



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 62353

(13) A

(51) 7 H03D3/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА ВІНАХІДВидається під
відповідальність
власника
патенту(54) ПАЗОННИЙ СПОСІБ ДЕМОДУЛЯЦІЇ І МОДУЛЯЦІЇ ФАЗОМОДУЛЬОВАНИХ СИГНАЛІВ ТА ПРИСТРІЙ
ДЛЯ ЙОГО ЗДІЙСНЕННЯ

1

2

(21) 2003032108

(22) 11 03 2003

(24) 15 12 2003

(46) 15 12 2003, Бюл. № 12, 2003 р.

(72) Бондаренко Михайло Федорович, Сліпченко
Миколай Іванович, Хом'яков Євгеній Вікторович,
Чередников Павло Ілліч, Пилипец Віталій Владис-
лавович(73) ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИ-
ТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ(57) 1 Пазонний спосіб демодуляції і модуляції
фазомодульованих сигналів, що включає виділен-
ня з вхідного сигналу опорного, фазове детекту-
вання сигналів щодо опорного, перетворення сиг-
налів неузгодженості у відповідні логічні рівні, який
відрізняється тим, що настроюють усі пазонні
системи на роботу у відповідній зоні нестійкості,
збуджують і генерують у модулюючому тракті сиг-
нал з фазою, відповідною вхідному сигналу, одер-
жують опорний сигнал відповідно до сигналу з ну-
льовою фазою, подають на вихідний блок
комбінований сигнал з опорною й інформаційною
фазами, приймають і подають на керуючі входи
перших трьох пазонних систем інформаційний
сигнал, генерують у пазонній системі сигнал з фа-
зою, рівною інформаційному2 Пазонний пристрій демодуляції і модуляції фа-
зомодульованих сигналів, що містить блок син-
хронізації, вхід якого з'єднаний із входом вхідного
ключа, вихід з керуючим входом вхідного ключа,
фазовий детектор, вихід якого з'єднаний із входом
вирішальної схеми, який відрізняється тим, що
уводять пазонний модулюючий тракт, шість пазон-
них систем, перше і друге джерело струму зсуву,
перший вихід антенного перемикача підключенийдо входу малошумного підсилювача, вихід якого
з'єднаний із входами блоку синхронізації і вхідного
ключа, перший вихід вхідного ключа підключений
до входу синхронізації генератора накачування, а
другий вихід - до керуючого входу першої, другої і
третьої пазонних систем, перший вихід генератора
накачування підключений до входів накачування
першої і четвертої пазонних систем і до першого
входу фазового детектора, другий вихід генерато-
ра накачування підключений до входів накачуван-
ня другої і п'ятої пазонних систем, третій вихід
генератора накачування підключений до входів
накачування третьої і шостої пазонних систем,
виходи першої, другої і третьої пазонних систем
підключені, через відповідні підсумовуючі опори,
до другого входу фазового детектора, вихід вирі-
шального пристрою підключений до вихідної шини,
вихід першого джерела струму зсуву підключений
до входів зсуву першої, другої і третьої пазонних
систем, вхідна шина підключена до входу при-
строю керування, перший, другий і третій виходи
якого підключені відповідно до керуючого входу
четвертої, п'ятої і шостої пазонних систем, а чет-
вертий вихід підключений до входу керування ви-
хідного перемикача, вихід другого джерела струму
зсуву підключений до входів зсуву четвертої, п'ятої
і шостої пазонних систем, вихід четвертої пазонної
системи підключений до першого входу вихідного
перемикача, вихід п'ятої пазонної системи підклю-
чений до другого входу вихідного перемикача,
вихід шостої пазонної системи підключений до
третього входу вихідного перемикача, вихід якого,
через підсилювач потужності, з'єднаний із другим
виходом антенного перемикачаВинахід відноситься до радіофізики, системам
аналогового і цифрового зв'язку, призначено для
демодуляції і модуляції фазомодульованих сиг-
налів, у тому числі з відносною фазовою модуляцією,
може бути використаний в приймально-
передавальній апаратурі зв'язку, обчислювальній
техніці і як посібник у навчальному процесіВідомий спосіб кореляційного прийому сигна-
лів з відносною фазовою модуляцією з фільтрами,
що комутують, (Частотно-фазові модеми /
Г. Ф. Впер, Л. Д. Кравченко, М. Н. Марлев,
В. В. Швидкий - К. Техніка, 1983 - 118с с 43), який
містить обчислення скалярного добутку векторів
 X_{n1} і X_n через проекції прийнятого сигналу на ква-

(13) A

(11) 62353

(19) UA

датурні (синусні і косинусні) компоненти складових кожний з варіантів переданого сигналу з невідомою початковою фазою по алгоритму

$$\text{sign } I = \text{sign} \left[\int_0^{T_0} x_n(t) \sin \omega t dt + \int_0^{T_0} x_{n-1}(t) \sin \omega t dt + \int_0^{T_0} x_n(t) \cos \omega t dt + \int_0^{T_0} x_{n-1}(t) \cos \omega t dt \right]$$

Недоліками відомих технічних рішень є обмежені функціональні і структурні можливості, труднощі технічної реалізації

Найбільш близьким до заявленого технічного рішення, є автокореляційний спосіб прийому сигналів з відносною фазовою (фазоразностною) модуляцією, (Пенін П. І. Системи передачі цифрової інформації. Навчальний посібник для вузів М., «Сов. Радіо», 1976, 368с., с. 171-177, мал. 4.16), що включає виділення з вхідного сигналу опорного, фазове детектування сигналів щодо опорного, одержуваного в результаті затримки демодульованого сигналу на час, рівний тривалості елементарної послідовності, перетворення сигналів неузгодженості у відповідні логічні рівні

