

УДК 621.372.512

Методика расчета общего коэффициента усиления радиоприемного устройства



И.Е. БУЙВАЛОВ,
главный конструктор УП «Завод СВТ»

В статье впервые введен термин «коэффициент передачи по нормированному напряжению». Приводится аналитическое выражение для расчета общего коэффициента усиления радиоприемного устройства.

Введение. Цель статьи – получение аналитического выражения для расчета коэффициента передачи четырехполюсника, когда на его входе измеряется мощность, а на выходе – напряжение сигнала. Такая задача имеет место при расчете и измерении общего коэффициента усиления радиоприемного устройства, состоящего из усилителей мощности, трансформаторов сопротивлений и усилителей напряжения.

Основная часть. При формировании технических требований к радиоприемным устройствам (РПрУ) имеется проблема в задании общего коэффициента усиления радиоприемного тракта. Это выражается в том, что усиление высокочастотной части радиоприемника, где обычно стремятся обеспечить согласованный режим, как правило, характеризуется коэффициентом передачи (в дБ) по мощности, а усиление низкочастотной части, где условия согласованного режима необязательны, – коэффициентом передачи (в дБ) по напряжению. Сказать, какой при этом общий коэффициент усиления имеет РПрУ, нельзя. В результате разработчики в технических требованиях вместо общего

коэффициента усиления задают величину напряжения полезного сигнала на выходе тракта при заданном уровне мощности на входе [1], либо, когда это возможно, пересчитывают входную мощность в напряжение и задают коэффициент усиления линейной части РПрУ по напряжению, или, если коэффициент передачи высокочастотной части задан, пересчитывают мощность в напряжение на выходе высокочастотной части, а требование задают к коэффициенту усиления низкочастотной части РПрУ [2]. К неудобству разработчиков, указанные выше способы задания усиления требуют промежуточных вычислений для расчета величины напряжения на выходе РПрУ (выходе оконечного устройства) по известной мощности на входе.

Примечание. Ниже ту часть РПрУ, усиление которой характеризуется в дБ по мощности, будем называть усилителем мощности, а ту часть, усиление которой характеризуется в дБ по напряжению, – усилителем напряжения.

Коэффициентом, связывающим напряжение сигнала на выходе четырехполюсника (ЧП) с активной мощностью на входе, является **коэффициент передачи по нормированному напряжению**, получение и анализ которого приводятся ниже.

Далее будем рассматривать линейные согласованные ЧП, если специально не будет оговорено иное. Для упрощения анализа и синтеза пассивных ЧП вводится понятие недиссипативного ЧП, т. е. идеального, имеющего нулевые потери передаваемой мощности. К недиссипативным ЧП, например, можно отнести отрезок линии передачи или реактивный ЧП, если потери мощности в них незначительны. Это условие на практике обычно стараются выполнить, поэтому такая идеализация имеет под собой основание.

Коэффициент передачи мощности ЧП выражают через десятичный логарифм и измеряют в децибелах [3]. Для симметричного четырехполюсника

(СЧП, $R_{\text{вх}} = R_{\text{вых}}$) коэффициент передачи мощности (в дБ) может быть представлен:

$$\begin{aligned}
 K_p &= 10\lg\left(\frac{P_{\text{ВЫХ}}}{P_{\text{ВХ}}}\right) = 10\lg\left(\frac{U_{\text{ВЫХ}}^2/R_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}^2/R_{\text{ВХ}}}\right) = \\
 &= K_U = 10\lg\left(\frac{I_{\text{ВЫХ}}^2 R_{\text{ВЫХ}}}{I_{\text{ВХ}}^2 R_{\text{ВХ}}}\right) = K_I = \\
 &= 10\lg\left(\frac{U_{\text{ВЫХ}} I_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}} I_{\text{ВХ}}}\right) = \frac{1}{2}K_U + \frac{1}{2}K_I. \quad (1)
 \end{aligned}$$

