

УДК 621.375.026

## ПОЛОСОВОЙ УСИЛИТЕЛЬ МОЩНОСТИ С ПОВЫШЕННОЙ ЛИНЕЙНОСТЬЮ АМПЛИТУДНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Титов А.А.

Томский государственный университет систем управления  
и радиоэлектроники

Россия, 634050, Томск, просп. Ленина, 40 **E-mail:** [titov\\_aa@rk.tusur.ru](mailto:titov_aa@rk.tusur.ru)

Описан полосовой усилитель мощности с корректором. В качестве корректирующего элемента корректора использована управляемая нелинейная емкость коллектор-эмиттер закрытого низкочастотного транзистора. Технические характеристики усилителя: максимальный уровень выходной мощности 147 Вт; уровень выходной мощности, ограниченный сжатием синхроимпульсов телевизионного радиосигнала изображения на 2 %, не менее 125 Вт; рабочий диапазон частот 72-86 МГц; коэффициент усиления 22 дБ.

Высокие требования к линейности амплитудной характеристики полосовых усилителей мощности предъявляются при усилении телевизионных, однополосных, многочастотных, амплитудно-модулированных радиосигналов [1, 2]. Методы повышения линейности основаны на оптимизации базового смещения транзисторов усилителя, работающих в режиме с отсечкой коллекторного тока [3-5], использовании предискажений входного сигнала [6-8] и адаптивной компенсации [8-10].

Несмотря на теоретические преимущества схем адаптивной компенсации [9], они достаточно сложны в реализации, поскольку содержат в своем составе такие элементы как синхронный детектор, направленные ответвители

ли, линии задержки, управляемый аттенюатор, сумматор, усилитель искажений. Поэтому, например, в усилителях телевизионных передатчиков эти схемы не находят применения. Для реализации предискажений входного сигнала используются корректоры, в качестве основного элемента которых может быть применен варикап [11]. Недостатком использования корректора на варикапе является невозможность осуществления плавной регулировки и подстройки его дифференциального коэффициента усиления [12].

На рис. 1 приведена принципиальная схема полосового усилителя мощности с корректором амплитудной характеристики на транзисторе.

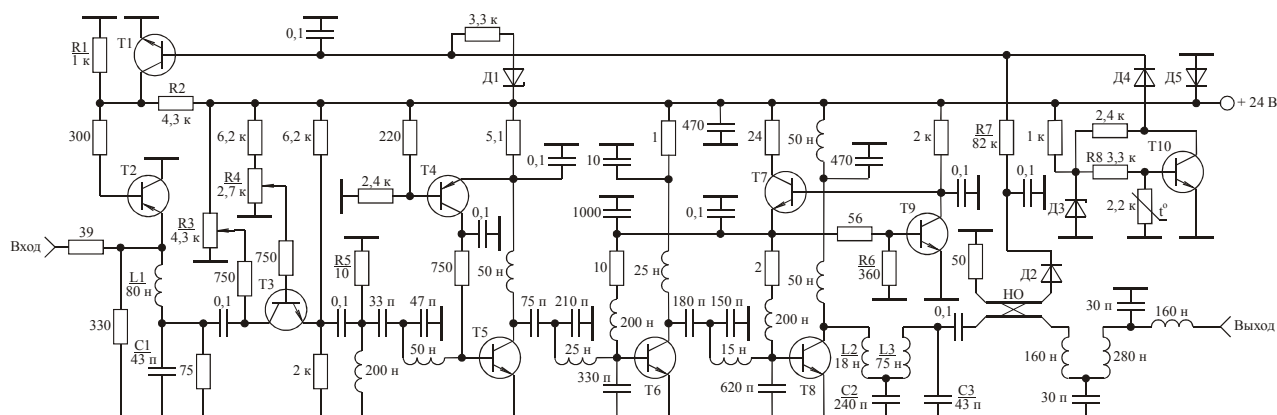


Рис. 1. Принципиальная схема полосового усилителя мощности с повышенной линейностью амплитудной характеристики.  $T_1, T_{10}$  - КТ315В,  $T_2$  - КТ816А,  $T_3$  - КТ630А,  $T_4$  - КТ361В,  $T_5$  - КТ913В,  $T_6$  - КТ930А,  $T_7, T_9$  - КТ817Б,  $T_8$  - КТ971А;  $D_1$  - КС224Ж,  $D_2, D_4$  - КД509А,  $D_3$  - КС215Ж,  $D_5$  - КД213А; НО – направленный ответвитель.

Усилитель содержит корректор, три каскада усиления, фильтр нижних частот, схемы защиты от перегрузки по входу, от рассогласования по выходу, от превышения напряжением питания номинального значения, термозащиту.