При прийомі способом порівняння фаз опорною напругою для надійшовшого на вхід фазового детектора коливання $y_1(t) = s_1(t) + n_1(t)$ є затримане на час, рівний тривалості послідовності, коливання $y_{j-1}(t)$ тобто $y_{j-1}(t - \tau_0) = s_{j-1}(t - \tau_0) + n_{j-1}(t - \tau_0)$. Якби шуми були відсутні, то різниця фаз коливань y_1 і y_{j-1} цілком визначалася б тільки вихідною інформаційною послідовністю символів, а також можливою зміною фази кожної послідовності при умовах змінного поширення. Однак для сусідніх послідовностей ці зміни, як правило, настільки незначні, що ними можна знехотувати

Під дією шуму фази коливань y_1 і y_{j-1} здобувають випадковий характер. Очевидно, що напруга на виході фазового детектора при порівнянні фаз «зашумлених» послідовностей буде мати позитивну полярність, якщо фази цих «зашумлених» послідовностей відрізняються не більше ніж на $\pm \pi/2$, і негативну в протилежному випадку

Існує визначена імовірність того, що під дією перешкоди фаза послідовності може змінитися дуже істотно й у результаті на виході фазового детектора з'явиться напруга з полярністю, зворотною той, котра повинна була б бути під час відсутності перешкоди. Це приведе до появи помилкового символу на виході вирішального пристрою. Оскільки кожна послідовність бере участь у формуванні напруги на виході фазового детектора двічі (перший раз як послідовність, а другий - як опора), то помилки на виході будуть з'являтися, як правило, парами (здвоєні помилки)

Аналіз імовірності помилки при прийомі фазоманіпульованих сигналів порівнянням фаз дає наступний результат

$$P_{\text{сф}} = 0,5 \exp(-h^2), \quad (1)$$

де h^2 - відношення потужності сигналу до потужності шуму на вході приймача

Формула (1) може бути отримана різними шляхами, але усі вони виходять з того, що шуми в сусідніх послідовностях некорельовані, а розглянутий спосіб прийому некогерентен, оскільки фаза опорної послідовності є випадковою стосовно фази прийня-

тої послідовності

Недоліками такого технічного рішення є обмежені функціональні можливості, складність настрійних операцій, вироблених оператором при прийомі і демодуляції сигналів, і можливими при цьому помилками

Відомо, що розвиток і впровадження нових і удосконалювання існуючих методів і засобів фазової модуляції і демодуляції сигналів, у тому числі і з використанням параметричних зонних систем, залежить від нових способів конструювання і виробництва аналогових і цифрових пристроїв, наприклад мініатюризація й інтеграція, істотно знизили вартість, габарити, масу і споживану потужність приймально-передавальних пристроїв зв'язку

В основу винаходу поставлена задача розширити функціональні можливості, область застосування способу і спростити налаштування, підвищити якість прийому і передачі (шуми), використовуючи параметричні зонні системи в якості фазочутливих пристроїв у модуляторах і демодуляторах

Такий технічний результат досягається тим, що в пазонний спосіб демодуляції і модуляції фазомодульованих сигналів, що включає виділення з вхідного сигналу опорного, фазове детектування сигналів щодо опорного, перетворення сигналів неузгодженості у відповідні логічні рівні, відповідно до винаходу, настраюють усі пазонні системи на роботу у відповідній зоні нестійкості, збуджують і генерують у модулюючому тракту сигнал з фазою відповідною вхідному сигналу, одержують опорний сигнал відповідно до сигналу з нульовою фазою, подають на вихідний блок комбінований сигнал з опорною й інформаційною фазами, приймають і подають на керуючі входи перших трьох пазонних систем інформаційний сигнал, генерують у пазонній системі сигнал з фазою рівною інформаційно-му

Відомий пристрій відносно фазової демодуляції (Патент України №24068, опубл. 31.08.98р. Бюл. №4), що містить фазовий детектор, один із входів і вихід якого є входом і виходом пристрою, і ланцюг затримки, вхід якого з'єднаний із входом пристрою, а вихід - з іншим входом детектора, фазово-частотна характеристика ланцюга затримки в смузі частот демодульованого сигналу визначається формулою

$$\varphi(\delta\omega) = -\tau_{\text{зад ф}} \delta\omega,$$

де $\tau_{\text{зад ф}}$ - нахил характеристики, що визначає тимчасову затримку, $\delta\omega$ зміна частоти відносно ω_0 , рівній частоті несучого коливання демодульованого сигналу

Недоліками даного пристрою є обмежені функціональні можливості, складність налаштування і велика імовірність помилок

Відомий пристрій кореляційного приймача з двома фільтрами, що комутуються, (Частотно-фазові модеми \ Г. Ф. Вітер, Л. Д. Кравченко, М. Н. Марпєв, В. В. Швидкий - К. Техніка, 1983 - 118с. з 68-70, мал. 47), що містить два комутовані фільтри КФ, два фазових детектори ФД, фазообертач ФВ на $\pi/2$ інвертор знака і ключі S. Пристрій

керування ПК може бути одне на всі канали. Фазовий детектор складається з перемножника (П) і фільтра нижніх частот (ФНЧ), але може бути виконаний і по будь-якій іншій відомій схемі фазового детектування.

Процес детектування в схемі здійснюється в такий спосіб. За допомогою вхідного ключа S_1 ($n-1$)-й одиничний елемент сигналу подається на вхід КФ1 протягом інтервалу t_0 . До моменту його закінчення результат інтегрування всіх каналних сигналів з частотами, відмінними від частоти настроювання фільтра, виявляється рівним нулю, внаслідок ортогональності сигналів на інтервалі T_0 , а результат інтегрування каналного сигналу, частота якого збігається з частотою настроювання фільтра, не дорівнює нулю і залежить від фази зовнішнього впливу, тобто від фази ($n-1$)-го одиничного елемента сигналу.

Тому що $\cos \psi' = \cos \psi''$, то знак напруг на виході ФД1 визначає переданий подвійний символ незалежно від номера одиничного елемента сигналу. Що ж стосується другого подвійного підканалу, то, тому що $\sin \psi' = \sin \psi''$, полярності напруг на виході ФД2 потрібно змінювати на зворотні через тривалість одиничного елемента. Цю задачу виконують інвертор (-1) і ключ S_2 , що працює синхронно з ключем S_1 . Фільтр, що комутується, крім поділу каналних сигналів і функціональних перетворень, здійснює також запам'ятовування сигналу на час передачі одиничного елемента і його обробки наступною частиною схеми. Таке рішення вимагає застосування двох КФ.

