

На правах рукопису
УДК 621.396.662.072.6.078

Максимов Володимир Васильович

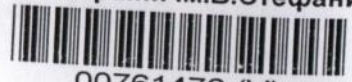
ПІДВИЩЕННЯ ЗАВАДОСТІЙКОСТІ ПРИСТРОЇВ ЗВ'ЯЗКУ
ЗА ДОПОМОГОЮ СИНХРОННИХ ФІЛЬТРІВ

05.12.02 – телекомунікаційні системи
та керування ними

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

82, 39

ЛННБ України ім.В.Стефаника



00761476 (V)

На правах рукопису
УДК 621.396.662.072.6.078

Максимов Володимир Васильович

**ПІДВИЩЕННЯ ЗАВАДОСТІЙКОСТІ ПРИСТРОЇВ ЗВ'ЯЗКУ
ЗА ДОПОМОГОЮ СИНХРОННИХ ФІЛЬТРІВ**

05.12.02 – телекомунікаційні системи

та керування ними

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

Одеса - 1995р.

AB 33.258

Дисертація в вигляді наукової праці (рукопис)

Робота виконана в Українській державній академії зв'язку ім.О.С.Попова

Наукові керівники: Заслужений діяч науки і техніки України, доктор технічних наук, професор Стеклов В.К.; кандидат технічних наук, професор Чваров Р.В.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор Банкет В.Л.; кандидат технічних наук, доцент Брітнер Л.П

Провідна організація вказана в рішенні спеціалізованої Вченої ради К 05.18.02 Української державної академії зв'язку ім.О.С.Попова.

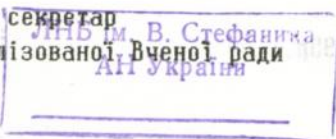
Захист дисертації відбудеться 15 листопада 1995 р. о 10.00 годині на засіданні спеціалізованої Вченої ради К 05.18.02 в Українській державній академії зв'язку ім.О.С.Попова.

Адреса: 270021, Одеса, вул.Челюскінців, 1

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Української державної академії зв'язку ім.О.С.Попова.

Автореферат розісланий 15 жовтня 1995р.

Вчений секретар Спеціалізованої Вченої ради



професор Воробієнко П.П.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ І СТАН ПИТАННЯ. Провідним питанням розвитку електро- і радіозв'язку є вирішення проблеми завадостійкості систем зв'язку. В даний час на мережах України використовуються широкопasmові системи зв'язку з частотною модуляцією (ЧМ). Тому одним з напрямків вирішення даної проблеми є підвищення завадостійкості приймачів ЧМ сигналів.

При значному рівні завад реальна завадостійкість приймача ЧМ сигналів значно менше потенційної. В зв'язку з цим однією з основних є задача зниження порога завадостійкості. Один з шляхів вирішення цієї задачі – застосування метода зниження порога при ЧМ, який поєднує в собі принцип стиснення спектра сигналу і послаблення завад в трактах приймача.

Питання розробки методів зниження порога завадостійкості, що ґрунтуються на принципі стиснення спектра сигналу в приймачі з використанням систем частотного автопідстроювання (ЧАП) гетеродина або слідкуючого LC-фільтра, досліджені в роботах: Бакаєва Ю.Н., Банкета В.Л., Белюстиной Л.Н., Віницького А.С., Зайцева Г.Ф., Зшко А.Г., Первачова С.В., Стеклова В.К., Шахгільдяна В.В. та інших. Але питання розробки систем ЧАП із слідкуючими синхронними фільтрами (СФ) практично не досліджені.

В зв'язку з цим актуальною задачею є дослідження систем ЧАП із слідкуючим СФ, що поєднують в собі переваги принципу стиснення спектра сигналу і властивості послаблення завад синхронним фільтром.

МЕТОД дисертаційної роботи є розробка, дослідження і впровадження систем ЧАП із слідкуючими СФ високої точності в класі систем з керуванням за відхиленням та комбінованих систем ЧАП із слідкуючими СФ, які призначені для зниження порога завадостійкості при прийманні ЧМ сигналів як в когерентних, так і в некогерентних системах зв'язку, а також для підвищення завадостійкості обладнання зв'язку.