В качестве корректирующего элемента корректора использована управляемая нелинейная емкость коллектор-эмиттер  $C_{кэ}$  закрытого низкочастотного транзистора  $T_3$ . Экспериментальные исследования зависимости емкости  $C_{кэ}$  ряда транзисторов от напряжений на переходах коллектор-

эмиттер  $U_{кэ}$  и база-эмиттер  $U_{бэ}$  показали следующее. В транзисторе с закрытыми переходами емкость  $C_{кэ}$  практически не зависит от напряжения  $U_{кэ}$ , если это напряжение больше или равно двум вольтам. В случае дальнейшего уменьшения напряжения  $U_{кэ}$  значение емкости  $C_{кэ}$  плавно нарастает. Скорость нарастания значения емкости  $C_{кэ}$ , при этом, зависит от величины напряжения  $U_{бэ}$  и увеличивается с уменьшением указанного напряжения.

Работа корректора основана на увеличении коэффициента его передачи при увеличении емкости  $C_{кэ}$ . Потенциометром  $R_3$  устанавливается напряжение  $U_{кэ}$ , потенциометром  $R_4$  устанавливается напряжение  $U_{бэ}$  транзистора  $T_3$ . Резистор  $R_5$  обеспечивает линеаризацию скорости нарастания коэффициента передачи корректора при увеличении значения емкости  $C_{кэ}$ .

При условии, что амплитуда сигнала подаваемого на вход корректора меньше или равна значению  $U_{кэ} - 2$  В, сигнал на выходе корректора оказывается пропорциональным входному воздействию. Дальнейшее увеличение сигнала подаваемого на вход корректора приводит к увеличению среднего за период значения емкости  $C_{кэ}$  и соответствующему увеличению коэффициента передачи корректора.

Таким образом, изменением напряжения  $U_{кэ}$  можно регулировать величину линейного участка амплитудной характеристики корректора, а изменением напряжения  $U_{бэ}$  скорость нарастания его коэффициента передачи в нелинейной области работы.

Входной усилительный каскад на транзисторе  $T_5$  работает в режиме класса А, предоконечный и выходной каскады на транзисторах  $T_6$  и  $T_8$  в режиме с отсечкой коллекторного тока. В усилителе использован стабилизатор напряжения базового смещения на транзисторах  $T_7$  и  $T_9$ . Требуемая величина базового смещения транзисторов выходного и предоконечного каскадов

устанавливается выбором номинала резистора  $R_6$ . Методика настройки подобных усилительных каскадов подробно описана в [5].

Использование корректора может быть эффективным, если начальный участок амплитудной характеристики разрабатываемого усилителя линеен. Это достигается оптимизацией базового смещения транзисторов  $T_6$  и  $T_8$  с помощью резистора  $R_6$ .

На входе усилителя включен резистивный делитель напряжения, обеспечивающий его согласование с сопротивлением генератора при срабатывании схем защиты. С целью сохранения работоспособности усилителя при перегрузке по входу, на выходе резистивного делителя включен биполярный транзистор  $T_2$ , играющий роль самоуправляемого ограничителя входных сигналов. Порог срабатывания ограничителя устанавливается делителем на резисторах  $R_1$  и  $R_2$ . Подробное описание физики работы ограничителя и методика его настройки даны в [13].

Для устранения влияния емкости  $C_{кэ}$  закрытого транзистора  $T_2$  на амплитудно-частотную характеристику усилителя, она включена в фильтр нижних частот третьего порядка, образуемый указанной емкостью и элементами  $L_1$  и  $C_1$ .

Ограничитель на транзисторе  $T_2$  применяется также в качестве управляемого ограничителя при срабатывании защит от рассогласования по выходу, от превышения напряжением питания номинального значения, термозащиты. Выбором номинала резистора  $R_7$  устанавливается величина коэффициента стоячей волны по напряжению со стороны нагрузки, при котором мощность сигнала на выходе усилителя начинает падать пропорционально росту этого коэффициента. Защита от превышения напряжением питания номинального значения выполнена на стабилитроне  $D_1$ . Установка схемы термозащиты на заданную температуру срабатывания осуществляется с по-

мощью резистора  $R_8$ . Описание работы используемых схем защиты и метода их настройки приведены в [13].

На выходе усилителя установлен чебышевский фильтр нижних частот пятого порядка [14], обеспечивающий подавление высших гармонических составляющих в спектре выходного сигнала.

На рис. 2 представлены экспериментальные амплитудные характеристики разработанного усилителя, показывающие возможности их коррекции с помощью предлагаемого корректора и полученные при условии оптимального выбора величины базового смещения транзисторов  $T_6$  и  $T_8$ .