Запам'ятовування, на відміну від приймача з опорним генератором, виконується в динамічному режимі, тобто у виді гармонійного коливання з прийнятним значенням фази, а не у виді постійної напруги (числа). Подальша обробка у ФД здійснюється у виді перемінних напруг. Це визначає істотну відмінність технічної реалізації кореляційних приймачів з опорним генератором і на КФ.

Недоліками даного пристрою є обмежені функціональні можливості, складність реалізації комутаційних фільтрів.

Найбільш близьким технічним рішенням по призначенню і сукупності істотних ознак є пристрій демодулятора при прийомі відносних фазово-модульованих сигналів способом порівняння фаз (Пенін П. І. Системи передачі цифрової інформації. Навчальний посібник для вузів. М., «Сов. Радіо», 1976, 368с., с. 173-177, мал. 4.17, 4.18), що містить високочастотні комутовані смугові фільтри, блок синхронізації, вхід якого з'єднаний із входом вхідного ключа, вихід з керуючим входом вхідного ключа, фазовий детектор, вихід якого з'єднаний із входом вирішальної схеми.

Функціональна схема пристрою демодулятора при прийомі відносних фазово-модульованих сигналів способом порівняння фаз приведена на фіг. 1. Високочастотні комутовані смугові кінематичні фільтри $\Phi 1$ і $\Phi 2$ настроєні на центральну частоту спектру посилок. Робота схеми ілюструється епіюрами фіг. 2-3 появою посилки S_{j1} у момент t_1 , ключ $K1$ підключає її на час t_0 до фільтра $\Phi 1$. Для того щоб забезпечити в цьому фільтрі початкові нульові умови (погасити коливання, що малися у

фільтрі $\Phi 1$ до появи посилки S_{j1}), вихід фільтра $\Phi 1$ у момент t_1 на короткий час ($\Delta t_0 \ll t_0$) підключається ключем $K2$ до точки загального потенціалу схеми (до «землі»). Після закінчення посилки у фільтрі $\Phi 1$, зберігаються коливання з фазою посилки S_{j1} . Ці коливання надходять на фазовий детектор і виконують роль опорної напруги для посилки S_j . У момент t_2 , що відповідає появі посилки S_j , ключі $K1$ і $K2$ переключаються в положення 2, відповідно на час $t_0 + \Delta t_0$ і у фільтрі $\Phi 2$ протікають процеси, аналогічні процесам у фільтрі $\Phi 1$. Неважко бачити, що всі посилки з непарними номерами збуджують один фільтр, а з парними - інший.

Таким чином, на виході фільтрів утворюються коливання $u_1(t)$ і $U_2(t)$, що зрушені друг щодо друга на інтервал часу t_0 . Кожне з цих коливань має тривалість, рівну $2t_0$. При цьому перша частина коливання тривалістю t_0 відповідає прийнятій посиці, а друга, з тією же тривалістю, - опорній напрузі для наступної посилки. Напруга на виході фазового детектора має вид лінійно-наростаючих імпульсів, полярність яких визначається значенням різниці фаз порівнюваних посилок. Якщо різниця фаз посилок не перевищує значення $\pm \pi/2$, імпульси мають позитивну полярність, а якщо перевищує - негативну. В відповідностей до знаку полярності цих імпульсів вирішальний пристрій виробляє той чи інший інформаційний символ. Тому що вирішальний пристрій реагує не тільки на полярність, але і на абсолютну величину імпульсів, що під дією перешкоди приймає випадкові значення, можливі і помилкові рішення. Синфазне з границями посилок включення і вимикання фільтрів, а також примусове гасіння вільних коливань у фільтрах забезпечується спеціальними електронними пристроями комутації, керованими за допомогою окремого каналу синхронізації.

Недоліками даного пристрою є ряд обмежень технічного характеру при використанні кінематичних фільтрів, обмежені функціональні можливості (робота тільки з подвійною логікою).

Розвиток і впровадження пазонних ефектів при фазовій демодуляції і модуляції інформаційних сигналів, зв'язаних з розробкою, проектуванням пристроїв і приладів на їхній основі, гальмується в силу того, що відсутні нові способи і пристрої, що враховують всі особливості параметричного зонного ефекту.

В основу винаходу поставлена задача розширити функціональні можливості методів і засобів демодуляції і модуляції сигналів, розширити область застосування пристрою, використовуючи параметричні зонні системи в якості фазочутливих пристроїв.

Такий ефект досягається тим, що в пазонний пристрій демодуляції і модуляції фазомодульованих сигналів, що містить блок синхронізації, вхід якого з'єднаний із входом вхідного ключа, вихід з керуючим входом вхідного ключа, фазовий детектор, вихід якого з'єднаний із входом вирішальної схеми, відповідно до винаходу, вводять пазонний модулюючий тракт, шість пазонних систем, перше і друге джерело струму зсуву, перший вихід антенного перемикача підключений до входу малошумлячого підсилювача, вихід якого з'єднаний із

входами блоку синхронізації і вхідного ключа, перший вихід вхідного ключа підключений до входу синхронізації генератора накачування, а другий вихід - до керуючого входу першої, другої і третьої пазонних систем, перший вихід генератора накачування підключений до входів накачування першої і четвертої пазонних систем і до першого входу фазового детектора, другий вихід генератора накачування підключений до входів накачування другої і п'ятої пазонних систем, третій вихід генератора накачування підключений до входів накачування третьої і шостої пазонних систем, виходи першої, другої і третьої пазонних систем підключені, через відповідні підсумовуючі опори, до другого входу фазового детектора, вихід вирішально-го пристрою підключений до вихідної шини, вихід першого джерела струму зсуву підключений до входів зсуву першої, другої і третьої пазонних систем, вхідна шина підключена до входу пристрою керування, перший, другий і третій виходи якого підключені відповідно до керуючого входу четвертої, п'ятої і шостої пазонних систем, а четвертий вихід підключений до входу керування вихідного перемикача, вихід другого джерела струму зсуву підключений до входів зсуву четвертої, п'ятої і шостої пазонних систем, вихід четвертої пазонної системи підключений до першого входу вихідного перемикача, вихід п'ятої пазонної системи підключений до другого входу вихідного перемикача, вихід шостої пазонної системи підключений до третього входу вихідного перемикача, вихід якого, через підсилювач потужності, з'єднаний із другим виходом антенного перемикача

