

УДК 621.316.91

А.А. Титов, А.С. Красько

Быстродействующая система защиты полосовых усилителей мощности от перегрузок

Для построения системы защиты полосовых усилителей мощности от перегрузок, обеспечивающей сохранение работоспособности усилителей в условиях максимальной выходной мощности, при одновременном внезапном отключении или коротком замыкании нагрузки и многократных перегрузках по входу, предложено использовать эффект двухстороннего ограничения мощных сигналов биполярным транзистором с закрытыми переходами. Описана методика проектирования рассматриваемой системы защиты.

Ключевые слова: полосовые усилители, защита, перегрузки, управление амплитудой сигнала.

Полосовые усилители мощности (ПУМ) являются необходимыми элементами многих радиотехнических и измерительных комплексов и систем, к которым предъявляются требования сохранения работоспособности при работе на несогласованную нагрузку, при одновременной перегрузке по входному воздействию.

Недостатком известных систем защиты ПУМ является большая постоянная времени цепи их обратной связи, намного превышающая допустимое значение времени перегрузки по току $t_{пер}$ современных мощных транзисторов, используемых при построении ПУМ, которое составляет величину порядка 1...5 мкс [1].

Указанный недостаток может быть устранен благодаря использованию эффекта двухстороннего ограничения мощных сигналов биполярным транзистором с закрытыми переходами и устройства управления амплитудой мощных гармонических сигналов, разработанного на его основе и описанного в [2]. Объединив это устройство управления с устройством защиты ПУМ из [3] и воспользовавшись реализацией отдельных узлов системы защиты, описанной в [4], получим принципиальную схему системы защиты ПУМ с согласованным входом, приведенную на рис. 1.

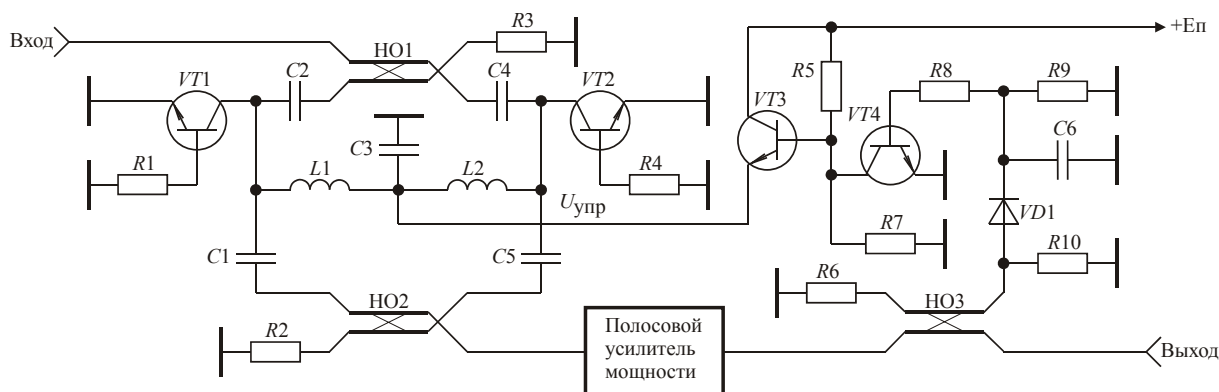


Рис. 1. Система защиты ПУМ с согласованным входом

Элементы $VT1$, $VT2$, $R1$ – $R4$, $C1$ – $C5$, $L1$, $L2$, $HO1$, $HO2$ образуют устройство управления амплитудой мощных гармонических сигналов и одновременно самоуправляемый ограничитель, где $HO1$ и $HO2$ – первый и второй направленные ответвители (НО). Элементы $VT3$, $VT4$, $R5$, $R7$, $R8$ образуют блок формирования напряжения управления $U_{упр}$. Направленный ответвитель отраженной волны $HO3$ и детектор, состоящий из элементов $VD1$, $R9$, $C6$, служат для получения постоянного напряжения, пропорционального уровню рассогласования сопротивления нагрузки ПУМ с его выходным сопротивлением.