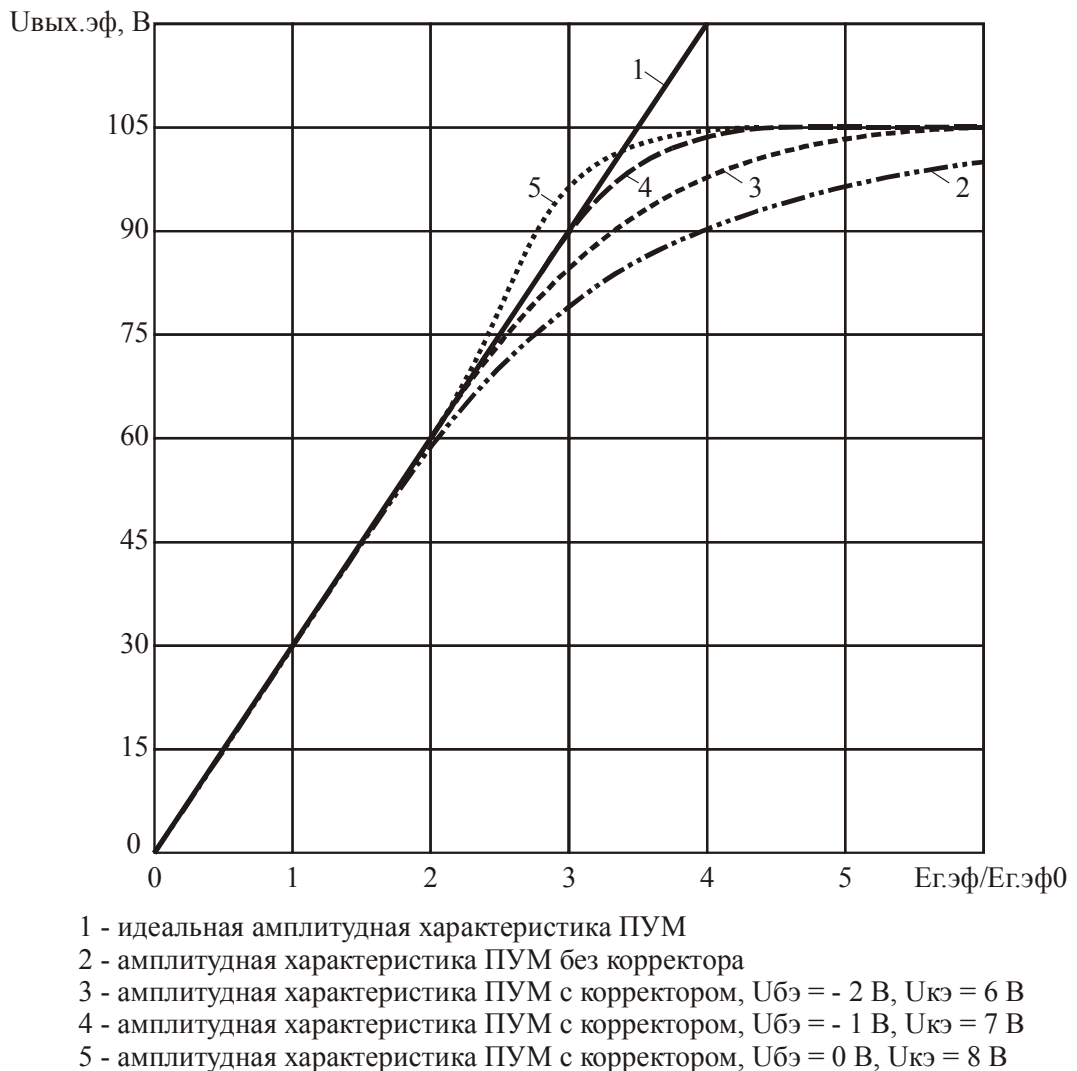


Рис. 2

В процессе перестройки корректора происходит незначительное изменение коэффициента передачи усилителя. Кроме того, при отключенном корректоре коэффициент передачи усилителя возрастает на 21 дБ. Поэтому на рис. 2, для удобства сравнения линейности амплитудных характеристик усилителя при различных режимах его работы, по оси ординат отложено эффективное значение амплитуды первой гармоники сигнала в нагрузке  $U_{\text{вых.эф}}$ , а по оси абсцисс отложена эффективная амплитуда ЭДС источника сигнала  $E_{\text{Г.эф}}$ , нормированная относительно своего значения  $E_{\text{Г.эф}0}$ , соответствующего величине напряжения  $U_{\text{вых.эф}} = 30 \text{ В}$ .

