

Технічні науки

УДК 519.2

Панченко Олександр Юрійович

*доктор фізико-математичних наук, професор кафедри
проектування та експлуатації електронних апаратів
Харківський національний університет радіоелектроніки*

Панченко Александр Юрьевич

*доктор физико-математических наук, профессор кафедры
проектирования и эксплуатации электронных аппаратов
Харьковский национальный университет радиоэлектроники*

Panchenko Alexander

*Doctor of Physics and Mathematics, Professor of the
Designed and Operation of Electronic Device Department
Kharkiv National University of Radioelectronics*

Сезонова Ірина Костянтинівна

*кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри
комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматики та мехатроніки
Харківський національний університет радіоелектроніки*

Сезонова Ирина Константиновна

*кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры
компьютерно-интегрированных технологий, автоматики и мехатроники
Харьковский национальный университет радиоэлектроники,*

Sezonova Iryna

*PhD, Associate Professor, Professor of the Department of
Computer-Integrated Technologies
Kharkiv National University of Radioelectronics*

Петулько Михайло Сергійович

магістрант

кафедри проектування та експлуатації електронних апаратів

Харківського національного університету радіоелектроніки

Петулько Михаил Сергеевич

магистрант

кафедры проектирования и эксплуатации электронных аппаратов

Харьковского национального университета радиоэлектроники

Petulko Mykhailo

Master of Designed and Operation of Electronic Devices of the

Kharkiv National University of Radioelectronics

Міхєєв Кирило Олексійович

бакалаврант

кафедри проектування та експлуатації електронних апаратів

Харківського національного університету радіоелектроніки,

Михеев Кирилл Алексеевич

бакалаврант

кафедры проектирования и эксплуатации электронных аппаратов

Харьковского национального университета радиоэлектроники

Mihyeyev Kirilo

Bachelor of Designed and Operation of Electronic Devices of the

Kharkiv National University of Radioelectronics

**ПРИНЦИП ПОБУДОВИ ВИСОКОЧАСТОТНОГО ТРАКТУ
ПРОГРАМНО-ВИЗНАЧУВАНОЇ РАДІОСИСТЕМИ
ПРИНЦИП ПОСТРОЕНИЯ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ТРАКТА
ПРОГРАММНО-ОПРЕДЕЛЯЕМОЙ РАДИОСИСТЕМЫ
PRINCIPLE OF CONSTRUCTION OF THE HIGH-FREQUENCY
TRACUTE OF THE SOFTWARE-DEFINED RADIO SYSTEM**

Анотація. В роботі розглянута структурна схема «ідеальної» програмно-визначуваної радіосистеми, що передбачає безпосереднє оцифрування прийнятого сигналу з антени, шляхом підключення прийомо-передавальної антени до аналого-цифрового перетворювача, та безпосередньої передачі перетвореного сигналу з цифрової форми в аналогову, шляхом підключення прийомо-передавальної антени до цифро-аналогового перетворювача. Розглянута загальна проблема використання такої схеми.

Наведена структура більш досконалої схеми прийомопередавача «ідеальної» програмно-визначуваної радіосистеми, що має в своєму складі перелаштовуваний смуговий фільтр-преселектор, малошумний підсилювач, вихідний підсилювач потужності і фільтр нижніх частот. Широкосмуговість і мультистандартність приймача забезпечується, так як функціональна схема не містить апаратних вузько-смугових селективних пристроїв або пристроїв, що залежать від несучої частоти та ширини каналу. Чутливість приймача залежить від коефіцієнта шуму лінійної частини приймача, ширини каналу (смуги частот оптимального фільтра) і відношення сигнал/шум на вході детектора. Коефіцієнт шуму лінійної частини приймача є апаратно-залежною величиною і визначається, в основному, коефіцієнтом шуму і коефіцієнтом посилення малошумного підсилювача. Вибірковість по каналам помилкового прийому і по сусідньому каналу може бути реалізована цифровою фільтрацією.

Розглянута основна проблема «ідеальної» програмно-визначуваної радіосистеми. Поставлена задача побудови програмно-визначуваної радіосистеми, частотна характеристика котрого буде незалежною від параметрів конкретного аналого-цифрового перетворювача, цифро-аналогового перетворювача при умовах роботи в широкому діапазоні частот; із забезпеченням мультистандартності, мінімального спотворення інформації та виконання електромагнітної сумісності. При

цьому програмно-визначуваної радіосистеми має містити мінімально необхідну апаратну частину, що визначається вимогами до характеристик програмно-визначуваної радіосистеми і умовам виконання електромагнітної сумісності. Розглянутий метод вирішення задачі, шляхом побудови високочастотного лінійного тракту прийомо-передавача. Таким чином для того щоб побудувати програмно-визначену радіосистему, частотна характеристика котрої буде незалежна від параметрів конкретного аналого-цифрового, цифро-аналогового перетворювача треба відсторонитися від їх параметрів побудувавши лінійний високочастотний тракт, що переносить спектр прийнятого сигналу на низькі частоти і забезпечить необхідне підсилення і вибірковість. А в режимі передачі модульований сигнал формується в сигнальному процесорі (синтезаторі прямого цифрового синтезу) на проміжній частоті, перетворюється в аналогову форму і перетворюється в змішувачі в високочастотний модульований сигнал для передачі.

Таким чином оцифрування та перетворення цифрового сигналу в аналоговий виконується на постійній проміжній частоті, а робота в широкому діапазоні частот реалізується високочастотним лінійним трактом.