Стабилизация напряжения управления, подаваемого на вход устройства управления, достигается благодаря использованию эмиттерного повторителя на транзисторе $VT3$. Требуемое начальное

значение напряжения управления $U_{упр0}$ устанавливается с помощью подбора резисторов $R5, R7$. Напряжение $U_{упр0}$ ограничивает максимальную амплитуду сигнала, подаваемого на вход ПУМ. Порог срабатывания схемы защиты от рассогласования ПУМ по выходу устанавливается выбором резистора $R8$.

Система защиты ПУМ с согласованным входом работает следующим образом. На коллекторы транзисторов $VT1$ и $VT2$ с блока управления подается постоянное запирающее оба перехода транзисторов $VT1$ и $VT2$ напряжение управления $U_{упр}$. В случае использования $n-p-n$ -транзисторов, как показано на рис. 1, это напряжение положительное. Переменное высокочастотное напряжение усиливаемого сигнала, поступающее от источника усиливаемого сигнала на вход первой линии первого направленного ответвителя НО1, делится на две части, которые проходят на вход его второй линии и выход первой линии. Далее эти сигналы поступают на вход первой линии и выход второй линии НО2. Складываясь в фазе на выходе первой линии НО2, высокочастотное напряжение усиливаемого сигнала поступает на вход ПУМ.

При подаче на вход ПУМ с устройством защиты мощного гармонического сигнала, имеющего амплитуду меньше, чем значение постоянного напряжения управления, транзисторы $VT1$ и $VT2$ остаются закрытыми, входной сигнал беспрепятственно проходит на вход ПУМ, усиливается и поступает в нагрузку, подключаемую к выходу. При подаче на вход мощного гармонического сигнала, имеющего амплитуду больше, чем значение постоянного напряжения управления, в определенный момент времени напряжение на коллекторах транзисторов $VT1$ и $VT2$ становится меньше, чем напряжение на их эмиттерах. Транзисторы открываются и входят в режим насыщения, глубина которого определяется номиналами резисторов $R1$ и $R4$ (транзисторы $VT1$ и $VT2$ оказываются в режиме инверсного включения [5]). В этом случае происходит отсечка части мощного гармонического сигнала, и мгновенное напряжение становится равным значению постоянного напряжения управления. Изменение значения постоянного напряжения управления $U_{упр}$ приводит к изменению угла отсечки мощного гармонического сигнала. При уменьшении постоянного напряжения управления до нуля амплитуда напряжения мощного гармонического сигнала на входе ПУМ оказывается равной напряжению насыщения биполярных транзисторов $VT1$ и $VT2$ при их инверсном включении.

В моменты, когда переходы эмиттер–коллектор транзисторов $VT1$ и $VT2$ оказываются открытыми, вход второй линии и выход первой линии НО1 оказываются рассогласованными. Отраженные от мест рассогласования сигналы складываются в фазе в балластной нагрузке $R3$. В этом случае в процессе работы устройства защиты не возникает переотражений между входом ПУМ с устройством защиты и выходом источника усиливаемого сигнала. Отсутствуют и искажения сигнала на выходе ПУМ, обусловленные указанными переотражениями.

Результаты экспериментальных исследований зависимости КСВН по входу схемы, приведенной на рис. 1, показали, что при изменении напряжения управления $U_{упр}$ от 20 до 0 В значение КСВН не превышало величины 1,2. Измерения проводились на частоте 110 МГц с использованием в качестве $VT1$ и $VT2$ транзисторов типа КТ814А.

Транзисторы $VT1$ и $VT2$ системы защиты выбираются исходя из условий:

$$I_{к доп} \geq \sqrt{2} U_{вх max} / R_{Г}, \quad P_{к доп} \geq U_{вх max}^2 / 16 R_{Г}, \quad f_{в ПУМ} \leq 1 / \pi C_{к} R_{Г},$$

где $I_{к доп}$ – максимально допустимый ток коллектора; $P_{к доп}$ – максимально допустимая рассеиваемая мощность коллектора; $f_{в ПУМ}$ – верхняя граничная частота полосы пропускания ПУМ; $U_{вх max}$ – максимальное значение амплитуды сигнала, подаваемого на вход схемы (см. рис. 1); $R_{Г}$ – выходное сопротивление генератора усиливаемых сигналов; $C_{к}$ – емкость коллекторного перехода транзистора, определенная при напряжении коллектор–эмиттер $U_{кэ}$, равном значению $U_{вх max}$.