Для несимметричного четырехполюсника (НЧП, $R_{\text{ВХ}} \neq R_{\text{ВЫХ}}$) коэффициент передачи мощности может быть представлен:

$$\begin{aligned}
 K_p &= 10\lg\left(\frac{P_{\text{ВЫХ}}}{P_{\text{ВХ}}}\right) = 10\lg\left(\frac{U_{\text{ВЫХ}}^2/R_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}^2/R_{\text{ВХ}}}\right) = \\
 &= K_U - 20\lg(n) = 10\lg\left(\frac{I_{\text{ВЫХ}}^2 R_{\text{ВЫХ}}}{I_{\text{ВХ}}^2 R_{\text{ВХ}}}\right) = K_I + 20\lg(n) = \\
 &= 10\lg\left(\frac{U_{\text{ВЫХ}} I_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}} I_{\text{ВХ}}}\right) = \frac{1}{2}K_U + \frac{1}{2}K_I, \quad (2)
 \end{aligned}$$

где $K_U = 20\lg\left(\frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}}\right)$ – коэффициент передачи

ЧП (в дБ) по напряжению; $K_I = 20\lg\left(\frac{I_{\text{ВЫХ}}}{I_{\text{ВХ}}}\right)$ – коэффициент передачи ЧП (в дБ) по току;

$n = \sqrt{R_{\text{ВЫХ}}/R_{\text{ВХ}}}$ – коэффициент трансформации ЧП.

Примечание. Для того чтобы различать, каким образом получен коэффициент передачи в децибелах – путем измерения мощности, напряжения или тока на входе и выходе ЧП, – указывают: коэффициент передачи в децибелах по мощности, коэффициент передачи в децибелах по напряжению/току. Используют коэффициент передачи в децибелах по напряжению (току), когда входное и выходное сопротивления ЧП равны либо их величина не важна и условно их можно принять равными.

Как видно из (1) и (2), для СЧП коэффициенты передачи в децибелах по мощности, напряжению и току равны ($K_p = K_U = K_I$), а для НЧП не равны друг другу ($K_p \neq K_U \neq K_I$).

Примечание. При одинаковом отношении

$P_{\text{ВЫХ}}/P_{\text{ВХ}}$ и $U_{\text{ВЫХ}}/U_{\text{ВХ}}$ коэффициент передачи в децибелах по напряжению в два раза больше, чем по мощности.

Из (1) и (2) следует, что в децибелах коэффициент передачи по напряжению НЧП может быть представлен суммой коэффициента передачи по мощности (по напряжению) СЧП и коэффициента трансформации идеального трансформатора сопротивле-

$$\text{ний: } K_U = K_p + 20\lg(n). \quad (3)$$

Идеальные трансформаторы сопротивлений не изменяют коэффициент передачи мощности СЧП, а производят лишь взаимное изменение (перераспределение) коэффициентов передачи по напряжению и току (2). В соответствии с выражением (3) можно изобразить эквивалентную схему НЧП с трансформатором на входе либо выходе СЧП. Эквивалентная схема НЧП в виде каскадного соединения СЧП и трансформатора сопротивлений на выходе СЧП представлена на рис. 1.

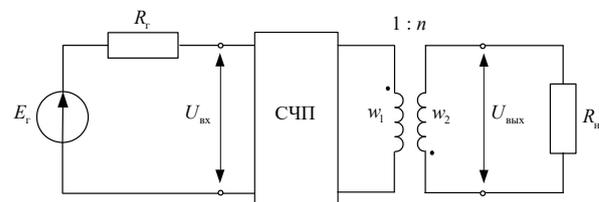


Рисунок 1 – Эквивалентная схема НЧП

Схема является общей для СЧП и НЧП, а ее принадлежность конкретному типу ЧП определяется коэффициентом трансформации.

Для идеального пассивного ЧП, учитывая, что потери мощности в нем отсутствуют $K_p = 0$ дБ, выражение (3) запишется как $K_U = 20\lg(n)$ (4), т. е. коэффициент передачи по напряжению идеального пассивного ЧП равен его коэффициенту трансформации.

Примечание. Если пассивный ЧП входит в состав усилителя напряжения, его коэффициент передачи по мощности, равно как и коэффициент передачи по мощности самого усилителя напряжения, неважен и его также условно можно принять равным нулю.

Выполнение условия (4) позволяет говорить об эквивалентности усилителя напряжения и трансформатора сопротивлений по отношению к передаче напряжения.