В процесі роботи вирішуються наступні задачі: дослідження адекватності СФ до ЧМ сигналів; дослідження проходження ЧМ сигналів через ідеалізовані СФ і умов, необхідних для використання СФ в якості слідкуючого або полосового фільтра при прий-

Ав 35

манні ЧМ сигналів; розробка і аналіз структурних схем приймачів ЧМ сигналів із зниженням порога завадостійкості, забезпечуваного використанням в їх трактах як систем ЧАП СФ, так і окремих СФ; розробка і аналіз систем ЧАП СФ високої точності; розробка структурних схем цифрового СФ і його програмне реалізування.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ. При дослідженні застосовувались спектральний і операторний методи вирішення диференційних рівнянь, а також методи: теорії випадкових процесів, наближеного вирішення трансцендентних рівнянь; оптимального керування, теорії інваріантності і чутливості; моделювання на ЭОМ.

НАУКОВА НОВИЗНА.

1. Досліджена можливість появи паразитної амплітудної модуляції (АМ) на виході СФ при зміні частоти комутації навколо першої і вищих гармонік та запропоновано спосіб її зменшення.
2. Вирішена задача адекватності СФ до ЧМ сигналів, що дозволяє віднести синхронні фільтри до класу модульованих.
3. Запропоновано спосіб аналізу проходження ЧМ сигналів через ідеалізовані СФ і досліджено загальні та часткові умови, необхідні для використання СФ в якості слідкуючого фільтра в системах зв'язку з ЧМ модуляцією.
4. Запропоновані структурні схеми приймачів ЧМ сигналів зі зниженням порога завадостійкості внаслідок використання в їх трактах як систем ЧАП СФ, так і окремих СФ.
5. Розроблені методи аналізу запропонованих схем приймачів ЧМ сигналів з врахуванням умови підвищення точності роботи систем частотного автопідстроювання СФ та запропоновано програмне реалізування СФ на ЭОМ.

ПРАКТИЧНА ЦІННІСТЬ. Розроблені схеми приймачів ЧМ сигналів із зниженням порога завадостійкості, що відрізняються від відомих тим, що містять в собі як системи ЧАП СФ в тракті ПЧ, так і окремі СФ в трактах ВЧ и ПЧ. Аналіз, виконаний для всіх радіомовних діапазонів частот, прийнятих в Україні, свідчить, що в разі використання ідеалізованих СФ, гранично досяжний виграв в зниженні порога завадостійкості, порівняно з відомою схемою приймача із слідкуючим LC-контуром, знаходиться в межах від 20 до 95дБ(по напрузі).

Отримані результати вказують на наявність резервів зниження порога завадостійкості систем зв'язку з ЧМ модуляцією і на доціль-

ність подальших як теоретичних, так і практичних досліджень в цій області.

АПРОБАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ. Основні результати дисертаційної роботи доповідались і обговорювались: на НТК професорсько-викладацького персоналу Української державної академії зв'язку ім. О.С.Попова в період з 1992р. до 1995р. включно; на НТК "Перспективи розвитку первинної мережі зв'язку України", 1995р.; на 2-й Міжнародній конференції з питань радіозв'язку, звукового і телемовлення 1995р., (UkrTeleCom - 95).

РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ. Тема дисертаційної роботи безпосередньо пов'язана з виконанням національної програми розробки єдиної національної системи зв'язку України, яка виконується Українським науково-дослідним інститутом радіо і телебачення згідно договору N 647 з Міністерством зв'язку України.

Результати дисертаційної роботи знайшли застосування в Держбюджетній НДР, виконуваний на кафедрі Технічної електродинаміки Київської філії Української державної академії зв'язку ім. О.С.Попова (УДАЗ); в розробках Українського науково-дослідного інституту зв'язку (Київ) і Українського науково-дослідного інституту радіо і телебачення.

Теоретичні і практичні результати дисертаційної роботи використовуються в учбовому процесі Київської філії УДАЗ.

ОСОБИСТИЙ ВНЕСОК АВТОРА. В дисертаційній роботі персонально автором виконано:

досліджена можливість появи паразитної АМ на виході СФ при зміні частоти комутації навколо першої і вищих гармонік та надані рекомендації щодо її зменшення; досліджена адекватність СФ до ЧМ сигналів і доведено, що СФ можуть бути віднесені до класу модульованих фільтрів; проаналізовано проходження ЧМ сигналів через ідеалізовані СФ і отримані верхні оцінки додаткових складових напруги на його виході; досліджені загальні та часткові умови, необхідні для використання СФ в якості слідкувачих фільтрів в системах зв'язку з ЧМ модуляцією; запропоновані і досліджені структурні схеми приймачів ЧМ сигналів зі зниженням порога завадостійкості за рахунок застосування в їх трактах як систем ЧАП СФ, так і окремих СФ; запропоновані і досліджені з умови підвищення точності роботи статична, астатичні і комбінована системи ЧАП СФ; досліджені структур-

ні схеми цифрового СФ, проаналізовані помилки, що виникають при цифровому реалізуванні СФ, проведено оптимізування структурної схеми цифрового СФ з умови мінімізації операцій множення та запропоновано програмне реалізування СФ.

