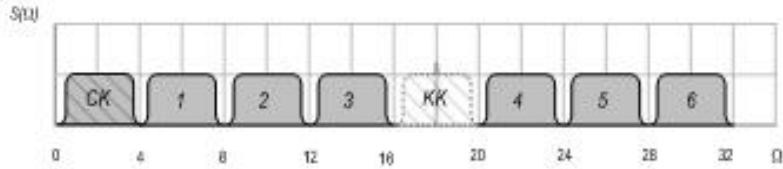


Рис. 1. Спектр групового модульовального сигналу (повідомлення)

Груповий сигнал мовної інформації є багатовимірним марковським процесом, для якого застосування стандартних методів нелінійної оптимальної фільтрації дає непридатний до фізичної реалізації результат [11]. Тому застосовують найбільш придатні до фізичної реалізації демодулятори на основі ФАПЧ.

Обмеження завадостійкості таких пристроїв у випадку приймання групового мовного сигналу розглянуті у роботах [6, 12]. Ці обмеження викликані природною  $2\pi$ -періодичністю робочої характеристики фазового детектора, та виходом за межі робочої ділянки цієї характеристики у випадку збільшення індексу модуляції, або інтенсивності шумової завади.

Ідея підвищення завадостійкості демодулятора зі збереженням його динамічних властивостей полягає у зменшенні викидів різниці фаз перед фазовим детектором (ФД), щоби фазова похибка не виходила за межі робочої ділянки, і наступному підсиленні вихідного сигналу ФД (з метою відновлення динамічних властивостей демодулятора).

Структурна схема пристрою, який реалізує цю ідею, наведена на рис. 2 і відрізняється від схеми класичного ФАПЧ наявністю вузькопasmового фільтра (ВСФ) перед ФД та активного фільтра верхніх частот (ФВЧ) після нього. З метою збереження динамічних властивостей оптимального СФД передавальна характеристика ФВЧ має бути оберне-

ною до характеристики пропорційно-інтегруючого фільтра (ПФ) квадратурних каналів ВСФ. Крім того, смугу пропускання ВСФ слід обрати значно вузючою від ширини спектру вхідного сигналу.

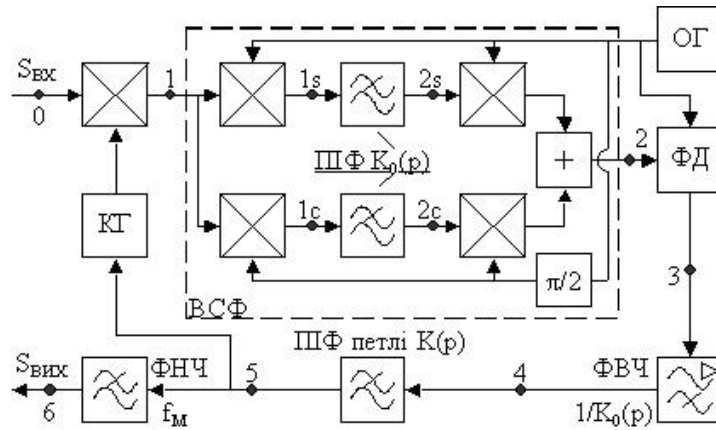


Рис. 2. Модифікований синхронний фазовий демодулятор

Для аналізу проходження групового мовного сигналу через модифікований фазовий детектор (рис.2) була розроблена імітаційна математична модель у вигляді п'яти диференціальних та восьми алгебраїчних рівнянь. Реальний спектр багатоканального мовного повідомлення (рис.1) був замінений у першому наближенні полігармонічним сигналом

$$\Phi_M = \frac{\beta}{2\sqrt{2}} \sum_{k=1}^8 \sin(2\pi f_k - t),$$

де  $f_k$  [кГц], тобто повідомлення з рівномірним спектром замінено на  $n = 8$  тональних сигналів,  $\beta = 2$  – ефективний індекс модуляції.

