

УДК: 621.3.083.1

Н.Н. Воронин, А.С. Загородний

Метод расширения области квадратичного детектирования диодных детекторов за счёт использования нескольких ветвей детекторов

Рассмотрен один из методов, позволяющих расширить область квадратичного детектирования диодного детектора. Приведены данные эксперимента, проведённого по подобной схеме, выполнен анализ экспериментальных данных, сформулированы требования для реализации устройства, построенного по данной схеме.

Ключевые слова: делитель мощности, аттенуатор, квадратичный закон, диод, детектор, мощность.

Контроль уровня мощности является важной задачей, поскольку мощность является одной из основных характеристик сигнала, определяющая параметры устройств, работающих с этими сигналами.

В настоящее время широко развиваются цифровые стандарты связи, сигналы которых обладают сложной формой за счёт модуляции и разделения каналов. Как правило, подобные сигналы имеют высокий пик-фактор. Для измерения подобных сложных сигналов необходимы приборы, обладающие широким динамическим диапазоном. Существует ряд устройств, способных работать в широком динамическом диапазоне: болометрические и калориметрические устройства, а также устройства на основе диодных детекторов. Все они позволяют измерять среднеквадратичный уровень мощности сигнала. Болометрам и калориметрам свойственны следующие недостатки: высокую инертность и низкий уровень чувствительности, малое временное разрешение измерений. Исходя из этого, перспективным можно считать развитие устройств на основе диодных детекторов.

Как известно [1], устройства на основе диодных детекторов позволяют проводить измерение среднеквадратичного уровня мощности в области квадратичного детектирования. В этой области выходное напряжение линейно зависит от уровня входной мощности и справедливо соотношение:

$$P_{\text{вх}} = \gamma \cdot U_{\text{вых}}^2, \quad (1)$$

где $P_{\text{вх}}$ – входная мощность; $U_{\text{вых}}$ – выходное напряжение; γ – чувствительность, определяющая наклон детекторной характеристики устройства.

Если брать в расчёт простой однодиодный детектор, то его динамический диапазон снизу ограничен уровнем тангенсальной чувствительности – около -70 дБм. Сверху ограничен точкой компрессии детекторной характеристики (примерно -20 дБм). В этой области происходит переход от квадратичного закона детектирования к квазилинейному закону. Таким образом, при использовании однодиодного детектора имеем устройство, способное проводить измерение среднеквадратичного значения уровня мощности в динамическом диапазоне 50 дБ. Такого динамического диапазона недостаточно для измерения сигналов сложной формы, поэтому существует ряд способов расширения динамического диапазона устройств на основе диодных детекторов. Одним из таких способов является использование схемы с тремя ветвями детекторов.

Расширение динамического диапазона происходит за счёт использования трёх детекторных секций. Сигнал поступает к каждой детекторной секции с различным ослаблением, поэтому хотя бы один из детекторов остаётся в области своего квадратичного детектирования в большем динамическом диапазоне. Теоретически, использование подобного способа позволяет расширить динамический диапазон устройства до 90 дБ (от уровня тангенсальной чувствительности до уровня $+20$ дБм).

В схеме, приведённой на рис. 1, используются три плеча. Сигнал разветвляется в каждое из плеч за счёт делителей мощности (сплитеров), которые ослабляют поступающий на свой вход сигнал на 6 дБ. Чтобы сигнал, поступающий на вход каждого детектора, находился в области квадратичного детектирования диода, используются два аттенуатора с ослаблением 11 и 17 дБ.

В результате таких преобразований уровня сигнала на детектор № 1 сигнал приходит с ослаблением 40 дБ. Это позволяет измерять мощность сигнала от $-3,5$ до $+20$ дБм. За счёт аттенуаторов уровень входного сигнала на детекторе варьируется от $-43,5$ до -20 дБм. На детектор №2 сигнал поступает с ослаблением 23 дБ. Детектор работает с уровнями сигналов от $-23,5$ до $-3,5$ дБм, т.е. уровень сигнала на входе детектора варьируется в диапазоне от -47 дБм до $-26,5$ дБм. Детектор № 3 работает без дополнительного ослабления. Уровень поступающего на его вход сигнала определяется ослаблением делителя мощности. Данный детектор измеряет сигналы в диапазоне от уровня тангенсальной чувствительности (порядка -70 дБм) до $-23,5$ дБм. Уровень сигнала на детекторе варьируется от -70 до $-29,5$ дБм.

