

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

Кафедра радиотехнических систем

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к лабораторной работе

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВИДОВ МОДУЛЯЦИИ,
ПРИМЕНЯЕМЫХ В РТС ПИ**

по курсу «Радиотехнические системы передачи информации»
для студентов радиотехнических специальностей

Минск 2014

ЦЕЛИ РАБОТЫ

- закрепить теоретические знания, полученные студентами на лекциях и при самостоятельном изучении литературы;
- изучить схемы и взаимодействие функциональных узлов лабораторной установки;
- получить практические навыки при снятии и исследовании характеристик сигналов с импульсной модуляцией.

В многоканальных системах передачи информации широкое применение получили импульсные переносчики сообщений. Для импульсного переносчика возможны четыре вида модуляции: амплитудно-импульсная или высотно-импульсная (АИМ), фазо-импульсная или время-импульсная (ФИМ), широтно-импульсная или модуляция по длительности (ШИМ) и частотно-импульсная (ЧИМ) либо интервально-импульсная (ИИМ). При этом соответствующий параметр переносчика изменяется по закону изменения модулирующей функции.

АМПЛИТУДНО-ИМПУЛЬСНАЯ МОДУЛЯЦИЯ (АИМ)

Различают амплитудно-импульсную модуляцию первого рода (АИМ-1) и модуляцию второго рода (АИМ-2).

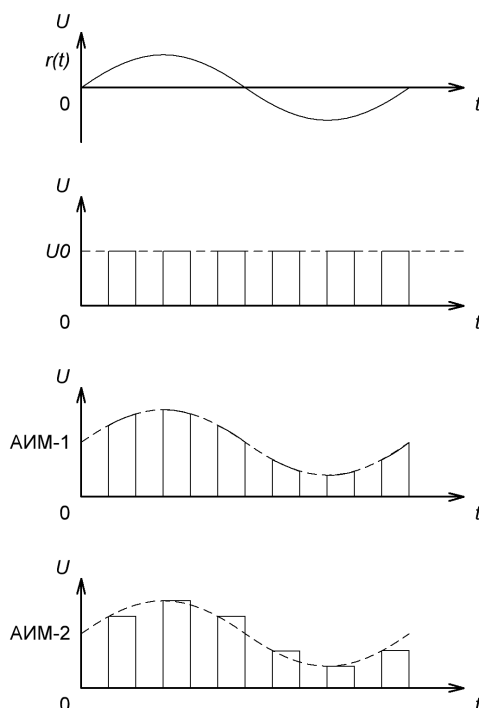


Рисунок 1 – Амплитудно-импульсная модуляция

При АИМ-1 амплитуда импульса следует изменением модулирующей функции в течение всего времени существования этого импульса (рисунок 1).

В случае АИМ-2 амплитудная модуляция импульсов определяется мгновенными значениями функции сообщения, взятыми в моменты

$$t_k = kT_c. \quad (1)$$

Амплитуда импульсов в этом случае пропорциональна мгновенному значению модулирующей функции в момент времени t_k и сохраняется постоянной во время импульса (рисунок 1). Если длительность импульсов $\tau_0 \ll T_c$, то различие между АИМ-1 и АИМ-2 становится несущественным.

Частоту повторения импульсов определяют исходя из допустимой точности восстановления непрерывного сообщения при его демодуляции.

Минимальное значение частоты повторения импульсов

$$f_{0\min} = \frac{1}{f_{0\max}} \geq 2f_v, \quad (2)$$

где f_v – максимальная частота в спектре передаваемого непрерывного сообщения $r(t)$.

Примерный вид спектра сигнала АИМ показан на рисунке 2.

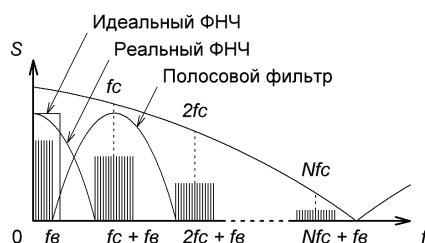


Рисунок 2 – Спектр сигнала при АИМ

Рассмотрение спектра сигнала АИМ позволяет пояснить соотношение (1), определяющее выбор частоты повторения импульсов. Значение $f_{0\min} = 2f_v$ определяет то минимальное значение частоты повторения, при котором не происходит наложения спектров соседних боковых полос. Характерной особенностью спектров сигналов импульсной модуляции является наличие около $f=0$ составляющих, соответствующих частотам передаваемых сообщений.

Это указывает на возможность демодуляции фильтром нижних частот, пропускающим на выход лишь составляющие с частотами от 0 до $2\pi f_v$ и отфильтровывающим все остальные. Имеется также возможность демодуляции сигнала АИМ с помощью полосовых фильтров, настроенных на частоту f_c , $2f_c$ и т. д. и имеющих полосу пропускания $2f_v$.

ШИРОТНАЯ ИМПУЛЬСНАЯ МОДУЛЯЦИЯ (ШИМ)

Различают два вида модуляции импульсов по ширине: двухстороннюю (ШИМ) и одностороннюю (ОШИМ) широтные модуляции (рисунок 3).

Широтная модуляция называется двухсторонней симметричной, если оба фронта импульсов сдвигаются на одинаковые временные интервалы, в противном случае ее называют двухсторонней несимметричной. В зависимости от того, каким образом устанавливается связь между моментом отсчета мгновенных значений модулирующей функции $r(t)$ и шириной импульса, различают широтную импульсную модуляцию первого рода (ШИМ-1) и второго рода (ШИМ-2).

В случае ШИМ-1 длительность импульсов определяется значениями модулирующей функции $r(t)$ в моменты возникновения переднего или заднего фронта импульсов (рисунок 3).

При ШИМ-2 длительность импульсов пропорциональна мгновенным значениям модулирующего напряжения в тактовых точках, т. е. при

$$t = T_c, 2T_c, \dots, kT_c. \quad (3)$$

Обычно применяется ОШИМ-1. При $\tau_0 \ll T_c$ различие между ШИМ-1 и ШИМ-2 несущественно.

