

А. А. ТИТОВ

ЗАЩИТА ПОЛОСОВЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ МОЩНОСТИ ОТ ПЕРЕГРУЗОК И МОДУЛЯЦИЯ АМПЛИТУДЫ МОЩНЫХ СИГНАЛОВ

Показано, что биполярный транзистор представляет собой управляемый ограничитель мощных сигналов с диапазоном около 40 дБ. Рассмотрены возможности его использования для построения устройств защиты полосовых усилителей мощности от перегрузок, а также модуляторов амплитуды мощных сигналов.

Ключевые слова: биполярный транзистор, модулятор, полосовой усилитель мощности, полоса пропускания.

Амплитуды модулирующих сигналов, подаваемых на входные цепи полосовых усилителей мощности, могут изменяться в широком динамическом диапазоне [1, 2]. Это требует применения специальных схем ограничения уровня сигнала. Для решения этой задачи предложено использовать биполярный транзистор [3].

На рис. 1 приведена принципиальная схема полосового усилителя мощности с коэффициентом усиления 20 дБ, максимальным уровнем выходной мощности 30 Вт и полосой пропускания 425...435 МГц. В усилителе функцию элемента управления амплитудой и одновременно функцию самоуправяемого ограничителя входных сигналов выполняет биполярный транзистор *VTI* [3]. Методика настройки подобных полосовых усилителей подробно описана в работе [4].

Ограничитель работает следующим образом. На базу транзистора *VTI* с делителя на резисторах *R4* и *R5* через резистор *R2* подается постоянное запирающее оба перехода транзистора напряжение. На вход полосового усилителя мощности и одновременно на эмиттер транзистора *VTI* подается переменное высокочастотное напряжение усиливаемого сигнала, которое распределяется между емкостями эмиттерного и коллекторного переходов. Значение постоянного напряжения на базе транзистора устанавливается равным амплитуде переменного высокочастотного напряжения коллекторного перехода транзистора, что соответствует номинальному значению переменного высокочастотного напряжения на входе полосового усилителя; т.е. значение постоянного напряжения на базе транзистора устанавливается приблизительно равным половине амплитуды номинального значения входного высокочастотного сигнала.

При воздействии на вход усилителя сигнала, амплитуда напряжения которого превышает амплитуду номинального значения входного напряжения, в положительный полупериод воздействия переменного сигнала напряжение на эмиттере транзистора *VTI* превышает напряжение на его базе. Эмиттерный переход открывается, и через коллекторную цепь протекает ток $\alpha I_{эм}$ [5], где α — коэффициент передачи эмиттерного тока, $I_{эм}$ — ток эмиттера. При мгновенном значении входного воздействия, превышающем номинальное, участок эмиттер — коллектор транзистора представляет собой двухполюсник с сопротивлением $R_{вх} = U_{вх} / \alpha I_{эм}$, которое составляет единицы ом. В отрицательный полупериод воздействия переменного входного сигнала, превышающего по амплитуде его номинальное значение, открывается коллекторный переход транзистора *VTI*, и через транзистор протекает ток $\alpha_I I_k$, где α_I — коэффициент передачи тока коллектора при инверсном включении транзистора, I_k — ток коллектора. При отрицательной полуволне входного напряжения, амплитуда которой превышает амплитуду номинального напряжения, участок эмиттер — коллектор транзистора также представляет собой двухполюсник, сопротивление которого составляет единицы ом. В этом случае мощное входное воздействие оказывается двусторонне ограниченным.

