

УДК 621.375:621.311.6.024

108-111

МЧУ 78  
В. А. Брагин, А. И. Калагин, А. В. Марчуков**ПРЕЦИЗИОННЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ  
ПОСТОЯННОГО ТОКА С ГАЛЬВАНИЧЕСКИ  
РАЗВЯЗАННЫМ ВХОДОМ**

В статье рассмотрены вопросы повышения метрологических характеристик усилителя с гальванически развязанным входом, приведена структурная схема и обоснован выбор элементной базы. Экспериментально подтверждены высокое быстродействие и линейность передаточной характеристики усилителя.

Усилитель постоянного тока — одно из основных звеньев измерительного тракта информационно-измерительных систем; он предназначен для преобразования малых сигналов тока и напряжения датчиков контроля в унифицированный сигнал  $\pm 5$  В. Измерительный усилитель, как и другие входные устройства систем, должен обеспечивать защиту от помех общего вида. Наиболее эффективное подавление помех может быть достигнуто за счет гальванического разделения входных и выходных цепей измерительных устройств. Однако введение в измерительный усилитель устройства гальванического разделения на трансформаторах снижает линейность преобразования сигнала, а также ограничивает полосу пропускания усилителя [1, 2]. В данной статье рассмотрен многопредельный усилитель с гальваническим разделением входных и выходных цепей (рис. 1), в котором получена линейность передаточной характеристики 0,01% и полоса пропускания 1 кГц.

Схему можно разделить на три основных узла: нормирующий усилитель, устройство гальванического разделения и узел питания. Нормирующий усилитель построен по классической схеме Гольдберга и представляет собой двухканальный усилитель постоянного тока [3], в котором усилители У1 и У3 предназначены для передачи высокочастотной составляющей входного сигнала, а усилители У2, У3 — для низкочастотной составляющей сигнала и постоянного тока. Дрейф нуля по току и по напряжению в схеме определяет усилитель У2, построенный по схеме МДМ (модуляция-демодуляция). Модулятор усилителя У2 выполнен на транзисторах типа КП305Е по последовательно-параллельной схеме и помещен в медный корпус с целью уменьшения «паразитных» термо-ЭДС, возникающих в местах пайки выводов транзисторов с соединительными проводниками. Компенсацию коммутационных выбросов модуляторов осуществляют путем выравнивания длительности фронтов управляющих импульсов. Усилитель переменного тока МДМ канала построен на основе операционного усилителя К153УД1. Усилитель У3 выполняет роль сумматора постоянной и переменной составляющей сигнала и построен на дискретных элементах для расширения динамического диапазона выходных напряжений (диапазон выходных напряжений  $\pm 18$  В).

В режиме измерения напряжений нормирующий усилитель охвачен последовательно-параллельной обратной связью, а в режиме измерения токов — параллельно-параллельной обратной связью. В качестве элементов обратной связи используются проволочный делитель напряжения ДЦМ-9 и резистор R3 типа МРХ, обладающие высокими характеристиками точности и стабильности. В целях улучшения динамики