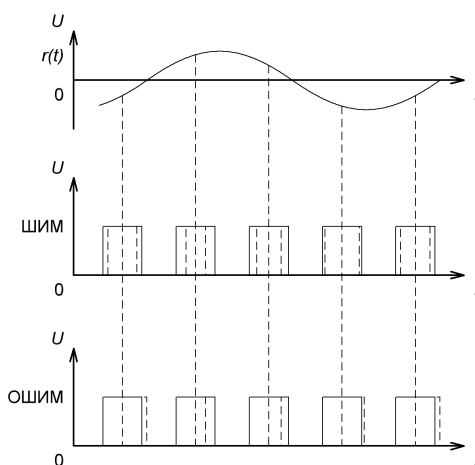


Рисунок 3 – Широтная импульсная модуляция

Коэффициент широтной модуляции импульсов определяется выражением

$$m_q = 2 \frac{\Delta \tau_{\max}}{\tau_0}; \quad (4)$$

для двухсторонней ШИМ

$$m_{\tau} = \frac{\Delta\tau_{\max}}{\tau_0}, \quad (5)$$

для ОШИМ

$$m_{\tau} = \frac{\Delta\tau_{\max}}{2\tau_0}, \quad (6)$$

где $\Delta\tau_{\max} = A \cdot r_{\max}$;

A – крутизна характеристики модулятора ШИМ;

r_{\max} – максимальное значение модулирующей функции.

Примерный вид спектра сигнала ШИМ показан на рисунке 4. Его рассмотрение показывает, что спектр сигнала ШИМ более сложен, чем спектр сигнала АИМ при том же законе модуляции.

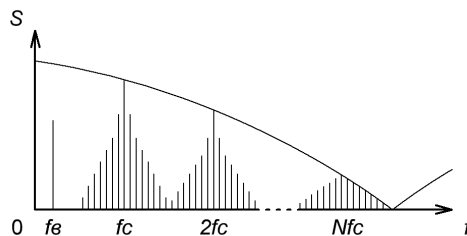


Рисунок 4 – Спектр сигнала при ШИМ

Помимо постоянной составляющей и полезной компоненты, отображающей сообщение, спектр ШИМ содержит бесконечное число гармоник частоты повторения kf_c , около которых имеется теоретически бесконечное множество боковых частот $kf_c \pm mf_b$, быстро убывающих при увеличении m . Таким образом, единственным и практически применимым способом демодуляции ШИМ является использование фильтра нижних частот, т. е. тем же методом, что и демодуляция АИМ. Однако при этом принципиально невозможно выделить полезное сообщение без искажений, так как в полосу пропускания ФНЧ непременно попадут спектральные компоненты с частотами

$$(kf_c - mf_b) < f_b. \quad (7)$$

При рациональном выборе параметров модуляции эти искажения можно сделать достаточно малыми.

ФАЗОВАЯ ИМПУЛЬСНАЯ МОДУЛЯЦИЯ (ФИМ)

При ФИМ сдвиг импульсов относительно тактовых точек kT_c изменяется по закону изменения модулирующей функции $r(t)$, отображающей передаваемую информацию (рисунок 5).

Положение импульса можно измерить относительно канальной точки. Канальная точка – это положение импульса на оси времени при отсутствии модулирующего сигнала, т. е. $r(t) = 0$.

Девиация импульса – это максимальное временное отклонение импульса от канальной точки.

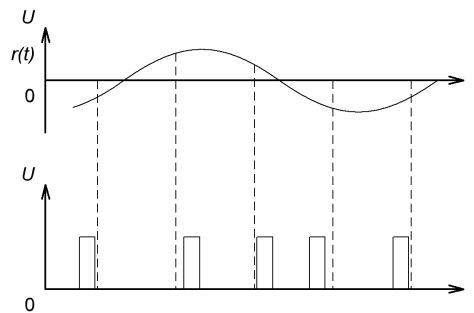


Рисунок 5 – Фазовая импульсная модуляция

При этом амплитуда и длительность импульсов не изменяется. На рисунке 6 приведен примерный вид спектра сигнала с ФИМ для случая, когда импульсы имеют прямоугольную форму, а модулирующая функция $r(t)$ – синусоидальная.

В спектре сигнала ФИМ, помимо постоянной составляющей и незначительной по амплитуде полезной компоненты f , имеется бесконечное множество гармоник с частотами kf_c , окруженных составляющими $nf_c \pm mf$, причем симметричные относительно nf_c компоненты нижних и верхних боковых полос имеют различные амплитуды.

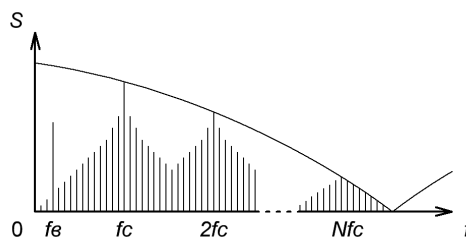


Рисунок 6 – Спектр сигнала при ФИМ

Демодуляция ФИМ с помощью ФНЧ возможна, однако при этом амплитуда полезной компоненты на выходе фильтра составляет 5-10%

от амплитуды при демодуляции АИМ и сопровождается значительными искажениями. Это объясняется следующими причинами.

При АИМ и ШИМ изменяется амплитуда или ширина импульса, что сопровождается соответствующим значительным изменением средней мощности передатчика, в результате в спектре модулированного сигнала создается достаточно интенсивная полезная компонента.

При ФИМ передаваемая Информация заложена в положении импульсов относительно тактовых точек, поскольку все импульсы имеют одинаковую форму, а их сдвиги при модуляции невелики, среднее значение последовательности с ФИМ меняется слабо и полезная компонента в ее спектре также мала.

Значительные по величине боковые составляющие, расположенные слева от f_c , приводят к искажениям демодуляции сигнала.

Указанные причины приводят к тому, что демодуляция ФИМ сигнала с помощью ФНЧ на практике не применяется.

Чтобы снизить искажение и увеличить уровень полезной составляющей на выходе демодулятора ФИМ предварительно преобразуют в какой-либо другой вид импульсной модуляции, допускающей более эффективную демодуляцию фильтром нижних частот.

Возможны следующие виды преобразования:

- ФИМ → ШИМ;
- ФИМ → АИМ;
- ФИМ → АФИМ (амплитудно-фазовая импульсная модуляция).

