

Министерство высшего и среднего специального образования РСФСР
Горьковский ордена Трудового Красного Знамени
научно-исследовательский радиофизический институт (ИРФИ)

П р е п р и н т № 227

ПОЛЕВОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ

Ванягин А. В.

Одинцов М. В.

Пройдаков В.И.

Г о р ь к и й 1 9 8 7

В а н я г и н А. В., О д и н ц о в М. В.,
П р о й д а к о в М. В.

ПОЛЕВОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ. Горький, Препринт № 227 /
НИРФИ, 1987. - II с.

УДК 621.375 : 621.317.45

В работе анализируется прием слабых низкочастотных электрических сигналов с выходов измерительных преобразователей (датчиков), удаленных от точки приема; рассматриваются схемотехнические решения приемных устройств, приводится принципиальная схема классического измерительного (инструментального) усилителя, апробированная в экспериментальных исследованиях и реализованная на отечественных микромощных операционных усилителях.

В в е д е н и е

Измерение слабых низкочастотных электрических сигналов с выходов измерительных преобразователей, удаленных от точки приема, предъявляет жесткие требования к параметрам линии передачи и техническим характеристикам усилителей.

Линия передачи требует защиты от наводок, так-как на практике необходимо обеспечить прием сигналов на фоне сильных внешних электромагнитных полей.

Усилители должны:

- иметь низкий уровень собственных шумов,
- работать с датчиками, выходное сопротивление ($R_{\text{н}}$) которых лежит в пределах от десятков Ом до десятков МОм,
- обеспечить выбор коэффициента усиления в пределах 10+100 дБ.

В случае многоканальных измерений возникают дополнительные требования к усилителям:

- идентичность амплитудных ($\pm 0,2$ дБ) и фазовых ($\pm 2^{\circ}$) характеристик в полосе усиления,
- дистанционное управление рабочими параметрами,
- незначительный вес, габариты и потребляемая мощность,
- низкая себестоимость, возможность тиражирования.

Применение цифровой обработки выходных сигналов предполагает использование в усилителях фильтров нижних частот с большой крутизной спада амплитудно-частотной характеристики для устранения эффекта "наложения спектров".

Рассмотрим методы и схемотехнические решения, позволяющие в той или иной степени решить вышеуказанные задачи.

Выбор линии передачи

Результаты исследований, приведенные в работе /1/, показывают, что наиболее эффективными методами подавления помех на низких частотах являются симметрирование и экранирование линии передачи слабого сигнала. Симметричной будет двухпроводная линия типа "витой пары", в которой оба проводника и все подключенные к ним цепи имеют одинаковый импеданс относительно земли и любого другого проводника.

Симметрирование позволяет уравнивать помехи, наводимые в обоих проводниках, то есть свести ее к синфазному сигналу и, используя соответствующие схемотехнические приемы, скомпенсировать в нагрузке.

Для получения максимальной защиты линии передачи на низких частотах необходимо соблюдать следующие требования:

- симметрирование синфазного сигнала улучшается при увеличении числа витков "витой пары" на единицу длины и ее экранировании,
- экран не должен служить одним из сигнальных проводников и один конец необходимо изолировать от земли.

Результаты эксперимента /1/, приведенные на рис. 1, подтверждают выводы и показывают, что наиболее предпочтительными свойствами обладает линия передачи "витая пара в экране" - рис. 1 г.

Выбор схемы усилителя

Схемотехническим решением, эффективно подавляющим синфазный сигнал симметричной двухпроводной линии (рис. 1 в), является классический измерительный (инструментальный) усилитель на трех операционных усилителях (ОУ), обеспечивающий большой дифференциальный коэффициент усилителя - K_{DC} - и единичный коэффициент усиления синфазного сигнала - K_{CC} - без особых требований к точности согласования резисторов (рис. 2) /2, 3, 5/. K_{DC} и K_{CC} изменяются в точках U'_1 и U'_2 рис. 2. Коэффициент ослабления синфазного сигнала (КОСС) схемы вычитания напряжений (рис. 2) определяется равенством коэффициентов усиления K_n (ОУ ДАЗ включен инвертирующим усилителем) и K_p (ОУ ДАЗ включен электрическим усилителем с делителем