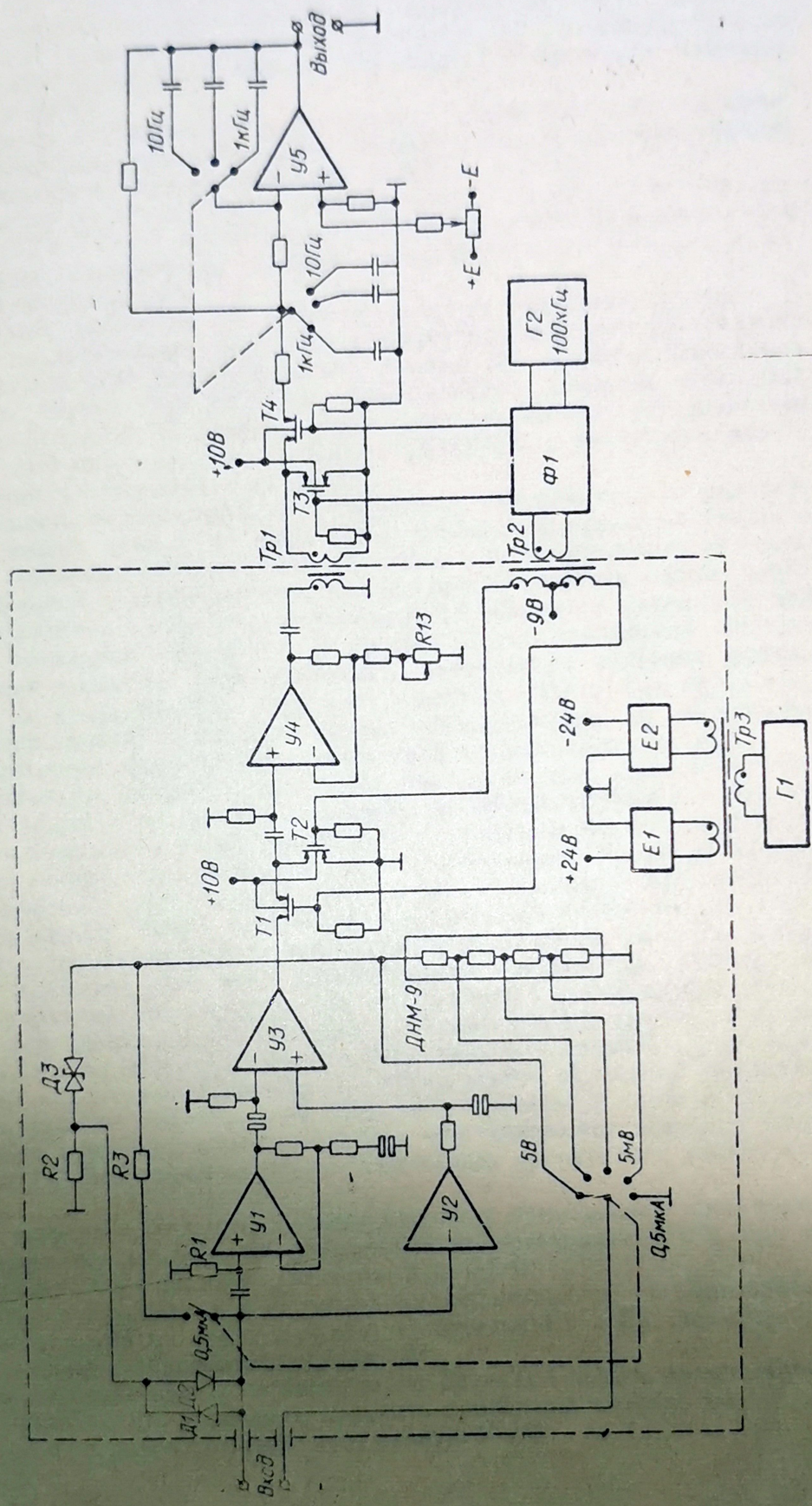


Рис. 1. Структурная схема усилителя.



работы усилителя применена нелинейная обратная связь через цепочку R1, D1, D2, D3, которая срабатывает при превышении выходным сигналом усилителя уровня напряжения  $\pm 9$  В.

По экспериментальным данным коэффициент усиления усилителя без обратной связи по постоянному току составил  $10^8$ , дрейф нуля по току —  $0,5$  нА/°С, по напряжению —  $0,1$  мкВ/°С в диапазоне температур от 20 до 50°С.

Устройство гальванического разделения цепей построено по принципу двухкратного преобразования сигнала (модуляция-демодуляция) с использованием трансформаторной передачи сигнала.

Модулятор и демодулятор гальванического разделителя (транзисторы T1, T2 и T3, T4) выполнены на интегральных МОП-ключках серии 168, которые обеспечивают высокую точность передачи сигнала и малое время переключения.

Буферный усилитель У4 с коэффициентом передачи, равным 2, построен на дискретных элементах и имеет коэффициент усиления на низкой частоте (без обратной связи), равный  $10^4$ , скорость нарастания выходного напряжения 50 В/мкс, динамический диапазон выходных напряжений  $\pm 18$  В. В качестве выходного усилителя У5 применен интегральный операционный усилитель К544УД1А с дрейфом входного напряжения сдвига порядка 20 мкВ/°С.

Линейность передаточной характеристики гальванического разделителя во многом зависит от нелинейных искажений, вносимых разделительным трансформатором Тр1. Известно, что коэффициент нелинейных искажений трансформатора обратно пропорционален частоте передаваемого сигнала, индуктивности первичной обмотки и минимален при плавной геометрии сердечника [4]. Исходя из этих требований, частота управления ключами гальванического разделителя выбрана равной 100 кГц, а индуктивность первичной обмотки 1 мГн. Трансформатор Тр1 понижающий, с коэффициентом трансформации  $1/2$ . Сердечник трансформатора ферритовый с магнитной проницаемостью 2000.