За описаних умов та малих індексів модуляції і рівнів шумової завади характеристики модифікованого СФД є ідентичними до характеристик класичного СФД. З матеріалів роботи [6] обрана смуга утримання 600 кГц, смуга пропускання ПФ петлі 62 кГц та коефіцієнт пропорційності ПФ 0,13. Відповідно смуга пропускання ВСФ прийнята значно меншою (6 кГц).

Найбільш наочним є представлення часткових розв'язків отриманої математичної моделі у вигляді фазових діаграм вхідного та вихідного сигналів ВСФ, які наведені на рис. 3. Значення напруг квадратурних каналів ( $U_C$ ,  $U_S$ ) мають математичний зміст дійсної та уявної складових комплексних амплітуд сигналів на вході та виході ВСФ.

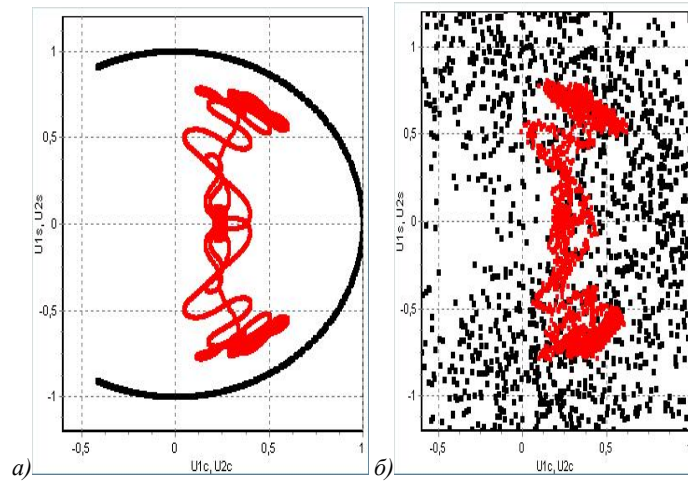


Рис. 3. Фазові портрети (комплексні амплітуди) сигналів на вході (темні точки) та виході (світлі) ВСФ за відсутності (а) та наявності (б) шуму

За відсутності шуму (рис. 3а) та високого індексу модуляції (2 рад) значення фази сигналу на вході ВСФ виходить за межі робочої ділянки ФД ( $\pm \pi/2$ ), тобто напруга на виході ФД неоднозначно відповідає різниці фаз на його входах. В той же час комплексна напруга сигналу на виході ВСФ (світлі лінії на рис. 3а) має значно складніший характер зміни, але її аргумент (фаза вихідного сигналу) не виходить за межі робочої характеристики ФД. Урахування шумової завади (рис. 3б) значно підсилює зазначений ефект. Це свідчить про можливість апаратного підвищення завадостійкості приймання групового мовного сигналу.

Приклади реакції класичного та модифікованого СФД на сигнал з полігармонічною кутовою модуляцією наведено на рис. 4. За відсутності шуму (рис. 4 а, б) реакції обох СФД збігаються.

Для збільшення наочності на рис. 4 б-д виокремлено ділянку вихідного сигналу з найбільшою амплітудою. У підпороговій області класичного СФД (рис. 4 в, г) реакції обох демодуляторів також практично однакові. Можна навіть спостерігати дещо більші спотворення вихідного сигналу модифікованим СФД. Але при подальшому збільшенні рівня шумової завади (рис. 4 г, д) класичний демодулятор вже нездатний відтворювати інформаційний сигнал (рис 4 г). в той час як модифікований СФД відтворює форму сигналу, хоча і з деякими спотвореннями. Це свідчить про можливість підвищення порогової завадостійкості приймання сигналу зі складною кутовою модуляцією.