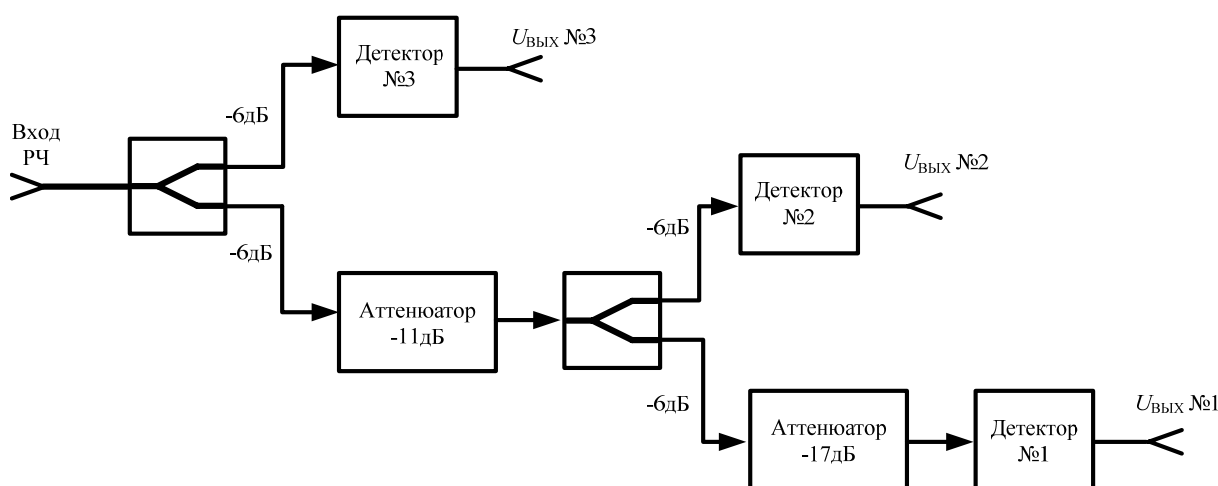


Рис. 1. Схема расширения динамического диапазона

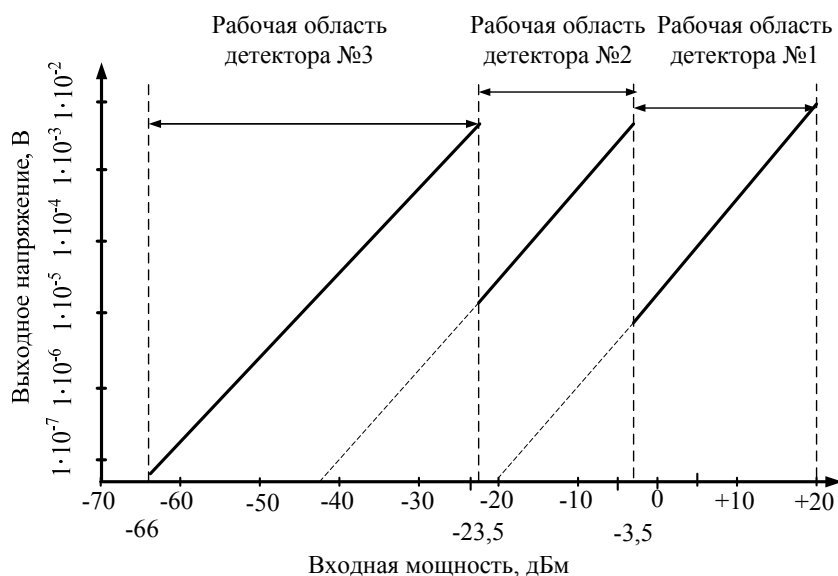


Рис. 2. Детекторная характеристика схемы

По этой схеме был проведён эксперимент. Блок-схема экспериментальной установки представлена на рис. 3. Для эксперимента были выбраны номиналы ослабления аттенуаторов 13 и 20 дБ. Изменение ослаблений аттенуаторов обусловлено необходимостью использования дополнительного делителя мощности с ослаблением 6 дБ. За счёт этого изменились суммарные ослабления в плечах. Суммарное ослабление в плече детектора «С» равно 9 дБ, в плече детектора «В» составляет 25 дБ. Суммарное ослабление в плече детектора «А» равно 45 дБ. Оно складывается из суммы ослаблений трёх делителей мощности и двух аттенуаторов ($6+3+13+3+20$) дБ.

