

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
(ВлГУ)

Галас В.П.

**ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ АНАЛОГОВЫХ
И ИМПУЛЬСНЫХ СИГНАЛОВ**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к выполнению лабораторных работ для бакалавров
направления 220400 - *Управление в технических системах*

(Электронный ресурс)

Владимир 2012

УДК 681.32

Функциональные преобразователи аналоговых и импульсных сигналов. Методические указания к выполнению лабораторных работ для бакалавров направления 220400 - *Управление в технических системах* (Электронный ресурс) / Сост.: В.П. Галас, 2012. 36 с.

Приведены описания пяти лабораторных работ по дисциплинам «Технические средства автоматизации и управления», «Промышленная автоматика» в которых изучается современное оборудование систем автоматизированного управления. Работы выполнены с использованием лабораторных стендов НТЦ – 12.100 НТП «ЦЕНТР», позволяющих производить широкий спектр различных натурных испытаний.

Предназначены для бакалавров направления 220400 - Управление в технических системах дневной формы обучения.

Ил.: 22, Табл.: 11, Библиогр.: 3 назв.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

ИЗУЧЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ, ХАРАКТЕРИСТИК И ПРИНЦИПА РАБОТЫ СХЕМ СУММИРОВАНИЯ И ВЫЧИТАНИЯ АНАЛОГОВЫХ СИГНАЛОВ

Цель работы: Практическое знакомство с элементами схем суммирования и вычитания аналоговых сигналов на основе операционных усилителей, изучение их принципа работы и исследование основных характеристик.

Аппаратура: учебный лабораторный стенд НТЦ – 12.100

Общие сведения

Аналоговая обработка сигналов — любая обработка, производящаяся над аналоговыми сигналами аналоговыми средствами. В более узком смысле — математический алгоритм, обрабатывающий сигнал, представленный аналоговой электроникой, в котором математические значения представлены непрерывными физическими величинами, например, напряжением, электрическим током или электрическим зарядом. Небольшая ошибка или шум в сигнале будет представлен в результирующей ошибке обработанного сигнала.

Аналоговая обработка сигнала включает в себя все базовые математические операции: сложение, вычитание, умножение, деление.

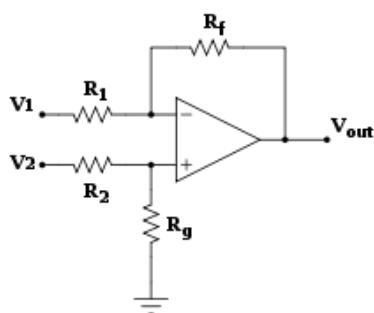
Также аналоговая обработка позволяет выполнять и более сложные операции, такие как: интегрирование, дифференцирование, фильтрация и др.

Аналоговая обработка сигнала любой сложности может осуществляться комбинацией трех основных электро-радио элементов: операционный усилитель (транзистор), резистор, конденсатор.

Операционный усилитель (ОУ, OpAmp) — усилитель постоянного тока с дифференциальным входом и, как правило, единственным выходом, имеющий высокий коэффициент усиления. ОУ почти всегда используются в схемах с глубокой отрицательной обратной связью, которая, благодаря высокому коэффициенту усиления ОУ, полностью определяет коэффициент передачи полученной схемы.

В настоящее время ОУ получили широкое применение как в виде отдельных чипов, так и в виде функциональных блоков в составе более сложных интегральных схем. Такая популярность обусловлена тем, что ОУ является универсальным блоком с характеристиками, близкими к идеальным, на основе которого можно построить множество различных электронных узлов.

Дифференциальный усилитель (вычитатель)



Данная схема предназначена для получения разности двух напряжений, при этом каждое из них предварительно умножается на некоторую константу (константы определяются резисторами).

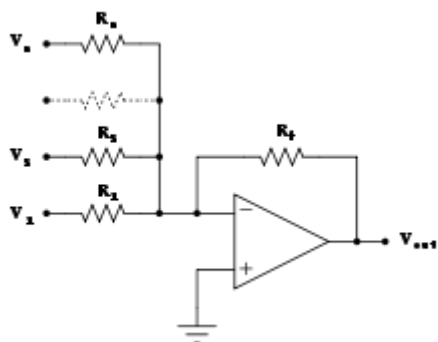
$$V_{\text{out}} = V_2 \left(\frac{(R_f + R_1) R_g}{(R_g + R_2) R_1} \right) - V_1 \left(\frac{R_f}{R_1} \right)$$

- Входное сопротивление (между входными выводами) равно $Z_{\text{in}} = R_1 + R_2$

В случае, когда $R_1 = R_2$ и $R_f = R_g$, имеем:

$$V_{\text{out}} = \frac{R_f}{R_1} (V_2 - V_1)$$

Инвертирующий суммирующий усилитель (инвертирующий сумматор)



