

СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫЕ РАДИОСИСТЕМЫ: КАК РАСШИРИТЬ ПОЛОСЫ РАБОЧИХ ЧАСТОТ

Сверхширокополосные (СШП) радиосистемы, передающие информацию по эфиру в цифровом коде с помощью сверхкоротких импульсов, обладают рядом бесспорных преимуществ по сравнению с традиционными узкополосными радиосистемами. В первую очередь это простота согласования цифровых систем с компьютером. Данное направление радиосвязи весьма перспективно. Однако его развитие тормозится отсутствием СШП-антенн, способных эффективно работать в полосе частот от 1 Гц до десятков ГГц. В статье теоретически обоснована возможность построения СШП-радиосистемы по двухканальной схеме с частотным разделением сигналов.

Традиционные узкополосные радиосистемы, использующие в качестве несущего колебания гармонические сигналы, практически исчерпали свои возможности [1, 2, 3]. Сейчас активно разрабатываются СШП-радиосистемы – информация в них передается при непосредственном излучении цифровых сигналов. Сигналы представляют собой последовательность импульсов различной длительности и скважности.

Преимущества СШП-радиосистем по сравнению с узкополосными радиосистемами значительны [1, 3]. С их помощью можно повысить точность измерения расстояния до цели, скрытность работы и помехоустойчивость в системах радиолокации и радиосвязи. Также увеличивается скорость передачи информации при снижении плотности потока средней мощности. Кроме того, упрощается конструкция СШП-системы, что облегчает прямое согласование со средствами вычислительной техники.

Спектр цифровых сигналов СШП-радиосистем может занимать область частот от единиц герц до нескольких гигагерц



А. Титов

[3]. Поэтому основным качественным параметром этих радиосистем является K_f – коэффициент перекрытия рабочих частот (КПРЧ). Значение K_f определяется отношением верхней граничной частоты f_b системы к нижней граничной частоте f_n ($K_f = f_b / f_n$) [1]. Увеличение КПРЧ в СШП-радиосистемах на основе одноканальной структуры затрудняется, поскольку сложно создать СШП-антенну с приемлемым значением коэффициента стоячей волны по напряжению (КСВН), равным 3–4 [4, 5].

Сходная проблема возникает при создании усилителей импульсов неограниченной длительности с пикосекундными фронтами [6, 7]. В усилителях на основе одноканальной структуры невозможно объединить достоинства схемных решений, которые применяются в усилителях постоянного тока и усилителях СВЧ. Поэтому в теории усилителей задача неискженного усиления импульсов неограниченной длительности с пикосекундными фронтами решается с помощью двухканальных и многоканальных структур с частотным разделением каналов [8, 9, 10].

Многokратно увеличить КПРЧ СШП-радиосистем можно, реализуя их в двухканальной структуре с частотным разделением каналов и применяя частотно-разделительные цепи.

ДУХКАНАЛЬНЫЕ ИМПУЛЬСНЫЕ УСИЛИТЕЛИ

Рассмотрим простейший вариант построения двухканального импульсного усилителя с частотным разделением каналов.

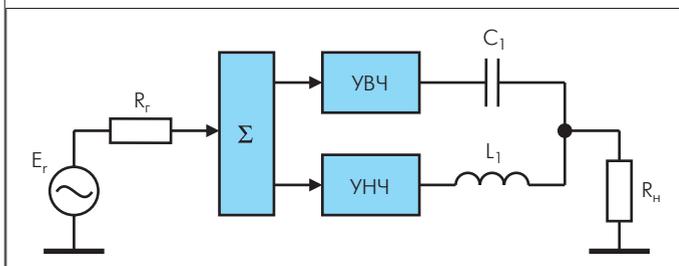


Рис. 1. Функциональная схема двухканального импульсного усилителя с частотным разделением каналов

Функциональная схема усилителя приведена на рис. 1 [6], где Σ – делитель мощности с развязанными выходами; УВЧ – усилитель верхних частот; УНЧ – усилитель нижних частот; E_r – генератор усиливаемого сигнала с выходным сопротивлением, равным R_r ; R_n – сопротивление нагрузки; C_1, L_1 – элементы выходной частотно-разделительной цепи.