Источником сигнала в схеме служил внутренний генератор скалярного анализатора цепей Р2М-18 ЗАО «НПФ «Микран», имеющий встроенный аттенуатор. Мощность варьировалась в диапазоне от -60 до $+20$ дБм. Измерения проводились на частоте 10 ГГц, которая была выбрана по той

причине, что используемые в схеме делители мощности компании Pasternack Enterprises имеют наилучшую линейность характеристик именно на этой частоте (экспериментально проверено на скалярном анализаторе цепей P2M-18). Эти делители мощности имеют ослабление 3 дБ. Также в схеме использовался делитель мощности с ослаблением 6 дБ, который был необходим для контроля входной мощности, подаваемой на детектор. Каждый из трёх детекторов должен детектировать сигнал определённого уровня. В эксперименте использовались детекторы Д42-20 ЗАО «НПФ «Микран», границы квадратичного режима которых ограничены уровнем шумов в пределах от -45 до -20 дБм.

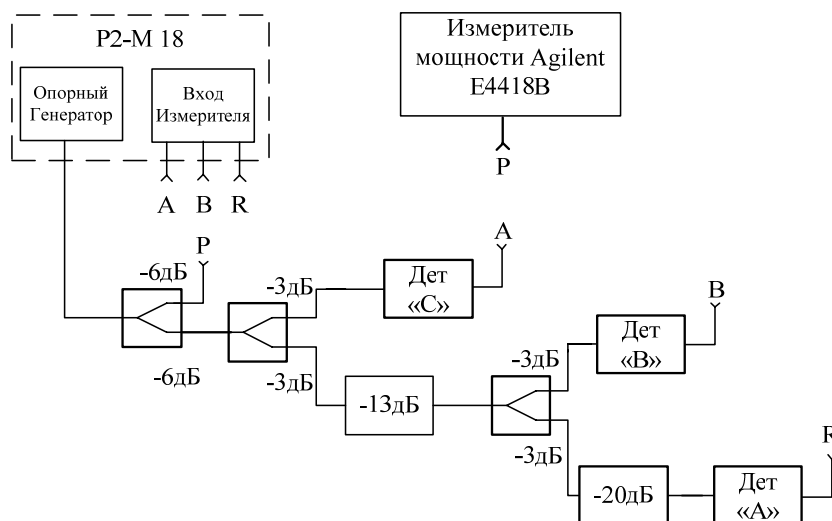


Рис. 3. Схема экспериментальной установки

Нами были определены детекторные характеристики. Графики для трёх детекторов схожи, один из них приведён на рис. 4. Сплошная линия соответствует экспериментальным данным, прерывистая – идеализированной прямой.

