

## ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ РАДИОПЕРЕДАТЧИКА С АВТОМАТИЧЕСКОЙ РЕГУЛИРОВКОЙ РЕЖИМА ДВУХЧАСТОТНЫМ ТЕСТОВЫМ СИГНАЛОМ

В работе исследуются сравнительная оценка энергетических параметров усилителей мощности однополосных радиопередатчиков, использующих автоматическую регулировку режима применением детерминированного двухчастотного тестового сигнала вместо случайного однополосного сигнала, модулированного речью.

Найдены соотношения, позволяющие по результатам измерений, полученных при испытаниях, судить об энергопотреблении оконечного каскада усилителя мощности с автоматической регулировкой режима при различных видах модуляции. Соотношения между энергопотреблением выходного каскада при усилении случайного речевого сигнала и усилении двухчастотного тестового сигнала получены как без учета потерь в управляемом источнике питания, так и с учетом таких потерь.

Предложена методика расчета энергетического выигрыша и коэффициента полезного действия при применении автоматического регулирования питающего напряжения выходных каскадов коротковолновых передатчиков, предназначенных для модуляции речевыми сигналами. Проведена оценка потерь в регулируемом источнике питания. Обосновано преимущество схем усилителей мощности с автоматической регулировкой режима.

**Ключевые слова:** усилитель мощности, коэффициент полезного действия, измерения, энергопотребление, автоматическая регулировка режима по питанию, тестовый сигнал, контроль параметров.

**Введение.** При проектировании радиопередатчиков коротковолнового (КВ) диапазона повышение коэффициента полезного действия является решающим, т.к. влияет на такой важнейший тактический показатель носимого средства связи, как длительность работы оборудования от аккумуляторной батареи без её подзарядки. Так как основное энергопотребление в передатчике приходится на оконечный каскад усилитель мощности, то повышение его среднего КПД самым существенным образом влияет на энергопотребление всего передающего тракта [1–3].

Повышение КПД снижает тепловыделение и уменьшает связанные с ним массогабаритные характеристики изделий, улучшает тепловые режимы комплектующих и этим повышает надёжность их работы.

При разработке усилителей мощности, в которых применяются сигналы с переменной огибающей, большое внимание уделяется как повышению КПД, так и линейности усилителя мощности [4].

Высокая линейность предотвращает искажение передаваемого сигнала и не допускает расширения спектра сигнала за счет появления в нем интермодуляционного продукта [5].

Как известно [1, 6], каскады усилителей мощности (УМ), работающие в режимах А, В, С, предназначенные для усиления сигналов с амплитудной модуляцией, имеют низкий средний КПД.

Вопросам повышения КПД усилителей мощности амплитудно-модулированных (АМ) сигналов посвящено множество работ и предложено несколько направлений, позволяющих достичь определённых успехов [7]. Среди предложенных методов, позволяющих строить широкополосные высокочастотные УМ, предназначенные для усиления амплитудно-модулированных сигналов с высоким КПД, следует выделить метод Кана [8] и метод, использующий автоматическую регулировку режима (АРР) по напряжению питания [1, 4]. Для реализации и того, и другого метода требуется применить низкочастотный (НЧ) усилитель огибающей высокочастотного (ВЧ) сигнала, имеющий высокий КПД и вносящий малые нелинейные искажения в усиливаемый сигнал. Этот НЧ усилитель является источником питания для оконечного каскада УМ.

Из рассмотренных методов повышения энергетической эффективности в нашем случае больше всего подходит метод автоматической регулировки режима по питающему напряжению. Это связано

с тем, что имеется управляемый источник питания (УИП), которым можно изменять питающее напряжение в такт с изменением низкочастотной огибающей усиливаемого сигнала, тем самым поддерживая энергетически эффективный режим работы выходного каскада [1, 4].

При построении УМ с автоматической регулировкой режима по питающему напряжению в оконечном каскаде, автоматически поддерживается критический режим работы выходного транзистора, независимо от текущей амплитуды импульса тока. Такой метод повышения энергетической эффективности называется АРР по напряжению питания, или Envelope Tracking (слежение за огибающей) [1, 4].

