

УДК 621. 396. 62: 621.317.32

В.К. Маригодов, профессор, д-р техн. наук,

Ю.В. Матвеев, доцент, канд. техн. наук

Севастопольский национальный технический университет,

ул. Университетская 33, г. Севастополь, Украина, 99053

E-mail: root@sevgtu.sebastopol.ua

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ВХОДНОГО ДИНАМИЧЕСКОГО ДИАПАЗОНА ПРИЕМНИКА

Рассмотрен принцип построения устройства для высокоточного измерения входного динамического диапазона радиоприемника. Произведена оценка числа разрядов для аналого-цифрового преобразователя, входящего в устройство для измерения входного динамического диапазона радиоприемника.

Приемные устройства существующих систем подвижной связи, станций радиоконтроля и радиолокации функционируют при наличии замираний в канале и в присутствии сильных помех и шумов. Вместе с этим, имеется ряд факторов, которые существенно ухудшают качество работы приемного устройства. Реальный тракт приема нелинеен, поэтому при воздействии на него полезного сигнала и различного рода помех возникают такие явления, как появление дополнительных внутренних помех (интермодуляционных продуктов) и перекрестной модуляции. Кроме того, возможно появление нелинейных искажений принимаемого сигнала, вызванное не только его значительным уровнем, но и воздействием сильных внеполосных помех. При появлении помех, воздействующих на вход приемника на частотах, которые не совпадают с частотами основного и побочных каналов приема, происходит изменение уровня сигнала или изменение отношения сигнал-шум на выходе приемника. В результате воздействия таких помех происходит снижение коэффициента усиления устройства. Такое явление называется блокированием [1]. Вследствие вышесказанного особую важность приобретает контроль и улучшение параметров, характеризующих устойчивость приемника к воздействию внешних помех и шумов: линейность тракта приема, избирательность, наличие побочных каналов приема. Для оценки линейности и качества тракта приема в целом используется целый ряд характеристик, одной из которой является динамический диапазон.

Под динамическим диапазоном радиоприемника (ДДРП) понимается диапазон изменений уровня входного сигнала, в пределах которого радиоприемник ведет себя как линейное устройство. Этот диапазон ограничен снизу уровнем собственных шумов приемника или минимально различимым сигналом, а сверху — проявляющейся нелинейностью амплитудной характеристики приемника. В технике связи верхний предел динамического диапазона характеризуется таким параметром как уровень блокирования или точка компрессии на 1 дБ [1]. Вне этих пределов нарушается пропорциональная зависимость уровня выходного сигнала устройства от входного. Количественно ДДРП оценивается отношением максимального уровня мощности входного сигнала $P_{\max}$, при котором используемый нелинейный критерий меньше допустимого, к минимальному уровню мощности $P_{\min}$, при котором отношение сигнал-шум на выходе приемника равно заданному значению. С практической точки зрения значение ДДРП по мощности удобно выразить в децибелах

$$D_P[\text{дБ}] = 10 \lg(P_{\max} / P_{\min}).$$

В настоящее время имеется широкий класс устройств, предназначенных для измерения динамического диапазона радиоприемника. Принцип действия одного из таких устройств основан на оценивании интермодуляции полезного и блокирующего сигналов на выходе радиоприемника [2]. К недостаткам этого и других аналогичных устройств, можно отнести сложность схемы, недостаточную точность измерения динамического диапазона, а также невозможность измерять динамический диапазон во время нормальной работы радиоприемника, на входе которого имеется аддитивная смесь полезного сигнала и помехи.

Для повышения точности измерения динамического диапазона приемника необходимо устройство, обладающее такими параметрами, как точность, быстродействие и помехозащищенность. Структурная схема устройства измерения динамического диапазона приемника, имеющего вышеназванные параметры, изображена на рисунке 1 [3]. Устройство для измерения входного динамического диапазона приемника (рисунк 1) содержит в своем составе: радиоприемник (его линейный высокочастотный тракт) 1, блок вычитания 2, линию задержки 3, адаптивный фильтр 4, селективные полосовые фильтры 5, 5–1, 5–2, ..., 5– n , пиковые детекторы 6, 6–1, 6–2, ..., 6– n , блок выбора минимальной и максимальной величин напряжения сигналов 7, первый коммутатор 8, калиброванный аттенюатор 9 и вольтметр средних значений 10.