Ключові слова: *програмно-визначувана радіосистема, прийомопередавач, високочастотний лінійний тракт.*

Аннотація. *В работе рассмотрена структурная схема «идеальной» программно-определяемой радиосистемы, предусматривающей непосредственную оцифровку принятого сигнала с антенны, путем подключения приемно-передающей антенны к аналого-цифровому преобразователю, и непосредственной передачи преобразованного сигнала из цифровой формы в аналоговую, путем подключения приемно-передающей антенны к цифро-аналоговому преобразователю. Рассмотрена общая проблема использования такой схемы.*

Приведенная структура более совершенной схемы приемопередатчика «идеальной» программно-определяемой радиосистемы, имеющий в своем составе перестраиваемый полосовой фильтр-преселектор, малошумящий усилитель, выходной усилитель мощности и фильтр нижних частот. Широкополосность и мультистандартность приемника обеспечивается, так как функциональная схема не содержит аппаратных узкополосных селективных устройств или устройств, зависящих от несущей частоты и ширины канала. Чувствительность приемника зависит от коэффициента шума линейной части приемника, ширины канала (полосы частот оптимального фильтра) и отношение сигнал / шум на входе детектора. Коэффициент шума линейной части приемника является аппаратно-зависимой величиной и определяется, в основном, коэффициентом шума и коэффициентом усиления малошумного усилителя. Избирательность по каналам ошибочного приема и по соседнему каналу может быть реализована цифровой фильтрацией.

Рассмотрена основная проблема «идеальной» программно-определяемой радиосистемы. Поставленная задача построения программно-определяемой радиосистемы, частотная характеристика которого будет независимой от параметров конкретного аналого-цифрового преобразователя, цифро-аналогового преобразователя при условиях работы в широком диапазоне частот; с обеспечением мультистандартности, минимального искажения информации и выполнения электромагнитной совместимости. При этом программно-определяемая радиосистема должна содержать минимально необходимую аппаратную часть, которая определяется требованиями к характеристикам программно-определяемой радиосистемы и условиям выполнения электромагнитной совместимости. Рассмотрен метод решения задачи путем построения высокочастотного линейного тракта

приемо-передатчика. Таким образом, для того чтобы построить программно-определенную радиосистему, частотная характеристика которой будет независима от параметров конкретного аналого-цифрового, цифро-аналогового преобразователя надо отстраниться от их параметров построив линейный высокочастотный тракт, который переносит спектр принимаемого сигнала на низкие частоты и обеспечит необходимое усиление и избирательность. А в режиме передачи модулированный сигнал формируется в сигнальном процессоре (синтезаторе прямого цифрового синтеза) на промежуточной частоте, преобразуется в аналоговую форму и затем смесителем в высокочастотный модулированный сигнал для передачи.

Таким образом,, оцифровки и преобразования цифрового сигнала в аналоговый выполняется на постоянной промежуточной частоте, а работа в широком диапазоне частот реализуется высокочастотным линейным трактом.

Ключевые слова: программно-определяемая радиосистема, приемопередатчик, высокочастотный линейный тракт.

Summary. The paper considers the structural scheme of an "ideal" software-defined radio system, which involves the direct digitization of the received signal from the antenna, by connecting the receiver-transmitting antenna to the analog-digital converter, and the direct transmission of the transformed signal from the digital form to the analogue, by connecting the receiver-transmitter antenna to digital-to-analog converter. The general problem of using such a scheme is considered.

The structure of a more perfect scheme of the transceiver of an "ideal" program-definable radio system, which has in its composition a reconfigurable bandpass filter-pre-selector, low noise amplifier, output power amplifier and low-pass filter, is presented. Broadband and multi-standard receiver is provided, since the functional circuit does not contain hardware narrow-band selective

devices or devices depending on the carrier frequency and channel width. The sensitivity of the receiver depends on the noise factor of the linear part of the receiver, the channel width (band of the optimal filter), and the signal / noise ratio at the detector input. The noise factor of the linear part of the receiver is a hardware-dependent value and is determined, mainly, by the noise factor and the gain factor of the low noise amplifier. The selectivity on channels of false reception and on the adjacent channel can be realized by digital filtering.

The main problem of the "ideal" software -definable radio system is considered. The task of constructing a software -definable radio system, the frequency characteristic of which will be independent of the parameters of a specific analog-digital converter, a digital-to-analog converter in conditions of work in a wide frequency range, is posed. with the provision of multi-standard, minimum distortion of information and the implementation of electromagnetic compatibility. In this case, the software-defined radio system must contain the minimum required hardware part, which is determined by the requirements for the characteristics of the software-determined radio system and the conditions for the implementation of electromagnetic compatibility. The method of solving the problem is considered, by constructing a high-frequency linear path of the receiver-transmitter. Thus, in order to construct a software-defined radio system, the frequency characteristic of which will be independent of the parameters of a particular analog-digital, digital-to-analog converter should be discarded from their parameters by constructing a linear high-frequency path that transmits the spectrum of the received signal at low frequencies and provides the necessary amplification and selectivity In the transmission mode, the modulated signal is formed in the signal processor (synthesizer of direct digital synthesis) at an intermediate frequency, converted to an analog form and converted into a mixer into a high-frequency modulated signal for transmission.

Thus digitization and transformation of a digital signal into an analog is performed at a constant intermediate frequency, and work in a wide frequency

range is realized by a high-frequency linear path.

Key words: *software-definable radio system, transceiver, high-frequency linear path.*

Сучасні тенденції розвитку електроніки передбачають виникнення нових стандартів передачі даних, у зв'язку з чим пред'являються нові вимоги до радіосистем передачі інформації.

Передбачається, що така радіосистема широкопasmова, мультистандартна, володіє мінімальною апаратною частиною; а перехід на новітні стандарти зв'язку і передачі інформації проводиться при мінімальних маніпуляціях та апаратних перетвореннях. В таких радіосистемах передачі інформації програмна реалізація більшості функцій обробки сигналів, та оперативне керування апаратною частиною виводить функціональність на новий рівень, а саме можливість роботи в широкій смузі частот, підтримки різних стандартів передачі інформації, модернізації на новітні стандарти з мінімальними апаратними перетвореннями.

Програмно-визначувана радіосистема (Software Defined Radio) – система радіозв'язку, в якій більшість задач апаратного рівня виконуються програмно, крім функцій, що програмно невиконувані. Така реалізація і є головною різницею з програмно-керованою радіосистемою (Software Controlled Radio). В програмно-керованій радіосистемі функції перетворення та обробки сигналів виконується апаратно під програмним контролем. Такі радіосистеми використовуються в якості засобів відео та аудіо зв'язку стаціонарних та малорухомих наземних об'єктах, супутникового зв'язку [1, с. 14-17; 2, с. 384; 3, с. 10].