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИМПУЛЬСНЫХ ВИДОВ МОДУЛЯЦИИ

Различные виды модуляции, так же как и система передачи информации, могут быть охарактеризованы такими показателями, как эффективность и помехоустойчивость.

Для оценки эффективности вводятся коэффициенты, характеризующие использование основных параметров системы передачи информации: мощности сигнала, полосы частот, пропускной способности. Помехоустойчивость видов модуляции оценивается величиной среднего квадрата ошибки воспроизведения непрерывного сообщения или вероятностью ошибки приема дискретного сообщения в условиях действия помех.

Из рассмотренных видов модуляции наихудшими показателями по эффективности и помехоустойчивости обладает АИМ.

При идеальных параметрах и идеальном способе приема эффективность ФИМ, ШИМ, ЧИМ одинаковы и равны эффективности ЧМ. В реальных условиях (при неоптимальных параметрах) эффективность ФИМ и ШИМ несколько меньше, чем при ЧМ.

Помехоустойчивость системы передачи информации в целом

определяется совокупностью способов модуляции, примененных на первой (модуляция поднесущих) и на второй (модуляция несущей) ступенях.

Обычно на первой ступени применяются АИМ, ШИМ, ФИМ; на второй – АМ, ЧМ или ФМ. Способ модуляции АИМ-АМ практически не используется из-за низкой помехоустойчивости.

Широкое использование, особенно в радиотелеметрии, получил способ АИМ-ЧМ. Применение на первой ступени АИМ позволяет реализовать большее число каналов по сравнению с ФИМ, а применение ЧМ на второй ступени обеспечивает высокую помехоустойчивость.

Системы ШИМ-ЧМ несколько сложнее, чем АИМ-ЧМ и в меньшей степени подвержены влиянию частотных нестабильностей приемника и передатчика. Шумовые ошибки систем ШИМ-ЧМ и АИМ-ЧМ при эквивалентных условиях примерно одинаковы. Широкое применение для передачи телефонных телеметрических сообщений нашли системы с передачей по способу ФИМ-АМ, имеющие малые пороговые сигналы и, следовательно, малые флуктуационные ошибки.

Недостатком ФИМ является невозможность реализовать в системе большое количество каналов. Например, в радиорелейной связи число каналов в системах с ФИМ не превосходит 24...48.

Преимущество систем ФИМ-АМ перед системами ШИМ-АМ состоит в лучшем энергетическом использовании передатчика. Это объясняется тем, что при передаче по способу ШИМ-АМ информация содержится только в положениях фронтов импульсов и поэтому значительная часть энергии в пределах длительности импульса расходуется бесполезно.

Несмотря на относительную сложность аппаратуры систем с частотной и фазовой модуляцией на второй ступени их применение оказывается наиболее целесообразным для передачи сообщений на большие расстояния с высокой точностью.

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторная установка обеспечивает:

- формирование импульсно-модулированных последовательностей с различными видами модуляции – АИМ, ОШИМ, ШИМ, ФИМ, ФИМ/АИМ;
- имитацию воздействия аддитивного нормального шума на импульсно-модулированный сигнал;
- демодуляцию импульсно-модулированных последовательностей.

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА

Функциональная схема лабораторной установки приведена на рисунке 7.

На схеме приняты следующие обозначения:

- ИС – источник сообщения;
- ГП – генератор поднесущей;
- ГПН – генератор пилообразного напряжения;
- Сум – сумматор;
- ЖдМ – ждущий мультивибратор;
- Инт – интегратор;
- Огр – ограничитель;
- ФС – формирующая схема;
- ДЦ – дифференцирующая цепь;
- ГШ – генератор шума;
- Тг – триггер;
- ФНЧ – фильтр нижних частот;
- П – переключатель.

С помощью переключателя П1 «ВИД МОДУЛЯЦИИ» в схеме производится коммутации, обеспечивающие на передающей стороне тот или иной вид модуляции.

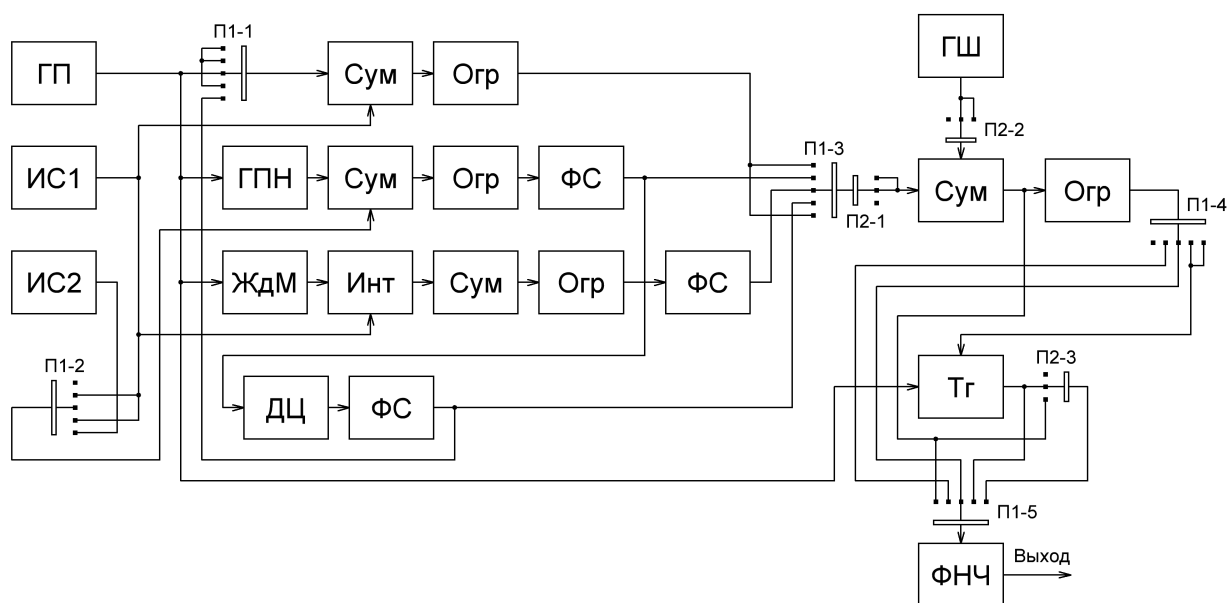


Рисунок 7 – Функциональная схема лабораторной установки

Примечание: на панели лабораторной установки односторонняя ШИМ обозначается как ШИМ-1, двухсторонняя – как ШИМ-2, АИМ/ФИМ – как ФИМ/АИМ. Одновременно подключается соответствующая схема демодулятора.