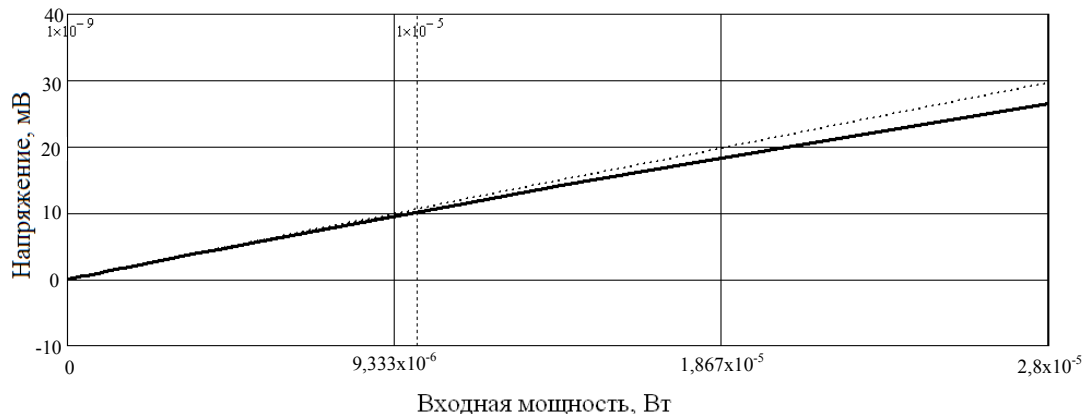


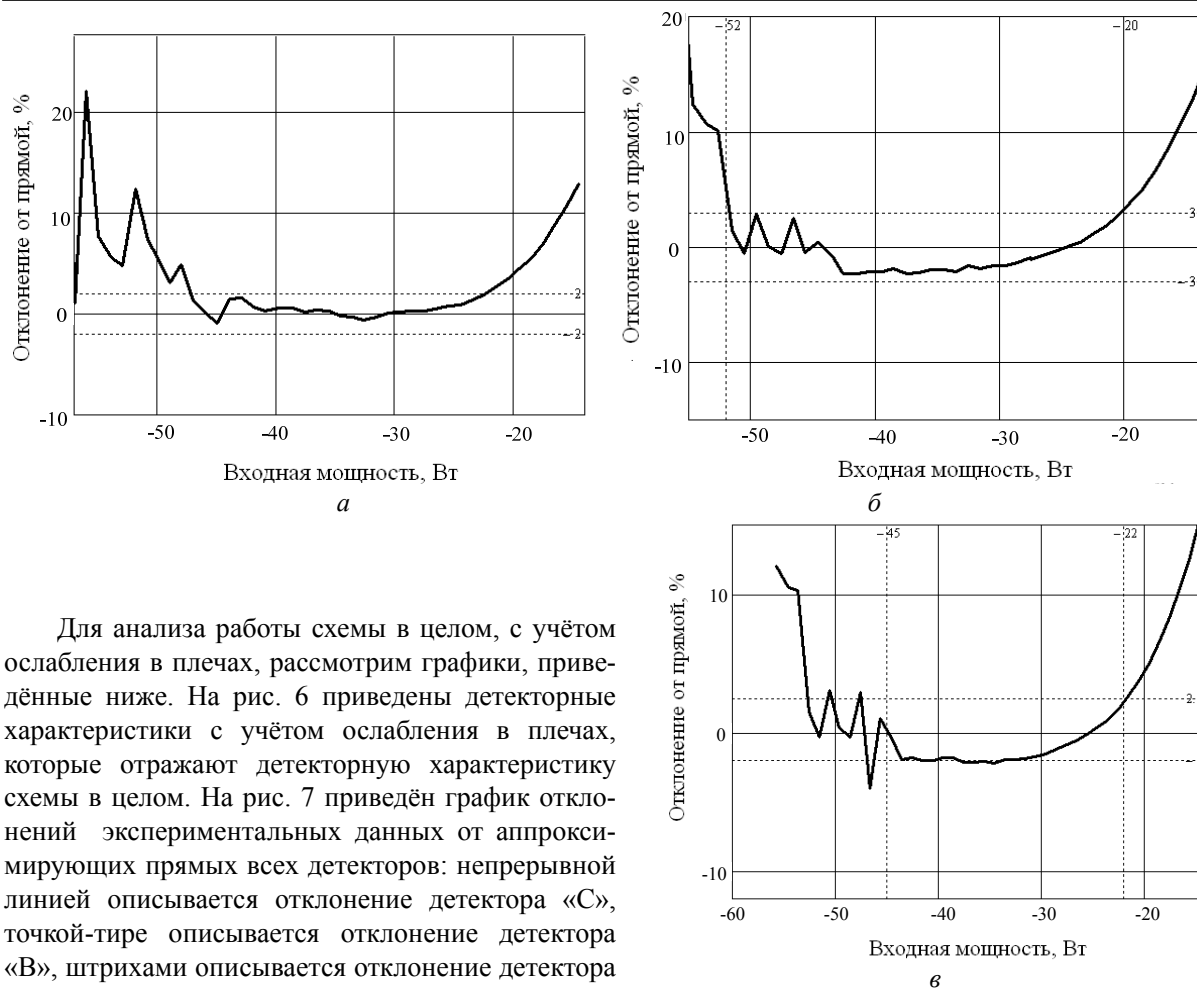
Рис. 4. Детекторная характеристика и идеализированная прямая

Было также рассчитано отклонение (ошибка) детекторной характеристики от аппроксимирующей прямой в процентах (рис. 5). График позволяет более наглядно судить о линейности экспериментальной детекторной характеристики.