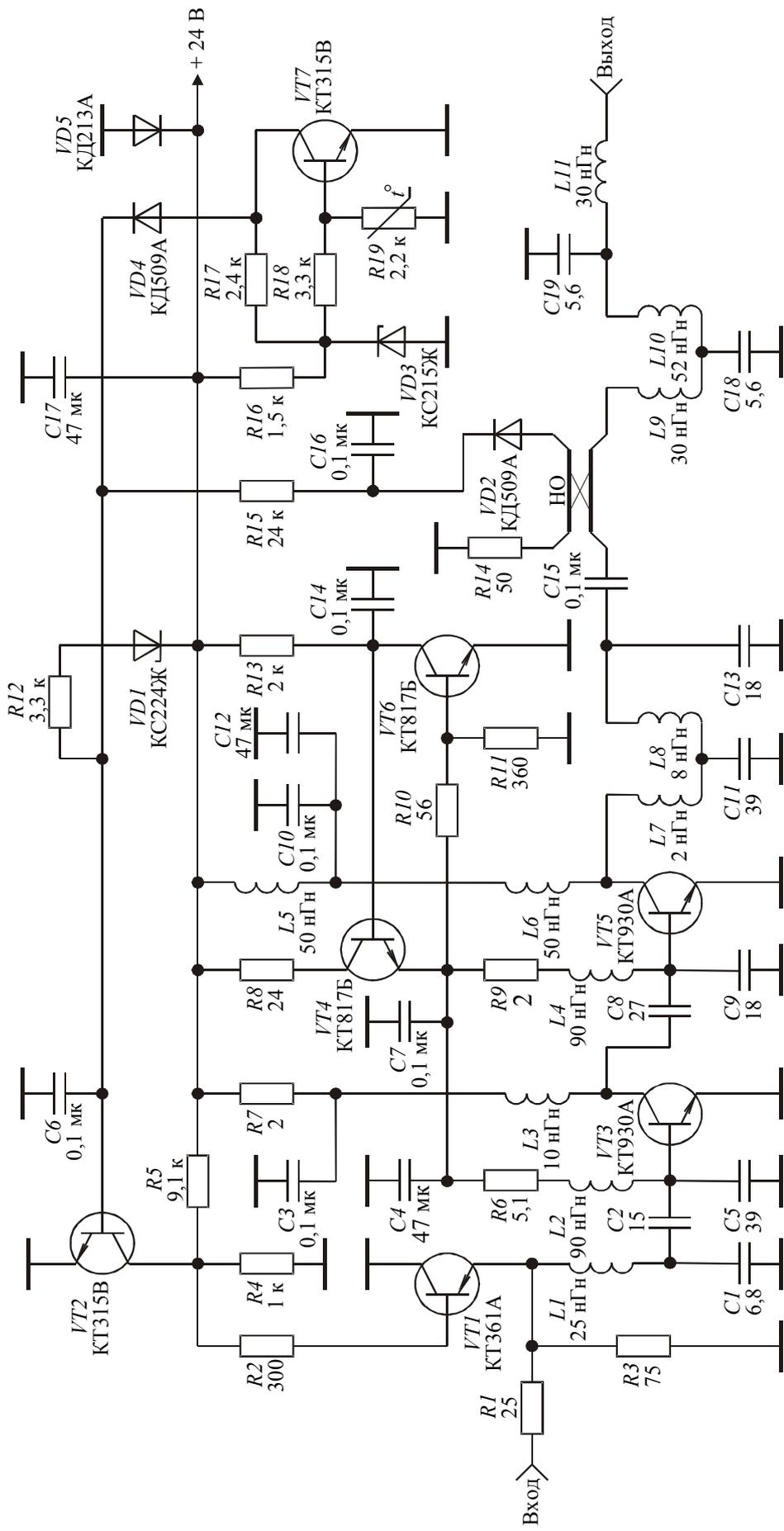


Рис. 1

Транзистор $VT1$ выполняет также функцию управляемого ограничителя при срабатывании схемы защиты от рассогласования по выходу, при превышении напряжением питания номинального значения, при термозащите.

С увеличением рассогласования нагрузки полосового усилителя мощности и его выходного сопротивления напряжение, снимаемое с выхода направленного ответвителя (НО), увеличивается, и на вход детектора на диоде $VD2$ подается напряжение, пропорциональное напряжению, отраженному от нагрузки усилителя. При номинальном значении выходной мощности и коэффициенте стоячей волны по напряжению (КСВН) со стороны нагрузки, превышающем максимально допустимое значение, транзистор $VT2$ открывается. Это приводит к уменьшению напряжения, подаваемого на базу транзистора $VT1$ со схемы управления на транзисторе $VT2$, уменьшая амплитуду входного воздействия, поступающего на вход полосового усилителя мощности. Поэтому мощность сигнала на выходе усилителя падает пропорционально росту КСВН нагрузки. Порог срабатывания схемы защиты от рассогласования усилителя по выходу устанавливается выбором резистора $R15$.

Достоинство рассматриваемого схемного решения построения системы защиты усилителя от перегрузок заключается в том, что ограничение мощного входного сигнала происходит еще до появления сигнала обратной связи. Таким образом, транзистор $VT1$ выполняет одновременно функцию самоуправяемого ограничителя мощных входных сигналов и функцию управляемого ограничителя при рассогласовании нагрузки усилителя и его выходного сопротивления. Система защиты полосового усилителя мощности (см. рис. 1) позволяет сохранять его работоспособность при превышении на 10 дБ входным сигналом номинального значения, соответствующего выходной мощности усилителя, равной 30 Вт.

Как показывают исследования, амплитуда сигнала, поступающего на вход полосового усилителя мощности, линейно зависит от напряжения, поступающего на базу биполярного транзистора $VT1$ в диапазоне около 40 дБ. Указанные свойства биполярного транзистора могут быть использованы для построения модуляторов амплитуды мощных сигналов [6].