Направленные ответвители НО1, НО2, НО3 могут быть реализованы различными методами. Однако наименьшими размерами обладают НО, изготовленные по методике, описанной в [6].

Исходя из анализа системы защиты, которая относится к системам с отрицательной обратной связью по огибающей [7], и, используя теорию детектирования сильных сигналов [8], получим соотношения для расчета элементов детектора: $R9 \geq 100/S$; $C6 \leq 0,36 t_{пер} / (4 + SR_{Н})$, где S – крутизна статической характеристики диода $VD1$; $R_{Н}$ – сопротивление нагрузки ПУМ.

Предложенная система защиты ПУМ от перегрузки по входу и от рассогласования по выходу с согласованным входом (см. рис. 1) и методика её проектирования позволяют осуществлять разработку устройств защиты ПУМ, обеспечивающих работоспособность указанных ПУМ при работе в условиях максимальной выходной мощности, одновременном внезапном отключении или коротком замыкании нагрузки и многократных перегрузках по входу.

Работа выполнена в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. (государственный контракт № 02.740.11.0514 от 15.03.10).

Литература

1. Петухов В.М. Полевые и высокочастотные биполярные транзисторы средней и большой мощности и их зарубежные аналоги: справочник: В 4 т. – М.: КУБК-а, 1997.
2. Заявка на изобретение № 2011120669 РФ, МПК 7: H03C 1/40. Устройство управления амплитудой мощных гармонических сигналов / А.А. Титов, А.В. Семёнов, И.А. Акрестина. – Приоритет от 20.05.2011.
3. Заявка на изобретение № 2011113559 РФ, МПК7: H 03 G 3/30. Устройство защиты полосового усилителя мощности от перегрузок / А.А. Титов, А.В. Семёнов, Д.А. Жданов, О.В. Костылёва, А.А. Шибельгут. – Приоритет от 07.04.2011.
4. Титов А.А. Усилитель мощности для оптического модулятора // Приборы и техника эксперимента. – 2002. – № 5. – С. 88–90.
5. Титце У. Полупроводниковая схемотехника: пер. с нем. / У. Титце, К. Шенк. – 12-е изд. – М.: ДМК-Пресс, 2008. – Т. 1. – 832 с.
6. Титов А.А. Транзисторные усилители мощности МВ и ДМВ. – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2006. – 328 с.
7. Широкополосные радиопередающие устройства / О.В. Алексеев, А.А. Головков, В.В. Полевой, А.А. Соловьев / под ред. О.В. Алексеева. – М.: Связь, 1978. – 304 с.
8. Чистяков Н.И. Радиоприемные устройства / Н.И. Чистяков, М.В. Сидоров, В.С. Мельников; под ред. Н.И. Чистякова. – М.: Государственное издательство литературы по вопросам связи и радио, 1959. – 895 с.

Титов Александр Анатольевич

Д-р техн. наук, профессор каф. радиоэлектроники и защиты информации ТУСУРа

Тел.: (382-2) 41-33-65

Эл. почта: TitovAA@rzi.tusur.ru

Красько Александр Сергеевич

Доцент каф. радиоэлектроники и защиты информации ТУСУРа

Тел.: (382-2) 41-33-65

Titov A.A., Krasko A.S.

Calculation of protection scheme of strip power amplifiers from overloads

In the paper we offer the design procedure of protection scheme of strip amplifiers from the overloads, which provides the working capacity of them under conditions of maximal output, simultaneous sudden switching-off or short circuit and repeated overloads on an input.

Keywords: strip amplifiers, protection, overloads, management of amplitude of a signal.