Переключатель П2 «ВХОДНЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ» обеспечивает передачу на демодулятор сигнала и шума либо одного лишь шума.

Переключатель П3 служит для поочередного подключения ФНЧ к выходам демодуляторов АИМ и ШИМ при модуляции ФИМ/АИМ.

Переключатель П4 «КОНТРОЛЬНЫЕ ТОЧКИ» служит для подключения осциллографа к соответствующим контрольным точкам лабораторной установки.

На рисунках 7, 9-13 приведены функциональные схемы линий передачи сообщений при различных видах модуляции. Цифры обозначают точки схемы, соответствующие контрольным точкам, коммутируемым переключателем П4.

Для модуляции поднесущей во всех режимах, за исключением ФИМ/АИМ, в качестве сообщения используется синусоидальное колебание, вырабатываемое генератором звуковой частоты (по схеме – ИС) и подключаемое к гнездам.

Принципиальная схема лабораторной установки показана на рисунках 14-18.

Генератор поднесущей ГП собран по схеме блокинг-генератора на транзисторе VT1 (рисунок 14).

Формируемая им импульсная последовательность имеет следующие параметры:

- частота повторения $F_c = 9,5$ кГц;
- длительность импульса $\tau_0 = 3$ мкс;
- амплитуда импульсов $U_m = 11$ В.

Модулятор АИМ. Формирование АИМ сигнала происходит путем суммирования поднесущей $U_c(t)$ с передаваемым сообщением $r(t)$ и последующего ограничения результирующего колебания снизу (рисунок 8). Суммирование $U_c(t)$ и $r(t)$ происходит на резисторах R17 и R18.

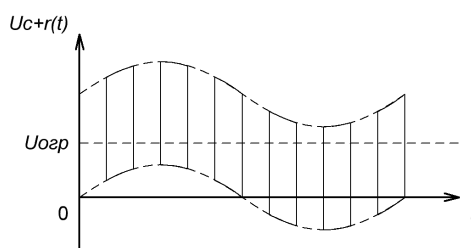


Рисунок 8 – Формирование АИМ сигнала

Ограничение результирующего напряжения производится с помощью диода VD6. Напряжение смещения диода снимается с делителя на резисторах R16-R18. Ждущий блокинг-генератор, собранный на транзисторе VT6, формирует импульсы поднесущей для суммирования их с сообщением. Запуск блокинг-генератора в режиме АИМ производится импульсами

поднесущей, в режиме ФИМ/АИМ импульсами ФИМ-сигнала.

Модулятор ОШИМ. Модуляция импульсов по ширине производится путем суммирования пилообразного напряжения (ПН) с передаваемым сообщением и последующего двустороннего ограничения. ГПН собран на транзисторах *VT7* и *VT8* (рисунок 15). Суммирование пилообразного напряжения с передаваемым сообщением производится на резисторе *R42*. Двустороннее ограничение суммарного сигнала выполняется с помощью *R33*, *VD9* и формируется триггером Шмидта.

Порог срабатывания триггера регулируется резистором *R34*. Каскады, собранные на транзисторах *VT11* и *VT12* обеспечивают усиление ОШИМ-сигнала.

Модулятор ФИМ. ФИМ сигнал получается путем дифференцирования импульсов ОШИМ на элементах *C18*, *R52*. В качестве формирующей схемы используется ждущий блокинг-генератор на транзисторе *VT13*.

Модулятор ШИМ. Формирование ШИМ-сигнала с двусторонней модуляцией осуществляется так же как и сигнала ОШИМ с той лишь разницей, что вместо одностороннего пилообразного напряжения используются двустороннее, имеющее вид равнобедренного треугольника. Двустороннее ПН получается путем интегрирования импульсов модулятора ШИМ, расширенных ждущим мультивибратором. Мультивибратор выполнен на транзисторах *VT14* и *VT15* (рисунок 16), интегрирующий усилитель собран на транзисторе *VT16*.

В качестве порогового устройства используется каскад на транзисторе *VT17*, работающем в режиме ключа. Переход ключа из одного состояния в другое происходит при достижении входным пилообразным напряжением порогового уровня. Величина порога регулируется переменным резистором *R60*. Полученный ШИМ-сигнал усиливается далее каскадами на транзисторах *VT17-VT19*.

Модулятор ФИМ/АИМ. Состоит из последовательно соединенных модуляторов ФИМ и АИМ, описанных выше.

Последовательность импульсов, модулированных по фазе, с выхода формирующего каскада (*VT13*) (рисунок 15) подается на запуск ждущего блокинг-генератора (*VT6*) (рисунок 14). Импульсы блокинг-генератора используются в качестве поднесущей в модуляторе АИМ.

Демодуляция импульсно-модулированных последовательностей производится демодуляторами АИМ, ШИМ и ФИМ.

Для имитации воздействия аддитивных помех на импульсно-модулированный сигнал последний на сумматоре складывается с шумовым напряжением генератора шума (ГШ). В качестве первичного источника используя стабилитрон *VD13* (рисунок 17), работающий в режиме лавинного пробоя. Шумовое напряжение, снимаемое с резистора *R88*, усиливается трехкаскадным усилителем на транзисторах *VT20-VT22*. Регулировка уровня шума производится переменным резистором *R89*.

Суммирование сигнала с шумом происходит на резисторе *R92*,

на который сигнал поступает с делителя $R103-R105$ через разделительную цепь $R102, C33$. Демодуляция АИМ-сигнала производится с помощью фильтра нижних частот ФНЧ, а также с помощью полосовых фильтров ПФ с последующим детектированием сигнала.

Сигнал на демодулятор АИМ поступает с выхода эмиттерного повторителя ($VT26$) (рисунок 18). Входным напряжением повторителя в зависимости от положения переключателя П2 «ВХОДНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ» может быть сигнал, шум, его сумма. Сообщение с выхода ФНЧ усиливается трехкаскадным усилителем на транзисторах $VT27-VT29$.