В качестве примера на рис. 2 приведена принципиальная схема устройства регулировки и модуляции амплитуды мощных сигналов, разработанная на основе функциональной схемы, предложенной в работе [6]: здесь U_{Ω} — модулирующий сигнал; U_{ω} — модулируемый сигнал; $U_{\text{вых}}$ — выходное напряжение; $E_{\text{п}}$ — напряжение питания; $U_{\text{упр}}$ — управляющее напряжение.

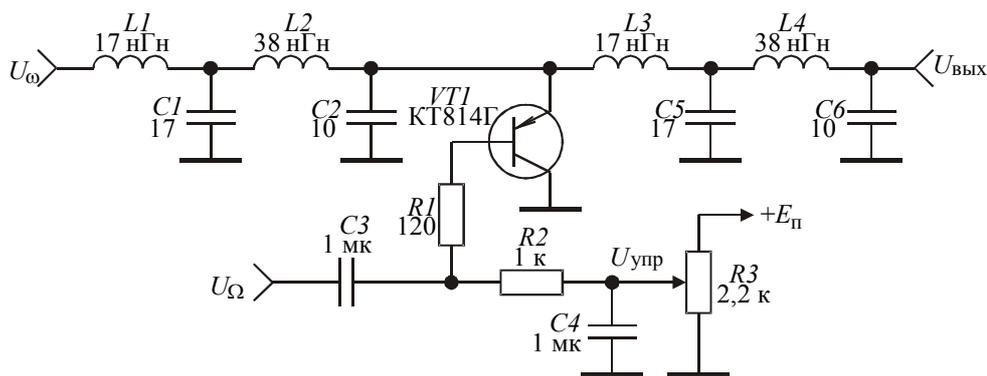


Рис. 2

Характеристики модулятора: максимальный уровень входной мощности не менее 50 Вт; полоса рабочих частот 200...240 МГц; сопротивление генератора и нагрузки 50 Ом; область регулирования выходной мощности 0,04...46 Вт; максимальная частота модуляции, при которой отсутствуют заметные искажения формы огибающей выходного сигнала, 10 МГц.

Элементы $L1, C1, L2, C2$ и $L3, C5, L4, C6$ образуют фильтры нижних частот с частотой среза, равной 240 МГц, и предназначены для подавления высших гармонических составляющих в спектре выходного сигнала. Резистор $R3$ служит для изменения управляющего напряжения.

При использовании рассматриваемого устройства (см. рис. 2) в качестве модулятора амплитуды значение $U_{упр}$ следует устанавливать равным 0,25 от значения амплитуды модулируемого сигнала. В этом случае при отсутствии сигнала модуляции напряжение на выходе будет равно 0,5 амплитуды модулируемого сигнала.

Анализ работы схемы показывает, что выходное сопротивление генератора модулируемого сигнала должно намного превышать сопротивление транзистора $VT1$ в режиме насыщения. Этого недостатка можно избежать, если воспользоваться модулятором с последовательно-параллельным включением закрытых биполярных транзисторов [7]. Принципиальная схема модулятора, разработанного на основе функциональной схемы, приведенной в работе [7], представлена на рис. 3 [8]. Характеристики этого модулятора совпадают с характеристиками модулятора, приведенного на рис. 2. Кроме того, он может работать как от генератора тока, так и от генератора напряжения. Недостатком схемы является необходимость использования трансформатора со средней точкой во вторичной обмотке, что компенсируется возможностью увеличения мощности модулируемого сигнала.