Известные методы построения устройств сложения и деления мощности с развязанными выходами с диапазоном частот от 10–20 кГц до 1–2 ГГц, не позволяют реализовать их КПРЧ более 10^3 – 10^4 [11]. Поэтому для построения усилителей импульсов неограниченной длительности с пикосекундными фронтами используется функциональная схема, приведенная на рис. 2 [12].

С помощью этой схемы можно:

- минимизировать взаимное перекрытие рабочих частот канальных усилителей;
- корректировать искажения формы импульсного сигнала, которые обусловлены двухканальной структурой усилителя;
- создавать усилители с нижней граничной частотой, равной нулю, и верхней граничной частотой в диапазоне нескольких гигагерц (т. е. с K_f , равным бесконечности) [12].

Дополнительная коррекция искажений формы импульсно-го сигнала проводится элементами L_1, C_2, R_2 . Эти элементы являются полосно-пропускающими фильтрами, которые состоят из L_1 и C_2 , соединенных параллельно и нагруженных на резистор R_2 . Амплитудно-частотная и фазочастотная характеристики двухканального усилителя и полосно-пропускающего фильтра зеркальны относительно оси частот. Поэтому их совместное использование взаимно компенсирует амплитудно-частотные и фазочастотные искажения [8]. В соответствии с работой [13], элементы схемы, приведенной на рис. 2, связаны соотношениями: $C_1 = C_2 = C_3$; $L_1 = L_2$; $R_2 = 0,5 \cdot R_r$.

РЕАЛИЗАЦИЯ ДВУХКАНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ РАДИОСВЯЗИ

КПРЧ современных антенн с величиной КСВН, допускающей их применение в ШП-радиосистемах, не превышает 10–20 [4, 5]. Построим двухканальную систему радиосвязи с частотным разделением каналов на основе схемы двухканального импульсного усилителя (см. рис. 1), в котором между выходами канальных усилителей и элементами выходной частотно-разделительной цепи располагаются передающие и

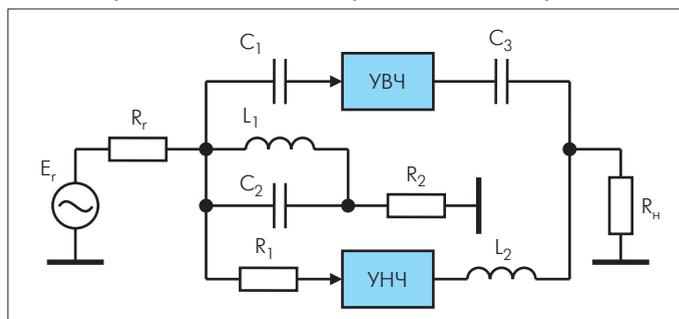


Рис. 2. Функциональная схема двухканального усилителя импульсов неограниченной длительности с пикосекундными фронтами

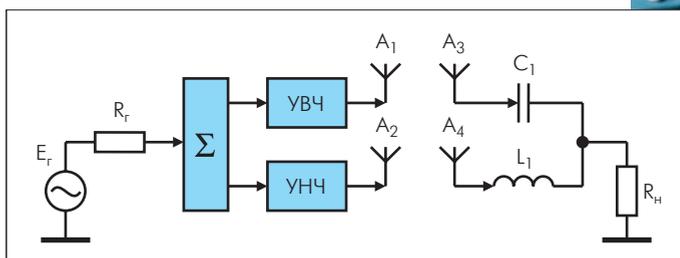


Рис. 3. Функциональная схема двухканальной системы радиосвязи

приемные антенны. Получаем схему (рис. 3) [14], где в качестве нагрузки R_n выступает вход радиоприемного устройства.