Сутність запропонованого винаходу пояснюється кресленнями

фіг 1 - функціональна схема пристрою демодулятора при прийомі відносних фазово-модульованих сигналів способом порівняння фаз, фіг 2 - діаграми роботи схеми пристрою демодулятора при прийомі відносних фазово-модульованих сигналів способом порівняння фаз, фіг 3 - функціональна електрична схема пазонного пристрою демодуляції і модуляції фазомодульованих сигналів, фіг 4 - приведена індуктивна а) і ємнісна б) пазонні системи, фіг 5 - діаграми роботи пазонного пристрою демодуляції і модуляції фазомодульованих сигналів

Сутність пазонного способу демодуляції і модуляції фазомодульованих сигналів полягає в наступному. У результаті дискретизації за часом і за рівнем безупинний випадковий процес, що є математичною моделлю безупинних повідомлень, замінюється дискретним випадковим процесом. Такий процес являє собою послідовність відліків, кожний з яких може прийняти будь-яке миттєве значення з кінцевої безлічі можливих цілих значень, що відповідають обраним рівням квантування. Таким чином, величина кожного відліку являє собою випадкове число, що може прийняти одне з $L_{\text{ф}}$ можливих цілих значень. Отже, передача безупинних повідомлень замінюється передачею послідовності чисел. Ці числа можна виразити в зручній системі числення і передати по лінії зв'язку у вигляді послідовності деяких кодових комбінацій.

Для того щоб представити дискретизовані повідомлення в цифровій формі, необхідно вибрати

систему числення. Ця система повинна бути зручною з погляду реалізації потрібних кодових комбінацій. При виборі підстави системи числення в першу чергу необхідно враховувати простоту, економічність і зручність реалізації цифрового представлення інформації. Нехай для представлення чисел використовується система з основою n і числом розрядів m . Тоді кількість елементів, використовуваних у даній системі при записі чисел, дорівнює

$$v = mn \quad (2)$$

Максимальне число, що може бути записане в такій системі числення, дорівнює

$$\max(n) = n^m - 1 \quad (3)$$

З виразу (3) випливає

$$M = \ln[\max N(n) + 1] / \ln n \quad (4)$$

З обліком (4) вираз (2) приймає вид

$$v = \frac{n}{\ln n} \ln[\max N(n) + 1]$$

Знайдемо умову, при якому для запису числа $\max N$ буде потрібно мінімальна величина v

$$\frac{dv}{dn} = \ln[\max N + 1] \frac{\ln n - 1}{(\ln n)^2} = 0 \quad (5)$$

Неважко перекоонатися, що ця умова мінімуму величини v

З умови (5) випливає, що оптимальною системою числення, при якій потрібна мінімальна кількість елементів запису чисел, є система числення з підставою $n = n_{\text{опт}} = e = 2,72$

Практично найбільш близька до оптимального потрібна система ($n=3$). Цифри потрібної системи (0, 1, 2) можна реалізувати у вигляді символів (+1, 0, -1), що представляють три різних стани (наприклад, імпульс позитивної полярності, пауза й імпульс негативної полярності) деякого елемента потрібної логіки. Для пазонних систем практична реалізація потрібної системи полягає в представленні інформації у вигляді фази сигналу.

Переваги потрібної системи числення (особливо симетричної з цифрами 1, 0, 1) виявляються в зручності виконання операцій, підвищенні рівня захисту інформації і точності моделювання. Потрібна параметрична зонна система (PZn) здійснюється на основі двоконтурного параметричного генератора, що працює в режимі взаємної синхронізації. Цифри потрібної системи 1, 0, 1 при цьому зображуються трьома дискретними фазами несучої частоти, що відраховуються від фази опорного генератора і поширюються в загальній лінії зв'язку. Фаза коливань PZn визначається фазою коливань, що мається на більшості входів x_1, x_2, x_3 . У тому випадку, коли всі три фази x_1, x_2, x_3 різні, при додаванні виходить векторний трикутник. Для ліквідації невизначеності, що виникає в цьому випадку, у схему введений четвертий вхід - слабка константа «а» з амплітудою в 3-4 рази меншої, ніж амплітуди інших сигналів, від якої запускається PZn при $x_1=x_2=x_3$. Таким чином, робота схеми описується в такий спосіб

$$F(x_1, x_2, x_3, a) = \begin{cases} a, & \text{якщо } x_1 \neq x_2 \neq x_3, \\ \text{Max}(x_1, x_2, x_3) & \text{в решті випадках,} \end{cases}$$

що легко устанавлюється векторним додаванням чотирьох вхідних сигналів для всіх комбінацій

x_1, x_2, x_3 Це відбувається завдяки тому, що стаціонарна фаза коливань у параметричному генераторі буде найближчої до фази сигналу, що запускає

Можливі варіанти реалізації пазонних систем представлені на фіг 4, причому індуктивні пазонні системи (фіг 4а) використовуються на частотах до 10 МГц, а ємнісні пазонні системи (фіг 4б) - до 1 ГГц. В оптичному діапазоні застосовуються оптичні квантові генератори і нано генератори. Також перспективним є застосування одно електронного параметрону, базовим осередком якого є система трьох тунельних зв'язаних провідних острівців. Електрон може тунелювати між центральними і бічними острівцями, викликаючи поляризацію осередку. Далі з цих осередків може бути побудований ланцюжок з ємнісним зв'язком, що виконує логічні операції. Швидкодія таких схем може бути дуже великою.