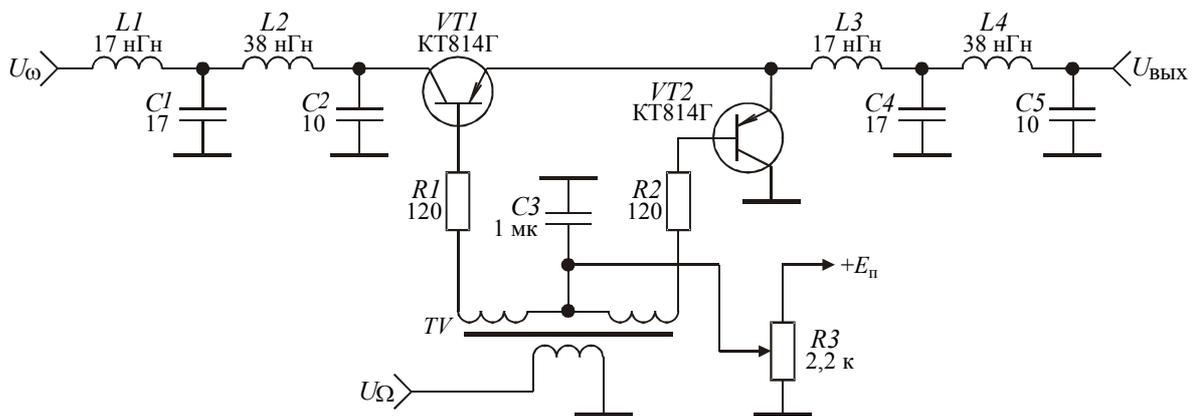


Рис. 3

На рис. 4 представлена экспериментальная осциллограмма огибающей сигнала на выходе модулятора (см. рис. 3) при использовании в качестве модулирующего сигнала тестового восьмиступенчатого телевизионного видеосигнала яркости, спектр которого находится в полосе частот 50 Гц...6,5 МГц, частота несущей составляет 223,25 МГц. Масштаб времени на оси абсцисс не обозначен. Длительность фронтов сигнала на выходе устройства не превышает 80 нс, что соответствует требованиям [9], предъявляемым к телевизионной радиопередающей аппаратуре.

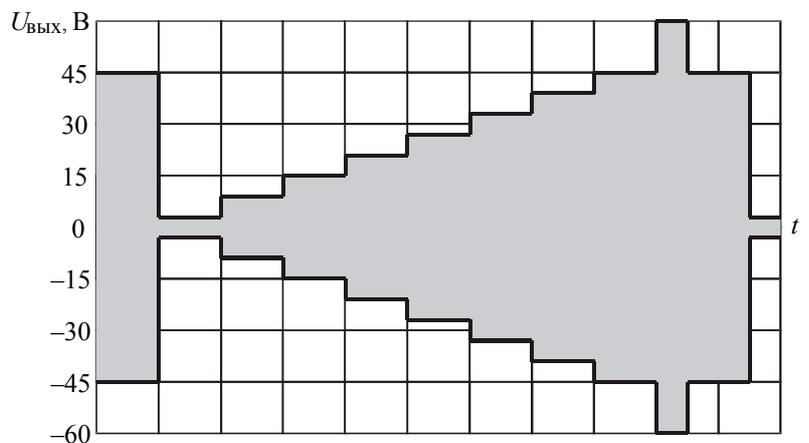


Рис. 4

Таким образом, использование биполярного транзистора с закрытыми переходами в устройствах защиты полосовых усилителей мощности от перегрузок позволяет создавать усилители, способные сохранять работоспособность при произвольных

нагрузках и перегрузках по входу, превышающих номинальное значение входного сигнала в десятки раз. Кроме того, использование свойств биполярного транзистора с закрытыми переходами позволяет значительно упростить схемные решения по реализации устройств регулировки и модуляции амплитуды мощных сигналов.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант 08-02-99025-р_офи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Иванов В. К.* Оборудование радиотелевизионных передающих станций. М.: Радио и связь, 1989. 336 с.
2. Проектирование радиопередатчиков / *В. В. Шахгильдян, М. С. Шумилин, В. Б. Козырев* и др.; Под ред. *В. В. Шахгильдяна*. М.: Радио и связь, 2000. 656 с.
3. Пат. 2217861 РФ. Устройство для защиты усилителя мощности от перегрузки / *А. А. Титов, В. Н. Ильюшенко* // Оpubл. 27.11.2003. Бюл. № 33.
4. *Титов А. А.* Транзисторные усилители мощности МВ и ДМВ. М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2006. 328 с.
5. *Степаненко И. П.* Основы теории транзисторов и транзисторных схем. М.: Энергия, 1977. 672 с.
6. Пат. 2240645 РФ. Амплитудный модулятор мощных сигналов / *А. А. Титов, В. Н. Ильюшенко* // Оpubл. 20.11.2004. Бюл. № 32.
7. Пат. 2307452 РФ. Модулятор амплитуды мощных сигналов / *А. А. Титов, В. Н. Ильюшенко* // Оpubл. 27.09.2007. Бюл. № 27.
8. *Титов А. А.* Регулировка и модуляция амплитуды мощных сигналов // *Электросвязь*. 2007. № 12. С. 46—48.
9. ГОСТ Р 50890 – 96. Передатчики телевизионные маломощные. Основные параметры. Технические требования. Методы измерений. М.: Изд-во стандартов, 1996. 36 с.

Сведения об авторе

Александр Анатольевич Титов — д-р техн. наук, профессор; Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, кафедра радиоэлектроники и защиты информации; E-mail: titov_aa@rk.tusur.ru

Рекомендована кафедрой
радиоэлектроники
и защиты информации

Поступила в редакцию
20.06.08 г.