

## ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

УДК 621.3.072.2

*Губа А. В., Герейханов Р. К., Магомедов А. М.*

### МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЕ АНАЛОГОВОЕ УСТРОЙСТВО НА УСИЛИТЕЛЯХ С РЕГУЛИРУЕМЫМ КОЭФФИЦИЕНТОМ УСИЛЕНИЯ

*Guba A. V., Gereykhonov R. K., Magomedov A. M.*

### MULTIFUNCTIONAL ANALOG DEVICE BASED ON AMPLIFIERS WITH REGULATED GAIN

*В материалах статьи предлагается вниманию аналоговое устройство, способное выполнять ряд функций в широком диапазоне частот. Приводятся рекомендации по возможным практическим применениям.*

*Ключевые слова:* усилитель с регулируемым коэффициентом усиления, гетеродин, усилитель промежуточной частоты, электронный регулятор напряжения

*In this article analog device capable to make portion of different functions in wide frequency band is discussed. Some recommendations for possible application examples are offered.*

*Key words:* variable gain amplifier, heterodyne, intermediate frequency amplifier, electronic voltage regulator

#### Введение

Среди многообразия аналоговых компонентов и функциональных узлов особое место занимают усилители с регулируемым коэффициентом усиления. Структура и принципы функционирования таких усилителей достаточно полно описаны в [1,2], поэтому обобщим лишь их характерные особенности.

По своей структуре и ряду параметров эти усилители подобны операционным усилителям среднего класса точности, но основное отличие заключается в способе установки требуемых значений коэффициентов усиления. В операционных усилителях текущее значение коэффициента усиления определяется параметрами внешних элементов в цепях обратных связей, а при необходимости его изменения требуется включение элементов с иными параметрами. В усилителях же с регулируемым коэффициентом усиления значение коэффициента устанавливается при помощи пост-

янного напряжения или при помощи цифрового кода, подаваемых на специализированные входы усилителя.

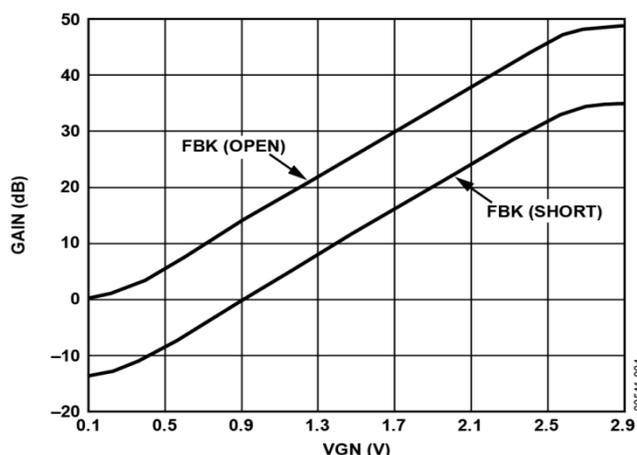
Усилители с управляемым коэффициентом усиления посредством напряжения классифицируются как VGA –типа (Variable Gain Amplifier), а посредством цифрового кода, как PGA (Programmable Gain Amplifier) усилители.

Обладая практически идентичными параметрами усилительных трактов, но разными способами регулирования коэффициентом усиления, VGA и PGA усилители могут быть использованы как в аналоговых схемах, так и в схемах комбинированного типа, т.е. содержащих аналоговые и цифровые компоненты и функциональные узлы.

Естественно, в комбинированных схемах более целесообразно применение усилителей PGA-типа. Тем не менее, возможно использование и усилителей VGA-типа, но такое применение потребует дополнительных затрат в виде АЦП и ЦАП. При этом наиболее оптимальным решением представляется включение в контур управления усилителем микроконвертера (аналогового микроконтроллера), в состав которого входят указанные узлы. Очевидно, что преимуществом такого решения является возможность регулирования коэффициента усиления усилителя по разным алгоритмам в соответствии с требуемыми законами изменения.