**Постановка задачи.** В отечественной и зарубежной литературе отсутствуют методики расчёта энергопотребления оконечного каскада однополосного передатчика при использовании в нём АРР, с учётом потерь в управляемом источнике питания. В публикации [3] имеется раздел 6.2.2, озаглавленный «Энергетические характеристики». В указанном разделе найдено отношение среднего КПД оконечного каскада при его работе с АРР к КПД этого каскада в режиме пиковой мощности. Сравнения энергопотребления оконечного каскада УМ с АРР и без АРР в [3] не проводилось, поэтому судить о выигрыше оконечного каскада УМ в энергопотреблении при применении в нём АРР трудно.

Актуальным является получение методики измерений для контроля энергопотребления при работе УМ однополосного КВ передатчика, работающего с автоматическим регулированием режима выходных транзисторов по питанию. Необходимо также проведение расчёта и получения количественных соотношений для оценки энергетического выигрыша от введения в выходном каскаде усилителя мощности однополосного КВ передатчика автоматической регулировки режима по питанию.

**Теоретические предпосылки.** Для проведения оценки энергопотребления УМ, входящего в КВ передатчик с однополосной модуляцией, работающий с АРР, требуется подать на вход изменяющийся по амплитуде высокочастотный сигнал, статистические характеристики огибающей которого такие же, как аналогичные статистические характеристики речевого сигнала [9]. И здесь имеются два возможных подхода.

Первый состоит в том, что при настройке и проведении тестовых испытаний будет использован специализированный высокочастотный генератор. Такой генератор на выходе должен будет создавать

однополосный ВЧ сигнал, модулированный речью. И, хотя задача получения генератора такого сигнала легко разрешима теоретически, на практике такой подход вызывает определённые трудности [10]. Они появляются при обеспечении соответствия модулирующего речевого сигнала принятой его математической модели. Трудности появляются и при создании генератора, обеспечивающего ансамбль сигналов достаточно большого объёма, а также при метрологической аттестации такого генератора [11].

Второй подход состоит в замене при тестовых испытаниях УМ работающего с АРР, предназначенного для усиления однополосного сигнала, модулированного речью, другим однополосным ВЧ сигналом, модулированным детерминированным НЧ сигналом. При этом характеристики огибающей модулирующего детерминированного НЧ сигнала должны совпадать с некоторыми статистическими характеристиками принятой математической модели речевого сигнала [12]. А именно должны совпадать максимальные и минимальные значения этих двух модулирующих сигналов.

Предлагается установить связь энергопотребления выходного каскада УМ при усилении однополосного сигнала, модулированного речью и энергопотребления при усилении двухчастотного тестового сигнала (ДТС).

**Исследование.** Для измерения энергетических параметров УМ, входящего в КВ передатчик с однополосной модуляцией, работающий с АРР, предлагается методика контроля параметров УМ по его энергопотреблению при усилении двухчастотного тестового сигнала. Рассматривается УМ, предназначенный для работы в режиме усиления КВ SSB (Single-sideband modulation) сигнала, модулированного речью.

Проверка линейности передающего тракта для однополосных КВ передатчиков проводится по методике [13]. Такая проверка проводится подачей на вход передающего тракта через суммирующее устройство сигналов от двух низкочастотных генераторов. Структурная схема испытаний представлена на рис. 1. На выходе передатчика получается однополосный сигнал, модулированный двумя низкочастотными сигналами, имеющими частотный разнос [13]. В то же время, если речь идёт о проверке линейности только УМ, а не всего передатчика, то проверка линейности может быть проведена иначе, причём передающий тракт в полном объёме при этом не нужен. Такая проверка может быть проведена подачей через суммирующее устройство