Демодуляция ШИМ-сигнала также производится с помощью ФНЧ.

Демодуляция ФИМ-сигнала выполняется путем преобразованием его в ШИМ-сигнал с последующей низкочастотной фильтрацией.

Преобразование реализуется триггером, собранным на транзисторах $VT2$ и $VT3$ (рисунок 14). На один из отдельных входов триггера подаются импульсы генератора поднесущей, на второй – ФИМ сигнал.

Для уменьшения влияния помех и изменений уровня принимаемого сигнала на результат демодуляции ШИМ и ФИМ последовательности предварительно ограничиваются.

Двухстороннее ограничение усиленного в каскаде $VT24$ (рисунок 17) напряжения производится с помощью диодов $VD14$ и $VD15$, включенных встречно. Порог ограничения устанавливается изменением напряжения смещения диодов с помощью потенциометра $R83$. Далее сигнал усиливается каскадом на транзисторе $VT25$.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Собрать схему измерений. Звуковой генератор (ЗГ) ГЗ-102 используется в качестве источника сообщения ИС1. Частоту ЗГ установить 2000 Гц и выходное напряжение ЗГ подать на гнезда «СИГНАЛ» на передней панели лабораторной установки.

2. Просмотреть и зарисовать осциллограммы напряжений в контрольных точках для всех видов модуляции. Качественно описать характер воздействия аддитивной помехи на импульсно модулированные сигналы при малых, средних и больших соотношениях сигнал/шум.

3. Представить результаты измерений и провести сравнение помехоустойчивости при различных видах импульсной модуляции.

4. Снять модуляционную характеристику модулятора АИМ $k_m = (U_{\max} - U_{\min}) / U_{\max}$ при допустимых нелинейных искажениях и построить график.

Частоту звукового генератора установить равной 1 кГц.

5. Выбрать значение U_{\max} в середине линейного участка характеристики и установить его на выходе задающего генератора (ЗГ).

6. Поддерживая $U_{\max} = \text{const}$, равное выбранному значению, определить частоту модуляции, при которой происходит искажение синусоидального напряжения на выходе УНЧ.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Цель работы.
2. Функциональная схема установки.
3. Осциллограммы напряжений в контрольных точках. Качественная характеристика воздействия аддитивных помех на импульсно-модулированные сигналы.
4. Результаты оценки помехоустойчивости различных видов импульсной модуляции. Сравнительная характеристика помехоустойчивости.
5. Результаты измерений области допустимых значений параметров модуляции.
6. Результаты выполнения пунктов 4-6.
7. Выводы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каковы принципы и техническая реализация модуляций импульсных последовательностей?
2. Охарактеризуйте спектральные свойства модулированных импульсных последовательностей.
3. Способы демодуляции, импульсно-модулированных сигналов.
4. Дайте сравнительную характеристику помехоустойчивости импульсных видов модуляции.
5. Какими показателями оценивается помехоустойчивость модуляции?
6. Достоинства и недостатки различных видов импульсной модуляции.
7. Какие фильтры НЧ применяются в РТС ПИ и ВРК. Преимущества и недостатки?
8. Какие требования предъявляются к модуляторам и демодуляторам РТС ПИ и ВРК.

