

ВЛИЯНИЕ КОРРЕКТОРА АМПЛИТУДНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ИНТЕРМОДУЛЯЦИОННЫЕ ИСКАЖЕНИЯ ПОЛОСОВОГО УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ

А.А. ТИТОВ

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники
E-mail: titov_aa@rk.tusur.ru

Показано, что использование корректора амплитудной характеристики полосового усилителя мощности позволяет практически в два раза увеличить его выходную мощность, ограниченную областью линейной работы, без увеличения уровня интермодуляционных составляющих третьего порядка в спектре выходного сигнала.

Существующие в настоящее время тенденции повышения качества радиотехнических систем и значительное усложнение электромагнитной обстановки объясняют повышение требований к линейности амплитудных характеристик полосовых усилителей мощности (ПУМ), входящих в состав рассматриваемых радиотехнических систем. Например, высокие требования к линейности усилительного тракта предъявляются при усилении телевизионных, однополосных, многочастотных, амплитудно-модулированных радиосигналов [1, 2].

Методы повышения линейности ПУМ основаны на оптимизации базового смещения транзисторов, работающих в режиме с отсечкой коллекторного тока [3–5], использовании предуслаживаний входного сигнала [6–9] и систем адаптивной компенсации [9–12].

Как показано в [6], наиболее эффективным и простым способом повышения линейности амплитудных характеристик ПУМ является совместное использование оптимизации базового смещения транзисторов и предлагаемого в [6] корректора, роль корректирующего элемента которого выполняет управляемая нелинейная емкость коллектор-эмиттер закрытого биполярного транзистора. Это позволяет практически в два раза увеличить выходную мощность ПУМ, ограниченную областью линейной работы. Не исследованным остался вопрос влияния корректора, вносящего предуслаживания во входное воздействие, на уровень интермодуляционных составляющих третьего порядка в спектре выходного сигнала ПУМ.

Цель настоящей статьи – сравнительная оценка интермодуляционных искажений третьего порядка в ПУМ без использования и с использованием предуслаживаний входного сигнала вносимых корректором.

Для проведения исследований был разработан усилитель мощности передатчика третьего канала телевизионного вещания, функциональная схема которого приведена на рис. 1. Усилитель состоит из ПУМ, корректора и схем защиты от перегрузки по входу, от рассогласования по выходу и термозащиты.

ПУМ имеет следующие технические характеристики: максимальный уровень выходной мощности 150 Вт; коэффициент усиления 43 дБ; полоса пропускания 72...86 МГц; неравномерность амплитудно-частотной характеристики $\pm 0,25$ дБ; сопротивление генератора и нагрузки 75 Ом. Принципиальная схема ПУМ приведена на рис. 2.

Корректор реализован на низкочастотном биполярном транзисторе КТ630А и имеет малосигнальный коэффициент передачи минус 20 дБ. Принципиальная схема корректора приведена на рис. 3.

Для проведения исследований необходимы генераторы сигналов с линейной выходной мощностью 2...4 Вт. Поэтому повышение выходной мощности генераторов стандартных сигналов осуществлялось с использованием широкополосных усилителей с выходной мощностью 20 Вт и полосой пропускания 15...240 МГц, описанных в [13]. На выходах указанных усилителей устанавливались фильтры нижних частот седьмого порядка [14], обеспе-

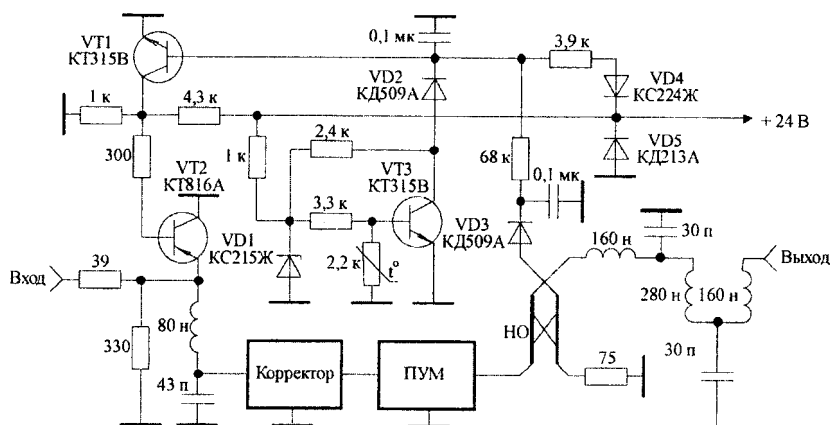


Рис. 1. Функциональная схема усилителя мощности передатчика третьего канала телевизионного вещания