Обов'язковими апаратними функціями в будь якій програмно-визначуваній радіосистемі (ПВР) залишаються процесор, аналого-цифрові (цифро-аналогові) перетворювачі, підсилювачі потужності, антенні пристрої. В результаті програмної реалізації апаратних функцій обробки

сигналів, ПВС є економічно найбільш вигідним продуктом в порівнянні з спеціалізованими пристроями, так як виробляються для більш широкого кола користувачів, а модернізація радіоустаткування заключається тільки в зміні програмного забезпечення.

Ідеальний прийомопередавач програмно-визначуваної радіосистеми

Радіочастотна аналогова частина ідеальної ПВР визначається як єдина апаратна платформа, що перетворює прийнятий високочастотний сигнал в цифрову форму і сигнал, що передається з цифрової форми в високочастотну область.

В найпростішому випадку апаратна радіо-частина програмно-визначена система представляє собою безпосереднє підключення антени до аналого-цифрового перетворювача (АЦП) або цифро-аналогового перетворювача (ЦАП) (рис. 1). Для приймача до антени підключається АЦП. Для передавача, принцип побудови такий як і для приймача, антена безпосередньо підключена до ЦАП. В режимі прийому сигнал, що надходить з антени до АЦП, перетворюється в цифровий сигнал і зчитується цифровим сигнальним процесором, який програмно конвертує зчитаний сигнал в будь-яку форму для подальшої обробки або представлення даних.

В режимі передачі сигнал з процесора надходить до ЦАП, перетворюється в аналогову форму і надходить до антени. Єдиним допоміжним вузлом (блоком) в такій схемі є комутатор антени для підключення АЦП чи ЦАП, щоб забезпечити роботу на одну антену в режимі прийому (ПРМ) або передачі (ПРД). Таким чином реалізується безпосередня обробка прийнятого сигналу, та передача перетвореного сигналу. Така концепція називається «ідеальною», так як, принципово має мінімально можливу апаратну частину. Більш досконаліша схема ідеальної ПВР зображена на рис. 2.

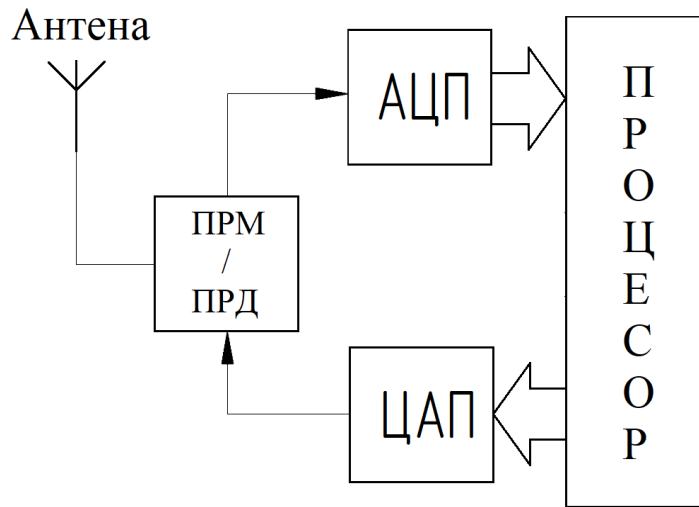


Рис. 1. Структурна схема прийомопередавача ідеальної програмно-визначуваної радіосистеми

Апаратна частина приймача включає вхідний смуговий фільтр-преселектор з функцією автоматичного регулювання частоти (АРЧ), малошумний підсилювач (МШП) з функцією автоматичного регулювання підсилення (АРП) і АЦП.

Смуговий фільтр пригнічує сторонні заважаючі сигнали, що досить віддалені від несучої частоти корисного сигналу, зменшуючи сумарний сигнал на вході малошумного підсилювача. МШП забезпечує попереднє посилення прийнятого сигналу і обмеження максимальної величини сигналу відповідно до динамічного діапазону АЦП.

Апаратна частина передавача включає ЦАП, вихідний підсилювач потужності (ВП) з функцією автоматичного регулювання вихідної потужності (АРВП) і фільтр гармонік несучої частоти з функцією АРЧ.

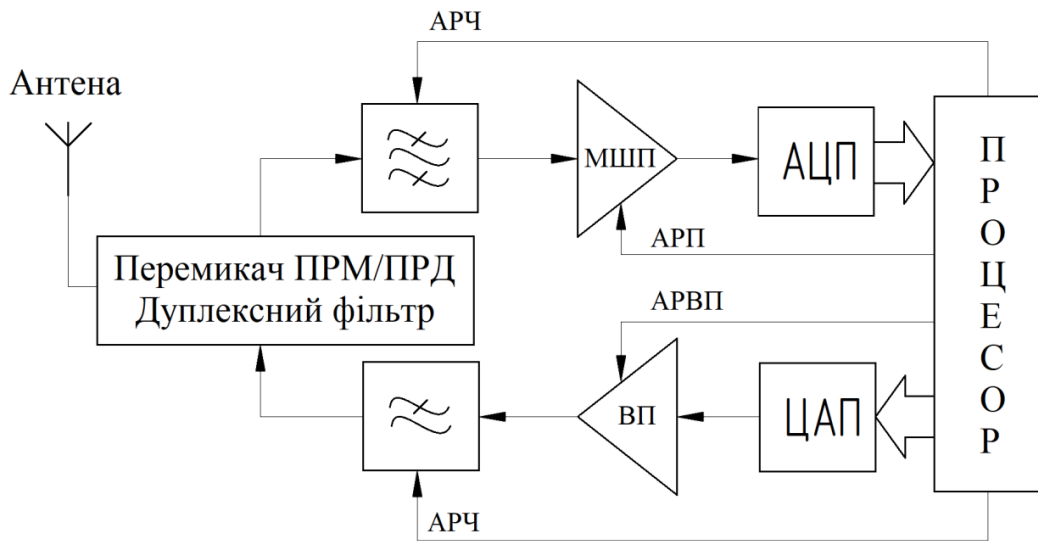


Рис. 2. Ідеальна радіостанція ПВР

Модульований сигнал на необхідній несучій частоті формується безпосередньо в цифровому вигляді і після перетворення в аналогову форму надходить на вихідний підсилювач. На виході ЦАП розташовується реконструкційний фільтр, який виконує технічну функцію пригнічення в спектрі аналогового високочастотного сигналу паразитних частот перетворення ЦАП. Фільтр нижніх частот обмежує випромінювання для гармонік несучої частоти модульованого сигналу на виході підсилювача потужності.