ПУБЛІКАЦІЇ. З теми дисертації надруковано 19 робіт.

ОБСЯГ РОБОТИ. Дисертаційна робота складається із вступу, 4-х розділів, заклчення і 5-и додатків. Робота містить 272 с., в тому числі 134 с. тексту, 55 с. рисунків і таблиць, бібліографію з 153 найменувань на 15 с., додатків на 68 с.

ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ, ВИНЕСЕНІ НА ЗАХИСТ.

1. Результати дослідження вільних коливань в еквівалентному синхронному фільтру LC-контурі.
2. Результати дослідження проходження ЧМ сигналів через ідеалізовані СФ.
3. Результати дослідження загальних і часткових умов, необхідних для використання СФ в системах зв'язку з ЧМ модуляцією.
4. Результати дослідження запропонованих структурних схем приймачів ЧМ сигналів, які містять в своїх трактах як системи ЧАП СФ так і окремі СФ.
5. Результати дослідження систем ЧАП СФ з умови підвищення точності їх роботи.

ЗМІСТ РОБОТИ

В зв'язку з майже повною відсутністю на даний час досліджень щодо питань використання СФ в системах ЧАП систем зв'язку з ЧМ модуляцією дисертаційна робота має наступну структуру: в першому і другому розділах досліджуються питання можливості використання СФ як слідкуючого фільтра в системах зв'язку з ЧМ модуляцією, в третьому розділі досліджуються структурні схеми приймачів ЧМ сигналів з ввімкненими в їх тракти системами ЧАП СФ і окремими СФ, в четвертому розділі розглядаються методи підвищення точності роботи різних систем ЧАП СФ.

У в с т у п і обгрунтовано актуальність, сформульовані мета і задачі дисертаційної роботи, дано огляд літератури, охарактеризовано стан проблеми.

В першому розділі вирішуються задачі адекватної

зміни АЧХ і ФЧХ СФ, оцінки глибини паразитної АМ на його виході, адекватності СФ до ЧМ сигналів і можливості віднесення їх до класу модульованих фільтрів.

Ставиться задача, дається короткий принцип роботи СФ, основні розрахункові співвідношення, що пов'язують характеристики СФ з його параметрами. Показано, що при фіксуванні двох параметрів з трьох можна досягти адекватних змін АЧХ і ФЧХ СФ.

Використання СФ в якості слідкувального фільтра вимагає зміни частоти комутації навколо першої чи вищих її гармонік. Враховуючи, що модуль передавальної функції СФ на частотах гармонік при незмінних параметрах змінюється згідно

$$|T(j\omega)| = \left(\frac{|\sin(k\sqrt{N})|}{(k\sqrt{N})} \right)^2, \quad (1)$$

можливо виникнення паразитної АМ на виході СФ. Показано, що оцінка меж частоти комутації, при яких глибина паразитної АМ не перевищує $m < \pm 1,5$ дБ, може бути виконана на основі вирішення трансцендентних рівнянь. Показано, що при однаковому числі ємностей найбільша відносна смуга частот відповідає СФ, розрахованому для роботи на основній частоті комутації. Визначено, що зростання відносної полоси частот $\Delta F/f_0$ сповільнюється, починаючи з $N \geq 6$. Оцінка величини m для випадку використання СФ в тракці ПЧ ТВ мовлення при $N \in [3, 5]$ показує, що m менше похибки вимірювання ($m < \pm 0,15$ дБ), а при $N \geq 6$ величина m стає на порядок меншою похибки вимірювання ($m < \pm 0,015$ дБ). Рекомендовано застосовувати СФ на основній частоті комутації з $N \leq 6$, що полегшує вимоги до побудови схеми комутатора.

Показано, що в еквівалентному синхронному фільтрі LC-контурі параметричне збудження на частотах $\Omega = 2\omega_g$, $\Omega = \omega_g$, $\Omega = 2\omega_g/3$, $\Omega = \omega_g/2$ і т.д. неможливо (ω_g - частота вільних коливань в еквівалентному контурі). Це викликано тим, що добротність еквівалентного контура Q_e значна, в зв'язку з чим глибина модуляції еквівалентної ємності стає на порядок менше критичної. Даний висновок узгоджується з загальною теорією параметричних кіл.