По имеющимся данным можно рассчитать чувствительность детекторов, коэффициент, показывающий связь между мощностью и напряжением (1):

$$\begin{aligned} \gamma_{\text{ср.дет}} \langle C \rangle &= 1,049 \text{ [мВ/мкВт]}, \\ \gamma_{\text{ср.дет}} \langle B \rangle &= 1,036 \text{ [мВ/мкВт]}, \\ \gamma_{\text{ср.дет}} \langle A \rangle &= 1,308 \text{ [мВ/мкВт]}. \end{aligned}$$

Как можно видеть, отклонение от аппроксимирующей прямой в рабочем диапазоне невелико для всех детекторов. Это связано с тем, что все они обладают чувствительностью примерно одного порядка. Для детекторов «С» и «А» отклонение в полосе от -45 до -23 дБм не превышает 3%, отклонение детектора «В» в полосе от -52 до -20 дБм не превышает 3%.



Для анализа работы схемы в целом, с учётом ослабления в плечах, рассмотрим графики, приведённые ниже. На рис. 6 приведены детекторные характеристики с учётом ослабления в плечах, которые отражают детекторную характеристику схемы в целом. На рис. 7 приведён график отклонений экспериментальных данных от аппроксимирующих прямых всех детекторов: непрерывной линией описывается отклонение детектора «С», точкой-тире описывается отклонение детектора «В», штрихами описывается отклонение детектора «А».

Рис. 5. Отклонение детекторной характеристики от аппроксимирующей линии: *а* – детектор «С»; *б* – детектор «В»; *в* – детектор «А»

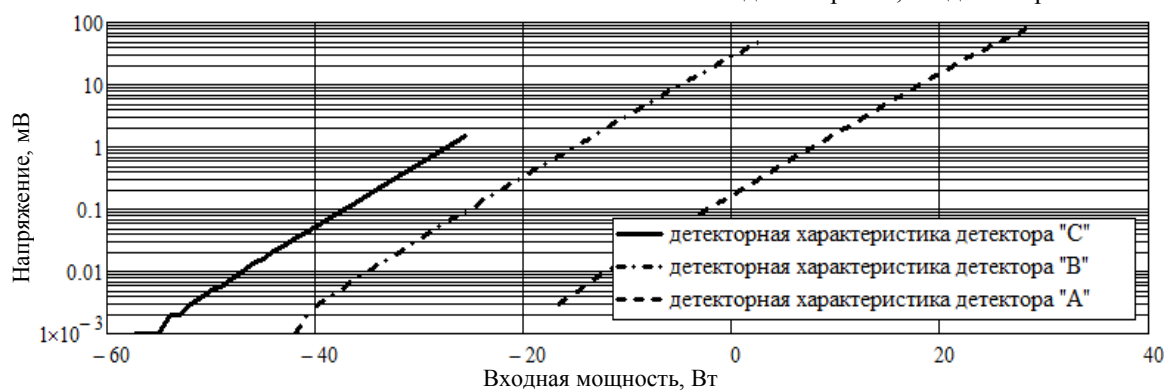


Рис. 6. Детекторные характеристики с учётом ослабления в плечах

Видно, что таким ослаблением можно обеспечить отклонение от прямой в диапазоне от -44 до $+16$ дБм, не превышающее 3%.