Если ввести опорный уровень, то в децибелах можно производить измерение уровня мощности или уровня напряжения. Для мощности опорный уровень обычно принимают равным 1 Вт (1 мВт), для напряжения – 1 В (1 мВ). При этом мощность и напряжение становятся безразмерными величинами.

При подключении генератора сигналов к ЧП на его входе будет действовать падающая, а на выходе – проходящая волна напряжения. Запишем

выражение, связывающее мощности сигнала на входе и выходе ЧП через коэффициент передачи (в дБ) по мощности:

$$10\lg\left(\frac{P_{\text{вх}}}{1 \text{ Вт}}\right) + K_p = 10\lg\left(\frac{P_{\text{вых}}}{1 \text{ Вт}}\right). \quad (5)$$

Понятия напряжения, тока и волнового сопротивления в передающих линиях СВЧ-диапазона неоднозначны, исключение составляют линии передачи с Т-волнами, к которым относится коаксиальный волновод. В противоположность этому мощность, поступающая в плечо ЧП, не зависит от типа передающей линии, легко и однозначно измеряется на всех частотах. Если произвести нормировку волн напряжения на входе ЧП [4, 5, 6], это позволит переходить от измерения уровня мощности к измерению уровня напряжения на основании тождества

$$\begin{aligned} 10\lg\left(\frac{P_{\text{вх}}}{1 \text{ Вт}}\right) &= 20\lg\left(\frac{\sqrt{P_{\text{вх}}}}{\sqrt{1 \text{ Вт}}}\right) = \\ &= 20\lg\left(\frac{U_{\text{вх}}/\sqrt{R_{\text{вх}}}}{1 \text{ В}}\right) = 20\lg\left(\frac{U'_{\text{вх}}}{1 \text{ В}}\right), \end{aligned} \quad (6)$$

где $U_{\text{вх}} = U_{\text{вх}}/\sqrt{R_{\text{вх}}}$ – нормированное напряжение на входе ЧП на сопротивлении 1 Ом, размерность В; $R_{\text{вх}}$ – безразмерная величина, численно равная входному сопротивлению ЧП; $U'_{\text{вх}}$ – действующее значение волны напряжения на входе ЧП.

С помощью идеального трансформатора входное сопротивление ЧП всегда может быть приведено к сопротивлению 1 Ом, при этом активная мощность на входе ЧП не изменится. Если теперь в (5) перейти к действующим значениям напряжений, то с учетом (6), получим:

$$20\lg\left(\frac{U'_{\text{вх}}}{1 \text{ В}}\right) + K_{U_{\text{н}}} = 20\lg\left(\frac{U_{\text{вых}}}{1 \text{ В}}\right), \quad (7)$$

где, учитывая, что на входе ЧП действует нормированное напряжение $U'_{\text{вх}}$, назовем $K_{U_{\text{н}}}$ коэффициентом передачи ЧП (в дБ) по нормированному напряжению:

$$K_{U_{\text{н}}} = K_p + 20\lg(n_{\text{в}}), \quad (8)$$

где K_p – коэффициент передачи СЧП (в дБ) по мощности; $n_{\text{в}} = \sqrt{R_{\text{н}}/1 \text{ Ом}}$ – коэффициент трансформации виртуального трансформатора сопротивлений на выходе СЧП от выходного сопротивления СЧП, равного 1 Ом, к сопротивлению нагрузки ЧП, равному $R_{\text{н}}$ (рис. 1).

Для недиссипативного ЧП, учитывая отсутствие потерь, $K_p = 0$, $K_{U_{\text{н}}} = 20\lg(n_{\text{в}})$.