Суммирует (с весом) несколько напряжений. Сумма на выходе инвертирована, то есть все веса отрицательны.

$$V_{out} = -R_f \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \dots + \frac{V_n}{R_n} \right)$$

Если $R_1 = R_2 = \dots = R_n$, то

$$V_{out} = - \left(\frac{R_f}{R_1} \right) (V_1 + V_2 + \dots + V_n)$$

Если $R_1 = R_2 = \dots = R_n = R_f$, то

$$V_{out} = -(V_1 + V_2 + \dots + V_n)$$

Выход инвертирован. Входной импеданс n -го входа равен $Z_n = R_n$ (Поскольку V_- является виртуальной землей)

Порядок выполнения работы:

1. Собрать схему, как показано на рисунке 1.

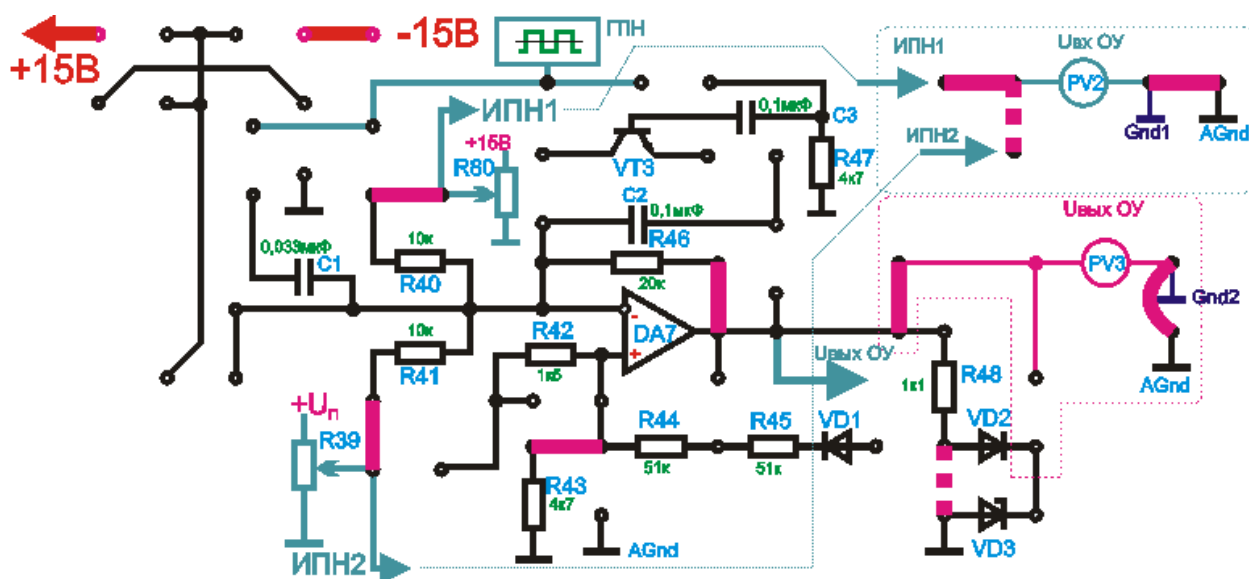


Рисунок 1 – Схема сумматора

2. Убедиться, что схема собрана правильно и на панели стенда присутствуют только необходимые для проведения данного опыта переключки, тумблеры SA2, SA3, SA5, SA6, SA7, SA8, SA22, SA23, SA25, SA70 находятся в нижнем положении («Выключено»). Регуляторы R21, R22 установить в крайнее левое положение. Если необходимо использовать измерительные приборы на панели стенда, тумблеры SA10, SA11 установить в положение «Измерение».

3. Включить питание стенда (три автоматических выключателя «Сеть»).

4. Произвести действия в соответствии с рабочим заданием (см. ниже).

5. Выключить питание (три автоматических выключателя «Сеть») и разобрать схему.

6. Собрать схему, как показано на рисунке 2.