Устройство работает следующим образом. Аддитивная смесь полезного сигнала и помехи после усиления в преселекторе и усилителе высоких частот с выхода линейного тракта радиоприемника 1 поступает к первому входу блока вычитания 2 и одновременно ко входу линии задержки 3. Величина времени задержки 3 регулируется в зависимости от типа помехи (узкополосной или широкополосной). Линия задержки 3 предназначена для сдвига полезного сигнала на время корреляции узкополосной или широкополосной аддитивной помехи таким образом, чтобы на выходе адаптивного фильтра 4 получить

узкополосный полезный сигнал, а широкополосная помеха скомпенсировалась. Схема адаптивного фильтра 4 известна и анализ ее функционирования рассмотрен в работе [4].

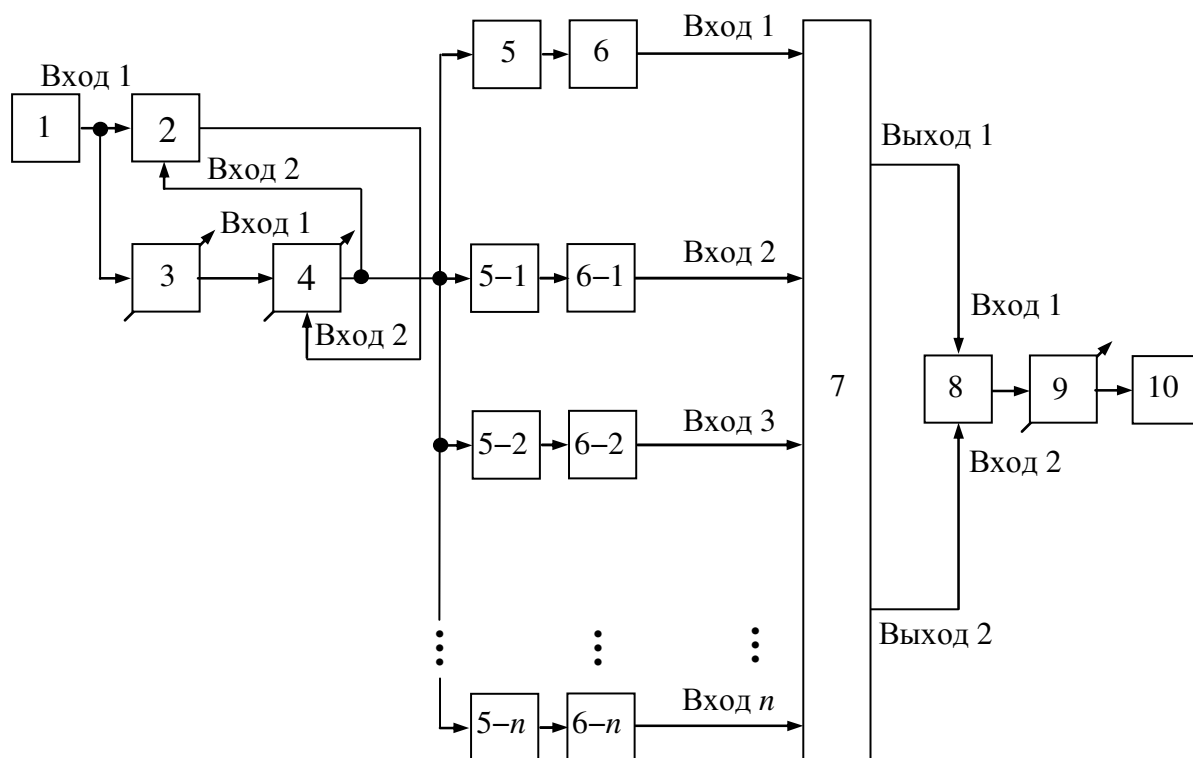


Рисунок 1 — Структурная схема устройства для измерения входного динамического диапазона приемника

На выходе адаптивного фильтра полезный сигнал распараллеливается и поступает на входы селективных полосовых фильтров 5, 5-1, 5-2, ..., 5-n, каждый из которых фильтрует в относительно узкой полосе составляющие амплитудного спектра полезного сигнала (при работе радиоприемника в режиме амплитудной модуляции). С выходов селективных фильтров отфильтрованные сигналы подаются к соответствующим входам пиковых детекторов 6, 6-1, 6-2, ..., 6-n, на выходах которых после детектирования формируются соответствующие величины напряжений постоянного тока, поступающие к соответствующим входам (Вход 1, Вход 2, Вход 3, ..., Вход n) блока выбора минимальной и максимальной величин напряжений сигналов 7.