Широкосмуговість і мультистандартність приймача забезпечується, так як функціональна схема не містить апаратних вузько-смугових селективних пристроїв або пристроїв, що залежать від несучої частоти та ширини каналу. Чутливість приймача залежить від коефіцієнта шуму лінійної частини приймача, ширини каналу (смуги частот оптимального фільтра) і відношення сигнал/шум на вході детектора. Коефіцієнт шуму лінійної частини приймача є апаратно-залежною величиною і визначається, в основному, коефіцієнтом шуму і коефіцієнтом посилення малошумного підсилювача. Вибірковість по каналам помилкового прийому і по

сусідньому каналу може бути реалізована цифровою фільтрацією.

На порівняно низьких частотах реалізація такої схеми «ідеальної» ПВР на сучасній елементній базі можлива. На високих частотах з'являються проблеми, що виражені в характеристиках елементної бази. Так як перетворюється високочастотний сигнал, що окрім корисного (часто слабкого) сигналу має потужні завади та сторонні сигнали, пред'являються високі вимоги до лінійності і динамічному діапазону МШП і АЦП. Високі робочі частоти АЦП (ЦАП) окрім практичної реалізації мають проблеми з надвисоким енергоспоживанням на високих частотах [1, с. 19-26].

Кожна конкретна область використання ПВР несе за собою особливості характерні для даної області, що веде за собою зміну структури і схемотехнічних рішень, відмінних від базової структури.

Метою даної статті є узагальнене уявлення принципу побудови прийомопередавача програмно-визначуваної радіосистеми для передачі інформації і радіозв'язку.

Розглядається задача побудови ПВР, частотна характеристика котрого буде незалежною від параметрів конкретного АЦП, ЦАП при умовах роботи в широкому діапазоні частот; із забезпеченням мультистандартності, мінімального спотворення інформації та виконання електромагнітної сумісності. При цьому ПВР має містити мінімально необхідну апаратну частину, що визначається вимогами до характеристик ПВР і умовам виконання електромагнітної сумісності.

Будемо розглядати задачу побудови прийомопередавача ПВР при роботі в широкому діапазоні частот, незалежно від типу модуляції та умов прийому. Основна вимога ПВР є робота з різноманітними стандартами зв'язку на єдиній апаратній основі. Це означає, що апаратна частина радіостанції має бути незалежною від основних параметрів радіоканалу, а саме несучою частотою високочастотного модульованого сигналу, типу модуляції, ширини смуги частот модульованого сигналу, швидкості

передачі інформації, методу розділення каналів, структури і довжини пакету [4, с.24].

Подальший розвиток елементної бази розширить можливості використання «ідеальної» схеми ПВР на порівняно високих частотах, з виконанням вимог електромагнітної сумісності та прийнятним енергоспоживанням. Окремим фактором, що впливає на доцільність побудови радіосистеми за «ідеальною» схемою ПВР є вартість.

Виходить, для того щоб побудувати ПВР, частотна характеристика котрої буде незалежна від параметрів конкретного АЦП (ЦАП) треба відсторонитися від їх параметрів побудувавши лінійний високочастотний тракт, що переносить спектр прийнятого сигналу на низькі частоти і забезпечить необхідне підсилення і вибірковість [2, с. 11].

Таким чином АЦП перетворює прийнятий сигнал на постійній проміжній частоті, а робота в широкому діапазоні частот реалізується високочастотним лінійним трактом.

Реалізація лінійного високочастотного тракту ПВР узагальнено зображена на рис. 3.

Антенний фільтр преселектор та малошумлячий підсилювач забезпечують виділення робочого діапазону частот, подавлення дзеркального сигналу, попереднє підсилення високочастотного сигналу. Змішувач і фільтр основної селекції проміжної частоти являються ключовими елементами в даній конфігурації. Ці компоненти виконують перенесення несучої частоти прийнятого на ненульову фіксовану проміжну частоту і вибірку прийнятого корисного сигналу. Після перетворення до наступної апаратної чи програмної обробки залишається тільки корисний модульований сигнал при відсутності всіх завад.