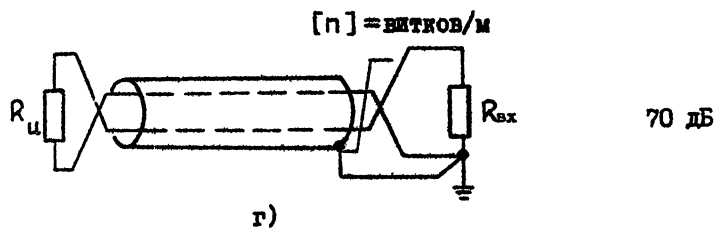
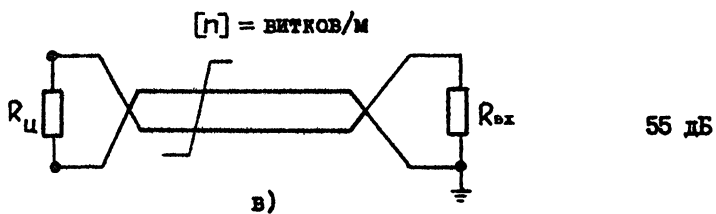
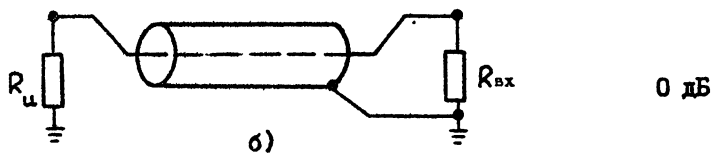
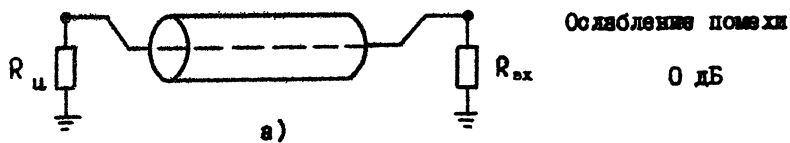


Рис. I. Из /I/ при $R_u = 100 \text{ Ом}$,
 $R_{\text{вх}} = 1 \text{ МОм}$, $\eta = 20 \text{ ВИТКОВ/М}$,
 $f_{\text{наводки}} = 50 \text{ кГц}$

напряжения). K_n и K_p ОУ ДАЗ зависят от точности подбора резисторов R_3 и от внутреннего сопротивления источника сигнала R_u . Влиянием R_u можно пренебречь, так как в качестве источника сигнала по каждому входу ОУ ДАЗ используются ОУ с глубокой отрицательной обратной связью, обладающие малым выходным сопротивлением - ДА1 и ДА2.

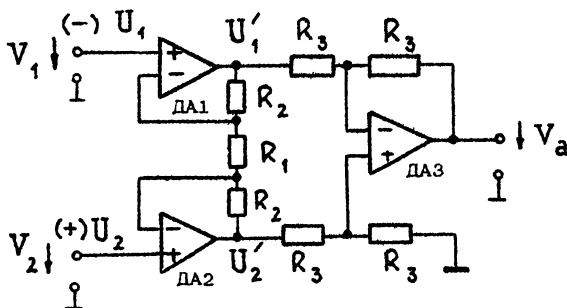


Рис. 2.

Для схемы на рис. 2 справедливы следующие соотношения:

$$U'_2 - U'_1 = \left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right) (U_2 - U_1), \quad (1)$$

$$[КОСС] = \left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right) \frac{2K}{\Delta K}, \quad (2)$$

$$K = K_p + K_n/2, \quad \Delta K = |K_p - K_n|, \quad (3)$$

$$\frac{\Delta K}{K} = \delta R_3, \quad K_{DC} = 1 + \frac{2R_2}{R_1}, \quad K = 1, \quad (4)$$

где [КОСС] рассчитывается при условии $U_1 = U_2$, δR_3 - относительная точность подбора резисторов R_3 . Анализ параметров серийно выпускаемых ОУ показывает, что при $K_{DC} > 30$ шумы последующих каскадов дают малый вклад относительно ДА1 и ДА2 в суммарный шум усилителя. Следовательно, жесткие требования предъявляются лишь к шумовым характеристикам ДА1 и ДА2, а в качестве базового элемента при реализации схемы усилителя могут использоваться сравнительно недорогие серийные микромощные ОУ без разбраковки по шумам.