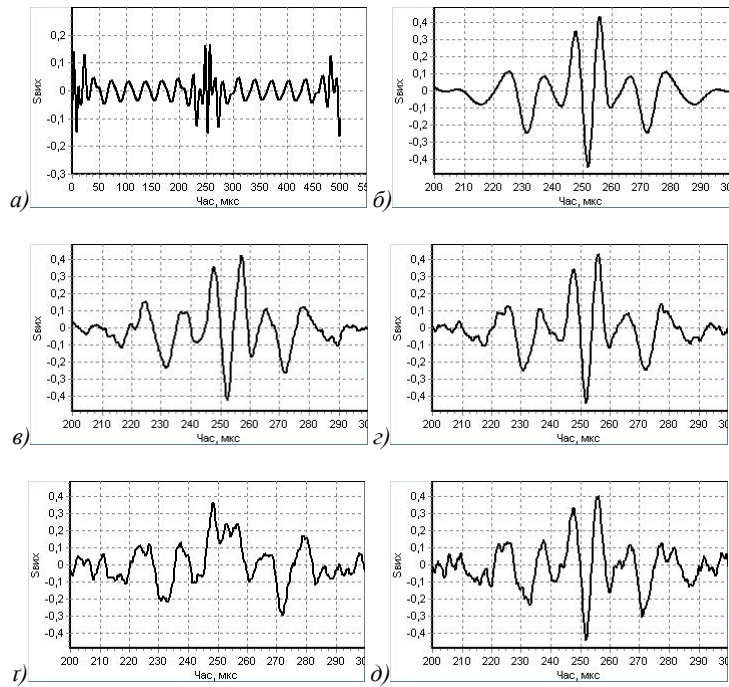


Рис. 4. Осцилограми вихідних сигналів класичного та модифікованого СФД (за різних ВСШ на вході)

Описані вище часткові розв'язки математичної моделі модифікованого СФД були отримані для фіксованих значень параметрів пристрою та індексу і частоти модуляції, але за умов зміни інтенсивності шуму на вході. ВСШ вхідного сигналу  $\rho_{\text{вх}}$  задавалося як відношення квадрату амплітуди вхідного сигналу до дисперсії заданого шуму моделі вхідної суміші.

Для кожного значення  $\rho_{\text{вх}}$  були отримані відповідні розв'язки для 300 періодів полігармонічного сигналу. Для цих 300 розв'язків обчислені середні (по реалізаціях) значення та дисперсія, з яких розраховано ВСШ на виході ( $\rho_{\text{вих}}$ ) класичного та модифікованого СФД.

Отримані співвідношення між ВСШ на виході та вході СФД дали кількісну оцінку описаних вище якісних залежностей.

Результати моделювання наведені на рис. 5. Для порівняння на цьому ж рисунку наведені характеристики завадостійкості класичного ЧМ демодулятора, СФД на основі ФАПЧ, та ідеального приймача [12]. Порівняння показує, що поріг завадостійкості приймання групового

мовного повідомлення за допомогою модифікованого СФД є на 10 дБ нижчим, ніж у ЧМ демодулятора, на 4 дБ нижчим від класичного СФД на основі ФАПЧ, та лише на 20% не досягає потенційно можливого порогу завадостійкості ідеального приймача.

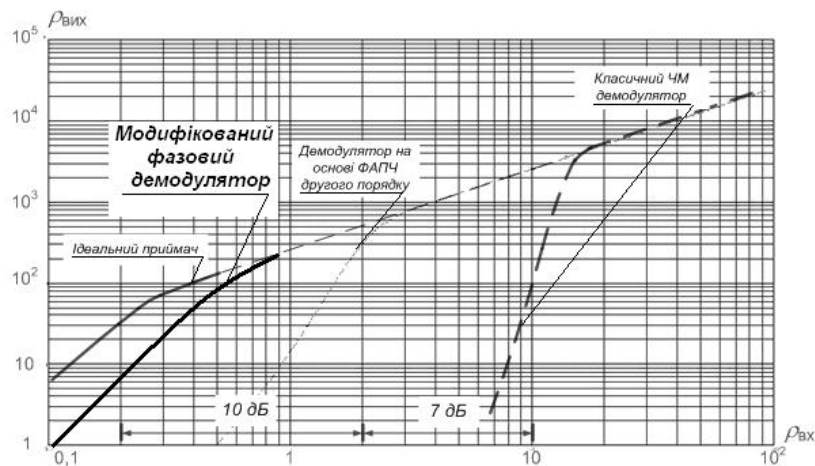


Рис. 5. Потенціальна та реалізовані завадостійкості ЧМ приймача сигналу, модульованого груповим мовним повідомленням