Выводы. Собрана и исследована экспериментальная установка, позволяющая проводить измерение среднеквадратичного значения мощности в динамическом диапазоне 60 дБ (от -44 до $+16$ дБм). По итогам экспериментов можно сказать, что оптимальными значениями ослаблений в плечах должны быть: 6 дБ для плеча детектора «С», 17 дБ для плеча детектора «В» и 39 дБ для плеча детектора «А» (см. рис. 3). С такими ослаблениями детектор «А» будет работать с входными сигналами, мощность которых будет варьироваться от -5 до 17 дБм; мощность на входе детектора будет варьироваться от -44 до -22 дБм. Детектор «В» будет работать с входными сигналами,

мощность которых будет варьироваться от -20 до -5 дБм, мощность на входе детектора будет варьироваться от -37 до -21 дБм. Детектор «С» будет работать с входными сигналами, мощность которых будет ниже -20 дБм. Указанные диапазоны для каждого детектора с запасом укладываются в области квадратичного закона детектирования.

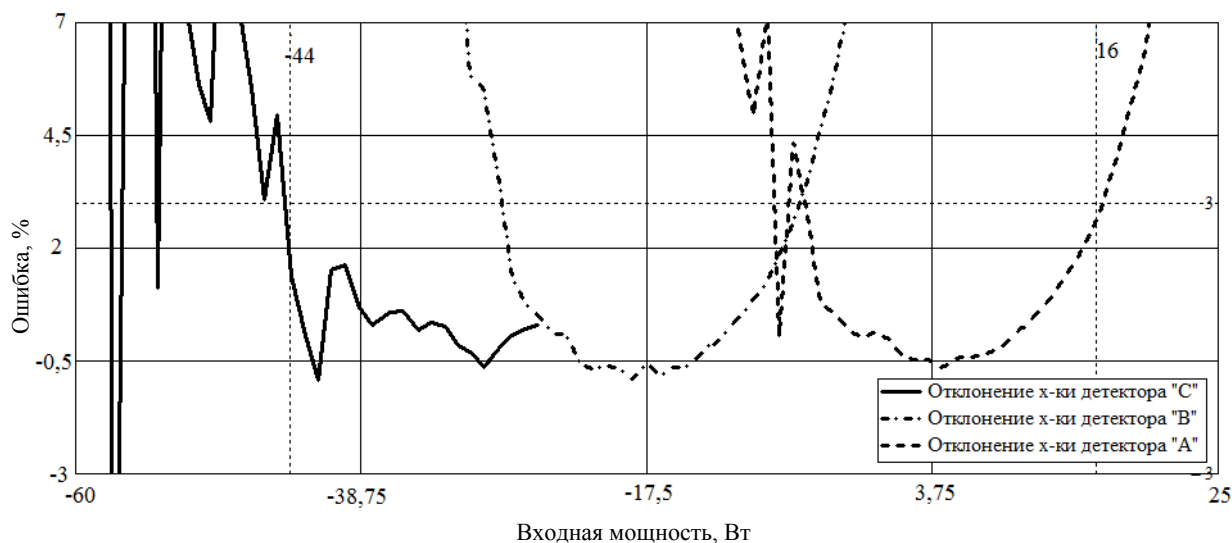


Рис. 7. График отклонения от аппроксимирующих прямых детекторных характеристик

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ в соответствии с договором 13.G25.31.0011 от 07.09.2010 г. в порядке реализации Постановления № 218 Правительства РФ.

Литература

1. Accurate Power Measurement on Modern Communication Systems (Anritsu Application note) [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://www.anritsu.com/en-GB/Downloads/Application-Notes/Application-Note/DWL1716.aspx> свободный (дата обращения: 07.05.2011).

Воронин Николай Николаевич

Инженер департамента ИИС ЗАО «НПФ «Микран»

Тел.: +7 (382-2) 70-15-18

Эл. почта: voronin@micran.ru

Загородний Андрей Сергеевич

Аспирант каф. сверхвысокочастотной и квантовой радиотехники (СВЧКР) ТУСУРа

Тел.: +7 (382-2) 70-15-18

Эл. почта: andreyzag@micran.ru

Voronin N.N., Zagorodniy A.S.

Method of expansion of square-law area of detecting diode detectors at the expense of the usage of several detector branches

The article considers one of methods which allow to expand area of square-law detecting of a diode detector. The data of the experiment which was carried out according to the similar scheme is given in the paper; the analysis of experimental data is done, as well as the requirements for the realization of the device developed on the given scheme.

Keywords: diode, detector, capacity, power divider, attenuator, the square-law.