Індуктивна пазонна система складається з двох магнітних сердечників з обмотками накачування, включеними послідовно і згідно і підключеними до входу накачування, обмоток керування, включеними послідовно і зустрічне і підключеними до входу керування, обмоток зсуву, включеними послідовно і згідно і підключеними до входу зсуву, резонансних обмоток, включеними послідовно і зустрічне і підключеними до резонансного виходу, причому паралельно резонансним обмоткам підключений послідовний ланцюжок з конденсатора і резистора.

Ємнісна пазонна система складається з двох з'єднаних анодами варикапів, катоди яких підключені до котушки індуктивності з відводом від середньої точки, що через конденсатор з'єднана з загальним проводом, вторинна обмотка котушки індуктивності є резонансним виходом пазонної системи, середня точка котушки індуктивності з'єднана з входом зсуву, загальна крапка варикапів підключена до входу накачування, вхід керування через резистор зв'язку підключений до катода варикапа.

Експериментально були проведені дослідження з індуктивною пазонною системою (фіг 4а) виконаної на двох магнітних сердечниках 2000НМ з обмотками накачування 20 витків, зсуву 50 витків, керування 60 витків, резонансними 60 витків, конденсатор ємністю 0,1 мкФ, резистор опором 20 Ом. Частота накачування 2 кГц. Також була досліджена ємнісна пазонна система (фіг 4б) на варикапах KB101A, сердечник індуктивності марки 3000НМ із резонансною обмоткою 40 витків з відводом від середньої точки, вторинна обмотка 100 витків, ємність конденсатора 0,01 мкФ, резистор 1,8 кОм в ланцюзі керування. Частота накачування 15 кГц. Результати досліджень наведені на фіг 5.

При описі процесів порушення параметричних коливань в індуктивній пазонній системі криву намагнічування сердечника виразимо гіперболічним синусом $H = \alpha \operatorname{sh} \beta B$, де α, β - коефіцієнти апроксимації, B і H - миттєві значення магнітної індукції і напруженості магнітного поля в сердечнику, харчування здійснюється від генератора напруги $u(t) = U_m \cos \omega t$.

Тоді зміна магнітної індукції в одному сердеч-

нику визначиться у виді $B(t) = B_0 + \frac{U_m}{2w_1\omega s} \sin \omega t$, де

ω - кругова частота напруги накачування, s - площа поперечного перерізу сердечника, w_1 - число витків обмотки накачування, U_0 - постійна інтегрування, що при відсутності джерела зсуву дорівнює нулю.

З урахуванням апроксимації $H(B)$ і виразу $B(t)$ напруженість магнітного поля в сердечнику (при $B_0=0$) можна описати в такий спосіб

$H(t) = \alpha \operatorname{sh} \left(\frac{\beta U_m}{2w_1\omega s} \sin \omega t \right)$, а струм накачування -

$$i(t) = \frac{\alpha I}{w_1} \operatorname{sh} \left(\frac{\beta U_m}{2w_1\omega s} \sin \omega t \right)$$

Індуктивності резонансного контуру (модульовані струмом накачування) змінюються з подвоєною частотою напруги накачування. З огляду на те, що

$$\psi = Bw_2s \quad \text{і} \quad B = \operatorname{arcsch} \left(\frac{2w_1\alpha I}{\beta} \right), \quad \text{одержуємо для } L(t)$$

$$L(t) = \frac{sw_2^2}{\beta \sqrt{I^2 w_1^2 + \alpha^2 I^2}}, \quad (6)$$

де w_2 - число витків обмотки резонансного контуру.

Для спрощення викладень приймаємо, що $w_1=w_2=w_3$. При відсутності сили, що змушує, процеси в резонансному контурі описуються диференціальним рівнянням

$$\frac{d^2 I}{dt^2} + 2\alpha(t) \frac{dI}{dt} + \omega_0^2(t) I = 0, \quad (7)$$

де

$$\alpha(t) = \frac{dL(t)}{dt} / L(t) + R / 2L(t),$$

$$\omega_0(t) = \sqrt{\frac{d^2 L(t)}{dt^2} / L(t) + 1/L(t)C}$$

Як видно з цих виразів, коефіцієнт загасання $\alpha(t)$ і кругова частота власних коливань $\omega(t)$ резонансного контуру є функціями часу. Рішення рівняння (7) в елементарних функціях одержати неможливо, що викликає значні труднощі при визначенні амплітуди, фази і частоти параметричних коливань. Наближене рішення можна одержати, застосовуючи один з методів усереднення. Скористаємося методом ББК, застосовуючи підстановку $I = uv$, що дає можливість виключити з рівняння (7) першу похідну. Одержимо вираз

$$u''v + [2v' + 2\alpha(t)v]u' + [v'' + 2\alpha(t)v' + \omega_0^2(t)v] = 0 \quad (8)$$

При накладенні умови на коефіцієнт при першій похідній $v' + \alpha(t)v = 0$, виключаємо член з першої похідної, а з цієї умови визначаємо

$$v = Ae^{-\int \alpha(t) dt} = AG, \quad v' = -\alpha(t)G = -\alpha(t)v, \quad (9)$$

де G - динамічний коефіцієнт підсилення.