Возвращаясь в (7) к $P_{\text{вх}}$, запишем выражение для коэффициента передачи ЧП по нормированному напряжению через действующее напряжение на выходе и активную мощность на входе ЧП:

$$K_{U_{\text{н}}} = 20\lg\left(\frac{U_{\text{вых}}}{1 \text{ В}}\right) - 10\lg\left(\frac{P_{\text{вх}}}{1 \text{ Вт}}\right). \quad (9)$$

На основании выражения (8) и тождества (4) можно записать представление коэффициента передачи по нормированному напряжению $K_{U_{\text{н}}}$ для каскадного включения ЧП через коэффициенты передачи усилителя мощности K_p и усилителя напряжения K_U (рис. 2):

$$K_{U_{\text{н}}} = K_p + 20\lg(n_{\text{в}}) + K_U, \quad (10)$$

где $n_{\text{в}} = \sqrt{R_{\text{вх}}/1 \text{ Ом}}$ – коэффициент трансформации виртуального трансформатора сопротивлений от выходного сопротивления усилителя мощности, равного 1 Ом, к входному сопротивлению усилителя напряжения $R_{\text{вх}}$.

Для $K_p = 0$ из выражения (10) получим $K_{U_{\text{н}}} = 20\lg(n_{\text{в}}) + K_U$.

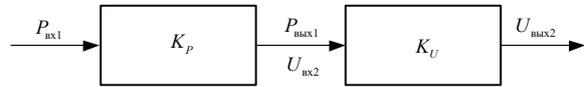


Рисунок 2 – Каскадное соединение четырехполюсников

К выражениям (9) и (10) можно прийти путем непосредственных вычислений. Запишем цепочку выражений для схемы на рис. 2:

$$P_{\text{вых1}} = K_p P_{\text{вх1}}; U_{\text{вх2}}^2 = R_{\text{вх}} P_{\text{вых1}}; U_{\text{вых2}} = K_U U_{\text{вх2}};$$

$$U_{\text{вх2}}^2 = K_U^2 R_{\text{вх}} P_{\text{вх1}} = K_U^2 R_{\text{вх}} K_p P_{\text{вх1}} = K_{U_{\text{н}}} P_{\text{вх1}} \cdot 1 \text{ Ом},$$

где $K_{U_{\text{н}}} = K_U^2 K_p R_{\text{вх}}/1 \text{ Ом} = K_U^2 K_p n_{\text{в}}^2$ – коэффициент передачи (усиления) по нормированному напряжению.

Продолжая, получим еще одно выражение для

$K_{U_{\text{н}}}$: $K_{U_{\text{н}}} = (U_{\text{вых2}}^2)/(P_{\text{вх1}} \cdot 1 \text{ Ом})$, где $P_{\text{вх1}} \cdot 1 \text{ Ом}$ – квадрат нормированного входного напряжения на сопротивлении 1 Ом, численно равный входной мощности. Или в децибелах:

$$K_{U_{\text{н}}} = K_p + 20\lg(n_{\text{в}}) + K_U;$$

$$K_{U_{\text{н}}} = 20\lg\left(\frac{U_{\text{вых}}}{1 \text{ В}}\right) - 10\lg\left(\frac{P_{\text{вх}}}{1 \text{ Вт}}\right).$$

На практике обычно интересуются не действующим, а амплитудным (максимальным) значением напряжения сигнала на выходе ЧП. Для перехода от действующего к амплитудному значению гармонического напряжения необходимо умножить

действующее значение на коэффициент $\sqrt{2}$, который удобно учесть в коэффициенте трансформации n_b , присвоив ему соответствующий индекс

$n_{bM} = \sqrt{2R_{bX}}/1 \text{ Ом}$. В этом случае $K_{U_{HM}}$ будем называть коэффициентом передачи по амплитуде нормированного напряжения.

Рассмотрим примеры.

Пример 1. На рис. 3 изображен простейший идеальный СЧП в виде **непосредственного соединения** генератора сигналов с действующим значением ЭДС E_r , внутренним сопротивлением R_r и согласованной нагрузки с сопротивлением $R_n = R_r$.

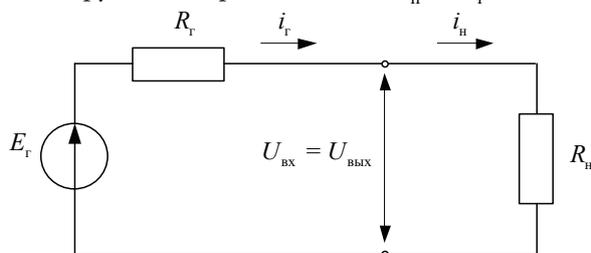


Рисунок 3 – Непосредственное соединение генератора сигналов с нагрузкой

Так как ЧП симметричный, его коэффициенты передачи (в дБ) по напряжению и по мощности равны: $K_U = K_P = 0$.