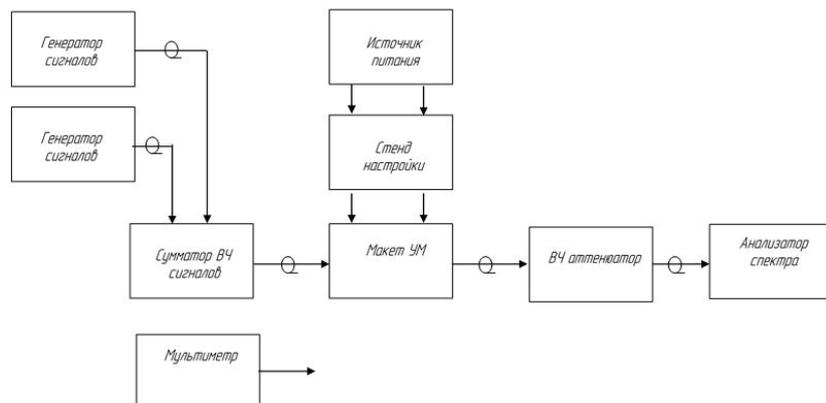


Рис. 1. Структурная схема испытаний

на вход УМ двух не модулированных ВЧ гармонических сигналов равной амплитуды, имеющих частотный разнос [13].

Пара ВЧ сигналов, удовлетворяющих перечисленным выше условиям, названа двухчастотным тестовым сигналом — ДТС.

Исследуем ситуацию, когда при проверке энергопотребления УМ с АРР однополосного КВ радиопередатчика используется такой же ДТС, какой используется в процессе испытаний УМ при оценке линейности передающего ВЧ тракта.

Тестовый сигнал, используемый при оценке линейности УМ, представляет собой на входе УМ сумму двух гармонических сигналов с равными амплитудами  $U_m/2$  и с близкими частотами  $\omega_1$  и  $\omega_2$  [14]. Он, так же как и сигнал, модулированный речью, имеет огибающую, но эта огибающая является не случайной, а детерминированной функцией времени. На входе УМ этот ВЧ сигнал имеет вид:

$$U_{ДТС} = \frac{1}{2}U_m \cos(\omega_1 t) + \frac{1}{2}U_m \cos(\omega_2 t). \quad (1)$$

После тригонометрического преобразования (1) можно записать в виде:

$$U_{ДТС} = U_m \cos \frac{\omega_1 - \omega_2}{2} t \cdot \cos \frac{\omega_1 + \omega_2}{2}. \quad (2)$$

Поэтому сигнал  $U_{ДТС}$  можно представить, как высокочастотный сигнал с частотой  $(\omega_1 + \omega_2)/2$ , средней между частотами  $\omega_1$  и  $\omega_2$ , модулированный по амплитуде низкой частотой  $(\omega_1 - \omega_2)/2$ .

Огибающая быстро осциллирующей части входного сигнала меняется по закону:

$$U_{ОГИБ\_ДТС}(t) = U_m \cdot \left| \cos \frac{\omega_1 - \omega_2}{2} t \right|. \quad (3)$$

Максимальное значение огибающей такого ВЧ сигнала на входе УМ равно  $U_m$ , а минимальное значение огибающей — ноль. Эти параметры совпадают с аналогичными параметрами огибающей речевого модулирующего сигнала.

Найдём из (3) моменты времени  $t_{\min\_m}$ , в которых значения огибающей ДТС равны нулю:

$$t_{\min\_m} = \pm \frac{\pi}{\omega_1 - \omega_2} (2m + 1), \quad (4)$$

где  $m$  — любое натуральное число из ряда 0, 1, 2, ...

Промежуток времени  $\Delta$  между двумя соседними моментами, в которых огибающая  $U_{огиб}(t)$  обращается в ноль, равен:

$$\Delta = t_{\min\_1} - t_{\min\_0} = \frac{2\pi}{\omega_1 - \omega_2}. \quad (5)$$

Выражение (3) тогда запишется

$$U_{ОГИБ\_ДТС}(t) = U_m \cdot \left| \cos \frac{\pi}{\Delta} t \right|. \quad (6)$$

Найдём мгновенную мощность, потребляемую транзистором выходного каскада УМ от источника питания при работе с АРР, когда усиливается случайный входной сигнал  $\zeta(t)$ :

$$P_{0\_РЕЧИ\_АРР}(\zeta) = \left[ \frac{E_{ПИТ} - E_{МИН}}{U_m} \zeta + E_{МИН} \right] \alpha_0 S \xi \frac{k}{k_{ВЫХ}(\omega)}. \quad (7)$$