Підставляючи в рівняння (8) значення v і v' , одержуємо

$$u'' + F^2(t)u = 0, \quad (10)$$

де

$$F^2(t) = \omega_0^2(t) - \alpha^2(t) - \alpha'(t) \quad (11)$$

Рівняння (10) можна записати у виді

$$\frac{d^2 u}{dt^2} + F^2(t)u - F'(t)C \sin(\int F(t)dt - \varphi_0) = 0,$$

тоді, якщо виконується умова (u і C - мають однаковий порядок)

$|F^2(t)u| \gg |F'(t)C \sin(\int F(t)dt - \varphi_0)|$, наближене рішення рівняння (10) дорівнює

$$u = \frac{1}{\sqrt{F(t)}} [A \cos \gamma(t) + B \sin \gamma(t)],$$

де $\gamma(t) = \int F(t)dt$

З урахуванням виразів $i = uv$ і (9) рішення рівняння (7) приймає вид

$$i = \frac{e^{-\int \alpha(t)dt}}{\sqrt{F(t)}} [A \cos \gamma(t) + B \sin \gamma(t)], \quad (12)$$

де A і B - постійні, обумовлені з початкових умов

Для визначення $\alpha(t)$ $\omega_0(t)$ у виразі (11) необхідно залежності $L(t)$, $L'(t)$, $L''(t)$ виразити через струм накачування. Підставивши значення $I(t)$ у вираз (6), одержимо

$$L(t) = \frac{sw^2}{\beta} \left\{ \alpha^2 I^2 \left[\Delta h^2 \left(\frac{\beta U_m}{2w\omega s} \sin \omega t \right) + 1 \right] \right\}^{-\frac{1}{2}}$$

Продиференціюємо отримане рівняння і після нескладних перетворень знаходимо першу і другу похідні L' і L''

Тому що коефіцієнт загасання визначається виразом

$$\int \alpha(t)dt = \int \frac{L'(t)}{L(t)} dt + \int \frac{R}{2L(t)} dt, \quad (13)$$

то спочатку знайдемо інтеграл $\int \frac{L'(t)}{L(t)} dt$, а потім

$$\int \frac{R}{2L(t)} dt$$

Підставимо в підінтегральний вираз значення $L'(t)$ і $L(t)$, проінтегруємо і після перетворення одержуємо

$$\int \frac{L'(t)}{L(t)} dt = -\ln \operatorname{ch} \left(\frac{\beta U_m}{\omega w s} \sin \omega t \right) \quad (14)$$

Для перебування $\int \frac{R}{2L(t)} dt$, підставивши в підінтегральний вираз значення $L(t)$,

$$\text{визначимо } \int \frac{R}{2L(t)} dt = a \int \operatorname{ch}(b \sin \omega t) dt, \quad \text{де}$$

$$a = \frac{R\alpha\beta I}{2w^2 s}, \quad b = \frac{\beta U_m}{\omega w s}$$

Цей інтеграл в елементарних функціях не береться. Для наближеного визначення інтеграла скористаємося розкладанням $\operatorname{ch}(b \sin \omega t)$ у ряд Фур'є, після інтегрування одержимо вираз

$$\int \frac{R}{2L(t)} dt = a \left[I_0(b) \omega t + I_2(b) \sin 2\omega t + \frac{1}{2} I_4(b) \sin 4\omega t + \dots \right], \quad (15)$$

де $I_0(b)$, $I_2(b)$, $I_4(b)$ - функції Бесселя відповідного порядку. Для практичних розрахунків можна обмежитися функціями Бесселя другого порядку

Підставивши вирази (14) і (15) у рівняння (13), одержимо

$$\int \alpha(t)dt = -\ln \operatorname{ch} \left(\frac{\beta U_m}{\omega w s} \sin \omega t \right) + \frac{\alpha\beta I R}{2\omega w^2 s} \left[I_0 \left(\frac{\beta U_m}{\omega w s} \right) \sin \omega t + I_2 \left(\frac{\beta U_m}{\omega w s} \right) \sin 2\omega t + \frac{1}{2} I_4 \left(\frac{\beta U_m}{\omega w s} \right) \sin 4\omega t + \dots \right]$$

Похідна коефіцієнта загасання $\alpha(t)$ має вид

$$\alpha'(t) = L^{-2}(t) \left\{ L''(t)L'(t) - [L'(t)]^2 - \frac{R}{2} L'(t) \right\}$$

Підставляючи в рівняння (11) значення $\omega_0(t)$, $\alpha(t)$, $\alpha'(t)$ одержимо вираз для визначення функції $F(t)$

$$F(t) = \sqrt{\frac{1}{L(t)C} - \frac{RL'(t)}{2L^2(t)} - \frac{R^2}{4L^2(t)}}$$

Вираз $\int F(t)dt$ в елементарних функціях визначити неможливо. При рішенні практичних задач можна скористатися формулою прямокутників, трапеції чи Симпсона

Перетворимо рішення (12) до виду, більш зручному для практичних розрахунків

$$i = I_0 \frac{e^{-\int \alpha(t)dt}}{\sqrt{F(t)}} \sin \left[\int_0^t F(t)dt + \varphi_0 \right],$$

де

$$I_0 = \sqrt{A^2 + B^2}, \quad A = C \sin \varphi_0, \quad B = C \cos \varphi_0, \quad \varphi_0 = \arctg \frac{A}{B}, \quad \varphi_0$$

- початкова фаза параметричних коливань, I_0 - амплітудне значення струму власних коливань контуру в початковий момент часу. Функція $F(t)$ фізично являє собою миттєве значення власної частоти резонансного контуру, а величина $\int \alpha(t)dt$ - інтегрального коефіцієнту загасання параметричного контуру

Отриманий вираз справедлив протягом одного напівперіоду струму накачування, тому що до початку наступного напівперіоду струму накачування початкове амплітудне значення струму в резонансному контурі буде мати величину, відмінну від попереднього значення (при наявності посилення величина струму I_0 у наступному напівперіоді струму накачування буде більше, ніж у попередньому). Однак величина I_0 не може збільшуватися до нескінченності. Це зв'язано з тим, що при великих значеннях струму в резонансному контурі, по-перше, збільшуються втрати в контурі і, по-друге, починає позначатися нелінійний характер індуктивності резонансного контуру

Запропонований спосіб здійснюється пазонним пристроєм демодуляції і модуляції фазомодульованих сигналів, що містить демодулятор 1, пристрій синхронізації 2, вхід якого з'єднаний із входом ключа 3, вихід з керуючим входом вхідного ключа 3, фазовий детектор 4, вихід якого з'єднаний із входом вирішальної схеми 5, шість пазонних систем 6-1 6-6, перше 7 джерело струму зсуву, перший вихід антенного перемикача 8 підключений до входу малошумлячого підсилювача 9, вихід якого з'єднаний із входами пристрою синхронізації 2 і вхідного ключа 3, перший вихід вхідного ключа 3 підключений до входу синхронізації генератора накачування 10, а другий вихід - до керуючого