Для получения максимального КПРЧ необходимо, чтобы f_n передающей антенны ВЧ-канала (антенна A_1) равнялась f_v передающей антенны НЧ канала (антенна A_2). Кроме того, нужно, чтобы полосы рабочих частот передающей и приемной антенны каждого из каналов совпадали.

Нормированную передаточную характеристику в системе радиосвязи относительно волнового сопротивления антенно-фидерного тракта и частоты стыковки частотно-разделительной цепи можно описать дробно-рациональной функцией комплексного переменного (при условии, что элементы системы идеальны) [6]:

$$S_{21} = \sum_{i=1}^2 (1 + a p^i) / (1 + b_i p^i),$$

где $p = j\Omega$; $\Omega = w/2\pi f_{CT}$ – нормированная частота; w – текущая круговая частота; f_{CT} – частота стыковки частотно-разделительной цепи, образованной конденсатором C_1 и катушкой индуктивности L_1 ; $a_1 = 2C_{1H}$; $a_2 = L_{1H}C_{1H}$; $b_1 = 1,5C_{1H} + 0,5L_{1H}$; $b_2 = L_{1H}C_{1H}$; W – волновое сопротивление антенно-фидерного тракта системы радиосвязи; $C_{1H} = C_1 W 2\pi f_{CT}$ – нормированное относительно W и f_{CT} значение емкости конденсатора C_1 ; $L_{1H} = L_1 2\pi f_{CT} / W$ – нормированное относительно W и f_{CT} значение индуктивности катушки L_1 .

Известно [15], что переходная характеристика устройства не будет иметь искажений, если его амплитудно-частотная характеристика равномерна, а фазочастотная характеристика линейна. Соответственно, должны выполняться равенства: $a_1 = b_1$; $a_2 = b_2$. Дополняя их требованием, предъявляемым к частотно-разделительным цепям [16] $L_{1H} \cdot C_{1H} = 1$, из системы уравнений

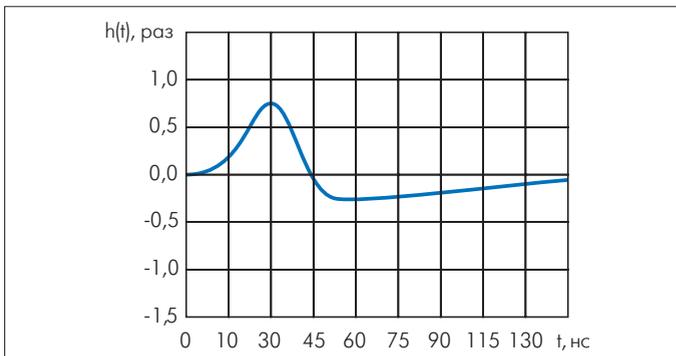


Рис.4. Расчетная форма сигнала на выходе системы радиосвязи при отключении ВЧ-канала

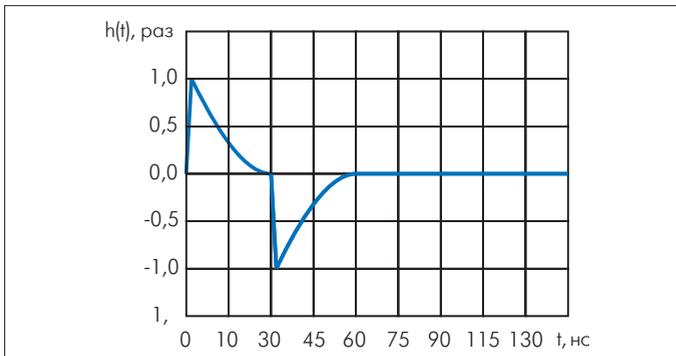


Рис.5. Расчетная форма сигнала на выходе системы радиосвязи при отключении НЧ-канала