Коэффициент передачи ЧП (в дБ) по нормированному напряжению, как следует из (9), равен:

$$K_{U_{HM}} = 20 \lg \left(\frac{U_{\text{ВЫХ}}}{1 \text{ В}} \right) - 10 \lg \left(\frac{P_{\text{ВХ}}}{1 \text{ Вт}} \right) = 20 \lg (n_b), \quad (11)$$

где $10 \lg \left(\frac{P_{\text{ВХ}}}{1 \text{ Вт}} \right) = 10 \lg \left(\frac{E_r^2/4R_r}{1 \text{ Вт}} \right);$

$$20 \lg \left(\frac{U_{\text{ВЫХ}}}{1 \text{ В}} \right) = 20 \lg \left(\frac{E_r/2}{1 \text{ В}} \right); E_r - \text{действующее}$$

значение ЭДС генератора входного сигнала;

$n_b = \sqrt{R_n}/1 \text{ Ом}$ – коэффициент трансформации виртуального трансформатора сопротивлений на выходе СЧП.

Пример 2. Требуется рассчитать коэффициент передачи активного СЧП (в дБ) по амплитуде нормированного напряжения при следующих исходных данных: $R_r = R_n = 50 \text{ Ом}$, $P_{\text{ВХ}} = -20 \text{ дБ/мВт}$,

$$P_{\text{ВЫХ}} = 10 \text{ дБ/мВт}.$$

Коэффициент передачи СЧП (в дБ) по мощности $K_P = P_{\text{ВЫХ}} - P_{\text{ВХ}} = 30 \text{ дБ}$.

Коэффициент передачи СЧП (в дБ) по амплитуде нормированного напряжения в соответствии с выражениями (8), (9) соответственно равен:

$$K_{U_{HM}} = K_P + 20 \lg(n_{bM}) = 30 + 20 = 50 \text{ дБ},$$

$$K_{U_{HM}} = U_{\text{ВЫХ.М}} + 30 - P_{\text{ВХ}} = 0 + 30 + 20 = 50 \text{ дБ},$$

где $U_{\text{ВЫХ.М}} = 0$ – уровень амплитуды выходного напряжения, соответствующий $P_{\text{ВЫХ}} = 10 \text{ дБ/мВт}$; -30 дБ – перевод дБ/мВт в дБ/Вт.

Пример 3. Для радиоприемного тракта с Т-волнами на входе сечение для перехода от мощности к напряжению может быть выбрано в любом сечении тракта. Выберем в качестве такого сечения выход антенны (рис. 4) и найдем коэффициент передачи тракта по амплитуде нормированного напряжения.



Рисунок 4 – Схема передачи сигнала от антенны на выход РПрУ

Запишем коэффициент передачи по напряжению РПрУ:

$$K_U = 20 \lg \left(\frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}} \right) = 10 \lg \left(\frac{U_{\text{ВЫХ}}^2}{U_{\text{ВХ}}^2} \right) = 10 \lg \left(\frac{U_{\text{ВЫХ.М}}^2}{2R_{\text{ВХ}} P_{\text{ВХ}}} \right),$$

где, обозначая $K_{U_{HM}} = 10 \lg \left(\frac{U_{\text{ВЫХ.М}}^2}{P_{\text{ВХ}} \cdot 1 \text{ Ом}} \right)$ –

коэффициент передачи тракта по амплитуде нор-

мированного напряжения, $n_{bM} = \sqrt{2R_{bX}}/1 \text{ Ом}$ – коэффициент трансформации виртуального трансформатора сопротивлений в выходном сечении антенны; $R_{\text{ВХ}}$ – входное сопротивление РПрУ, получим

$$K_{U_{HM}} = 20 \lg(n_{bM}) + K_U. \quad (12)$$

Современные приборы позволяют измерять коэффициент передачи по напряжению линейной части РПрУ K_U , включая СВЧ-диапазон, зная который, можно найти по формуле (12) коэффициент передачи по амплитуде нормированного напряжения $K_{U_{HM}}$.