Для случая $K_{DC} = 50$, $\delta R_3 = 5 \cdot 10^{-3}$ (0,5%) из (2)-(4) получим

$[K_{OCC}] = 10^4$ (80 дБ); при $K_{DC} = 50$, $\delta R_3 = 10^{-3}$ (0,1 %) - $[K_{OCC}] = 5 \cdot 10^4$ (94 дБ).

Передача слабого сигнала высокоомного измерительного преобразователя по симметричной линии на вход схемы, изображенной на рис.2, связана с дополнительными трудностями. В этом случае необходимо исключить реактивную (емкостную) составляющую импеданса датчика относительно общей шины (корпуса), влияющую на чувствительность линии передачи к емкостным наводкам.

Кроме того, изменение во времени емкостной составляющей за счет механических перемещений проводников линии передачи может привести к возникновению больших шумовых напряжений на выходе ДА1 и ДА2. Основным методом подавления "емкостных" шумов является помещение проводников симметричной линии в экран с подключением его не к корпусу, как в схеме рис. 1 г, а к точке, симметричной относительно выходов ДА1 и ДА2. Шумы, генерируемые перераспределением емкостных токов, будут значительно уменьшены, так-как разность потенциалов между экраном и проводниками не превосходит напряжения смещения OU ДА1 и ДА2 на уровне единиц милливольт.

Схема на рис. 3 удовлетворяет вышеуказанным требованиям и сохраняет все достоинства классической схемы на рис. 2 /3/. Синфазный сигнал с выхода повторителя ДА4 поступает на экран и компенсирует аналогичный сигнал проводников симметричной передающей линии.

Технические характеристики и рекомендации по применению усилителя

Схема полевого измерительного усилителя представлена на рис.4, 5. Данная схема соответствует рассмотренной на рис. 3, апробирована в экспериментальных исследованиях, реализована на отечественных серийных микроощных OU I40-й серии микросхем и имеет технические характеристики на уровне лучших измерительных усилителей, представленных в /4/:

- $[K_{OCC}] \geq \{ 100 \text{ дБ, } f = 0 + 100 \text{ Гц; } 80 \text{ дБ, } f = 100+200 \text{ Гц ; } 60 \text{ дБ, } f > 500 \text{ Гц} \}$,

- среднеквадратичная спектральная плотность шумов, приведенная ко входу при $R_{u} = 1 \text{ КОм}$ на частоте $f = 10 \text{ Гц}$ не превышает

20 нВ/Гц^{1/2},

- входное сопротивление превышает 1 МОм,
- крутизна спада АЧХ ФНЧ не хуже 60 дБ/октава,
- суммарная мощность, потребляемая от источников питания ± 15 В, не превышает 75 мВт.