Найдём среднюю мощность, потребляемую в режиме с АРР транзистором выходного каскада УМ от источника питания:

$$\bar{P}_{0\_РЕЧИ\_АРР} = \alpha_0 S \frac{k}{k_{ВЫХ}(\omega)} U_m (0,276 E_{ПИТ} + 0,153 E_{МИН}). \quad (8)$$

При модуляции усиливаемого УМ ВЧ сигнала не случайной функцией времени  $\zeta$ , а детерминированным сигналом, каким является ДТС, в (7) следует вместо  $\zeta$  использовать выражение (6).

Тогда при работе с ДТС и при АРР мгновенная мощность, потребляемая от источника питания одним транзистором выходного каскада, запишется:

$$P_{0\_ДТС\_АРР}(t) = U_m \left[ (E_{ПИТ} - E_{МИН}) \left| \cos \frac{\pi}{\Delta} t \right| + E_{МИН} \right] \times \alpha_0 S \frac{k}{k_{ВЫХ}(\omega)} \left| \cos \frac{\pi}{\Delta} t \right|. \quad (9)$$

Среднее значение мощности, потребляемой транзистором выходного каскада УМ  $\bar{P}_{0\_ДТС\_АРР}$  за промежуток времени  $\Delta$  можно найти из выражения:

$$\bar{P}_{0\_ДТС\_АРР} = \frac{1}{\Delta} \int_{-\frac{\Delta}{2}}^{\frac{\Delta}{2}} P_{0\_ДТС\_АРР}(t) dt. \quad (10)$$

После подстановки выражения (9) в интеграл (10), определяющий  $\bar{P}_{0\_ДТС\_АРР}$ , последний разделяется на два [15]. Первый интеграл  $I_1$  равен:

$$I_1 = \frac{1}{\Delta} (E_{ПИТ} - E_{МИН}) \alpha_0 S U_m \frac{k}{k_{ВЫХ}(\omega)} \int_{-\frac{\Delta}{2}}^{\frac{\Delta}{2}} \cos^2 \frac{\pi}{\Delta} t dt = 0,5 (E_{ПИТ} - E_{МИН}) \alpha_0 S U_m \frac{k}{k_{ВЫХ}(\omega)},$$

а второй равен:

$$I_2 = \frac{2}{\pi} E_{МИН} \alpha_0 S U_m \frac{k}{k_{ВЫХ}(\omega)}.$$

Поэтому выражение для  $\bar{P}_{0\_ДТС\_АРР}$  оказывается равным:

$$\bar{P}_{0\_ДТС\_АРР} = \alpha_0 S U_m \frac{k}{k_{ВЫХ}(\omega)} E_{ПИТ} \left[ 0,5 + 0,137 \frac{E_{МИН}}{E_{ПИТ}} \right]. \quad (11)$$

Для практического применения ДТС при тестировании УМ с АРР определим  $\mu_{ДТС}$  — отношение средней мощности, потребляемой выходным каскадом УМ при усилении случайного сигнала, модули-



Рис. 2. Зависимости потерь в УИП  $P_{\text{УИП}}(E, J_0)$  от напряжения огибающей усиленного ВЧ сигнала

рованного речью, к средней потребляемой мощности при усилении ДТС и работе с APP, то есть

$$\mu_{\text{ДТС}} = \frac{\bar{P}_{0\_РЕЧИ\_APP}}{\bar{P}_{0\_ДТС\_APP}}. \quad (12)$$

Проведя промежуточные вычисления, получим

$$\mu_{\text{ДТС}} = \frac{0,276 + 0,153 \frac{E_{\text{МИН}}}{E_{\text{ПИТ}}}}{0,5 + 0,137 \frac{E_{\text{МИН}}}{E_{\text{ПИТ}}}}. \quad (13)$$

#### Учёт потерь в управляемом источнике питания.

Выражение (12) получено без учёта потерь в управляемом источнике питания и поэтому справедливо только при КПД УИП, равном 100 %.

