

ПРЕЦИЗИОННЫЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ ОПЕРАЦИОННЫЙ УСИЛИТЕЛЬ

ДАНИЛОВ А. А.

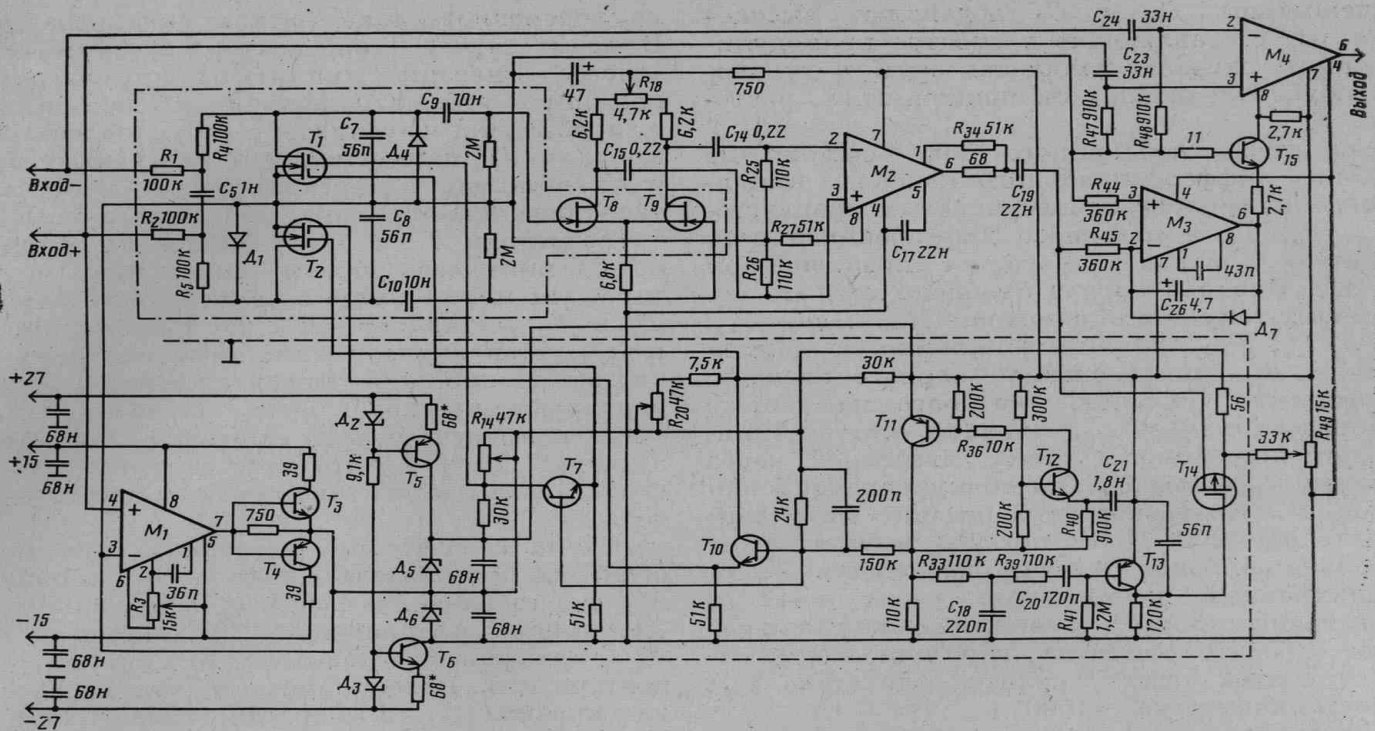
Описан дифференциальный операционный усилитель с каналом модуляции — демодуляции, обладающий следующими характеристиками: температурный дрейф напряжения смещения $50 \text{ нВ}/^\circ\text{C}$, входной ток 50 пА , разность входных токов 10 пА , размах напряжения шума в полосе $0,01 \div 1 \text{ Гц}$ — $0,4 \text{ мкВ}$, коэффициент ослабления синфазного сигнала 130 дБ .

Усилитель предназначен для прецизионного усиления и преобразования дифференциальных сигналов постоянного и переменного тока от источников сигналов с низким и средним значением выходного сопротивления в составе

измерительной аппаратуры и аналоговых модулей КАМАК.