Сигнал с первого выхода блока 7, пропорциональный минимуму величины напряжения постоянного тока, поступает к первому входу первого коммутатора 8, а сигнал со второго выхода блока 7, пропорциональный максимуму величины напряжения постоянного тока – ко второму входу первого коммутатора 8. Сигнал с выхода первого коммутатора поступает ко входу калиброванного аттенюатора 9, а с выхода последнего на вход вольтметра средних значений 10.

Процесс измерения входного динамического диапазона радиоприемника (его линейного тракта) выполняется следующим образом. Вначале с помощью первого коммутатора 8, представляющего собой механический или транзисторный ключ, ко входу калиброванного аттенюатора подключается напряжение постоянного тока, соответствующее минимуму величины напряжения сигнала с первого выхода блока 7. Затем затухание аттенюатора полностью выводят с помощью регулятора и определяют показание вольтметра средних значений 10. После этого на второй вход первого коммутатора подключают напряжение постоянного тока, соответствующее максимуму величины напряжения сигнала со второго выхода блока 7 и вводят затухание аттенюатора 9 таким образом, чтобы показание вольтметра средних значений 10 стало таким же, как при первом измерении. Величину входного динамического диапазона вычисляют по шкале калиброванного аттенюатора в децибелах.

Рассмотрим работу блока выбора минимальной и максимальной величин напряжений сигналов 7. На рисунке 2 изображена структурная схема блока выбора минимальной и максимальной величин напряжений сигналов.