Очевидно, что для учёта потерь в УИП выражение (12) для  $\mu_{\text{ДТС\_УИП}}$  должно быть записано как соотношение энергопотребления с УИП при речевом сигнале к энергопотреблению с УИП при ДТС:

$$\mu_{\text{ДТС\_УИП}} = \frac{n\bar{P}_{0\_РЕЧИ\_APP} + \bar{P}_{\text{УИП\_РЕЧИ\_APP}}}{n\bar{P}_{0\_ДТС\_APP} + \bar{P}_{\text{УИП\_ДТС\_APP}}}. \quad (14)$$

В формуле (14) обозначено:

$n$  — число транзисторов выходного каскада, с которых суммированием получается полная мощность на выходе УМ;

$\bar{P}_{\text{УИП\_РЕЧИ\_APP}}, \bar{P}_{\text{УИП\_ДТС\_APP}}$  — средние потери в УИП соответственно при усилении сигнала, модулированного речью и модулированного ДТС.

Для использования формулы (14) следует определить входящие в формулу средние потери энергии в УИП для этих двух режимов работы.

Выражение для  $\bar{P}_{\text{УИП\_РЕЧИ\_APP}}$  получено в виде:

$$\bar{P}_{\text{УИП\_APP}} = b_0 + 0,429b_1 + 0,276b_2. \quad (15)$$

Коэффициенты полинома (15) находим [15] для применяемого УИП по методике, приведённой в [16]. Эти коэффициенты найдены при фактических значениях величин  $E_{\text{ПИТ}}, E_{\text{МИН}}, I_{0\text{-max}}$  характерных режимов работы УИП. При этом использовалась экспериментально полученная зависимость потерь в УИП  $P_{\text{УИП}}(E, J_0)$  [16] (рис. 2).

Среди перечисленных выше величин  $I_{0\text{-max}}$  — постоянная составляющая тока выходного каскада УМ в режиме пиковой мощности [4, 15].

Потери в УИП являются функцией от напряжения  $E$  на выходе УИП и от потребляемого от УИП выходным каскадом постоянного тока  $J_0$ , от напряжения аккумулятора батареи  $E_{\text{АКК}}$  [12].

Потери в УИП  $P_{\text{УИП}}(E, J_0)$ , зависят от напряжения  $E$  и тока  $J_0$  на его выходе при условии постоянства  $E_{\text{АКК}}$ .

Эта зависимость может быть получена экспериментально для любого конкретного УИП. Для применявшегося в проведённом эксперименте с УИП [16], где при напряжении на выходе УИП 21 В и токе нагрузки 1,2 А участвовавший в проведении испытаний УИП имел КПД 94 %.

На графиках рис. 2 построены зависимости потерь в УИП  $P_{\text{УИП\_APP}}$  и  $P_{\text{УИП\_БЕЗ\_APP}}$  рассчитанные по результатам измерения токов и напряжений макета УИП в точках с указанными выше координатами.

График построен для некоторой нормированной переменной  $X$ , изменяющейся в диапазоне от 0 до 1 [16].

Определим теперь потери в УИП при усилении не случайного речевого сигнала, а детерминированного сигнала — ДТС.

Потери в УИП при изменении входного сигнала УМ изменяются, перемещаясь в процессе модуляции вдоль одних и тех же линий на поверхности потерь УИП [16], как при усилении модулированного речью однополосного сигнала, так и при усилении ДТС. Поэтому для определения ДТС в формуле, описывающей мгновенные потери в УИП при усилении речевого сигнала, случайная функция времени  $\zeta$  заменяется на выражение (3), описывающее поведение детерминированной функции — огибающей ДТС:

$$P_{\text{УИП\_ДТС\_APP}}(t) = b_0 + b_1 \cos \frac{\pi}{\Delta} t + b_2 \cos^2 \frac{\pi}{\Delta} t. \quad (16)$$