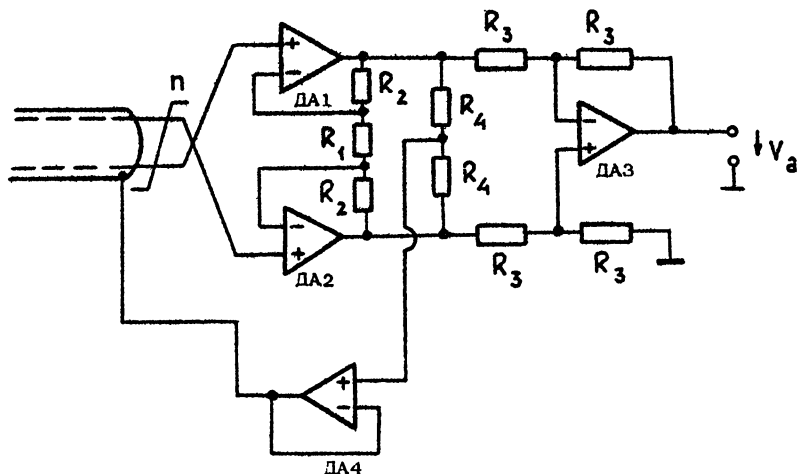
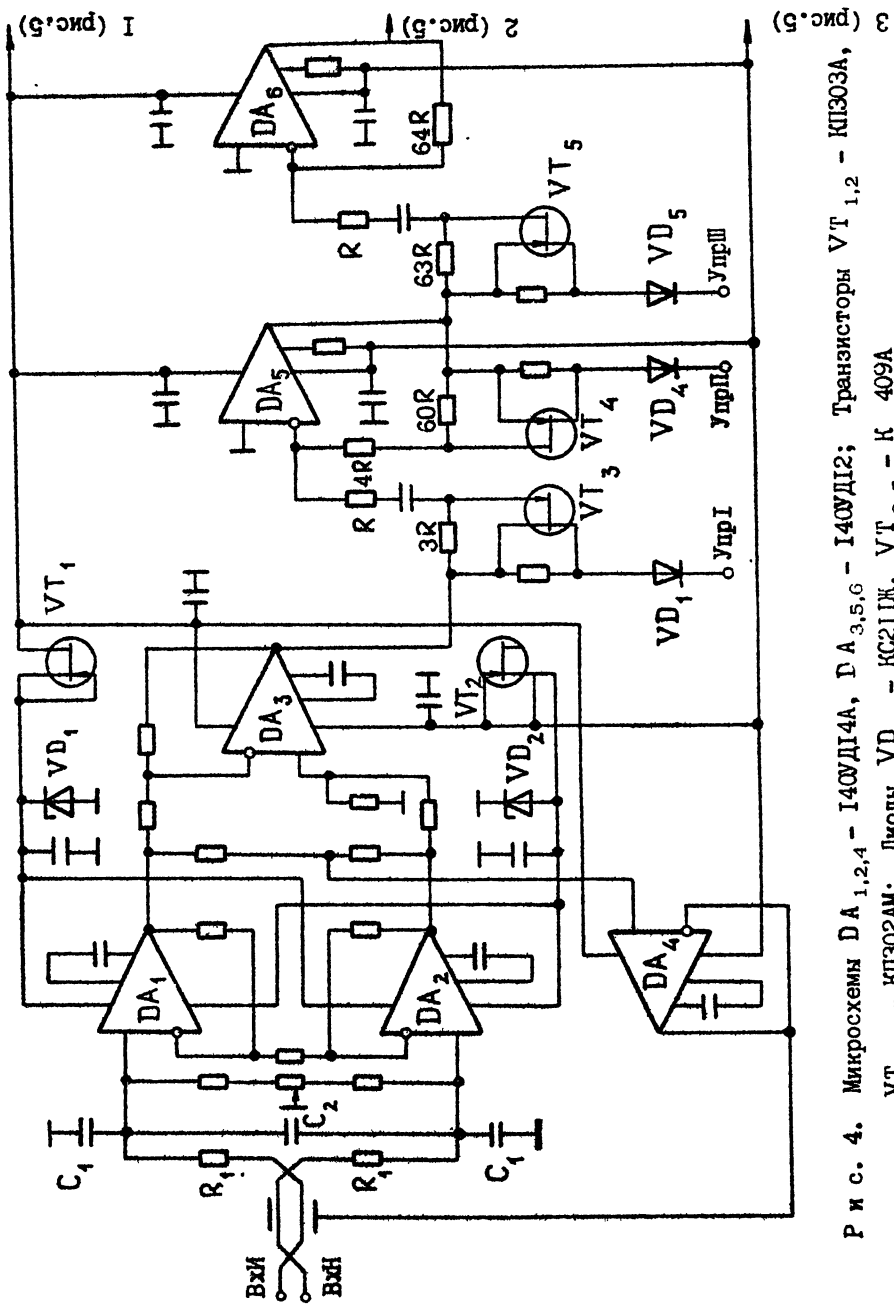