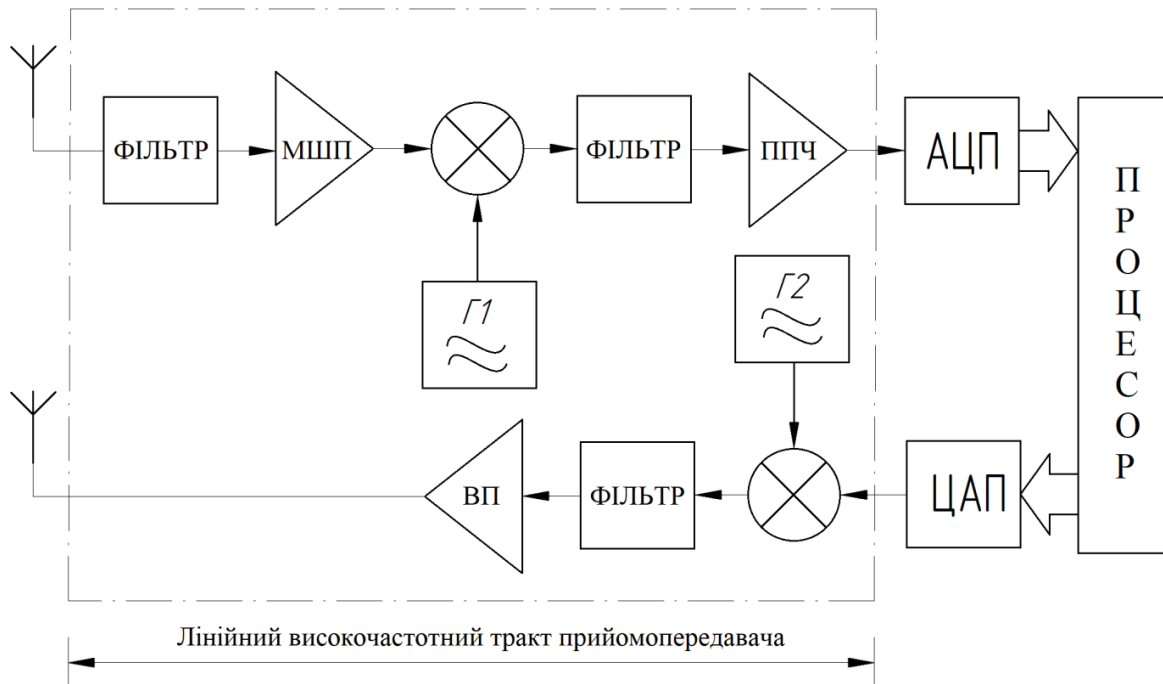


Рис. 3. Програмно-визначуваний прийомопередавач з лінійним високочастотним трактом

Вимоги до лінійності підсилювача проміжної частоти визначаються типом модуляції в прийнятому сигналі. Для частотно-модульованого сигналу з постійною обвідної підсилювач може бути нелінійним. Для сигналів з супутньою амплітудною модуляцією підсилювач повинен бути лінійним (лінеаризований в залежності від глибини модуляції). Критерієм допустимого ступеня нелінійності підсилювача є спотворення інформації, що вноситься в підсилюваний сигнал; чисельна деградація достовірності прийому виражається в збільшенні бітових помилок BER. У разі прийому сигналу з багатьма несучими (наприклад, OFDM) або паралельного прийому декількох сигналів (багатоканальний приймач) підсилювач проміжної частоти працює в режимі багатосигнального посилення. Підсилювач таких сигналів повинен бути лінійним незалежно від виду модуляції, причому ступінь лінійності підсилювача визначається не тільки допустимими спотвореннями самих сигналів, але і генерацією комбінаційних частот в смузі підсилюються сигналів. Нелінійність

підсилювача проміжної частоти і наступних елементів приймача визначається лише вимогами на достовірність прийому інформації і оскільки всі сторонні сигнали пригнічені в фільтрах проміжної частоти не впливає на інтермодуляційну вибірковість приймача.

У передавачі підвищуючий змішувач перетворює модульований сигнал з нульовою або ненульовою проміжною частотою в високочастотний діапазон. Застосування аналогового високочастотного змішувача допускає цифрове формування модульованого сигналу на відносно низькій проміжній частоті з мінімальними обчислювальними витратами і максимально досяжною якістю. Наступний за змішувачем смуговий фільтр проміжної частоти подавляє комбінаційні частоти нелінійного перетворення. Вимоги до лінійності підсилювача потужності визначаються як вимогами мінімального спотворення інформації, так і вимогами електромагнітної сумісності. Спотворення інформації визначається тільки спотвореннями спектра у відносно невеликій області не більше 30 дБ в межах головної пелюстки спектральної щільності потужності. У той же час вимоги стандарту електромагнітної сумісності обмежують потужність випромінювання, що виникає в сусідньому каналі внаслідок генерації комбінаційних частот на нелінійності підсилювача, величиною -70 дБ [1, с. 121-125].

Розробка методу побудови високочастотного тракту

Широкосмуговий приймач з низькою проміжною частотою зображений на рис. 4. Характеризується відсутністю високодобротних апаратних фільтрів основної селекції в тракту проміжної частоти. Всі функції по виділенню робочого частотного каналу (основної селекції) і пригнічення хибних каналів прийому виконується в цифровому вигляді. Частотний план широкосмугового приймача з низькою проміжною частотою по фільтру проміжної частоти зображений на рис. 5, по фільтру преселектору зображений на рис. 6.