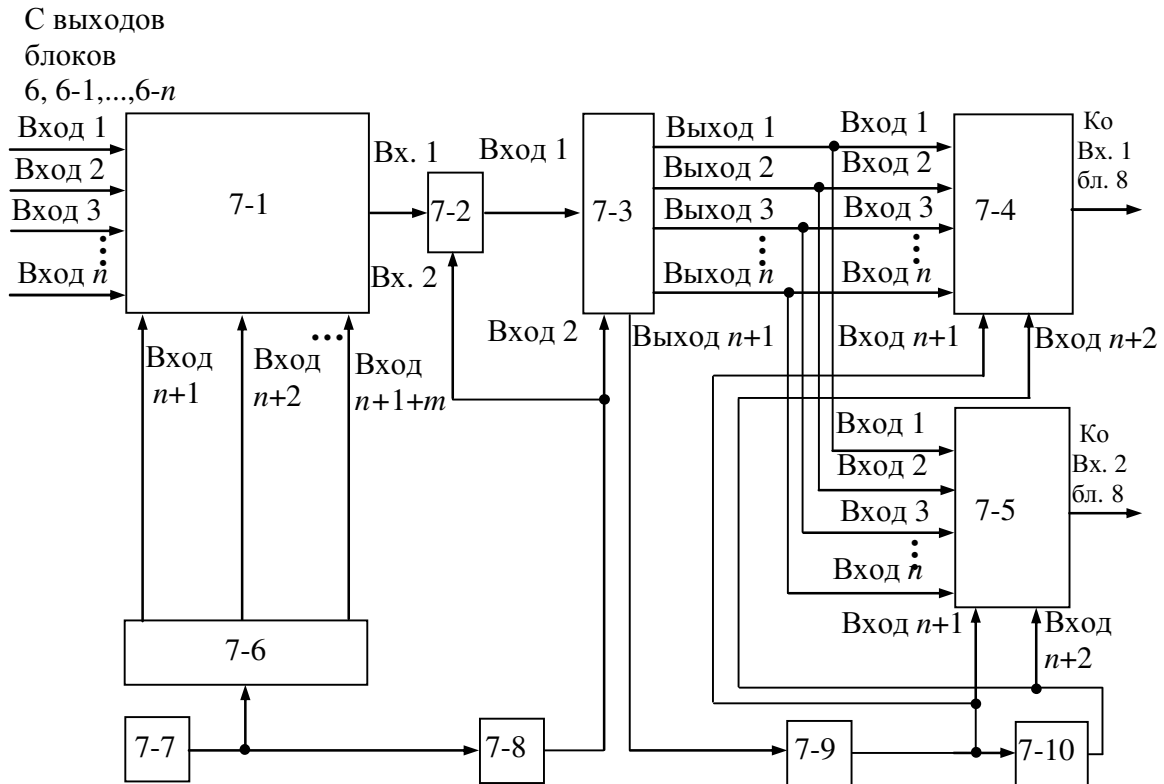


Рисунок 2 — Структурная схема блока выбора минимальной и максимальной величин напряжения сигналов для измерения входного динамического диапазона приемника

В этом устройстве сигналы с выходов пиковых детекторов 6, 6-1, 6-2, ..., 6-n поступают на входы (Вход 1, Вход 2, Вход 3, ..., Вход n) второго коммутатора 7-1 (рисунок 2). Управление вторым коммутатором осуществляется параллельным кодом управления, который подается на входы (Вход n+1, Вход n+2, ..., Вход n+1+m) второго коммутатора 7-1 с выходов счетчика адреса 7-6. Изменение кодов управления задается генератором тактовой частоты 7-7, выход которого соединен со входом счетчика адреса 7-6.

При изменении кода управления выходы пиковых детекторов 6, 6-1, 6-2, ..., 6-n последовательно подключаются к устройству выборки-хранения 7-2. Устройство выборки-хранения 7-2 предназначено для запоминания аналогового сигнала в определенные моменты времени на время, необходимое для того, чтобы аналого-цифровой преобразователь (АЦП) последовательного приближения 7-3 преобразовал его в двоичный код. Запуск устройства выборки-хранения 7-2 и аналого-цифрового преобразователя 7-3 осуществляется от импульсов, которые поступают с выхода первого ждущего мультивибратора 7-8 по фронтам импульсов тактовой частоты, поступающих от генератора тактовой частоты 7-7. По окончании преобразования аналогового сигнала в двоичный код на выходе (Выход n+1) аналого-цифрового преобразователя 7-3 появляется сигнал "Готовность данных". Этот сигнал своим фронтом запускает второй мультивибратор 7-9, который в свою очередь, запускает по фронту третий мультивибратор 7-10. Импульсы с блоков 7-9 и 7-10 являются управляющими для работы цифровых блоков выделения минимальной и максимальной величин напряжения сигнала 7-4 и 7-5 соответственно.

Работа блока выделения минимальной величины напряжения сигнала 7-4 заключается в записи информации в цифровом коде с выхода аналого-цифрового преобразователя 7-3 в один из двух параллельно соединенных по входам регистров. Причем запись осуществляется в тот регистр, у которого значение кода, записанного при предыдущих измерениях, оказалось больше, чем в другом регистре. Выбор регистра записи осуществляется с помощью схемы управления, в которую входит устройство сравнения двоичных кодов. Таким образом, после цикла измерений в одном из регистров остается самое минимальное значение измеряемой величины в двоичном коде, которое затем переписывается в регистр результата, а затем преобразовывается из двоичного кода в аналоговую форму с помощью цифро-аналогового преобразователя. Для сглаживания пульсаций выходного напряжения на выходе последнего установлен фильтр нижних частот.

Работа блока выделения максимальной величины напряжения сигнала 7-5 является аналогичной, за исключением того, что при работе схемы управления в регистр результата заносится значение двоичного кода, соответствующее наибольшему из всех измеряемых значений.

Качественная работа блока выбора минимальной и максимальной величин напряжения сигналов 7 зависит от правильного выбора количества разрядов АЦП. Выбор необходимого количества разрядов АЦП зависит с одной стороны от динамического диапазона входного сигнала по напряжению D_U , а с другой — от интервала квантования Δ . В соответствии с этим, число разрядов АЦП можно определить из выражения

$$N_{\text{АЦП}} = \text{Int}\{\log_2[D_U/\Delta]\}, \quad (1)$$

где $\text{Int}\{\}$ — наименьшее число, не меньшее числа $\{\}$.