Из (16) найдём средние за время  $\Delta$  потери в УИП при ДТС с APP:

$$\begin{aligned} \bar{P}_{\text{УИП\_ДТС\_APP}} &= \\ &= \frac{1}{\Delta} \int_{-\frac{\Delta}{2}}^{\frac{\Delta}{2}} \left( b_0 + b_1 \cos \frac{\pi}{\Delta} t + b_2 \cos^2 \frac{\pi}{\Delta} t \right) dt = \\ &= b_0 + \frac{2}{\pi} b_1 + 0,5b_2. \end{aligned} \quad (17)$$

Теперь, подставляя найденные выражения (9) и (15), (11) и (17) в выражение (14), найдём численное значение  $\mu_{\text{ДТС\_УИП}}$  отношения средней мощности, потребляемой УМ с APP при усилении модулированного речью сигнала, к средней мощности, потребляемой при ДТС на входе УМ, с учётом потерь в УИП:

$$\mu_{ДТС\_УИП} = \frac{n\alpha_0 S \frac{k}{k_{ВЫХ}(\omega)} U_m (0,276E_{ПИТ} + 0,153E_{МИН}) + b_0 + 0,429b_1 + 0,276b_2}{n\alpha_0 S U_m \frac{k}{k_{ВЫХ}(\omega)} E_{ПИТ} \left[ 0,5 + 0,137 \frac{E_{МИН}}{E_{ПИТ}} \right] + b_0 + 0,637b_1 + 0,5b_2} \quad (18)$$

Определение энергопотребления с учётом потерь в УИП для УМ однополосного КВ передатчика, модулированного речевым сигналом и работающего с АРР, предложено проводить с проведением следующих подготовительных действий:

- 1) найти для используемого УИП коэффициенты  $b_0, b_1, b_2$ ;
- 2) настроить УМ с УИП таким образом, чтобы были выдержаны заданные величины  $E_{ПИТ}$  и  $E_{МИН}$ ;
- 3) определить для частот  $\omega$ , на которых ведётся контроль энергопотребления УМ с АРР, частотно зависимую величину

$$\psi = n\alpha_0 S U_m \frac{k}{k_{ВЫХ}(\omega)} \quad (19)$$

- 4) получить значения  $\mu_{ДТС\_УИП}(\omega)$  для частот, на которых ведётся контроль энергопотребления УМ с АРР.

Подготовительные действия 1...4, перечисленные выше, требуется выполнять лишь периодически при подготовке измерительного эксперимента для тестирования УМ. На рабочем месте для проверки режима с АРР требуется иметь два ВЧ генератора.

Теперь, зная  $\mu_{ДТС\_УИП}$  по измеренным в процессе испытаний значениям потребления электроэнергии выходным каскадом УМ в режиме усиления ДТС при работе с АРР, следует вычислять среднюю потребляемую электроэнергию каскада в режиме усиления речевого сигнала и сравнивать её с величиной, задаваемой в конструкторской документации.

**Заключение.** Измерительный эксперимент для оценки энергопотребления выходного каскада УМ с АРР, усиливающего однополосный радиосигнал, модулированный речью, показал, что целесообразно тестовый сигнал, имитирующий случайный ВЧ сигнал, модулированный речью, заменить детерминированным двухчастотным тестовым сигналом.

Проведение тестовых испытаний усилителя мощности в режиме АРР с помощью детерминированного двухчастотного тестового сигнала позволяет оптимизировать измерительный процесс и оценить энергопотребление выходного каскада не только по уровню пиковой мощности, но и по средней мощности на входе УМ. Разработана методика контроля параметров УМ по его энергопотреблению при усилении двухчастотного тестового сигнала (ДТС) для измерения энергетических параметров УМ, входящего в КВ передатчик с однополосной модуляцией, работающий с АРР. Получены соотношения, позволяющие по результатам измерений с ДТС судить об энергопотреблении оконечного каскада УМ с АРР при модуляции речью. Проведена оценка потерь в управляемом источнике питания. Получены численные значения отношения средней мощности, потребляемой УМ с АРР при усилении модулированного речью сигнала, к средней мощности, потребляемой при ДТС на входе УМ, с учётом потерь в УИП.

#### Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-37-90122.