Оцінка можливості параметричного збудження в СФ, зроблена при періодичному законі модуляції ємності $C_e(t)$ веде до явно невиконаної нерівності $10^{-\frac{(100 \dots 1000)}{1000}} > 10^{-3}$, яка залишається справедливою навіть в разі варіювання вихідних величин (крім номера зони) на де-

сятки порядків. Показано, що в еквівалентному контурі при довільному законі модулювання ємності явище параметричного збудження практично неможливе (еквівалентний контур знаходить в сталій зоні). Тому в ньому також неможливі явища резонансу другої, половинної чи інших ступеней, крім резонансу першої ступені, характерного для сталої зони.

Аналіз вільних коливань заряду в еквівалентному контурі для випадку мішаної модуляції ерс показує, що вони являють собою послаблену по експоненті синусоїду з модульованими амплітудою і частотою. Показано, що при повільній зміні ємності еквівалентного контура виконується умова адиабатичної інваріантності.

Результати, отримані при дослідженні вільних коливань в еквівалентному контурі дозволяють зробити висновок, що синхронні фільтри адекватні до ЧМ сигналів, можуть бути віднесені до класу модульованих фільтрів і є принципова можливість використання СФ в якості слідкувачих фільтрів в системах зв'язку з ЧМ модуляцією.

В другому розділі розроблена методика аналізу проходження ЧМ сигналу через ідеалізовані СФ, визначені загальні і часткові умови можливості використання СФ в трактах приймача ЧМ сигналів.

Аналіз проходження ЧМ сигналу через ідеалізований СФ зроблено при наступних припущеннях: ЧМ сигнал — однотональний; частота комутації СФ співпадає з несучою ЧМ сигналу ($\omega_k = \omega_0$); смуга пропускання СФ на рівні 0,707K дорівнює подвоєній девіації частототи ($\Delta\omega = 2 \cdot \omega_d$).

Отримані верхні оцінки додаткової складової напруги на виході СФ на частоті ω , обумовленої впливом складових вхідного сигналу з частотами $\omega \pm kN\omega_k$ і додаткової складової напруги на виході СФ на частоті ω в робочій смузі пропускання СФ, обумовленої впливом складових з частотами $\Omega \pm k\omega_k$ на виході СФ.

Показано, що додаткові складові напруги являють собою величини нескінченно малі, що підтверджується розрахунками на ЕОМ.

На основі припущень щодо повільності відхилень миттєвої частоти ЧМ сигналу від несучої частоти і закінчення перехідних процесів в СФ за період часу, на протязі якого існують дані відхилення, отримані загальні умови використання СФ в якості слідкувачого фільтра:

$$\omega_d \ll \omega_0 / (2\pi\Omega); \quad (2)$$

$$n \geq n_0 = 3/(\Delta\omega \cdot T), \quad (3)$$

де n_0 – мінімальне число періодів комутації, на протязі якого закінчується перехідний процес в СФ; $T = 2\pi/\omega_0$.

На основі загальних умов отримані часткові умови використання СФ в якості широкосмугового слідкуючого фільтра ($\Delta\omega = 2\omega_d$) в тракці ВЧ і в тракці ПЧ.

Для випадку використання СФ в якості вузькосмугового слідкуючого фільтра ($\Delta\omega = 2\Omega_{\text{шах}}$) в тракці ПЧ повинна виконуватись умова:

$$\omega_d / \omega_{\text{пр}_0} \ll 2n_0/3, \quad (4)$$

де $\omega_{\text{пр}_0}$ – несуча проміжної частоти, Ω – частота модуляції.

Сукупність результатів, отриманих в другому розділі, дозволяє зробити висновок, що СФ можуть застосовуватись в трактах приймачів ЧМ сигналів в якості широкосмугових (смугових, слідкуючих) і вузькосмугових (смугових, решеторних, слідкуючих) фільтрів.

В третьому розділі проведено аналіз методів зниження порога завадостійкості з точки зору можливості використання СФ. Показано, що використовувати високі селективні властивості СФ в схемі зі слідкуючим фільтром для зниження порога не можна, оскільки заважає обмеження, накладуване на смугу пропускання вузькосмугового фільтра – вона повинна бути не меншою подвоєної вищої модулюючої частоти.

Проведено аналіз часу закінчення перехідних процесів в СФ, ввімкнених в тракці ВЧ і ПЧ приймача ЧМ сигналів для радіомовних діапазонів частот, прийнятих в нашій країні (1 – найвищий канали ТБ, 1–38 канали УКХ ЧМ). Показано, що при використанні вузькосмугових СФ в тракці ПЧ і широкосмугових СФ в трактах ВЧ і ПЧ воно є постійним і становить відповідно $3,1831 \cdot 10^{-6}$ с і $9,5493 \cdot 10^{-6}$ с.