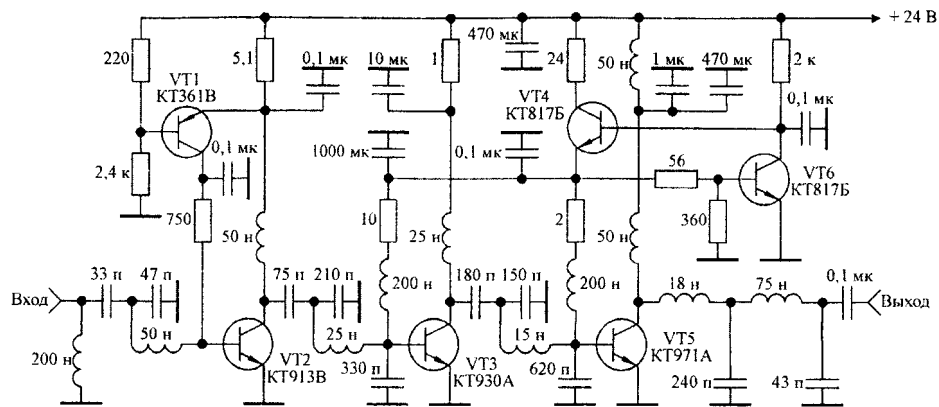


Рис. 2. Принципиальная схема полосового усилителя мощности

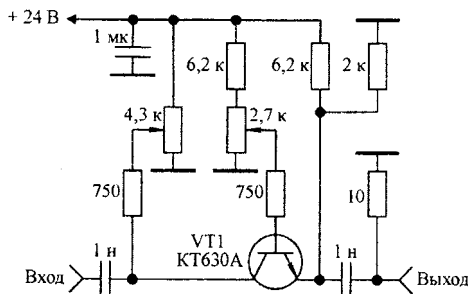


Рис. 3. Принципиальная схема корректора

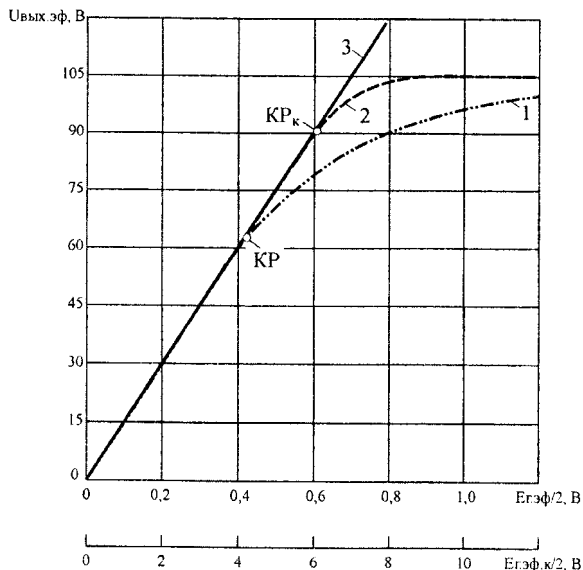


Рис. 4. Амплитудные характеристики усилителя мощности передатчика третьего канала телевизионного вещания

чивающие возбуждение исследуемых усилителей моногармоническими сигналами. Двухсигнальное входное воздействие формировалось с помощью сумматора с развязанными входами [12].