Пример 4. На рис. 5 представлена схема передачи сигнала от антенны к согласованной нагрузке с активным сопротивлением R_n . Необходимо найти коэффициент передачи по амплитуде нормированного напряжения $K_{U_{HM}}$.

Известно, что антенна, являясь идеальным трансформатором сопротивлений, преобразует волновое сопротивление свободного пространства Z_b в сопротивление нагрузки R_n . Величина сопротивления Z_b для $K_{U_{HM}}$ при этом неважна, т. к. она

всегда может быть преобразована с помощью идеальных трансформаторов к сопротивлению 1 Ом. Мощность сигнала на входе приемной антенны радиолокатора равна

$$P_{вх} = \frac{P_{рпг} G_{рпг} G_{рпгУ} \sigma_{ц} \lambda^2}{(4\pi)^3 r^4},$$

где $P_{рпг}$ – мощность передатчика; $G_{рпгУ}$ – коэффициент усиления передающей антенны; $G_{рпг}$ – коэффициент усиления приемной антенны; $\sigma_{ц}$ – эффективная отражающая поверхность «цели»; λ – длина волны; r – дальность до «цели».

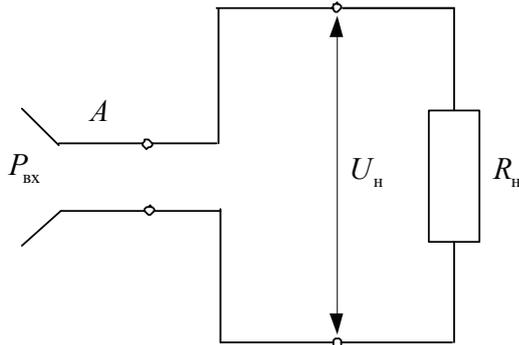


Рисунок 5 – Схема передачи сигнала от антенны к нагрузке

Учитывая, что коэффициент передачи мощности трансформатором без потерь $K_p = 1$, мощность $P_{вх}$ будет действовать в нагрузке. Можем записать $U_{н.м}^2 = 2R_n P_{вх}$, где $U_{н.м}$ – амплитуда напряжения сигнала в нагрузке. Отсюда следует:

$$20 \lg(U_{н.м}/1 \text{ В}) = 10 \lg(2R_n/1 \text{ Ом}) + 10 \lg(P_{вх}/1 \text{ Вт});$$

$$K_{U_{н.м}} = 20 \lg(U_{н.м}/1 \text{ В}) - 10 \lg(P_{вх}/1 \text{ Вт}) = 20 \lg(n_{вм}),$$

где $n_{вм} = \sqrt{2R_n/1 \text{ Ом}}$ – коэффициент трансформации виртуального трансформатора сопротивлений на выходе антенны.

Пример 5. Производитель задает на смесительные диоды, например HSMS-8202, потери преобразования $L_{пр} = 6,3$ дБ и выходное сопротивление $R_{вых} = 150$ Ом. Несложно показать, что при работе на согласованную нагрузку коэффициент передачи смесителя по нормированному напряжению будет равен:

$$K_{U_{н.см}} = 10 \lg \left(\frac{U_{вых}^2}{P_{вх} \cdot 1 \text{ Ом}} \right) =$$

$$= -L_{пр} + 10 \lg(R_{вых}/1 \text{ Ом}) - 6 \text{ дБ} =$$

$$= -6,3 + 21,7 - 6 = 9,4 \text{ дБ},$$

где $n_{в} = \sqrt{R_{вых}/1 \text{ Ом}}$ – коэффициент трансформации виртуального трансформатора сопротивлений на выходе смесителя, -6 дБ – учитывает падение напряжения сигнала на выходном сопротивлении смесителя.

Если $R_n \gg R_{вых}$, то падением напряжения на $R_{вых}$ можно пренебречь, тогда получим:

$$K_{U_{н.см}} = -L_{пр} + 10 \lg(R_{вых}/1 \text{ Ом}) =$$

$$= -6,3 + 21,7 = 15,4 \text{ дБ}.$$

Пример 6. Пороговая чувствительность супергетеродинного РПрУ составляет $P_{А.П} = -93$ дБ/мВт, необходимо обеспечить на выходе линейной части РПрУ среднеквадратическое напряжение шума, равное 1 В, найти общее усиление РПрУ и распределить усиление между каскадами.