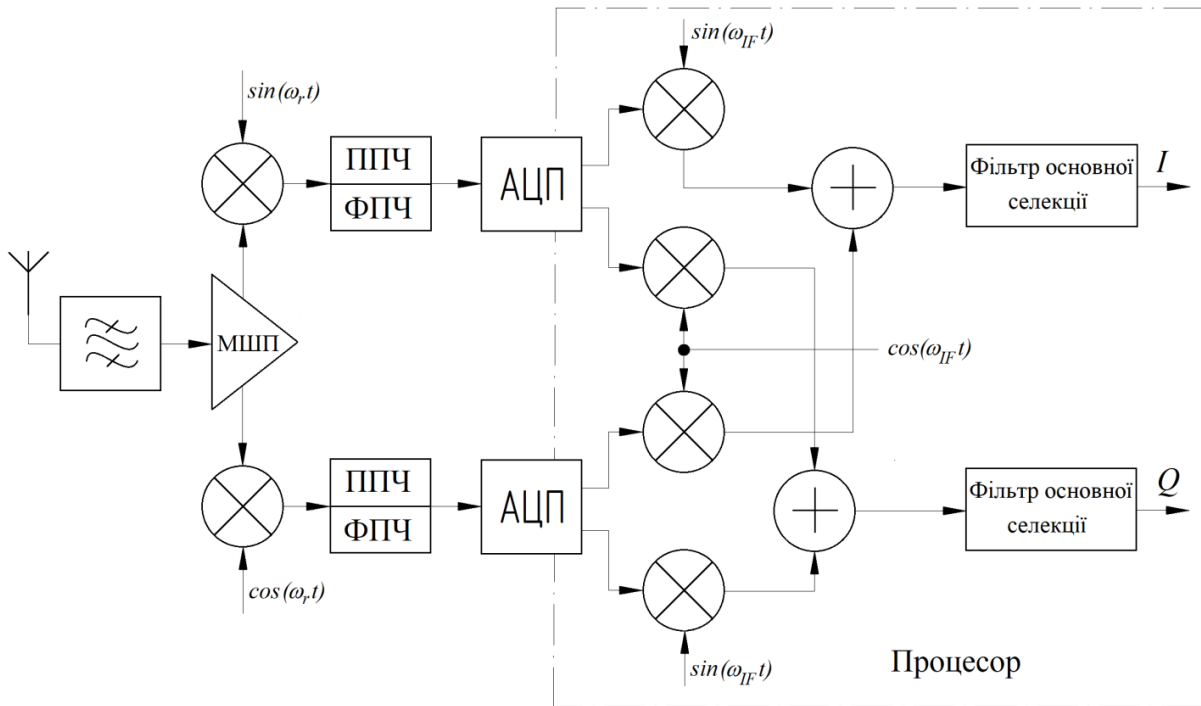


Рис. 4. Широкопугвий приймач з низькою проміжною частотою

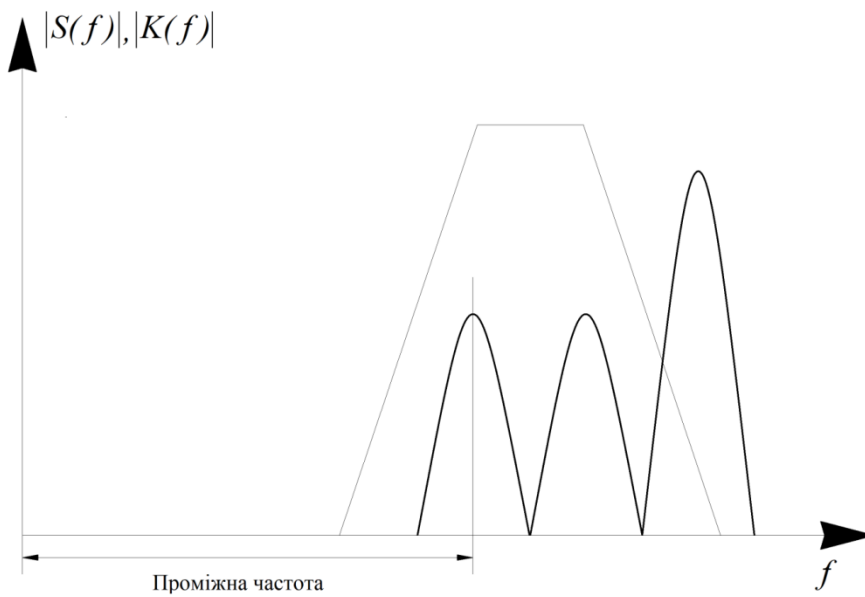


Рис. 5. Частотний план широкопугового приймача з низькою проміжною частотою по фільтру проміжної частоти

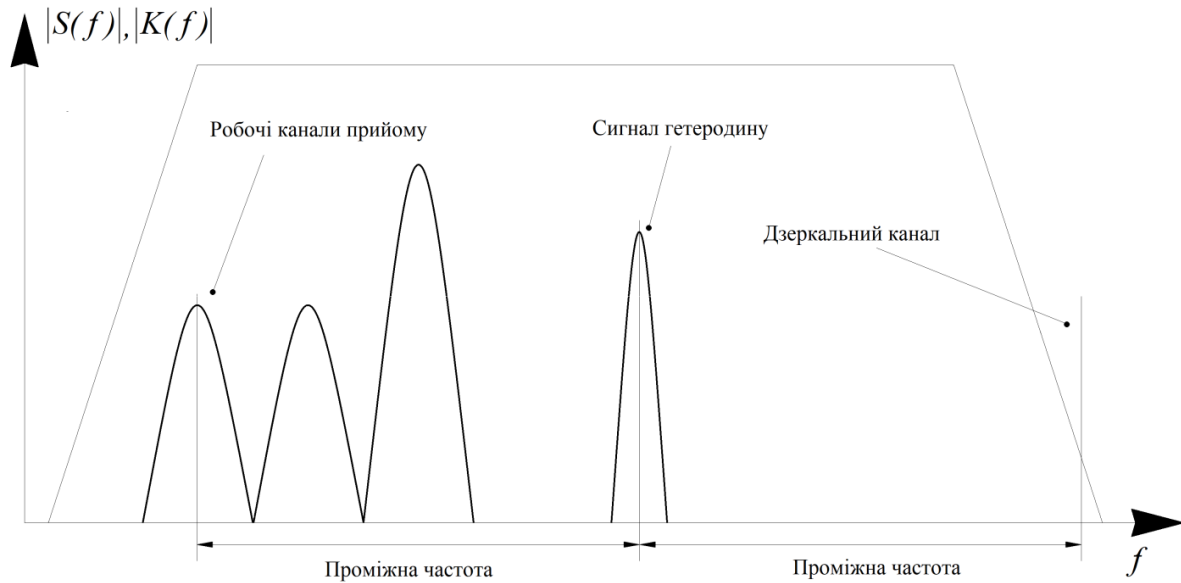


Рис. 6. Частотний план широкосмугового приймача з низькою проміжною частотою по фільтру преселектору

Квадратурний модулятор формує комплексний сигнал на фіксованій низькій проміжній частоті. Фільтр проміжної частоти реалізується на дискретних RC-елементах як фільтр нижніх частот або як смугово-проникний LC фільтр з нульовим коефіцієнтом передачі на нульовій частоті. За своїми селективними властивостями такий фільтр не може забезпечити навіть часткового пригнічення сигналу на частоті сусіднього каналу, його призначення обмежується частковим пригніченням сторонніх сигналів і комбінаційних продуктів квадратурного змішувача. Попереднє пригнічення сигналів на комбінаційних і сторонніх частотах потрібне для зменшення динамічного діапазону сумарного сигналу і, як наслідок, зменшення вимог до частотного діапазону АЦП; задача основної селекції і пригнічення хибних каналів прийому виконується в цифрових фільтрах процесора. Смуга пропускання апаратного низькодобротного фільтру проміжної частоти може змінюватися відповідно до смуги частот робочого каналу шляхом комутації компонентів фільтру. Підсилювач проміжної частоти забезпечує необхідний рівень сигналу, що приймається на вході АЦП в умовах малосигнального підсилення, що викликає підвищені

вимоги до лінійності підсилювача проміжної частоти і динамічному діапазону АЦП. Апаратна частина не має високодобротних частотно-селективних елементів, що потенціально забезпечує можливість роботи приймача з різними модульованими сигналами при відповідній зміні полоси проникнення низькодобротних фільтрів проміжної частоти.