Результаты исследований амплитудных характеристик усилителя мощности передатчика третьего канала телевизионного вещания без использования и с использованием корректора приведены на рис. 4, где $E_{эф}$ — эффективное значение амплитуды ЭДС источника сигнала; $U_{вых,эф}$ — эффективное значение амплитуды первой гармоники сигнала в нагрузке; $KР$ и $KР_k$ — точки компрессии коэффициента передачи усилителя без использования и с использованием корректора соответственно [15].

Характеристики получены при условии оптимального выбора величины базового смещения транзисторов VT_3 и VT_5 ПУМ (рис. 2), обеспечивающего линейризацию начального участка амплитудной характеристики [4]. При отключении корректора коэффициент усиления тракта возрастает на 20 дБ. Поэтому на рис. 4, для удобства сравнения линейности амплитудных характеристик усилителя при различных режимах его работы, по оси абсцисс отложена величина $E_{эф}/2$ для случая работы усилителя без корректора и величина $E_{эф,k}/2$ для случая работы усилителя с корректором.

Кривая 1 на рис. 4 соответствует амплитудной характеристике усилителя без корректора, кривая 2 — амплитудная характеристика усилителя с корректором, прямая 3 — идеальная амплитудная характеристика усилителя.

Интермодуляционные искажения третьего порядка измерялись для двух случаев: при условии равенства амплитуд сигналов двухчастотного входного воздействия; при возбуждении усилителя двухчастотным входным воздействием с отношением мощностей сигналов 1:10, что соответствует отношению мощности радиосигнала звукового сопровождения и мощности радиосигнала изображения в синхроимпульсе [16]. Частоты сигналов на входе были выбраны равными частотам радиосигнала изображения и звукового сопровождения третьего канала телевидения [17]. Результаты исследований приведены на рис. 5.

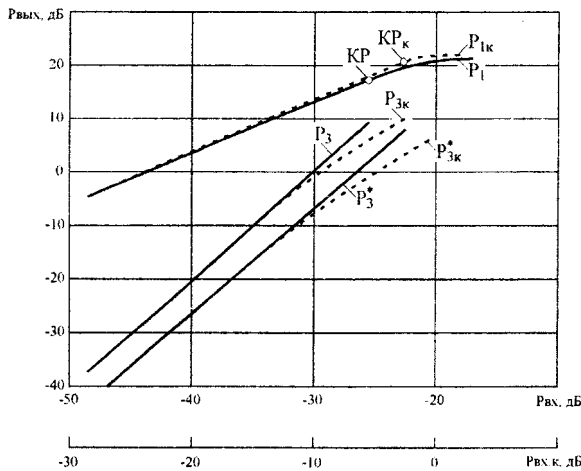


Рис. 5. Зависимости мощности первой гармоники и мощности интермодуляционной составляющей третьего порядка выходного сигнала усилителя от мощности входного сигнала

По оси абсцисс на рис. 5 отложена мощность входного сигнала, соответствующего радиосигналу изображения, выраженная в децибелах относительно ватта, по оси ординат отложена выходная мощность, также выраженная в децибелах относительно ватта [15, 18]. При этом приняты следующие обозначения: $P_{вх}$ — мощность на входе усилителя без корректора; $P_{вх,к}$ — мощность на входе усилителя с корректором; P_1 — мощность первой гармоники на выходе усилителя без корректора; $P_{1к}$ — мощность первой гармоники на выходе усилителя с корректором; P_3 — мощность интермодуляционной составляющей третьего порядка на выходе усилителя без корректора, при условии равенства амплитуд сигналов двухчастотного входного воздействия; $P_{3к}$ — мощность интермодуляционной составляющей третьего порядка на выходе усилителя с корректором, при условии равенства амплитуд сигналов двухчас-

тотного входного воздействия; P_3^* — мощность интермодуляционной составляющей третьего порядка на выходе усилителя без корректора, при возбуждении усилителя двухчастотным входным воздействием с отношением мощностей сигналов 1:10; $P_{3к}^*$ — мощность интермодуляционной составляющей третьего порядка на выходе усилителя с корректором, при возбуждении усилителя двухчастотным входным воздействием с отношением мощностей сигналов 1:10.