Проведено аналіз відносних відхилень δ життєвої частоти ЧМ сигнала від несучої за час, який дорівнює мініальному часу закінчення перехідних процесів в СФ. Показано, що для випадку використання широкосмугового СФ в тракці ВЧ δ не перевищує 0,09%, а в разі використання широкосмугового і вузькосмугового СФ в тракці ПЧ воно не перевищує відповідно 0,61% і 0,11%.

Проведено аналіз причин, що заважають зниженню порога завадостійкості. Показано, що основною причиною є викиди вузькосмугового шуму в тракці ПЧ.

Запропоновані схеми приймачів ЧМ сигналів зі зниженням порога завадостійкості з системами ЧАП СФ в тракці ПЧ і широкосмуговими (вузькосмуговими, режекторними) СФ в трактах ВЧ і ПЧ. В припущенні, що СФ – ідеалізовані, проведено порівняльний аналіз даних схем зі схемою приймача із слідувчим LC-фільтром (СЛФ) для всіх радіомовних діапазонів частот. Зведений до входу вираз в зниженні порога визначався як

$$V_{\text{вх}} \text{ сф/слф} = V_{\text{всфвч}} + V_{\text{всфпч}} + V_{\text{всфпч}} + V_{\text{всрф}}, \quad (\text{дБ}), \quad (5)$$

де $V_{\text{всфвч}}$, $V_{\text{всфпч}}$, $V_{\text{всфпч}}$, $V_{\text{всрф}}$ – вирази, надавані широкосмуговими, вузькосмуговими і режекторними СФ в трактах ВЧ, ПЧ і системі ЧАП СФ, рівні відповідним коефіцієнтам послаблення завад k_n . Розрахунок k_n проводився за формулою

$$k_n = 20 \lg(0,82 \sqrt{n}), \quad (\text{дБ}). \quad (6)$$

Аналіз отриманих даних показує, що максимально досяжні вирази в зниженні порога можуть становити від 20дБ до 95дБ (по напрузі) в залежності від вибраної схеми приймача і діапазона частот, в якому він застосовується.

В ч е т в е р т о м у р о з д і л і розглянуто методи підвищення точності роботи систем ЧАП СФ.

Запропонована і проаналізована система автоматичного настроювання СФ с одноразовим пошуком (АНСФ ОП). Отримані аналітичні вирази для похибки за часом, сумарної похибки за частотою, похибки за амплітудою і загальної тривалості пошуку. Зіставлення з відомою системою автоматичного настроювання LC-контур з одноразовим пошуком показує, що в швидкісних системах автоматичного регулювання і настроювання частоти система АНСФ ОП є такою, якій слід віддати перевагу.

Запропонована і проаналізована схема приймача ЧМ сигналів з системою ЧАП СФ в тракці ПЧ. Отримана передавальна функція системи по похибці і визначені сталі похибки.

Запропоновані і проаналізовані схеми приймачів ЧМ сигналів з астатичними системами ЧАП СФ в тракці ПЧ з ввімкненими в замкнений контур електродвигуном чи електронним інтегратором. Для обох схем отримані передавальні функції систем по похибці і визначені сталі похибки. Показано, що в обох системах при ступінчатій зміні частоти сигналу сталі похибки можна звести до нуля, а при лінійному – до постійної величини, пропорційної швидкості зміни частоти сигналу і зворотно пропорційної коефіцієнту підсилення системи в розімкненому стані. Показано, що система ЧАП СФ з електронним інтегратором менш інерційна, ніж система ЧАП СФ з двигуном і може реагувати на більш швидкі зміни частоти сигналу.

Запропонована і проаналізована схема приймача ЧМ сигналів з комбінованою системою ЧАП СФ в тракці ПЧ з компенсаційним зв'язком по збурюючому впливу. Отримана передавальна функція системи по похибці. Показано, що в загальному випадку дана система є статичною. Підвищити порядок астатизму з нульового до першого можна за умовою

$$1 - k_{cd1} \cdot k_{y1} \cdot k_{y} \cdot k_{yг} \cdot k_{успч} = 0, \quad (7)$$

де $k_{cd1}, k_{y1}, k_{y}, k_{yг}, k_{успч}$ – коефіцієнти підсилення елементів компенсаційного каналу і замкненого контура системи.

Показано, що при виконанні умови (7) при ступінчатій зміні частоти сигналу стала похибка стає рівною нулю, а при лінійному – постійній величині, пропорційній швидкості зміни частоти сигналу. Показано, що внаслідок впливу елементів в компенсаційному каналі по збуренню в комбінованій системі стала похибка при лінійній зміні частоти сигналу більшою, ніж в системах ЧАП СФ з інтегруючим пристроєм в замкненому контурі.