Цифровий комплексний демодулятор поєднує функцію перетворення спектру сигналів в основний діапазон з одночасним пригніченням сигналу, перетвореного з частоти дзеркального каналу. Оптимальний цифровий фільтр завжди може бути реалізованим в основному діапазоні як фільтр нижніх частот з необхідною крутизною амплітудно-частотної характеристики, який одночасно здійснює основну селекцію демодульованого сигналу. Тим самим буде виконано вимогу електромагнітної сумісності по вибірковості сусіднього каналу [1, с. 177-186; 5, с. 3].

Однак проблеми з вибірковістю хибних каналів залишаються, так як програмна реалізація комплексного фільтра для пригнічення сигналів, перетворених з дзеркальної частоти, лише своєю наявністю не гарантує виконання вимог електромагнітної сумісності по пригніченню взагалі всіх хибних каналів прийому. До цього важливо додати вимогу до симетрії каналу квадратурного демодулятора, що визначає залишкову потужність сигналу після перетворення з дзеркальної частоти, в смузі частот корисного сигналу перетвореного з робочої частоти.

Зменшити високі вимоги до лінійності підсилювача проміжної частоти в динамічному діапазоні АЦП можливо при високій селективності фільтрів проміжної частоти по квадратурним компонентам демодульованого сигналу.

Добротність RC – фільтрів нижніх частот і смугового LC – фільтра на низькій проміжній частоті дуже мала, а тому зменшення величини заважаючого сигналу на частоті сусіднього каналу не перевищує 10 дБ.

Ще одним рішенням пов'язаним з пригніченням в приймачі першої дзеркальної частоти і багатосигнального підсилення в умовах потужних сторонніх сигналів частково вирішуються при переході на нульову проміжну частоту (в схемах з n-кратним перетворенням до нульової першої проміжної частоти).

Типова функціональна схема передавача з ненульовою проміжною частотою показана на рис. 7.

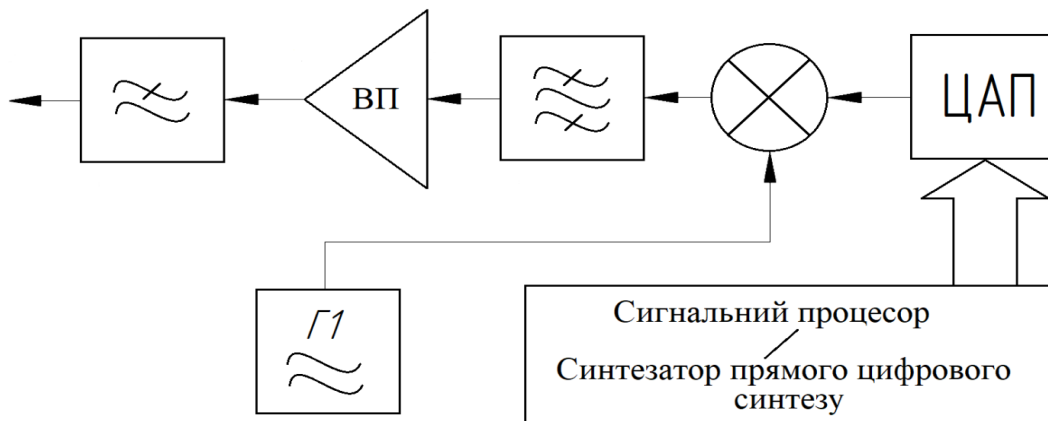


Рис. 7. Передавач з ненульовою проміжною частотою

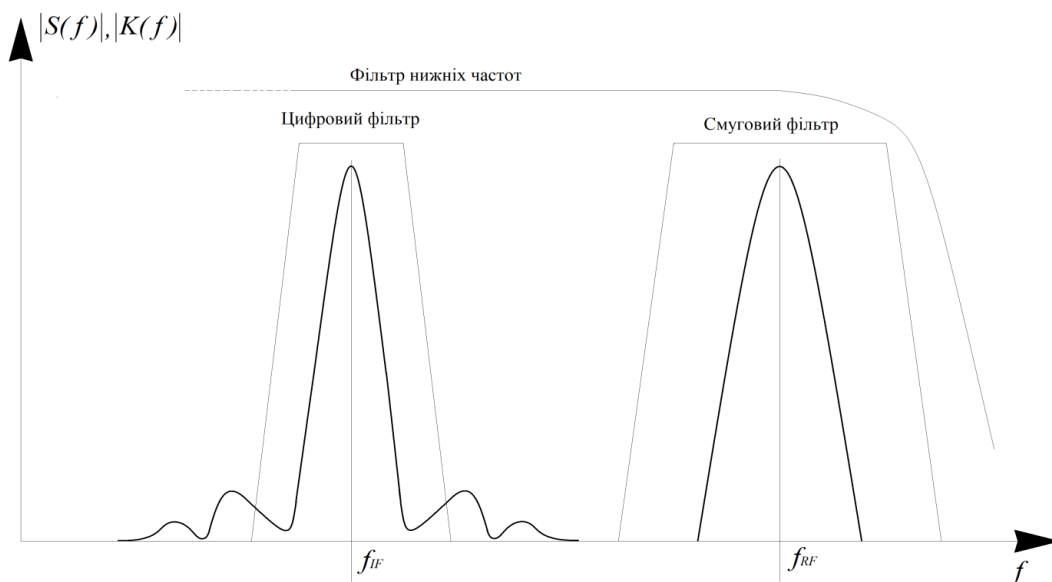


Рис. 8. Частотний план передавача з ненульовою проміжною частотою

Частотний план передавача з ненульовою проміжною частотою показана на рис. 8.