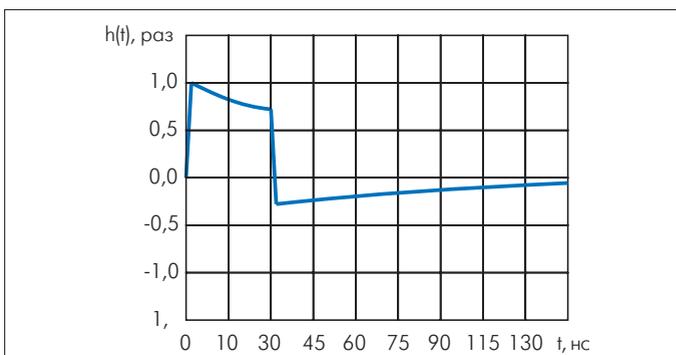


Рис.6. Расчетная форма сигнала на выходе системы радиосвязи при работе НЧ- и ВЧ-каналов

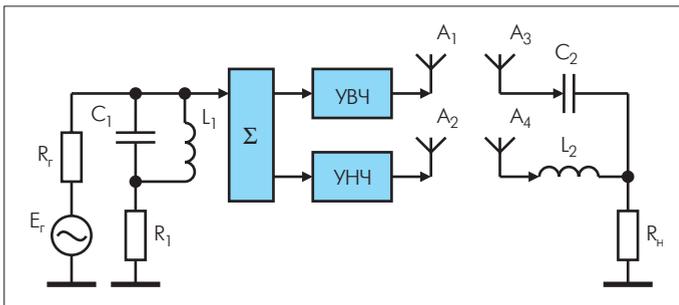


Рис.7. Функциональная схема двухканальной системы радиосвязи с корректором

$$\left. \begin{aligned} a_1 &= b_1; \\ a_2 &= b_2; \\ L_{1H} C_{1H} &= 1, \end{aligned} \right\}$$

получаем условие, при котором отсутствуют искажения амплитудно-частотной и переходной характеристик идеальной системы радиосвязи:

$$L_{1H} = 1; C_{1H} = 1.$$

В этом случае полоса рабочих частот системы радиосвязи будет равна сумме полос рабочих частот первой A_1 и второй A_2 передающих антенн. Ее фазовая характеристика останется линейной в полосе рабочих частот. Таким образом, при передаче цифровых сигналов характеристики двухканальной системы (рис.3) будут соответствовать характеристикам одноканальной системы с расширенной полосой рабочих частот.

Рассчитаем форму сигнала на нагрузке для трех случаев работы двухканальной системы радиосвязи (см. рис.3): отключение ВЧ-канала, отключение НЧ-канала и при одновременной работе двух каналов. Условие расчетов: на вход делителя мощности Σ от генератора сигнала E_T подается идеальный прямоугольный импульс длительностью 30 нс, а для передающих A_1, A_2 и приемных A_3, A_4 антенн $K_f = 15$.

На рис.4 представлена расчетная форма сигнала на нагрузке R_H при отключенных антеннах A_1 и A_3 (т.е. при отсутствии ВЧ-канала радиосвязи).

Рис.5 содержит расчетную форму сигнала на нагрузке R_H при отключенных антеннах A_2 и A_4 , т.е. при отсутствии НЧ-канала радиосвязи.

На рис.6 приведена расчетная форма сигнала на нагрузке R_H при включении всех антенн системы радиосвязи (т.е. при одновременной работе НЧ- и ВЧ-каналов).

Очевидно, что форма сигнала на выходе при одновременной работе НЧ- и ВЧ-каналов (рис.6) наиболее соответствует форме идеального входного прямоугольного импульса длительностью 30 нс.

Коррекцию искажений импульсного сигнала, которые возникают вследствие "не-идеальности" антенн двухканальной системы радиосвязи, проводят с использованием тех же эле-



ментов, что и в схеме на рис.2. В результате приходим к схеме, представленной на рис. 7.