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СХЕМЫ

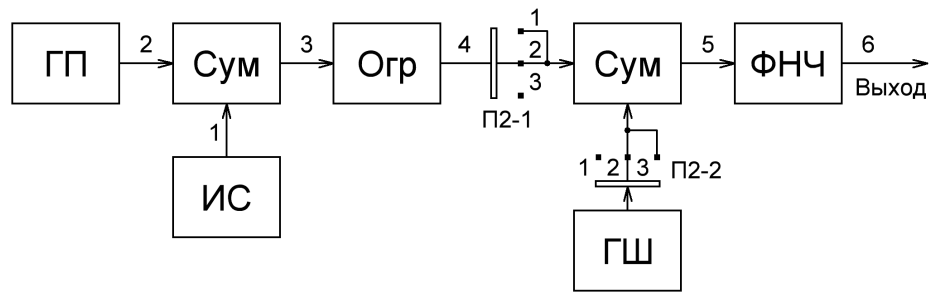


Рисунок 9 – Функциональная схема линии с АИМ

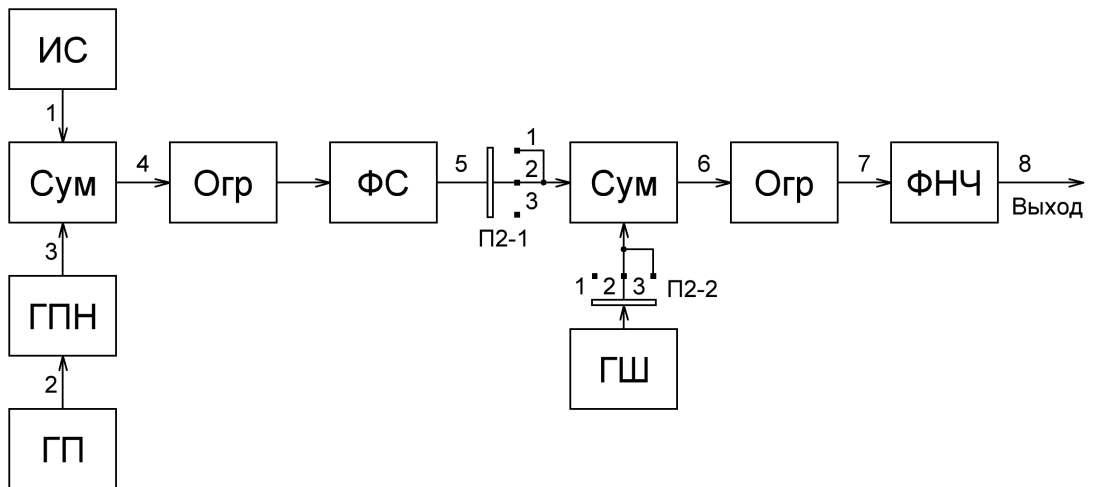


Рисунок 10 – Функциональная схема линии с ШИМ-1

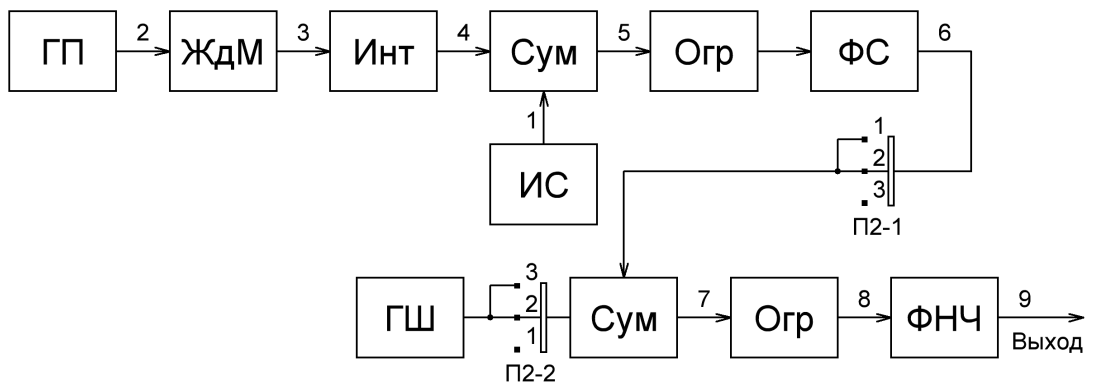


Рисунок 11 – Функциональная схема линии с ШИМ-2

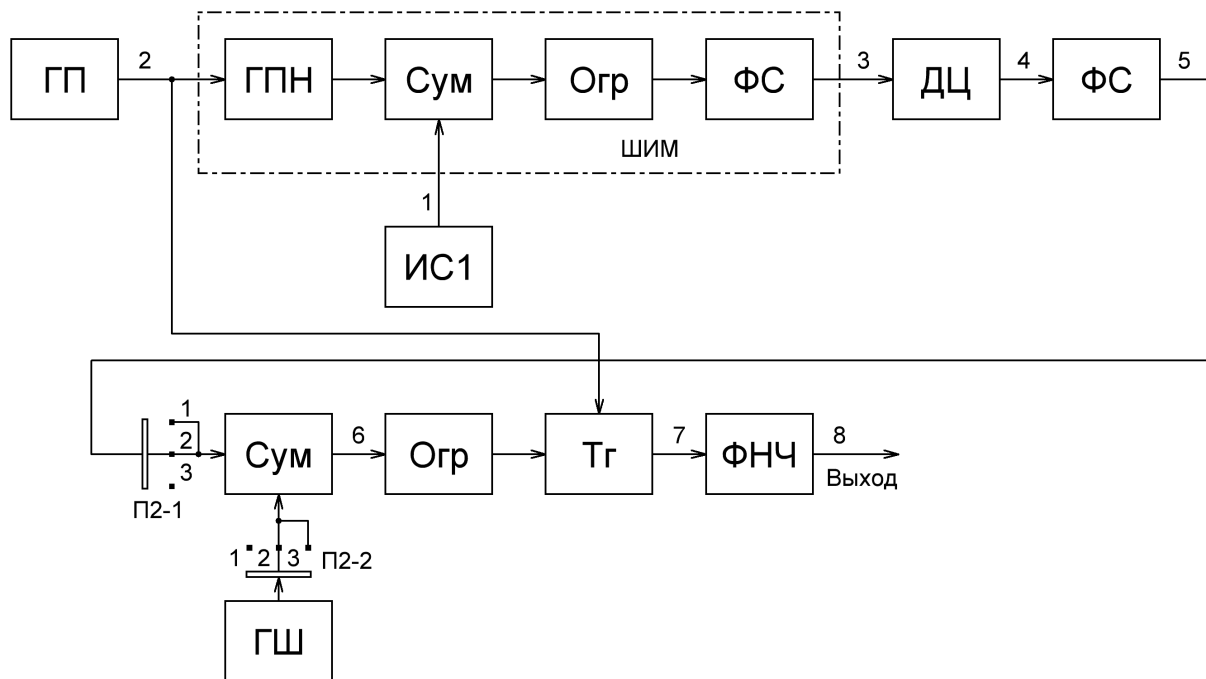


Рисунок 12 – Функциональная схема линии с ФИМ