Формування модульованого сигналу здійснюється в сигнальному

процесорі або в синтезаторі прямого цифрового синтезу. Такий спосіб формування забезпечує стабільні і точні параметри модульованого сигналу незалежно від виду модуляції та швидкості передачі даних. Цифровий фільтр, що обмежує спектр модульованого сигналу, забезпечує виконання вимог електромагнітної сумісності по потужності випромінювання в сусідньому каналі. На виході ЦАП може використовуватися фільтр пригнічення частоти дискретизації. Робота мікросхеми високочастотного змішувача підтримується синтезатором, що формує сітку стабільних частот по всьому діапазону роботи. Змішувач виконує функцію перетворення несучої частоти модульованого сигналу. Смуговий фільтр пригнічує сигнали на комбінаційних частотах, віддалених від несучої f_{RF} ; фільтр нижніх частот пригнічує гармоніки несучої частоти, що генеруються нелінійним підсилювачем потужності.

Перенос спектру модульованого сигналу векторним змішувачем з проміжної частоти в високочастотну область приводить до появи в спектрі вихідного сигналу комбінаційних частот.

Вихідний сигнал нелінійного елемента, на вхід якого надходять два гармонічних сигнали, визначається:

$$V(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \alpha_n [V_1 \cos(\omega_1 t) + V_2 \cos(\omega_2 t)]^n, \quad (1)$$

де α_n – коефіцієнти апроксимації полінома.

Нескінченна ступінь поліному виражає умови фізичної можливості реалізації нелінійного елемента, кінцева n визначає наближення реальної характеристики пристрою до ідеалізованої. З цього виразу слідує, що в результаті перетворення двох гармонічних сигналів з несучими частотами f_{LO} і f_{RF} на виході пристрою генерується нескінченний спектр сигналів, розподілення частот яких f_{IF} визначається співвідношенням:

$$f_{IF} = \pm m f_{LO} \mp n f_{RF}, \quad (2)$$

де n, m – цілі додатні числа, включаючи нуль.

Пригнічення позасмугового випромінювання до значення, що вимагає стандарт величини забезпечується високочастотним смуговим фільтром, що має перелаштовуватися по всьому діапазону робочих частот [1, с. 67-72]. З підвищенням несучої частоти при незмінній проміжній частоті зменшується відносне розташування між корисною частотою і комбінаційними частотами, що вимагає підвищення крутизни фронту фільтра, і ще більше ускладнює його реалізацію. В результаті для підтримання розумних вимог до частотної характеристики смугового фільтра при зміні несучої частоти в широких межах необхідно змінювати проміжну частоту. Для цифрового синтезу це не є званою перешкодою, при умові що абсолютна величина проміжної частоти невелика в порівнянні з робочою частотою процесора. З цього виходить, що для реалізації широкосмугового передавача зображеного на рисунку, необхідно використовувати набір смугових фільтрів, кожний з яких виконує необхідну величину пригнічення комбінаційних частот і перелаштовується в, порівняно, вузькій смузі частот.

Висновки. В даній роботі наведений принцип ідеальної схеми програмно-визначуваної радіосистеми. Розглянуті проблеми реалізації ідеальної програмно-визначуваної радіосистеми, та методи їх вирішення для задач передачі інформації та радіозв'язку. Представлений метод вирішення передбачає побудову лінійного високочастотного тракту, що забезпечує роботу в широкій смузі частот, незалежно від виду модуляції та характеристик конкретних аналого-цифрових та цифро-аналогових перетворювачів.

Література

1. Галкин В.А. Основы программно-конфигурируемого радио. –М.: Горячая линия – Телеком, 2015. – 372 с.
2. Сорохтин Е.М., Минеев С.А. Распределенные программно-

определяемые радиосистемы / Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. - №5(2). – 2010. - С. 383-388.

3. Парацинец А.В., Ефремова А.И. Программно-определяемая радиосистема (Software-defined radio, SDR). Принцип разработки высокочастотного линейного тракта / ФЭН-НАУКА. - №2(41). – 2015. - С. 10-12.
4. Силин А.Н. Технология Software Defined Radio. Теория, принципы и примеры аппаратных платформ / Беспроводные технологии. - №2. – 2007. - С. 22-27.
5. Dietrich C., Snyder J. McNair B., Edwards S. OSSIE: An Open Source Software Defined Radio Platform for education and Research / Open Source Business Resource. – 2010. - С. 5-10.

References

1. Halkyn V.A. Основы программно-конфигурируемого радио. –М.: Horiachaia lynyia – Telekom, 2015. – 372 s.
2. Sorokhtyn E.M., Myneev S.A. Распределенные программно-определяемые радиосистемы / Vestnyk Nyzhehorodskoho unyversyteta ym. N. Y. Lobachevskoho. - №5(2). – 2010. - S. 383-388.
3. Parashchynets A.V., Efremova A.Y. Programmno-opredeliaemaia radyosystema (Software-defined radio, SDR). Pryntsyyp razrabotky vysokochastotnoho lyneinoho trakta / FЭN-NAUKA. - №2(41). – 2015. - S. 10-12.
4. Sylyn A.N. Tekhnolohyia Software Defined Radio. Teoryia, pryntsyypy y pryntsyypy apparatnykh platform / Besprovodnyye tekhnolohyy. - №2. – 2007. - S. 22-27.
5. Dietrich C., Snyder J. McNair B., Edwards S. OSSIE: An Open Source Software Defined Radio Platform for education and Research / Open Source Business Resource. – 2010. - S. 5-10.