Как правило, работа устройства измерения радиочастотного динамического диапазона приемника происходит при выделении слабых сигналов в условиях наличия помех с неизвестной заранее мощностью. Поэтому число разрядов АЦП должно быть таким, чтобы вероятность потери сигнала минимальной мощности из-за квантования не превышала некоторого предела. Если принять, что мощность сигнала P_c характеризуется экспоненциальной плотностью распределения со средним значением P_{cp} , то плотность распределения амплитуд сигнала U_c будет подчиняться рэлеевскому закону

$$p(U_c) = \frac{U_c}{P_{cp}} \exp\left(-\frac{U_c^2}{2P_{cp}}\right),$$

где $U_c = \sqrt{2P_c}$.

Из-за ограничений АЦП, вследствие применения на практике квантования сигнала методом округления, вероятность потери такого сигнала можно записать в виде

$$P(U_{\text{cmin}} < \Delta/2) = 1 - \exp\left(-\frac{(\Delta/2)^2}{2P_{cp}}\right). \quad (2)$$

Окончательно значение интервала квантования Δ из выражения (2) определится как

$$\Delta = \sqrt{-\ln[1 - P(U_{\text{cmin}} < \Delta/2)] 2P_{cp}}. \quad (3)$$

В качестве примера рассчитаем число разрядов АЦП для устройства измерения входного динамического диапазона приемника, имеющего верхний предел динамического диапазона по мощности +10 дБм, что соответствует типичному значению верхнего предела динамического диапазона связных приемников. Здесь следует отметить, что количественные характеристики сигнала удобно оценивать, если они выражены в таких единицах измерения, как дБм. Пересчет значений мощности, выраженных в единицах измерения (Вт) в значение мощности, выраженное в (дБм) можно осуществить, воспользовавшись выражением [1]

$$P[\text{дБм}] = 10 \lg P + 30. \quad (4)$$

Из-за наличия технических ограничений в АЦП, примем вероятность потери сигнала, поступающего на вход устройства, равной 0,01. Значение средней мощности сигнала в диапазоне частот 0,01...1000 МГц выберем по номограмме, приведенной в [1], равным — 60 дБм, что соответствует мощности сигнала 10^{-9} Вт. Подставив вышеперечисленные значения в выражения (1), (3) и (4), находим число разрядов АЦП $N_{\text{АЦП}} = 14$. Если повторить аналогичные расчеты для среднего значения мощности входного сигнала равном — 80 дБм, то необходимое число разрядов АЦП для устройства измерения входного динамического диапазона радиоприемника $N_{\text{АЦП}} = 18$. Таким образом, повышение точности цифровой обработки сигнала в широком динамическом диапазоне радиоприемника требует увеличения числа разрядов АЦП.

Устройство для измерения входного динамического диапазона приемника имеет следующие преимущества:

- 1) высокую точность измерения, вследствие использования калиброванного аттенюатора и цифровых схемных решений;
- 2) устройство работает в реальном масштабе времени;
- 3) время, необходимое для одного измерения, значительно ниже, за счет снижения количества измерительных операций;
- 4) более высокая помехозащищенность устройства, которое реализовано на цифровых блоках.

Задачей дальнейших исследований является совершенствование устройства измерения входного динамического диапазона радиоприемника, заключающееся в расширении измеряемого динамического диапазона радиоприемника, повышения точности измерений и их автоматизации.

Библиографический список

1. Ред Э.Т. Схемотехника радиоприемников / Э.Т. Ред. — М.: Мир, 1989. — 152 с.
2. Пат. 2224264 РФ, МПК7G01R23/20. Устройство для измерения динамического диапазона радиоприемника по интермодуляции / Б.И. Михайлов, И.В. Дулькейт, Г.С. Кудрявцев; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное унитарное предприятие Омский науч.- исслед. ин-т приборостроения. — № 2002102159/09; заявл. 23.01.2002; опубл. 27.07.2003, Бюл. № 7.
3. Заявка 2007004 Україна, МПК7G01R23/20. Пристрій для вимірювання динамічного радіочастотного діапазону радіоприймача / В.К. Марігодов, Ю.В. Матвеев; пріоритет від 16. 01. 2007 р., Укрпатент.

4. Богданович Б.М. Радиоприемные устройства: учеб. пособие для вузов / Б.М. Богданович, Н.И. Окулич; под ред. Б.М. Богдановича. — Минск: Высшейш. школа, 1991. — 428 с.

Поступила в редакцию 20.03.2008 г.