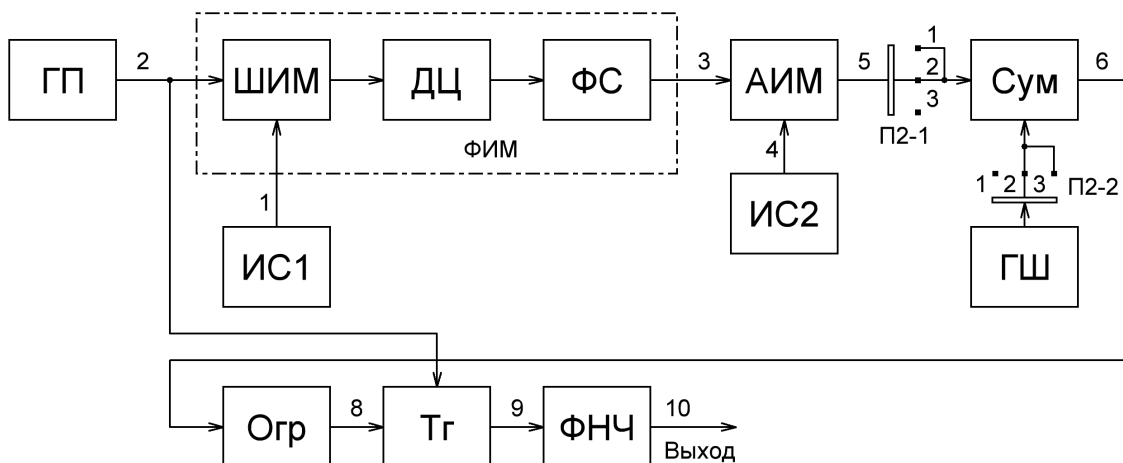


Рисунок 13 – Функциональная схема линии с ФИМ/АИМ

ПРИНЦИПАЛЬНЫЕ СХЕМЫ

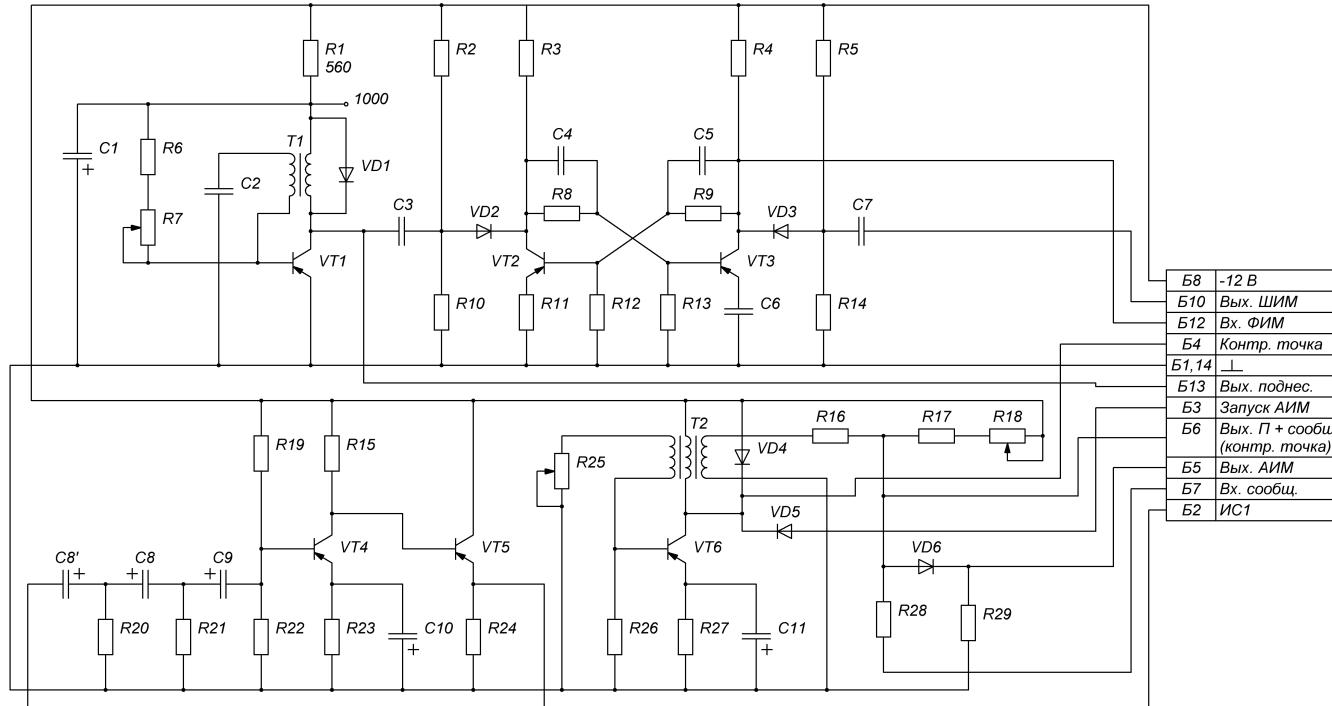


Рисунок 14 – Принципиальная схема блока модулятора АИМ

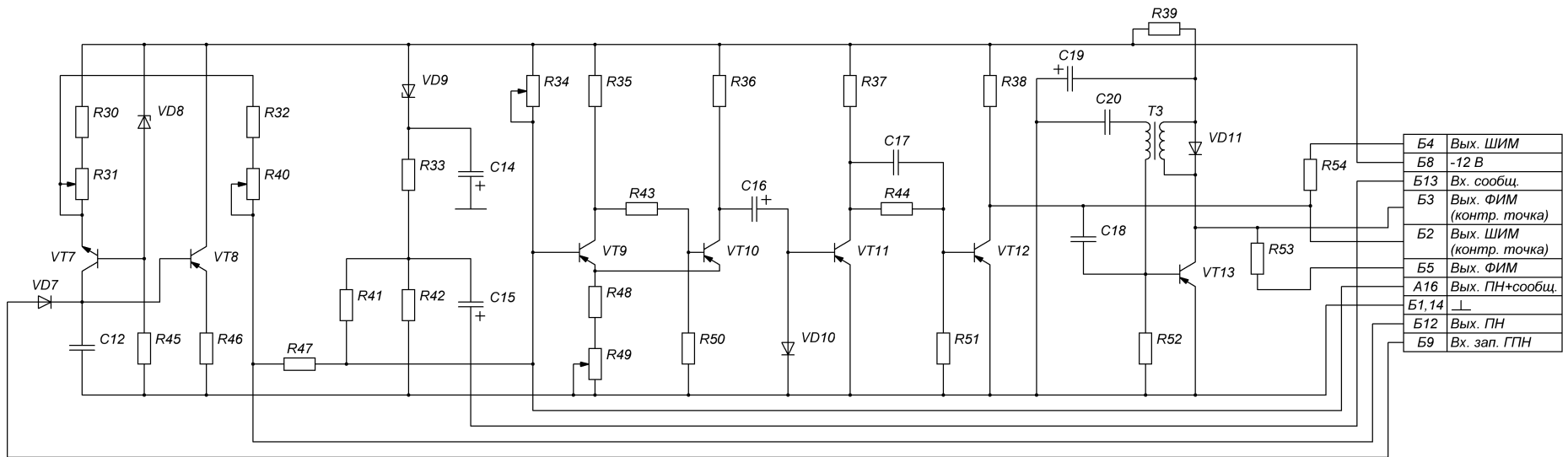


Рисунок 15 – Принципиальная схема блоков модуляторов ОШИМ и ФИМ

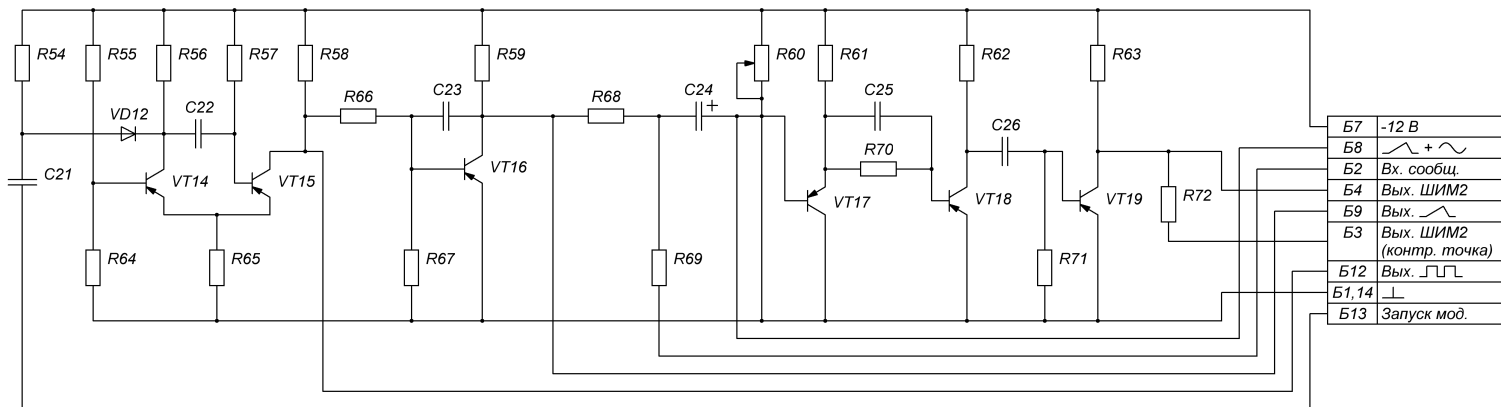
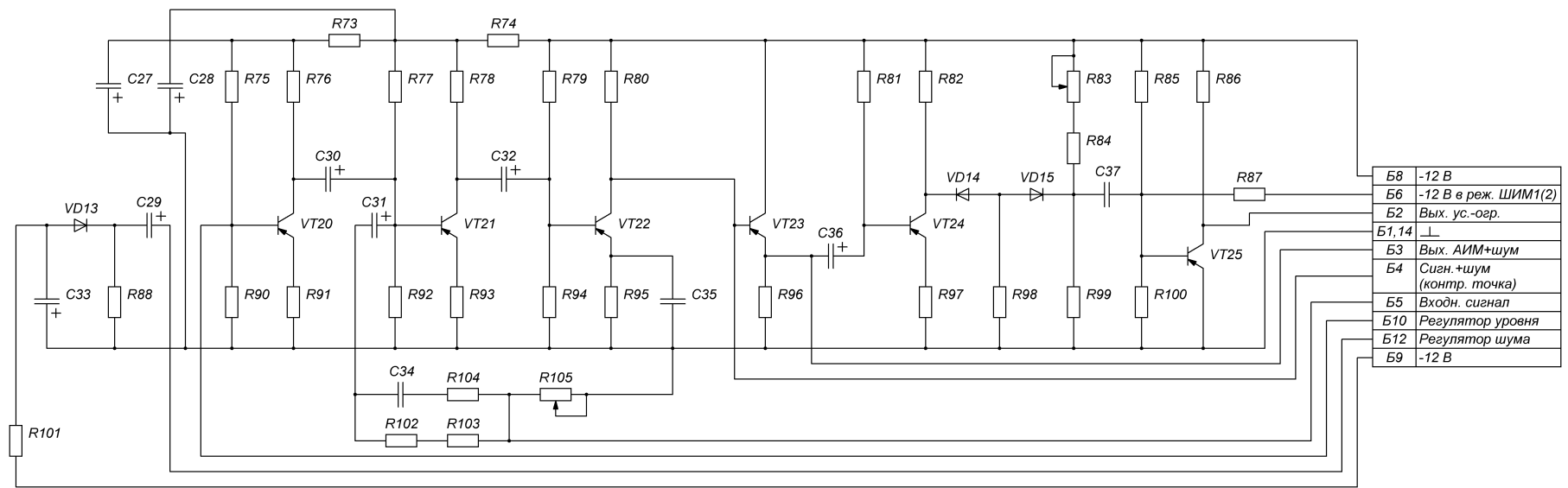


Рисунок 16 – Принципиальная схема блока модулятора ШИМ