Проаналізована можливість цифрової реалізації СФ. Отримані пряма, канонічна і послідовна канонічна форми цифрового СФ (ЦСФ). Показано, що паралельної канонічної форми для ЦСФ не існує.

Проаналізовані похибки, що виникають в ЦСФ. Показано, що в випадку погляду $z_1 = 1$ дисперсія похибки внаслідок квантування вхідного сигналу за рівнем стає рівною нулю. Але при цьому дисперсія сумарної похибки внаслідок закруглення результатів множення в ЦСФ зростає до нескінченності.

Виконані перетворення структур ЦСФ і для програмного реалізування запропонована структурна схема ЦСФ з мінімальним числом операцій множення. Запропонована програмна реалізація ЦСФ.

В закл ш ч е н н і сформульовані основні наукові і практичні результати, що є наступними:

1. Досліджені АЧХ, ФЧХ СФ і виникнення паразитної АМ на виході СФ при зміні частоти комутації навколо першої чи вищих гармонік. Надані рекомендації щодо вибору параметрів СФ з метою зменшення паразитної АМ, а також щодо адекватної зміни АЧХ і ФЧХ.

2. Доведено, що синхронні фільтри адекватні до ЧМ сигналів, можуть бути віднесені до класу модульованих фільтрів і є принципова можливість застосування СФ в якості слідкувачих фільтрів при прийманні ЧМ сигналів.

3. Вирішені задачі оцінки впливу складових з частотами $\omega \pm kN\omega_k$ на вході СФ на складову з частотою ω на виході СФ і оцінки впливу складових з частотами $\Omega \pm k\omega_k$ на виході СФ на складову з частотою ω в робочій смузі пропускання СФ при дії на ідеалізований СФ однотонального ЧМ сигналу. Доведено, що найбільші з можливих оцінок додаткових складових вихідної напруги СФ являють собою величини нескінченно малі.

4. Отримані загальні і часткові умови для випадків використання СФ в якості широкосмугового (смугового, слідкувачого) чи вузькосмугового (смугового, режекторного, слідкувачого) фільтра при прийманні ЧМ сигналів. Доведено, що при широкосмуговій ЧМ вони завжди виконуються.

5. Аналіз абсолютних і відносних відхилень миттєвої частоти ЧМ сигналу від несучої за час, рівний мініальному значенню часу закінчення перехідних процесів в СФ доводить можливість використання СФ в трактах ВЧ і ПЧ приймачів ЧМ сигналів у всьому діапазоні ультрокоротких хвиль, прийнятих в Україні, і підтверджує правильність як загальних, так і часткових умов, необхідних для використання СФ при прийманні ЧМ сигналів.

6. Запропоновано спосіб зниження порога завадостійкості, відмінний тим, що високоселективний режекторний СФ, що придушує викиди вузькосмугового шуму, міститься в каналі ПЧ приймачів ЧМ сигналів і комутується несучою проміжною частотою.

7. Запропоновані схеми приймачів ЧМ сигналів зі зниженням по-

рога завадостійкості, відмінні тим, що в трактах ВЧ і ПЧ містяться як системи ЧАП СФ, так і окремі широкосмугові (вузькосмугові, режекторні) СФ. Для випадку застосування ідеалізованих СФ показано, що гранично досяжні виграші в зниженні порога завадостійкості, зведені до входу, лежать в межах від 20дБ до 95дБ по напрузі. Наявність резервів в зниженні порога завадостійкості вказує на доцільність подальших теоретичних і практичних досліджень в даній області.

8. Порівнювальний аналіз системи АНСФ ОП з відомою системою настроювання LC-контур з одноразовим пошуком показує, що система АНСФ ОП є такою, якій слід віддати перевагу в швидкісних системах настроювання.

9. Запропонована і досліджена система ЧАП СФ. Показано, що дана система є статичною. Запропоновані і досліджені астатичні системи ЧАП СФ з астатизмом першого порядку, які дозволяють звести до нуля сталу похибку при ступінчатому і до постійної величини при лінійному і більш складних законах зміни частоти сигналу.

10. Запропонована і досліджена комбінована система частотного автопідстроювання СФ з компенсаційним зв'язком по впливу збуршення. Отримана умова переведення даної системи в астатичну з астатизмом першого порядку, що дозволяє звести до нуля сталі похибки при ступінчатому і до постійної величини при лінійному і більш складних законах зміни частоти сигналу.