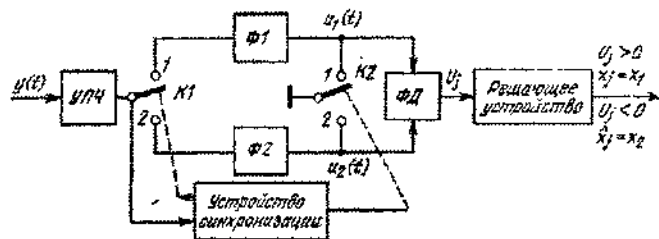
входу першої 6-1, другої 6-2 і третьої 6-3 пазонних систем, перший вихід генератора накачування 10 підключений до входів накачування першої 6-1 і четвертої 6-4 пазонних систем і до першого входу фазового детектора 4, другий вихід генератора накачування 10 підключений до входів накачування другої 6-2 і п'ятої 6-5 пазонних систем, третій вихід генератора накачування 10 підключений до входів накачування третьої 6-3 і шостої 6-6 пазонних систем, виходи першої 6-1, другої 6-2 і третьої 6-3 пазонних систем підключені, через відповідні підсумовуючі опори 11, 12, 13, до другого входу фазового детектора 4, вихід вирішального пристрою 5 підключений до вихідної шини 14, вихід першого джерела струму зсуву 7 підключений до входів зсуву першої 6-1, другої 6-2 і третьої 6-3 пазонних систем, модулятор 15, складається з вхідної шини 16 підключеної до входу пристрою керування 17, перший, другий і третій виходи якого підключені відповідно до керуючого входу четвертої 6-4, п'ятої 6-5 і шостої 6-6 пазонних систем, а четвертий вихід підключений до входу керування вихідного перемикача 18, вихід другого джерела струму зсуву 19 підключений до входів зсуву четвертої 6-4, п'ятої 6-5 і шостої 6-6 пазонних систем, вихід четвертої пазонної системи 6-4 підключений до першого входу вихідного перемикача 18, вихід п'ятої пазонної системи 6-5 підключений до другого входу вихідного перемикача 18, вихід шостої пазонної системи 6-6 підключений до третього входу вихідного перемикача 18, вихід якого, через підсилювач потужності 20, з'єднаний із другим виходом антенного перемикача 8. При цьому індуктивна пазонна система складається з двох магнітних сердечників з обмотками накачування, включеними послідовно і згідно і підключеними до входу накачування, обмоток керування, включеними послідовно і зустрічне і підключеними до входу керування, обмоток зсуву, включеними послідовно і згідно і підключеними до входу зсуву, резонансних обмоток, включеними послідовно і зустрічне і підключеними до резонансного виходу, причому паралельно резонансним обмоткам підключений послідовний ланцюжок з конденсатора і резистора. При цьому ємнісна пазонна система складається з двох з'єднаних анодами варикапів, катоди яких підключені до котушки індуктивності з відводом від середньої крапки, що через конденсатор з'єднана з загальним проводом, вторинна обмотка котушки індуктивності є резонансним виходом пазонної системи, середня точка котушки індуктивності з'єднана з входом зсуву, загальна крапка варикапів підключена до входу накачування, вхід керування через резистор зв'язку підключений до катоду варикапа.

Пазонний пристрій демодуляції і модуляції фазомодульованих сигналів працює в такий спосіб. Сигнал з антенного перемикача 8 надходить

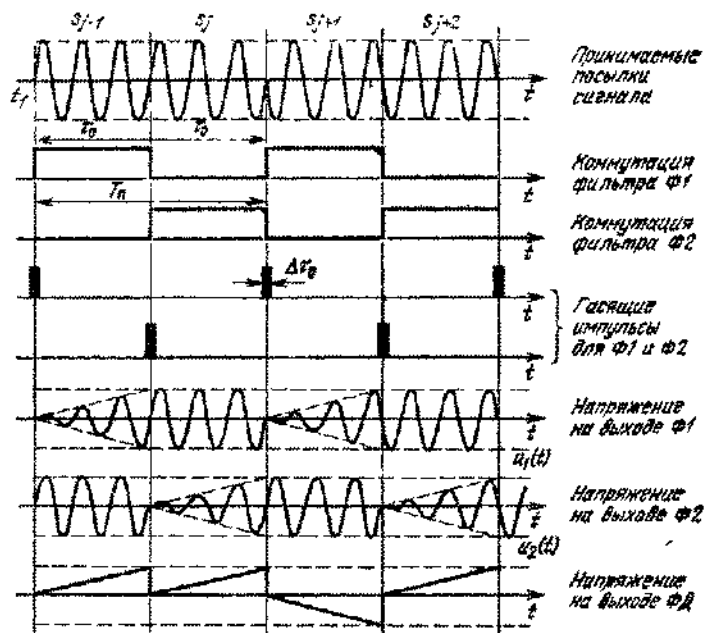
на вхід малошумлячого підсилювача 9, з виходу якого - на вхід пристрою синхронізації 2, де відбувається виділення з вхідного сигналу, опорного, при виявленні якого вхідний ключ 3 подає вхідний сигнал на вхід синхронізації генератора накачування 10. При цьому інформаційні сигнали, переключенням вхідного ключа 3, подаються на керуючі входи першої 6-1, другої 6-2 і третьої 6-3 пазонних систем, що попередньо виведені першим джерелом струму зсуву 7 у необхідну зону нестійкості й у чекаючий режим генерації. Інформаційний сигнал виводить з режиму, що чекає, ту пазонну систему, фаза генерації якої збігається з фазою вхідного сигналу. Фазовий детектор 4 порівнює фазу на резонансній обмотці з нульовою і сигнал неузгодженості надходить на вхід вирішального пристрою 5, у якому сигнал неузгодженості перетворюється у відповідні логічні рівні інформаційного сигналу і надходить на вихідну шину 14. Сигнал із вхідної шини 16 надходить на вхід пристрою керування 17, що, у залежності від логічного рівня, подає сигнал на керуючий вхід четвертої 6-4, п'ятої 6-5 чи шостої 6-6 пазонної системи і керує положенням вихідного перемикача 18. В якості пристрою керування 17 можливе застосування програмувальної логічної матриці, мікроконтролерного пристрою або відповідної логічної схеми. При цьому попередньо четверта 6-4, п'ята 6-5 і шоста 6-6 пазонні системи настраюються на режим генерації в необхідній зоні нестійкості, шляхом подачі сигналу з виходу другого джерела струму зсуву 19 на входи зсуву четвертої 6-4, п'ятої 6-5 і шостої 6-6 пазонних систем. Опорний сигнал формується із сигналу з нульовою фазою, що виходить на виході четвертої пазонної системи 6-4. Опорний інформаційний сигнал з виходу підсилювача потужності 20 надходить на другий вихід антенного перемикача 8.