Мы дали теоретическое обоснование возможности реализации СШП-радиосистем по двухканальной структуре с частотным разделением каналов и с корректором на основе частотно-разделительных цепей. Это открывает путь к созданию СШП-радиосистем с КПРЧ, который достигает значений 100–200 [14].

ЛИТЕРАТУРА

1. **Иммореев И.Я.** Сверхширокополосные радиосистемы. – Сверхширокополосные сигналы в радиолокации, связи и акустике: Сборник докладов Всероссийской научной конференции. Муром, 1-3 июля 2003 г. – Муром: Полиграфический центр МИВлГУ, 2003.
2. **Брызгалов А.П.** Применение сверхширокополосных сигналов большой длительности в связи и локации. – В кн.: Сверхширокополосные сигналы в радиолокации, связи и акустике: Сборник докладов Всероссийской научной конференции. Муром, 1-3 июля 2003 г. – Муром: Полиграфический центр МИВлГУ, 2003.
3. **Сперанский В.С., Косичкина Т.П.** Формирование и обработка сверхширокополосных квадратурных сигналов. – Электросвязь, 2004, – № 2.
4. **Андреев Ю.А., Буянов Ю.И., Кошелев В.И., Плиско В.В.** Сверхширокополосные комбинированные антенны и решетки. – В кн.: Сверхширокополосные сигналы в радиолокации, связи и акустике: Сборник докладов Всероссийской научной конференции. Муром, 1–3 июля 2003 г. – Муром: Полиграфический центр МИВлГУ, 2003.
5. **Вершинин И.М., Малютин Н.Д.** Широкополосные вибраторно-щелевые антенны. – В кн.: Проблемы современной радиоэлектроники и систем управления: Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Томск, 2-4 октября 2002 г. – Томск: Изд-во "ТУСУР", 2002.
6. **Титов А.А.** Расчет частотно-разделительных цепей многоканальных импульсных усилителей. – Радиотехника, 2002, № 10.
7. **Титов А.А., Ильюшенко В.Н.** Повышение выходной мощности усилителей пикосекундных импульсов неограниченной длительности. – В кн.: Научная сессия МИФИ-2003: Сборник научных трудов в 14 томах. – М.: Изд-во МИФИ, том 1, 2003.
8. **Титов А.А., Ильюшенко В.Н.** Обработка и формирование импульсных сигналов в радиотехнических системах на основе многоканальных структур с частотным разделением каналов. – В кн.: Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники (№ 2). – Томск: Изд-во "ТУСУР", 2004.
9. **Титов А.А., Ильюшенко В.Н.** Импульсный усилитель. Свидетельство на полезную модель № 34828 Российского агентства по патентам и товарным знакам. / Оpubл. 10.12.2003. Бюл. №34.
10. **Титов А.А., Ильюшенко В.Н.** Широкополосный усилитель. Патент на изобретение № 2246173 Российского агентства по патентам и товарным знакам. / Оpubл. 10.02.2005, Бюл. № 4.
11. **Шахгильдян В.В., Козырев В.Б., Ляховкин А.А.** и др. Радиопередающие устройства / Под ред. В.В. Шахгильдяна. – М.: Радио и связь, 2003.
12. **Обихвостов В.Д., Титов А.А., Ильюшенко В.Н., Авдоченко Б.И.** Пикосекундный усилитель постоянного тока. // Приборы и техника эксперимента, 2003, №1.
13. **Титов А.А.** Транзисторные усилители мощности МВ и ДМВ. - М.: СОЛОН-Пресс, 2006.
14. **Титов А.А., Ильюшенко В.Н.** Заявка на изобретение № 004123723/09 Российского агентства по патентам и товарным знакам от 27.01.2006. Система связи.
15. **Агаханян Т.М.** Линейные импульсные усилители. – М.: Связь, 1970.
16. **Алексеев О.В., Грошев Г.А., Чавка Г.Г.** Многоканальные частотно-разделительные устройства и их применение. – М.: Радио и связь, 1981.