11. Запропоновані структурні схеми ЦСФ (пряма, канонічна і послідовна канонічна) і показано, що паралельної канонічної форми для ЦСФ не існує. Досліджені помилки, що виникають при цифровій реалізації СФ. Запропонована програмна реалізація СФ.

В доданку наведені програми розрахунків на 30М меж відхилень передавальних функцій СФ на $\pm 1,5$ дБ від значення на першій та вищих гармоніках, функцій Бесселя $J_0(m)$ для цілих значень λ при $\lambda > m$, програма функціонування ЦСФ. Наведений розрахунок СФ для модернізованої системи "АТЛАС" і акти впровадження результатів роботи.

ПУБЛІКАЦІЇ ПО ТЕМІ ДИСЕРТАЦІЇ. По темі дисертації надруковані наступні роботи:

1. Чех А.В., Максимов В.В. О построении режекторного синхронного фильтра // Вестник Киев.политехн. ин-та. Сер. Радиотехника.

- 1980. - Вып. 17. - С. 94-96.
2. Чех А.В., Максимов В.В. О построении узкополосных линий задержки на синхронных фильтрах // Вестник Киев. политехн. ин-та. Сер. Радиотехника. - 1981. - Вып. 18. - С. 91-94.
 3. Максимов В.В. Применение синхронных фильтров в электросвязи. // Тез. докл. науч.-технич. конф. КФЭИС им. А.С. Попова, 6-7 окт. 1992г. - Киев, 1992. - С. 35.
 4. Максимов В.В. Передаточные характеристики синхронных фильтров в операторной форме. // Тез. докл. науч.-технич. конф. КФЭИС им. А.С. Попова, 6-7 сент. 1993г. - Киев, 1993. - С. 36.
 5. Максимов В.В., Стеглов В.К. Расчет параметров синхронных фильтров / Киев. фил. Укр. гос. академии связи. - Киев, 1994. - 33 с. Деп. в ГНТБ Украины 25.01.94, N 191-Ук94.
 6. Максимов В.В. Модулированные синхронные фильтры / Киев. фил. Укр. гос. академии связи - Киев, 1994. - 30 с. Деп. в ГНТБ Украины 18.04.94, N 725-Ук94.
 7. Максимов В.В., Закидишев М.М. Расчет функций Бесселя $J_\nu(x)$ при целых ν для всех $x > 0$ / Киев. фил. Укр. гос. академии связи. - Киев, 1994. - 51 с. Деп. в ГНТБ Украины 15.08.94, N 1604-Ук94.
 8. Максимов В.В. О замене синхронного фильтра эквивалентным LC-контуром // Тез. докл. XLIX НТК УГАС, 24-27 окт. 1994г. - Одесса, 1994. - С. 29.
 9. Максимов В.В., Стеглов В.К. Прохождение ЧМ-сигналов через идеализированные синхронные фильтры / Киев. фил. Укр. гос. академии связи. - Киев, 1994. - 17 с. Деп. в ГНТБ Украины 25.11.94, N 2222-Ук94.
 10. Максимов В.В., Баско Ю.П. Синхронные фильтры. - Методическое пособие по дипломному проектированию по специальностям 2305, 2306 (Автоматическая электросвязь, Многоканальная электросвязь). - К.: ООП ИВЦ Минсвязи Украины, 1994г. - 78с.
 11. Максимов В.В., Стеглов В.К. Система настройки синхронного фильтра с одноразовым поиском. // Тез. докл. НТК "Перспективы развития первичной сети связи Украины", 21-23 февр. 1995г. - Киев. - С. 36-37.
 12. Максимов В.В. Анализ эффективности использования синхронного фильтра в системе автоматической настройки с одноразовым поиском / Киев. фил. Укр. гос. академии связи. - Киев, 1995. - 21 с. Деп. в ГНТБ Украины 04.04.95, N 671-Ук95.
 13. Максимов В.В., Стеглов В.К., Уваров Р.В. Анализ условий, необ-

ходимих для использования синхронного фильтра в качестве следящего фильтра / Киев. фил. Укр. гос. академии связи. – Киев, 1995. – 10 с. Деп. в ГНТБ Украины 05.05.95, N 998-Укр95.