Анализ зависимостей, приведенных на рис. 4 и 5, позволяет сделать следующие выводы. Использование корректора дает возможность обеспечить постоянство дифференциального коэффициента усиления [16] вплоть до выходного напряжения, равного 85 % от максимального значения, то есть практически в два раза увеличить выходную мощность, соответствующую точки компрессии коэффициента передачи усилителя. При равных выходных мощностях усилителей, соответствующих точке компрессии коэффициента передачи усилителя без использования корректора, интермодуляционные искажения третьего порядка в усилителе с корректором на 2...4 дБ меньше, чем в усилителе без корректора. При выходных мощностях усилителей, соответствующих точкам компрессии их коэффициентов передачи, интермодуляционные искажения третьего порядка в усилителе с корректором и в усилителе без корректора примерно равны. При малых уровнях входных воздействий интермодуляционные искажения также оказываются равными.

Таким образом, использование корректора позволяет практически в два раза увеличить выходную мощность усилителя, соответствующую линейной области его работы, при неизменном уровне интермодуляционных составляющих третьего порядка в спектре выходного сигнала

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Богданович Б.М. Радиоприемные устройства с большим динамическим диапазоном. — М.: Радио и связь, 1984. — 176 с.
- Гребенников А.В., Никифоров В.В., Рыжиков А.Б. Мощные транзисторные усилительные модули для УКВ ЧМ и ТВ вещания // Электросвязь. — 1996. — № 3. — С. 28–31.
- Гребенников А.В., Никифоров В.В. Транзисторные усилители мощности для систем подвижной радиосвязи метрового и дециметрового диапазонов волн // Радиотехника. — 2000. — № 5. — С. 83–86.
- Kajiwa Y., Hirakawa K., Sasaki K. et al. UHF high-power transistor amplifier with high-dielectric substrate // NEC Res. & Develop. — 1977. — № 45. — P. 50–57.
- Титов А.А. Двухканальный усилитель мощности с диплексерным выходом // Приборы и техника эксперимента. — 2001. — № 1. — С. 68–72.
- Титов А.А. Разработка полосовых усилителей мощности с повышенной линейностью амплитудной характеристики // Электронная техника. Сер. СВЧ-техника. — 2002. — Вып. 2. — С. 33–39.
- Андреев В.С., Гордон Е.Ю. Уменьшение нелинейных искажений усилителей мощности СВЧ // Известия вузов. Сер. Радиоэлектроника. — 1993. — № 10. — С. 21–28.
- Половников А.С., Яковенко В.А. Исследование эффективности корректора нелинейных искажений // Актуальные проблемы электронного приборостроения, АПЭП-2000: Труды пятой междунар. научно-техн. конф. — Новосибирск: Новосиб. гос. тех. ун-т, 2000. — Т. 7. — С. 87–89.
- 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.
- Завражнов Ю.В., Хвостов А.В. Высоколинейные усилители мощности радиопередатчиков // Радиотехника. — 2000. — № 12. — С. 68–73.
- Малевиц И.Ю. Расчет высокочастотного усилителя с прямой связью // Радиотехника. — 1995. — № 1. — С. 44–47.
- Широкополосные радиопередающие устройства / Алексеев О.В., Головкин А.А., Полевой В.В., Соло-

- вьев А.А. / Под ред. О.В. Алексеева. — М.: Связь, 1978. — 304 с.
13. Титов А.А. Экономичный сверхширокополосный усилитель мощности с защитой от перегрузок // Приборы и техника эксперимента. — 2002. — № 2. — С. 71–73.
 14. Зааль Р. Справочник по расчету фильтров: Пер. с нем. — М.: Радио и связь, 1983. — 752 с.
 15. Рэд Э. Справочное пособие по высокочастотной схемотехнике: Схемы, блоки, 50-омная техника: Пер. с нем. — М.: Мир, 1990. — 256 с.
 16. ГОСТ Р 50890-96. Передатчики телевизионные маломощные. Основные параметры. Технические требования. Методы измерений. — М.: Издательство стандартов, 1996. — 36 с.
 17. Иванов В.К. Оборудование радиотелевизионных передающих станций. — М.: Радио и связь, 1989. — 336 с.
 18. Disman R.I. Dynamic range performance of microwave transistor amplifier // Microwave J. — 1971. — V. 14. — № 8. — P. 48, 50, 58.