Прямая 1 на рис. 2 соответствует идеальной амплитудной характеристике усилителя, кривая 2 – амплитудная характеристика усилителя при отключенном корректоре, кривая 3 – при напряжениях на транзисторе корректора  $U_{\text{бэ}} = -2 \text{ В}$ ,  $U_{\text{кэ}} = 6 \text{ В}$ , кривая 4 – при напряжениях на транзисторе корректора  $U_{\text{бэ}} = -1 \text{ В}$ ,  $U_{\text{кэ}} = 7 \text{ В}$ , кривая 5 – при напряжениях на транзисторе корректора  $U_{\text{бэ}} = 0 \text{ В}$ ,  $U_{\text{кэ}} = 8 \text{ В}$ .

Анализ характеристик приведенных на рис. 2 позволяет установить следующее. Предлагаемый корректор дает возможность плавно изменять наклон амплитудной характеристики усилителя в области больших напряжений, обеспечить постоянство дифференциального коэффициента усиления вплоть до выходного напряжения равного 85% от максимального значения, в два раза увеличить выходную мощность, ограниченную областью линейной работы усилителя.

Технические характеристики усилителя: максимальный уровень выходной мощности 147 Вт; уровень выходной мощности, ограниченный сжатием синхроимпульсов телевизионного радиосигнала изображения на 2 %, не менее 125 Вт; рабочий диапазон частот 72-86 МГц; неравномерность амплитудно-частотной характеристики  $\pm 0,2 \text{ дБ}$ ; коэффициент усиления 22 дБ; сопротивление генератора и нагрузки 75 Ом; напряжение питания 24 В; габ-

ритные размеры корпуса усилителя 190x100x35 мм; усилитель сохраняет работоспособность при внезапном длительном отключении или коротком замыкании нагрузки; при эксплуатации устанавливается на радиатор с использованием принудительной вентиляции.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богданович Б.М. Радиоприемные устройства с большим динамическим диапазоном. – М.: Радио и связь, 1984. – 176 с.
2. Гребенников А.В., Никифоров В.В., Рыжиков А.Б. Мощные транзисторные усилительные модули для УКВ ЧМ и ТВ вещания // Электро-связь. – 1996. - № 3. – С. 28 – 31.
3. Kajiwara Y., Hirakawa K., Sasaki K., etc. UHF high – power transistor amplifier with high – dielectric substrate // NEC Res. & Develop. – 1977. - № 45. – P. 50 – 57.
4. Гребенников А.В., Никифоров В.В. Транзисторные усилители мощности для систем подвижной радиосвязи метрового и дециметрового диапазонов волн // Радиотехника. – 2000 - № 5. – С. 83 – 86.
5. Титов А.А. Двухканальный усилитель мощности с диплексерным выходом // Приборы и техника эксперимента. – 2001. – № 1. – С. 68 – 72.
6. Андреев В.С., Гордон Е.Ю. Уменьшение нелинейных искажений усилителей мощности СВЧ // Известия вузов. Сер. Радиоэлектроника. – 1993. - № 10. – С. 21 – 28.
7. Половников А.С., Яковенко В.А. Исследование эффективности корректора нелинейных искажений // Труды пятой международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы электронного приборостроения, АПЭП – 2000». – Новосибирск: Новосиб. гос. тех. ун-т, 2000. – Т.7. – С. 87 – 89.

8. Лисицкий А.П., Никифоров В.В. Методы уменьшения нелинейных искажений сигналов в радиопередающих трактах // Сб. «Полупроводниковая электроника в технике связи» / Под ред. И.Ф. Николаевского. – М.: Радио и связь, 1990. – Вып. 28. – С. 95 – 106.
9. Завражнов Ю.В., Хвостов А.В. Высоколинейные усилители мощности радиопередатчиков // Радиотехника. – 2000. - № 12. – С. 68 – 73.
10. Малевич И.Ю. Расчет высокочастотного усилителя с прямой связью // Радиотехника. – 1995. - № 1. – С. 44 – 47.
11. Обихвостов В.Д., Ильюшенко В.Н., Дьячко А.Н., Авдоченко Б.И., Покровский М.Ю., Бабак Л.И. Наносекундный высоковольтный усилитель с управляемым усилением // Сб. «Полупроводниковая электроника в технике связи» / Под ред. И.Ф. Николаевского. – М.: Радио и связь, 1990. – Вып. 28. – С. 41 – 50.
12. ГОСТ Р 50890 – 96. Передатчики телевизионные маломощные. Основные параметры. Технические требования. Методы измерений. – М.: Издательство стандартов, 1996. – 36 с.
13. Титов А.А. Усилитель мощности для оптического модулятора // Приборы и техника эксперимента. – 2002. - № 5. – С. 88-90.
14. Зааль Р. Справочник по расчету фильтров: Пер. с нем. – М.: Радио и связь, 1983. – 752 с.