Таким чином, запропонований пазонний пристрій демодуляції і модуляції фазомодульованих сигналів є приймачем сигналів з відносною фазовою маніпуляцією з різницею фаз 120° тобто прийом сигналів потрійної системи числення, що підвищує ефективність прийому, захист інформації і перешкодостійкість. Передача здійснюється з відносною фазовою маніпуляцією з різницею фаз 120° і опорним сигналом співпадаючим по фазі з нульовим (з фазою 0°). При сприятливій обставині у відношенні перешкод можливі прийом і передача сигналів з фазовою маніпуляцією, що підвищує швидкодію за рахунок відмовлення від опорних посилок.

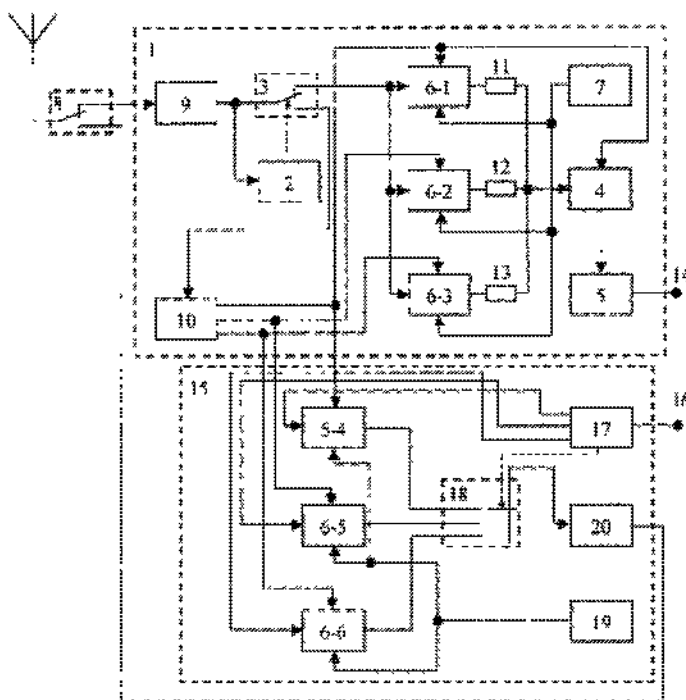
Запропоноване технічне рішення може знайти застосування у приймально-передавальній апаратурі зв'язку, схем модуляції і демодуляції сигналів з фазовою модуляцією, обчислювальній техніці й у навчальному процесі.



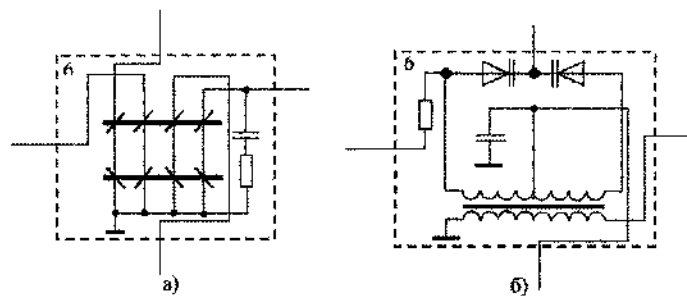
Фиг. 1



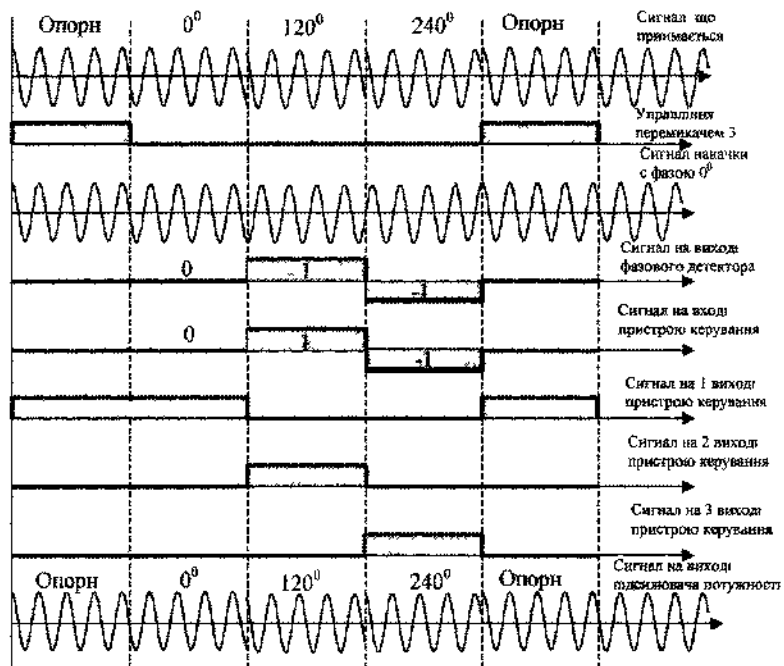
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5