Многие усилители имеют два режима установления основных пределов регулирования коэффициента усиления. Сами режимы определяются состоянием участка цепи внутренней обратной связи усилителя (Feedback short, Feedback open), т.е. замкнутым или разомкнутым, а состояния устанавливаются путем внешней коммутации соответствующих цепей усилителя. Одному из режимов, как правило, соответствуют пределы регулирования коэффициента усиления от -14db до +34db, а другому режиму от 0db до +48db включительно.

Для пояснения процесса регулирования коэффициентами усиления на рисунке 1 приведены передаточные характеристики обоих режимов усилителя VGA-типа (компонент AD605) [3].



**Рисунок 1** - Передаточные характеристики усилителя AD605

Как следует из рисунка 1, характеристики, представляющие собой зависимости значений коэффициентов усиления (Gain, db) от величины напряжения управления (VGN, V), обладают высокой линейностью, что существенно облегчает автоматизацию процесса установления требуемых коэффициентов усиления.

Большинство усилителей, по сути, являются усилителями постоянного тока, но обладают довольно высокой граничной частотой единичного коэффициента усиления. У относительно «низкочастотных» усилителей граничная частота составляет 30МГц (компонент AD603), а у более «высокочастотных» (компонент AD8370) достигает 700МГц.

Наличие двух режимов и достаточно больших пределов регулирования коэффициента усиления, а также значительная граничная частота усилителей способствуют их использованию в разнообразных усилительных устройствах, и в значительной мере упрощает процесс схемотехнического проектирования.

Некоторые сложности для ряда практических применений отдельных компонентов обусловлены наличием у них низкого входного импеданса (50 Ом), что легко устранимо путем буферизации усилителя по входу любым из известных способов.

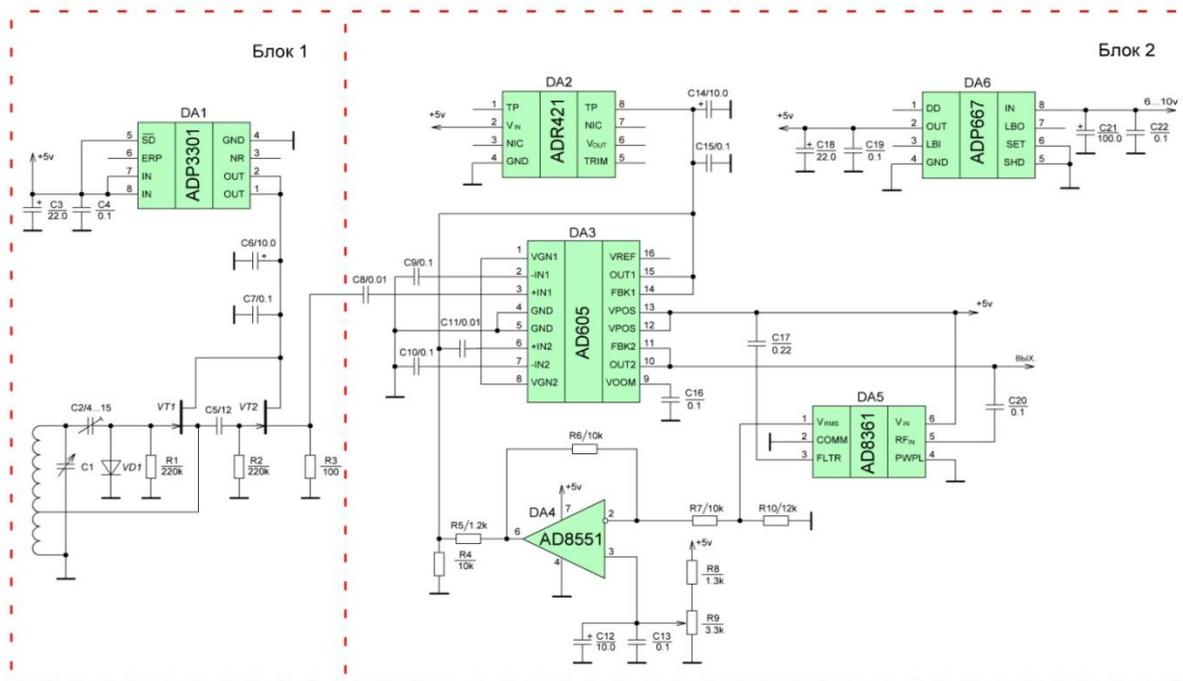
Усилители с регулируемым коэффициентом усиления удобно использовать не только по прямому назначению, т.е. для усиления напряжений входных сигналов, но и для обеспечения стабильности напряжения этих сигналов на выходе усилителя в требуемом диапазоне частот.