#### Библиографический список

1. Титов А. А. Повышение выходной мощности усилителей радиопередающих устройств. Москва: Горячая линия-Телеком, 2013. 142 с.
2. Абрамова Е. С. Анализ и разработка методов повышения энергетической эффективности усилителей мощности радиопередающих устройств: дис. ... канд. техн. наук. Новосибирск, 2015. 132 с.
3. Артым А. Д., Бахмутский А. Е., Козин Е. В. [и др.]. Повышение эффективности мощных радиопередающих устройств / под ред. А. Д. Артыма. Москва: Радио и связь, 1987. 176 с.
4. Разин К. О., Иванюшкин Р. Ю. Повышение энергетической эффективности линейного усилителя мощности У. Догерти методом двойной автоматической регулировки режима по питанию // Перспективные технологии в средствах передачи информации» — ПТСПИ-2019: материалы Междунар. науч.-техн. конф.: в 2 т. Владимир, 2019. Т. 2. С. 253–256.
5. Иванюшкин Р. Ю., Разин К. О. Исследование нелинейных искажений в усилителе мощности по схеме У. Догерти с двойной автоматической регулировкой режима по питанию // Технологии информационного общества: сб. тр. XIV Междунар. отрасл. науч.-техн. конф., 8–19 марта 2020 г. Москва: ИД Медиа Паблишер, 2020. С. 184–186.
6. Верзунов М. В. Однополосная модуляция в радиосвязи. Москва: Воениздат, 1972. 296 с.
7. Шахильдяев В. В., Иванюшкин Р. Ю. Методы повышения энергетической эффективности линейных усилителей мощности. // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2011. Т. 5, № 9. С. 143–145.
8. Khan L. Single sideband transmission by envelope elimination and restoration // Proceedings of the IRE. 1952. Vol. 40, Issue 7. P. 803–806. DOI: 10.1109/JRPROC.1952.273844.
9. Волков А. А. Синтетический метод цифровой передачи речевых сигналов // Электросвязь. 2004. № 7. С. 36–39.
10. Nikonov A. V., Nikonova G. V. Test Systems Control for the Electronics Industry // 2018 Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines (Dynamics). Proceedings. 2018. P. 1–4. DOI: 10.1109/Dynamics.2018.8601420.
11. Nikonova G. V., Nikonov A. V. Accuracy of the UHF Electronics Packages Testing // 2017 Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines (Dynamics). 2017. P. 1–4. DOI: 10.1109/Dynamics.2017.8239491.
12. Кузнецов С. Н. Компандирование спектра речевого сигнала на основе его огибающей и фазы: дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2006. 123 с.
13. ГОСТ 22579-86 Радиостанции с однополосной модуляцией сухопутной подвижной службы. (Изм. № 1, 1988 г. ИУС 7-88). Введ. 1987–07–01. Москва: ИПК Изд-во стандартов, 2001. 36 с.
14. Nikonov A. V., Nikonova G. V. Functional and circuitry base of control equipment designed for testing large-scale integrated circuits // 2016 Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines (Dynamics). 2016. 7819053. DOI: 10.1109/Dynamics.2016.7819053.
15. Korn G., Korn T. Mathematical Handbook for Scientists and Engineers. New York: McGraw Hill Book Company, 1968. 571 p.
16. Sak P. V., Rakhlin V. P., Nikonova G. V. Parameters Checkout of a Short-Wave Power Amplifier With Automatic Mode Adjustment via a Dual Frequency Test Signal // International

**САК Павел Викторович**, аспирант кафедры «Автоматизированные системы обработки информации и управления».

SPIN-код: 9772-8111

AuthorID (РИНЦ): 1005845

ORCID: 0000-0003-3471-2172

AuthorID (SCOPUS): 57203585275

Адрес для переписки: psak1994@mail.com

Сак П. В. Интегральная оценка параметров усилителя мощности радиопередатчика с автоматической регулировкой режима двухчастотным тестовым сигналом // Омский научный вестник. 2021. № 2 (176). С. 59–64 DOI: 10.25206/1813-8225-2021-176-59-64.

Статья поступила в редакцию 12.02.2021 г.

© П. В. Сак