Основные технические характеристики усилителя следующие: выходное напряжение $\pm 10 \text{ В}$; максимальный ток нагрузки $\pm 5 \text{ мА}$;

130



Принципиальная схема усилителя. M_1 — К1409УД1А, M_2 — 153УД5А, M_3 — К140УД14А, M_4 — К544УД1Б; T_1, T_2 — КП350Б, T_3, T_{12}, T_{15} — КТ3102А, T_4, T_{11}, T_{13} — КТ313А, T_5 — КТ639Д, T_6 — КТ630А, T_7, T_{10} — КТ3102Б, T_8, T_9 — КП307А, T_{14} — КП301Б; D_1, D_4, D_7 — КД512А, D_2, D_3 — КС119А, D_5, D_6 — КС515А, R_1, R_2, R_4, R_5 — ВС-0,125а, подстроечные — СП5-2, остальные — ОМЛТ-0,125; C_9, C_{10} — КМ5а-Н30, $C_{17}, C_{19}, C_{23}, C_{24}$ — КМ56-Н30, C_{26} — К53-1

коэффициент усиления без отрицательной обратной связи (о.о.с.) 10^{10} В/В ; входное сопротивление на постоянном токе без о.о.с. 5 МОм ; напряжение смещения $\pm 3 \text{ мкВ}$; средний температурный дрейф напряжения смещения $50 \text{ нВ}/^\circ\text{C}$; временной дрейф напряжения смещения 100 нВ/ч ; входной ток $\pm 50 \text{ пА}$; разность входных токов $\pm 10 \text{ пА}$; температурный дрейф разности входных токов $3 \text{ пА}/^\circ\text{C}$; временной дрейф разности входных токов 3 пА/ч ; размах напряжения шума в полосе частот $0,01 \div 1 \text{ Гц}$ — $0,4 \text{ мкВ}$, в полосе $0,1 \div 10 \text{ Гц}$ — $0,8 \text{ мкВ}$; коэффициент ослабления синфазного сигнала на постоянном токе при напряжении синфазного сигнала, равном $\pm 5 \text{ В}$, — 130 дБ , при $\pm 10 \text{ В}$ — 110 дБ ; частота единичного усиления 1 МГц ; скорость нарастания выходного напряжения 5 В/мкс ; напряжения питания $\pm 27 \text{ В} \pm 1\%$, $\pm 15 \text{ В} \pm 1\%$; размеры $100 \times 100 \times 20 \text{ мм}^3$.

На рисунке приведена электрическая схема усилителя.

Усилитель представляет собой дифференциальный двухканальный операционный усилитель (о.у.) с преобразованием сигнала в низкочастотном канале и «следящим» питанием.

Высокочастотный канал усилителя выполнен на микросхеме M_4 . Входы M_4 развязаны по постоянному току от входа усилителя дифференцирующими цепями C_{24}, R_{48} и C_{23}, R_{47} . Сигнал от низкочастотного канала подводится к входу усилителя нуля M_4 (вывод 8).

Низкочастотный канал усилителя выполнен по принципу модуляции — демодуляции (м.д.м.). Входной дифференциальный сигнал через фильтр низких частот R_1, R_2, C_5, R_4, R_5 поступает на сдвоенный параллельный модулятор, собранный на двухзатворных м.о.п. транзисторах T_1, T_2 . Истоки транзисторов подсоединены к выходу схемы слежения за синфазным сигналом, что позволяет снизить составляющую входного тока такого дифференциального модулятора, обусловленную емкостью затвор — исток и сопротивлением в цепи истока. Входное сопротивление модулятора на постоянном токе (а следовательно, и всего усилителя) при выбранных параметрах составляет $\sim 5 \text{ МОм}$. Диоды D_1 и D_4 , включенные параллельно транзисторам модулятора, симметрируют нелинейность последнего при большом сигнале, что способствует уменьшению времени восстановления усилителя после перегрузки.

Конденсаторы C_7 и C_8 подавляют высокочастотные составляющие в спектре промодулированного сигнала, уменьшая шум модулятора, обусловленный комбинационными частотами.

Усилитель переменного тока состоит из входного дифференциального каскада, выполненного на малощумящих полевых транзисторах T_8 , T_9 , и выходного дифференциального усилителя, реализованного на прецизионном о.у. M_2 . Входной каскад балансируется по постоянному току потенциометром R_{18} . Цепи C_{14} , R_{25} и C_{15} , R_{26} блокируют постоянную составляющую выходного сигнала первого каскада, коэффициент усиления которого на частоте преобразования ~ 20 . Выходной о.у. стабилизирован при помощи о.о.с., введенной через резистор R_{34} с выхода на точку балансировки (вывод 1). Коэффициент передачи выходного усилителя ~ 200 . Резистор R_{27} компенсирует разбаланс M_2 при данном включении о.о.с.

Синхронный демодулятор реализован на м.о.п.-транзисторе T_{14} и запоминающем конденсаторе C_{19} . Коэффициент передачи м.д.м.-канала (от входа всего усилителя до стока T_{14}) на постоянном токе ~ 1600 .