Требуемое общее усиление РПрУ найдем по формуле (9): $K_{U_{н.общ}} = U_{вых} + 30 - P_{вх} =$

$$= 0 + 30 + 93 = 123 \text{ дБ},$$

где -30 дБ – перевод дБ/мВт в дБ/Вт.

Для типового распределения усиления между каскадами $K_{U_{н.общ}}$ запишется:

$$K_{U_{н.общ}} = -L_{в.т} + K_{р.мшУ} - L_{пс} + K_{U_{н.см}} + K_{U_{пупч}} + K_{U_{гупч}} =$$

$$= -1,5 + 20 - 1,5 + 15 + 20 + 71 = 123 \text{ дБ},$$

где $L_{в.т} \geq 1,5$ дБ – потери мощности в волноводном тракте; $K_{р.мшУ} \geq 20$ дБ – коэффициент передачи по мощности малошумящего усилителя; $L_{пс} \geq 1,5$ дБ – потери мощности в преселекторе; $K_{U_{н.см}}$ – коэффициент передачи (в дБ) по нормированному напряжению смесителя; $K_{U_{пупч}} \geq 20$ дБ – коэффициент передачи по напряжению предварительного усилителя промежуточной частоты; $K_{U_{гупч}}$ – коэффициент передачи (в дБ) по напряжению главного усилителя промежуточной частоты.

Пример 7. Рассчитать коэффициент передачи по нормированному напряжению СВЧ-видеодетектора для следующих параметров детекторного диода 5082-2207 (Hewlett Packard): $\beta_U = 10$ мВ/мкВт, $R_{вых} = 1,8$ МОм при $P_{вх} = -30$ дБ/мВт и $R_n = 10$ МОм, где β_U – чувствительность по напряжению (В/Вт) детекторного диода, $R_{вых}$ – выходное сопротивление детекторного диода на видеочастоте.

При работе на квадратичном участке детекторной характеристики выходное напряжение видеодетектора пропорционально мощности (квадрату напряжения) входного сигнала: $U_{вых} = \beta_U P_{вх}$.

Отсюда коэффициент передачи видеодетектора по нормированному напряжению запишется:

$$K_{U_{н.дет}} = 10 \lg \left(\frac{U_{вых}^2}{P_{вх} \cdot 1 \text{ Ом}} \right) = 10 \lg \left(\frac{\beta_U^2 \cdot 1 \text{ Вт}}{1 \text{ Ом}} \right) + P_{вх}. \quad (13)$$

Примечание. При мощности сигнала на входе видеодетектора, соответствующей квадратичному участку детекторной характеристики, его коэффициент передачи, как следует из выражения (13), зависит от мощности входного сигнала.

В результате получим:

$$K_{U_{н.дет}} = 10 \lg(10000) - 30 - 30 = 20 \text{ дБ},$$

где -30 дБ – перевод дБ/мВт в дБ/Вт.

Также коэффициент передачи видеодетектора по нормированному напряжению может быть записан:

$$K_{U_{н.дет}} = 10 \lg(\beta_U \beta_I) + 10 \lg(R_{вых}/1 \text{ Ом}) + P_{вх} =$$

$$= 10\lg(\beta_U \beta_I) + 10\lg(n^2) + P_{\text{вх}},$$

где $n_b = \sqrt{R_{\text{вых}}/1 \text{ Ом}}$ – коэффициент трансформации виртуального трансформатора сопротивлений на выходе видеодетектора; $10\lg(\beta_U \beta_I \cdot 1 \text{ Вт}) + P_{\text{вх}}$ – коэффициент, характеризующий передачу мощности на выход видеодетектора; β_I – чувствительность видеодетектора по току (А/Вт), связанная с чувствительностью видеодетектора по напряжению выражением $\beta_U = \beta_I R_{\text{вых}}$.

Заключение.