Варианты практического использования усилителей в разных изделиях и ряд рекомендаций по их применениям приводились ранее в [4,5]. Однако появление компонентов с большей степенью интеграции на кристалле и лучшими параметрами позволили не только упростить схемотехнические решения и в значительной мере улучшить качественные показатели устройств, но и существенно расширить их функциональные возможности.

Примером такого многофункционального устройства, разработанного в исследовательском центре «Современные электронные элементы и технологии» ДГТУ, может служить схема электрическая, представленная на рисунке 2.

Для полноты восприятия и иллюстрации возможного варианта буферизации схема устройства дополнена диапазонным генератором гармонических колебаний (блок 1) на транзисторе VT1 (индуктивная трехточка), и особенностей не имеет.

Истоковый повторитель на транзисторе VT2 является промежуточным каскадом, предназначенным для буферизации выхода генератора с входом устройства. Напряжение питания генератора и буферного каскада величиной +3В обеспечивается стабилизированным источником DA1.



**Рисунок 2** - Схема многофункционального устройства и диапазонного генератора

Блок 1 – диапазонный генератор; блок 2 - многофункциональное устройство

Основой многофункционального аналогового устройства (блок 2) является усилитель DA3 (компонент AD605), представляющий собой два идентичных автономных усилителя VGA типа с граничной частотой 40 МГц, конструктивно размещенных в одном корпусе. Общими для этих усилителей являются входы VREF (вывод 16) и VCOM (вывод 9). Каждый из усилителей компонента имеет дифференциальный вход и линейный выход. Возможно последовательное включение усилителей, как с отдельным, так и с параллельным регулированием коэффициентов усиления по входам VGN1 и VGN2 (вывод 1 и вывод 8). Для работы усилителей требуется опорное напряжение величиной 2,5В от внешнего опорного источника DA2 (компонент ADR421), подводимое к входу VREF.

В электрической схеме использовано последовательное включение усилителей с параллельным способом регулирования коэффициентами усиления. Пределы регулирования коэффициентами усиления для каждого усилителя равны от -14db до +34db, что в совокупности позволяет изменять коэффициенты усиления в пределах от -28db до +68 db. Такой режим изменения определяется замкнутым состоянием цепей обратных связей усилителей VOUT и FBK (выводы 10 и 11, а также выводы 14 и 15).

К выходу усилителя подключен амплитудный детектор (компонент AD8361), обладающий высокой линейностью детекторной характеристики и большим коэффициентом передачи, равным 7,7 в полосе рабочих частот до 1ГГц. Амплитудный детектор располагает встроенным фильтром, одна-

ко для более эффективной фильтрации в области относительно низких частот в состав детектора введен дополнительный конденсатор фильтра С17.

В цепи отрицательной обратной связи применен операционный усилитель DA4 формата Rail-to-Rail I/O (компонент AD8551) по инвертирующей схеме включения, коэффициент усиления которого определяется сопротивлениями резисторов R6 и R7, и в данном применении равен 1. При этом величина напряжения, определяющего требуемые значения коэффициентов усиления усилителей DA3, устанавливается потенциометром R9.

Стабильное напряжение питания устройства величиной +5В обеспечивается стабилизатором DA6 (компонент ADP667), включенным по упрощенной схеме.

Такое схемное решение позволяет не только выполнить усиление амплитуды входного сигнала, но и обеспечить ее достаточно высокую стабильность на выходе устройства, что было подтверждено проведенными тестовыми испытаниями. В частности, изменение амплитуды выходного напряжения величиной 1В и частотой 15 МГц не превысило 2мВ в течение 10 часов непрерывной работы. При этом стоимость всех интегральных компонентов в составе устройства не превышает 23\$ [6]. Затраты можно несколько уменьшить, исключив из схемы источник опорного напряжения DA2, путем замены на соответствующий резистивный делитель напряжения. Однако такая замена приведет к некоторому ухудшению параметров.