14. Максимов В.В., Стеклов В.К. Анализ схемы приемника ЧМ сигналов со следящим синхронным фильтром / Киев. фил. Укр. гос. академии связи. – Киев, 1995. – 17 с. Деп. в ГНТБ Украины 03.07.95, N1652-Укр95.
15. Максимов В.В., Стеклов В.К., Бушанский А.В. Цифровая реализация синхронного фильтра / Киев. фил. Укр. гос. академии связи. – Киев, 1995. – 18 с. Деп. в ГНТБ Украины 06.07.95, N 1722-Укр95.
16. Максимов В.В., Стеклов В.К., Бушанский А.В. Анализ времени окончания переходного процесса в синхронном фильтре / Киев. фил. Укр. гос. академии связи. – Киев, 1995. – 10 с. Деп. в ГНТБ Украины 15.08.95, N 1908-Укр95.
17. Максимов В.В. Анализ возможности использования синхронного фильтра для снижения порога помехоустойчивости при приеме ЧМ сигналов / Киев. фил. Укр. гос. академии связи. – Киев, 1995. – 20 с. Деп. в ГНТБ Украины 15.08.95, N 1909-Укр95.
18. Максимов В.В. Методы повышения помехоустойчивости приемников ЧМ сигналов // Раздел 2 промежуточн. отчета по ГБ НИР на тему: "Исследование схемотехнических решений, обеспечивающих улучшение технико-экономических показателей устройств связи" / Киев. фил. Укр. гос. академии связи (КФ УГАС); Руководитель Р.В. Уваров. – N 0195U018638; Инв. N 0395U004845. – К., 1995. – С. 33-58.
19. Максимов В.В., Стеклов В.К., Уваров Р.В. О возможности использования синхронного фильтра в трактах ЧМ приемников. – // Тез. докл. 2-й Международ. НТК по радиосвязи, звуковому и телевизионному вещанию (UkrTeleCom-95), 19-22 сент. 1995г. – Одесса, 1995.

В.В. МАКСИМОВ

"ПІДВИЩЕННЯ ЗАВАДОСТІЙКОСТІ ПРИСТРОЇВ ЗВ'ЯЗКУ ЗА ДОПОМОГОЮ СИНХРОННИХ ФІЛЬТРІВ". рукоп. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук з спеціальності 05.12.02 – телекомунікаційні системи та керування ними. Українська державна академія зв'язку ім. О.С.Попова, Одеса, 1995р.

Захищається 19 наукових робіт, в яких наведені результати дослідження можливості використання синхронних фільтрів в системах зв'язку з ЧМ модуляцією, що дозволило розробити системи частотного

автопідстроювання слідкуючих синхронних фільтрів високої точності в класі систем з керуванням за відхиленням та еквівалентних їм комбінованих систем, які призначені для зниження порога завадостійкості при прийманні ЧМ сигналів як в когерентних, так і в некогерентних системах зв'язку. Встановлено, що: синхронні фільтри можуть бути віднесені до класу модульованих фільтрів; отримані загальні і часткові умови, які дозволяють використовувати синхронні фільтри в трактах ВЧ і ПЧ приймачів ЧМ сигналів; в запропонованих схемах приймачів ЧМ сигналів отримані вигоди в зниженні порога завадостійкості в порівнянні з відомою схемою приймача із слідкущим LC-фільтром.

V.V. MAXIMOV

"THE COMMUNICATION EQUIPMENT NOISE IMMUNITY INCREASE USING SYNCHRONOUS FILTERS". Manuscript. Dissertation for Candidate of Sciences Speciality 05.12.02 - Telecommunication Systems and Their Control. Ukrainian State Academy of Communications named after A.S. Popov, Odessa, 1995.

We submit 19 scientific papers that deal with the results of studying the possibilities of using synchronous filters in frequency modulated communication systems. It makes possible to develop automatic frequency control systems of high precision track synchronous filters in deviation control systems and their equivalents in combined systems used for minimizing noise immunity threshold when receiving frequency-modulated signals both in coherent and incoherent communication systems. It is found that synchronous filters may belong to the class of modulated filters. We obtain general and particular conditions for using synchronous filters in the tracks of high frequency-modulation and intermediate frequency receivers. We present some diagrams of frequency-modulated receivers that are more effective in minimizing noise immunity threshold in comparison with the familiar diagram of the receivers with track LC-filters.

Ключові слова: синхронний фільтр, порог завадостійкості, системи частотного автопідстроювання.

Володимир Васильович Максимов

ПІДВИЩЕННЯ ЗАВАДОСТІЙКОСТІ ПРИСТРОЇВ ЗВ'ЯЗКУ
ЗА ДОПОМОГОЮ СИНХРОННИХ ФІЛЬТРІВ

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук з спеціальності 05.12.02 –
телекомунікаційні системи та керування ними

Об'єм: 1,0 др.л. 1,12 учб.вид.л. Формат 60x90 1/16
Заказ Тираж 50

АО «САВО» 10.к.95 Зал.№44 Тпр.65

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

AB 33.238

AB 33.238