На плоских вершинах выходных импульсов трансформатора Тр1 (рис. 2) видны затухающие автоколебания, обусловленные перерегулированием буферного усилителя У4 и межвитковыми емкостями обмоток трансформатора. Эти автоколебания ограничивают несущую частоту гальванического разделителя и максимальное значение индуктивности трансформатора. Чтобы исключить составляющую погрешности, вызываемую автоколебаниями, транзисторы демодулятора Т3 и Т4 открываются в момент окончания автоколебаний. Соблюдение соотношений между управляющими импульсами модулятора и демодулятора обеспечивает формирователь Ф1 (см. рис. 1). Усилитель У5, предназначенный для согласования измерительного усилителя с нагрузкой, кроме того, работает как активный фильтр для сглаживания пульсаций, возникающих на выходе демодулятора. Верхнюю граничную частоту фильтра дискретно изменяют переключателем; она принимает значения 1 кГц, 100 и 10 Гц. Эти значения определяют полосу пропускания усилителя в целом.

По экспериментальным данным основная приведенная погрешность устройства гальванического разделения не превышает 0,01% при передаче сигналов в диапазоне от минус 5 до +5 В.

Питание входных цепей усилителя осуществляет преобразователь Г1, работающий на частоте 20 кГц. Источники Е1 и Е2 выполнены на интегральных стабилизаторах серии 142.

При изготовлении трансформаторов Тр1—Тр3 использована экранировка обмоток, что позволило получить проходную емкость между первичными и вторичными обмотками, равную 10 пФ.

Все узлы  
Блок изготовлен  
блока 40 мм  
пределов,

также ре  
ходится  
При  
темпе  
темпе  
коэф  
ставил 1  
На с  
приведс

При  
до пика

1. Зуб
- ватс
- инфо
2. Усил
- Вопр
- Ато
- У
3. П
4. Ку
- ри



Все узлы усилителя размещены на плате размером  $280 \times 200$  мм. Блок изготовлен в конструктиве «Черешня», ширина передней панели блока 40 мм. На передней панели блока расположены: переключатель пределов, переключатель частотных диапазонов, входной разъем, а

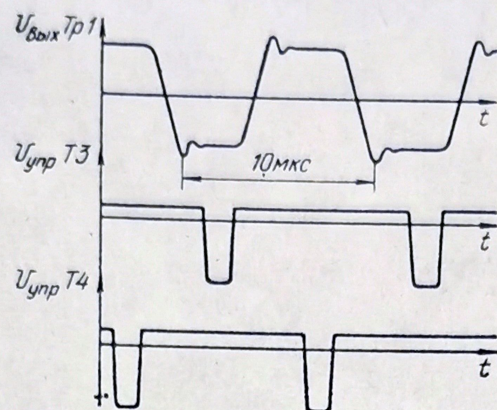


Рис. 2. Временная диаграмма работы гальванического разделителя.

также резисторы подстройки нуля и калибровки. Выходной разъем находится на задней панели блока.

При испытаниях усилителя были получены:

температурный дрейф нуля по току  $2 \text{ пА}/^\circ\text{C}$ ;

температурный дрейф нуля по напряжению  $0,4 \text{ мкВ}/^\circ\text{C}$ ;

коэффициент ослабления помехи общего вида на частоте 50 Гц составил 100 дБ.

На следующих пределах измерения тока и напряжения основная приведенная погрешность нелинейности (%) составила:

$0,5 \text{ мкА} — 0,01$

$5 \text{ В} — 0,01$

$500 \text{ мВ} — 0,01$

$50 \text{ мВ} — 0,01$

$5 \text{ мВ} — 0,04$

Приведенное ко входу напряжение шумов и шумовой ток (от пика до пика) в зависимости от полосы частот составляют:

$1 \text{ кГц} — 6 \text{ мкВ} — 3 \cdot 10^{-10} \text{ А}$

$100 \text{ Гц} — 4 \text{ мкВ} — 2 \cdot 10^{-10} \text{ А}$

$10 \text{ Гц} — 2 \text{ мкВ} — 0,5 \cdot 10^{-10} \text{ А}$

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зубов В. Г., Юрковский Д. А. Быстродействующий полупроводниковый преобразователь с гальваническим разделением вход—выход. — В сб.: «Отбор и передача информации». Вып. 15. Киев, «Наукова думка», 1969.
2. Усилитель постоянного тока с высоким подавлением помех общего вида. — В кн.: Вопросы атомной науки и техники. Сер. Ядерное приборостроение. Вып. 33, М., Атомиздат, 1974, с. 162. Авт.: Брагин В. А., Гудков В. И., Марчуков А. В., Уткин В. П.
3. Полоников Д. Е. Решающие усилители. М., «Энергия», 1973.
4. Кузнецов В. К., Оркин Б. Г., Русим Ю. С. Трансформаторы усилительной и измерительной аппаратуры. Л., «Энергия», 1969.

Поступила в редакцию 25.05.79.