Схема на рисунке 2 на практике может быть рекомендована в качестве гетеродина как радиовещательных, так и специализированных радиоприемных устройства, а также и для ряда других применений. При необходимости увеличения числа диапазонов гетеродина дополнительными узлами будут являться колебательные контуры, подключаемые к входной цепи генератора, коммутация которых осуществляется любыми доступными способами.

Другим привлекательным применением устройства является его использование в качестве электронного регулятора амплитуды выходного напряжения. С учетом присущих пределов изменения коэффициентов усиления (-14db ... +34db), позволяющих не только увеличивать, но и ослаблять амплитуду напряжения на выходе устройства относительно амплитуды, подводимой к входу, в ряде решений можно обеспечить регулирование амплитуды напряжения от некоторого минимального значения, приближающегося практически к нулевой величине. К тому же, регулирующий элемент (потенциометр R9) включен вне усилительного тракта и не оказывает шунтирующего воздействия на нагрузку устройства.

На этом не ограничиваются области применения устройства. При незначительной схемной модификации устройство способно выполнять и другие функции. К примеру, если из схемы на рисунке 2 удалить диапазонный генератор, поменяв его на полосовой фильтр (фильтр сосредоточенной селекции, пьезоэлектрический, активный фильтр и т.п.) с требуе-

мой полосой пропускания, устройство можно использовать в качестве усилителя промежуточной частоты радиоприемного устройства. При этом, низкочастотная составляющая модулированного сигнала может быть выделена на выходе амплитудного детектора AD8361 (вывод 1) с учетом допустимой коррекции емкости конденсатора фильтра С17.

Так как эффект усиления в радиоприемном устройстве обеспечивается в основном за счет усилителя промежуточной частоты, целесообразно и изменить пределы регулирования коэффициентом усиления, что достигается путем размыкания электрических связей у компонента AD605 между выводами 10 и 11, а также 14 и 15. При таком включении возможно регулирование коэффициента усиления усилителя в пределах от 0db до 96db. А для повышения избирательности по соседнему каналу желательно ввести в схему дополнительный фильтр, подключив его между выходом OUT1 (вывод 15) и входом второго усилителя +IN2 (вывод 6).

В качестве другого примера следует подключение к входу устройства преселектора [7], а к выходу усилителя AD605 (вывод 15) перестраиваемого колебательного контура, и использование устройства в качестве входного избирательно усилительного тракта радиоприемного устройства.

Более того, рассматриваемое устройство способно выполнять функции предварительного усилителя низкой частоты, а с известными допущениями, и оконечного усилителя, работающего на динамический громкоговоритель.

**Вывод.** Таким образом, на основе предлагаемого многофункционального аналогового устройства возможна реализация основных (за исключением смесителя) узлов радиоприемного устройства. Все предлагаемые решения прошли практическую апробацию, результаты которой подтвердили ожидаемые высокие технические показатели.

#### **Библиографический список:**

1. Walter G. Jung. Op Amp Applications. Copyright © 2002 By Analog Devices Inc, ISBN 0-916550-26-5
2. Линейные схемы. Руководство по проектированию./Под ред. Х. Цумбалена. Техносфера. Москва, 2011. 1128 с.
3. Data sheet for AD605 Dual, Low Noise, Single-Supply Variable Gain Amplifier, Analog Devices, Inc., <http://www.analog.com>
4. Губа А.В., Семиляк А.И., Кишов Р.М. Генератор сигналов специальной формы. //Электронные компоненты, №10,2011
5. Губа А.В. Стабилизация амплитуды напряжения гетеродина радиоприемного устройства. //Электронные компоненты, №4,2008
6. Информация с сайта [www.analog.com](http://www.analog.com)
7. Губа А.В., Гасанов О.И., Кишов Р.М. Активные фильтры в приемных устройствах радиовещательного диапазона.//Электронные компоненты, №10,2010