УДК 621.317.727

ЭТАЛОННЫЙ ИНДУКТИВНЫЙ ДЕЛИТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ

В.Л. Ким, М.С. Ройтман

Томский политехнический университет
E-mail: sov@camsam.tpu.ru

Проведен расчет погрешности индуктивного делителя напряжения, обусловленной взаимодействием декад. Использование двухступенчатой технологии изготовления декад и выполнение двух декад на общем ферромагнитном сердечнике жгутами из проводов разных диаметров позволили создать эталонный шестидекадный делитель с относительной погрешностью коэффициента передачи $3 \cdot 10^{-7} K_n^{-1}$ в диапазоне частот 0,4...2 кГц.

В измерительной технике, системах контроля и управления широко применяются масштабные измерительные преобразователи — делители напряжения емкостного, резистивного и индуктивного (трансформаторного) типов.

Улучшение характеристик делителя невозможно без совершенствования и создания эффективных методов и средств метрологического обеспечения (МО) преобразователей (особенно на переменном токе). Наибольшее развитие получили методы определения характеристик на постоянном токе и в сравнительно узком диапазоне частот — 0,4...1,0 кГц [1–3]. Известны работы [4, 5], в которых классифицируются методы и средства МО делителей на переменном токе. Из экспериментальных методов сличения коэффициентов преобразований поверяемого и эталонного делителей широко используется метод сравнения с эталонным многокаскадным индуктивным делителем напряжения (ИДН) [6, 7]. Данный метод отличается простотой, высокой производительностью, возможностью проведения комплексной поверки в широком диапазоне частот, низкой чувствительностью к температурным изменениям.

Анализ и сравнение метрологических характеристик делителей напряжения переменного тока с ручным и программным управлением показывает, что наибольшей точностью (10^{-3} ... 10^{-4} %) эти преобразователи обладают на частотах 0,4...2,0 кГц во всем диапазоне изменения коэффициента передачи $K_n = U_{\text{вых}}/U_{\text{вх}}$ (где $U_{\text{вх}}$ — входное, $U_{\text{вых}}$ — выходное напряжение делителя). Аттестация со столь высокой точностью возможна при наличии эталонных ИДН и соответствующей нормативно-технической доку-

ментации. Принципы построения высокоточных преобразователей известны и реализованы в многодекадных ИДН, используемых в NBS (США), NPL (Великобритания), РТВ (Германия) в качестве эталонов отношения. В этих делителях каждая декада представляет собой двухступенчатый (two-stage) ИДН, который имеет значительно меньшие погрешности преобразования по сравнению с другими типами делителей [8, 9]. Аттестация ИДН осуществляется расчетно-экспериментальными методами — опорного потенциала и "захватывания в вилку" [10, 11].

С 1982 года в Томском политехническом университете ведутся работы по созданию эталонных ИДН, по своим метрологическим характеристикам не уступающих зарубежным аналогам [12, 13]. Так, в четырехдекадном ИДН ДИ–4 [14] относительная погрешность K_n не превышает $10^{-6} K_n^{-1}$ в диапазоне частот 0,4...1,0 кГц (данные приведены по результатам аттестации делителя во ВНИИФТРИ).

Применение новых конструктивно-технологических способов повышения точности, сравнительно простых, но строгих методов поверки в совокупности с научно-обоснованными методиками расчета результирующей погрешности K_n позволяет улучшить метрологические характеристики эталонных ИДН.

Следует отметить, что в ИДН, как и в других многозначных мерах, повышение точности позволяет увеличить разрядность и, следовательно, разрешающую способность делителей. Однако, традиционные способы расширения диапазона изменения K_n путем добавления декад, размещенных на отдельных ферромагнитных сердечниках, приводят к