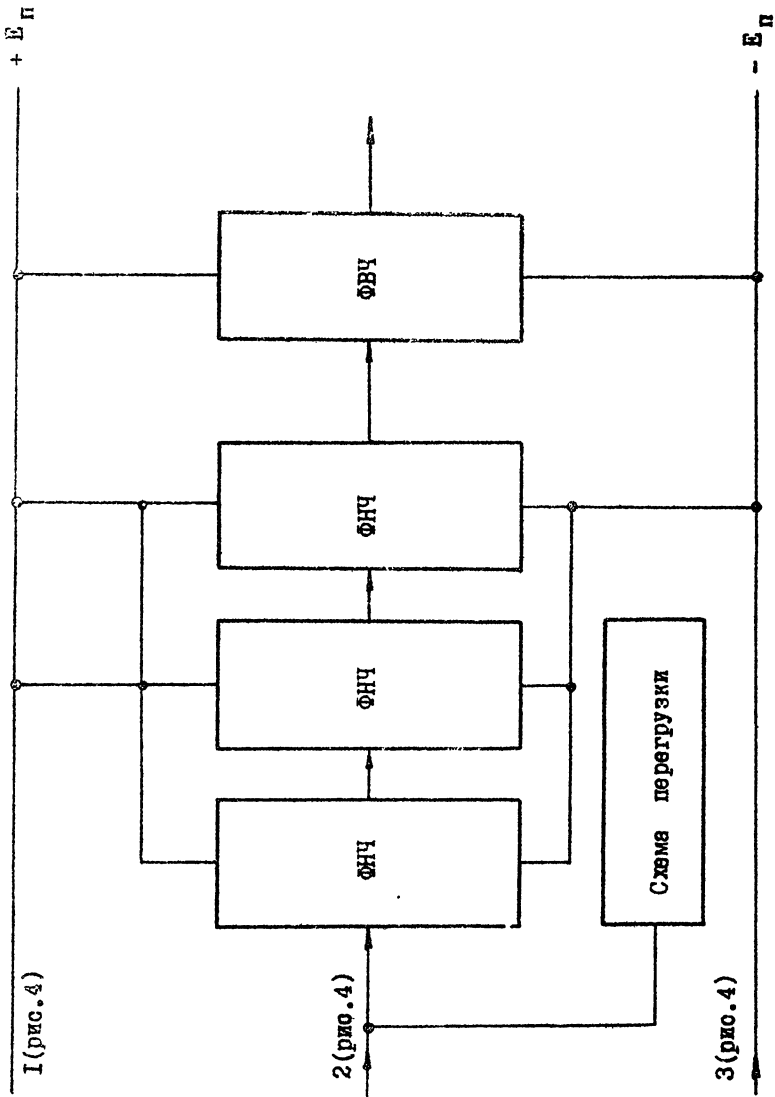
Рис. 3.

Управление коэффициентом усиления: $K_{нач} = 34$ дБ, $\Delta K = 12$ дБ, число уровней 5 - за счет подачи постоянного напряжения на входы УпрI, УпрII, УпрIII (рис. 4), амплитудой 0, -15 В.

При работе вблизи мощных радиостанций с использованием длинных линий типа "витой пары" без экрана (рис. 1 в) на выходе усилителя появляется помеха в виде НЧ огибающей передаваемого сигнала. Эта помеха - результат детектирования ВЧ сигнала (синфазного) на нелинейностях ОУ ДА1 и ДА2. С целью подавления помехи, на входе усилителя включен пассивный фильтр R_1, C_1, C_2 (рис. 4), позволяющий снизить уровень детектированного сигнала до собственных шумов усилителя.



Р и с. 4. Микросхемы DA_{1,2,4} - I40UD14A, DA_{3,5,6} - I40UD12; Транзисторы VT_{1,2} - КП303А, VT₃₋₅ - КП302АМ; Диоды VD_{1,2} - КС211К, VT₃₋₅ - К 409А



Р и с. 5.

Л и т е р а т у р а

1. Отт Г. Методы подавления шумов и помех в электронных системах / Перевод с англ. под ред. М.В.Гальперина. - М.: Мир, 1979. - 320с.
2. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника / Пер. с нем. под ред. А.Г.Алексенко. - М.: Мир, 1982. - 512 с.
3. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники. Т. 1 / Пер. с англ. под ред. М.В.Гальперина. - М.: Мир, 1983. - 600 с. .
4. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники. Т. 2 / Пер. с англ. под ред. М.В.Гальперина. - М.: Мир, 1983. - 592 с.
5. Гарет П. Аналоговые устройства для микропроцессоров и мини-ЭВМ/ Пер. с англ. под ред. М.В.Гальперина. - М.: Мир, 1981. - 270 с.

Дата поступления статьи
16 марта 1987 г.

Алексей Владимирович Ванягин
Михаил Вениаминович Одинцов
Вадим Иванович Пройдаков

ПОЛЕВОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ

Подписано к печати 18.03.87 г. МШ 00304. Формат 60x84 / 16.
Бумага множительная. Печать офсетная. Объем 0,63 усл. п.л.
Заказ 4553 . Тираж 120. Бесплатно.

Отпечатано на ротационте НИРФИ