| | |
|-------|--------------------------|
| Б8 | -12 В |
| Б6 | -12 В в реж. ШИМ1(2) |
| Б2 | Вых. ус.-огр. |
| Б1,14 | ┆ |
| Б3 | Вых. АИМ+шум |
| Б4 | Сигн.+шум (контр. точка) |
| Б5 | Входн. сигнал |
| Б10 | Регулятор уровня |
| Б12 | Регулятор шума |
| Б9 | -12 В |

Рисунок 17 – Принципиальная схема генератора шума

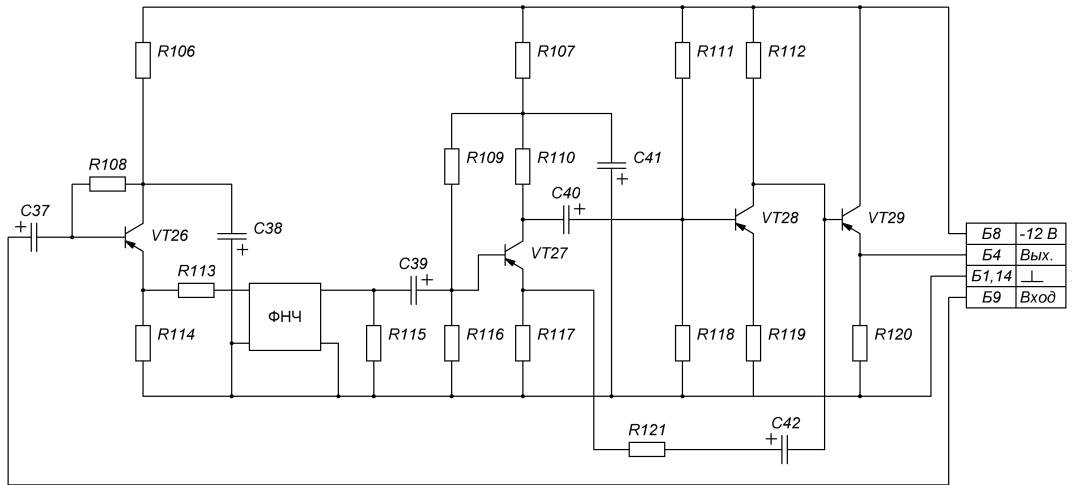


Рисунок 18 – Принципиальная схема блока демодуляции