### 3. ВИСНОВКИ

Проведені дослідження та моделювання показали можливість підвищення завадостійкості приймання радіосигналу, модульованого груповим мовним повідомленням, який широко застосовують в тропосферних лініях зв'язку. Це дає можливість покращити енергетичні співвідношення в точці приймання зі збереженням рівня вихідної потужності передавачів, або збільшити гарантовану довжину інтервалу тропосферної лінії.

1. Сечіненко А.І. Проектування лінії радіорелейного зв'язку з автоматичним регулюванням потужності передавача // Зв'язок. - 2006. - №4. - С. 45-48.
2. Гостев В.И., Кунах Н.И. Проектирование канала радиуправления систем автоматического регулирования мощности передатчика в канале радиосвязи при мультипликативных замираниях сигнала. // Зв'язок. - 2006. - №5. - С. 41-44.
3. Давіденко С.В. Аналіз впливу нелінійності пристрою ФАПЧ на приймання сигналів мовної інформації з груповою модуляцією // Зб. наук. пр. інституту проблем моделювання в енергетиці НАН України. - Київ. - 2007. - №38. - С. 173-180.
4. Давіденко С.В. Аналіз приймального пристрою з нелінійною системою ФАПЧ при модуляції груповим сигналом мовної інформації. - Зб. наук.

пр. ЦНДІ ЗС України. - Київ - 2006. - №4(38). - С. 231-239. 5. Нетудыхата Л.И., Стеклов В.К. Системы фазовой автоматической подстройки в устройствах связи. - Київ: Техніка, 2003. - 368 с. 6. Бондарев А.П., Давіденко С.В., Павлов Б.О. Параметричний синтез синхронного детектора багатоканального групового сигналу з частотною модуляцією // Технічні науки. Вісник Хмельницького нац. ун-ту. - Хмельницький. - 2007. - №2(90). - Т.2. - С. 147-150. 7. Патент України на винахід № 66435. Н03L7/00. / Бондарев А.П., Мартинів М.С. "Пристрій фазової автопідстройки частоти". Заявка № 4869869 від 01.10.90; Опубл.: Бюл. №5. - 2004. - 8 с. 8. Бондарев А.П. Давіденко С.В. Підвищення завадостійкості приймача супутникових навігаційних сигналів // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. Зб. наук. пр. західного геодезичного товариства. - Львів. - 2007. - №1(13). - С. 109-114. 9. Бондарев А.П., Давіденко С.В., Давіденко І.Є. Схемотехнічне підвищення завадостійкості детектора цифрових радіосигналів // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія / міжнародний науково-технічний журнал. - Вінниця: ВНТУ ім. В.М.Глушкова, 2010. - №1(17). - С 92. 10. Бондарев А.П. Шумові та динамічні властивості модифікованого пристрою фазового автопідстроювання частоти // Радіотехніка. - 2006. - Вип.146. - С. 171-177. 11. Carassa F., Rossa F. Advances in phase - lock - demodulation. - IEEE Transactions on Communication Technology. - 1970. - №3. - С.182 - 191. 12. Давіденко С.В., Давіденко І.Є, Павлов Б.О. Потенціальна завадостійкість ЧМ приймача при модуляції груповим сигналом мовної інформації // Комп'ютерні технології друкарства. - Зб. наук. пр. Української академії друкарства. - Львів. - 2007. - №17. - С. -104-112.