1. Коэффициент передачи по нормированному напряжению K_{U_n} , связывающий мощность сигнала на входе с напряжением на выходе РПрУ, определяет общий коэффициент усиления РПрУ любого диапазона частот на том основании, что входной величиной РПрУ всегда является мощность принимаемого сигнала, а выходной – напряжение на входе оконечного устройства.

2. Введение коэффициента передачи по нормированному напряжению K_{U_n} позволяет упростить формирование технических требований к РПрУ и облегчить контроль его усиления в процессе эксплуатации [8].

3. Выражение (9) позволяет по исходным требованиям рассчитать общий коэффициент усиления РПрУ, а выражение (10) – распределить усиление между усилителем мощности и усилителем напряжения с учетом коэффициента трансформации виртуального трансформатора сопротивлений.

4. Как следует из (10), коэффициент передачи по нормированному напряжению представляет собой общий коэффициент передачи (усиления) каскадно включенных усилителей мощности и напряжения. Подобная структура характерна для СВЧ РПрУ.

5. Как следует из (11), в коэффициент передачи по нормированному напряжению всегда входит коэффициент трансформации виртуального трансформатора сопротивлений, который преобразует виртуальное сопротивление 1 Ом к реальному сопротивлению нагрузки. Коэффициентом, который связывает между собой коэффициенты передачи (в дБ) по мощности и напряжению высокочастотной и низкочастотной частей СВЧ РПрУ, является коэффициент трансформации виртуального трансформатора сопротивлений, выраженный в децибелах.

6. Коэффициенты трансформации согласующих трансформаторов, если такие имеются в составе каскадно включенных ЧП, в соответствии с (4) учитываются только в коэффициенте передачи усилителя напряжения.

7. При расчете коэффициента передачи по нормированному напряжению переход от мощности к напряжению производится однократно в любом сечении радиоприемного тракта. В РПрУ низкочастотных диапазонов это сечение смещается в антенну (пример 3). В СВЧ РПрУ переход естественно осуществлять в том сечении тракта, где измерение напряжений уже не вызывает сложностей, т. е. на выходе смесителя или видеодетектора (примеры 5, 7).

ЛИТЕРАТУРА

1. Особенности настройки приемного устройства канала визирования ракет // Информационно-технический бюллетень по эксплуатации и боевому применению зенитного ракетного комплекса С-125М. – 1985. – Выпуск 13. – С. 19–26.
2. Проектирование радиоприемных устройств: учеб. пособие для вузов / С.М. Клич [и др.]; под общ. ред. А.П. Сиверса. – М.: Сов. Радио, 1976. – 488 с.
3. Батура, М.П. Теория электрических цепей: учебник для вузов / М.П. Батура, А.П. Кузнецов, А.П. Курулев; под общ. ред. А. П. Курулева. – Минск: Вышэйш. шк., 2015. – 608 с.
4. Фельдштейн, А.Л. Синтез четырехполосников и восьмиполосников на СВЧ / А.Л. Фельдштейн, Л.Р. Явич. – М.: Связь, 1971. – 388 с.
5. Фуско, В. СВЧ-цепи. Анализ и автоматизированное проектирование / В. Фуско; пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1990. – 288 с.
6. Саонов, Д.М. Антенны и устройства СВЧ / Д.М. Саонов. – М.: Высш. шк., 1988. – 432 с.
7. Буйвалов, И.Е. Методика расчета общего коэффициента усиления СВЧ радиоприемного устройства / И.Е. Буйвалов // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2017. – № 3 (56) – С. 49–57.
8. Буйвалов, И.Е. Коэффициент передачи четырехполосника по нормированному напряжению / И.Е. Буйвалов // Веснік сувязі. – № 4 (150) – 2018 – С. 62–64.

The main purpose of this article is to obtain an analytical expression for the calculation of the transfer coefficient of a four-port network, when its input measures the power, and on the output – the signal voltage. Such a task takes place when calculating and measuring the overall amplification factor of a radio receiver consisting of power amplifiers, resistance transformers and voltage amplifiers.

In the article the term "transmission coefficient for normalized voltage" was introduced for the first time. An analytical expression is given for calculating the overall amplification factor of the radio receiver.

Получено 08.04.2019.