Нелинейный интегрирующий фильтр (постоянная времени $R_{45}C_{26}$) выполнен на прецизионном о.у. M_3 . Диод D_7 сокращает время восстановления после перегрузки, резистор R_{44} компенсирует разбаланс M_3 за счет входного тока. Применение интегратора в качестве фильтра на выходе демодулятора позволяет уменьшить шумовую полосу м.д.м.-канала и повысить общий коэффициент усиления на постоянном токе, а также облегчает согласование низкочастотного и высокочастотного каналов. Схема согласования уровней выполнена на транзисторе T_{15} по схеме с общей базой. Коэффициент передачи от выхода M_3 до точки балансировки M_4 при таком согласовании приближается к единице.

Работой транзисторных ключей модулятора и демодулятора управляет генератор импульсов [1], состоящий из несимметричного мультивибратора (T_{11} , T_{12}) и формирователей импульсов (T_7 , T_{10} , T_{13}). Частота генерации (~ 750 Гц) определяется постоянной времени $R_{40}C_{21}$, скважность импульсов — резистором R_{36} . Исследования показали, что оптимальное сочетание шумовых и статических характеристик м.д.м.-канала соответствует скважности импульсов генератора, равной $13 \div 15$. Амплитуда импульсов на коллекторе T_{11} составляет $-5 \div +14$ В. Цепь R_{33} , C_{18} , R_{39} , C_{20} , R_{41} формирует импульсы управления транзистором T_{13} , обеспечивающим отпирание транзистора T_{14} демодулятора только в моменты установившегося значения выходного сигнала усилителя

переменного тока (режим с «вырезанием»). В этом случае конденсатор C_{19} запоминает «чистое» значение амплитуды импульса, что позволяет избежать появления составляющей в дрейфе м.д.м.-усилителя, обусловленной демодуляцией паразитных выбросов модулятора и колебательного переходного процесса усилителя переменного тока при перегрузках. На транзисторах T_7 и T_{10} реализованы формирователи импульсов управления ключами модулятора, амплитуда импульсов на первых затворах T_1 и T_2 составляет $\pm 1,4$ В. Резисторами R_{14} и R_{20} устанавливается минимум входного тока соответственно для инвертирующего и неинвертирующего входов путем изменения амплитуды компенсирующих импульсов на вторых затворах T_1 и T_2 . Потенциометром R_{49} подстраивается напряжение смещения всего усилителя.

Схема слежения за синфазным сигналом состоит из повторителя синфазного напряжения M_1 и управляемого синфазным сигналом стабилизатора напряжений. Транзисторы T_3 и T_4 обеспечивают повышенный ток нагрузки повторителя. Потенциометр R_3 служит для балансировки M_1 . Выбор M_1 типа К1409УД1 обусловлен его малым входным током (типичное значение < 5 пА), что позволяет выделить синфазный сигнал, не ухудшая входных параметров всего усилителя. Выход повторителя является «плавающей» средней точкой питания усилителя. Транзисторы T_5 и T_6 служат источниками стабильных токов для стабилизаторов D_5 и D_6 . Общая точка стабилизаторов соединена с выходом повторителя, следовательно, напряжения питания усилителя являются относительно общего провода суммой синфазного напряжения и напряжения на стабилизаторах D_5 и D_6 . Это обеспечивает большой коэффициент ослабления синфазного сигнала описываемого усилителя.

Элементы входных цепей усилителя (выделены штрихпунктиром на схеме) смонтированы на фторопласте. Между выводами стока и истока транзисторов модулятора T_1 и T_2 установлен термостат, представляющий собой тонкую пленку из хорошего изоляционного материала (полиэмида или слюды), на которую наклеены с двух сторон несколько меньшие по размеру пластинки из медной фольги, к которым припаяны выводы транзисторов. Элементы электрической схемы, отделенные электростатическим экраном (отмеченным на рисунке пунктиром), расположены на обособленном участке печатной платы. Особое внимание уделено тщательному экранированию входных цепей усилителя переменного тока от элементов и соединений генератора управляющих импульсов, что также способствовало улучше-

нию статических характеристик усилителя. Все соединения во входных цепях выполнены без применения разнородных металлов, в противном случае паразитные термо-э.д.с. значительно ухудшают высокие параметры усилителя. Металлический корпус одновременно является пассивным термостатом усилителя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Полонников Д. Е. Операционные усилители: Принципы построения, теория, схемотехника. М.: Энергоатомиздат, 1983, с. 179.

Институт проблем управления,
Москва
Поступила в редакцию 18.X.1984