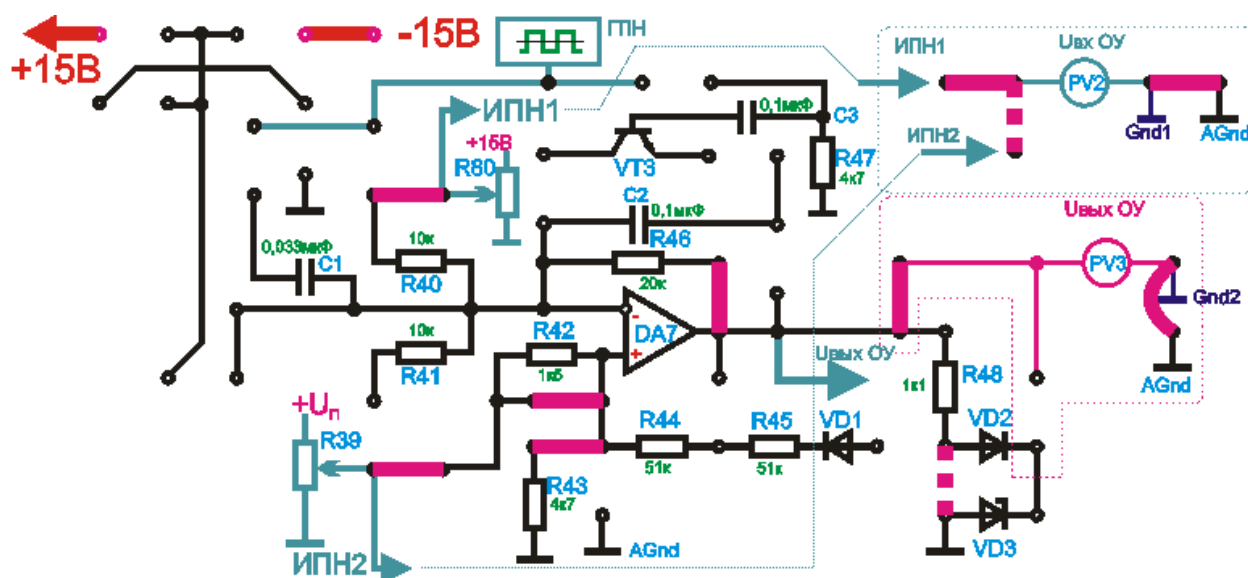


Рисунок 2 – Схема вычитания

7. Убедиться, что схема собрана правильно и на панели стенда присутствуют только необходимые для проведения данного опыта переключки, тумблеры SA2, SA3, SA5, SA6, SA7, SA8, SA22, SA23, SA25, SA70 находятся в нижнем положении («Выключено»). Регуляторы R21, R22 установить в крайнее левое положение. Если необходимо использовать измерительные приборы на панели стенда, тумблеры SA10, SA11 установить в положение «Измерение».

8. Включить питание стенда (три автоматических выключателя «Сеть»).

9. Произвести действия в соответствии с рабочим заданием (см. ниже).
10. Выключить питание (три автоматических выключателя «Сеть»).
11. Разобрать схему.

Рабочее задание

4. Установить в схеме сумматора (Рисунок 1) минимальное значение U_1 (ИПН1) с помощью регулятора R80.

5. Плавно изменяя от минимума до максимума напряжение U_2 (ИПН2) с помощью регулятора R39, снять несколько точек зависимости $U_{\text{вых.ОУ}}=f(U_2)|U_1=\text{const}$. Данные занести в таблицу 1.

6. Повторить предыдущий пункт для разных значений U_1 . Данные занести в таблицу 1.

Таблица 1

N	Измерено		
	$U_1, \text{В}$	$U_2, \text{В}$	$U_{\text{вых.ОУ}}, \text{В}$
1			
2			
3			
4			
...			

11. Установить в схеме вычитания (Рисунок 2) минимальное значение U_1 (ИПН1) с помощью регулятора R80.

12. Плавно изменяя от минимума до максимума напряжение U_2 (ИПН2) с помощью регулятора R39, снять несколько точек зависимости $U_{\text{вых.ОУ}}=f(U_2)|U_1=\text{const}$. Занести данные в таблицу 2.

13. Повторить предыдущий пункт для разных значений U_1 . Данные занести в таблицу 2.

Таблица 2

N	Измерено		
	$U_1, \text{В}$	$U_2, \text{В}$	$U_{\text{вых.ОУ}}, \text{В}$
1			
2			
3			
4			
..			
.			

Вопросы для самопроверки

1. Что понимают под аналоговой обработкой сигналов?
2. Какое устройство обозначают аббревиатурой ОУ, каково основное его назначение?
3. В чем основное схемное различие между дифференцирующим и суммирующим ОУ?
4. Что понимают под входным импедансом ОУ?
5. Как осуществляется суммирование аналоговых сигналов с помощью ОУ?

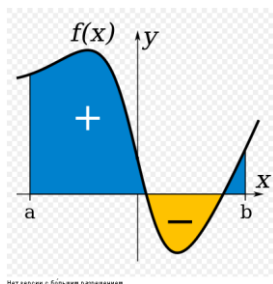
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2 ИЗУЧЕНИЕ ПРИНЦИПА РАБОТЫ, ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ И ХАРАКТЕРИСТИК СХЕМ ИНТЕГРИРОВАНИЯ И ДИФФЕРЕНЦИРОВАНИЯ АНАЛОГОВЫХ СИГНАЛОВ

Цель работы: Практическое знакомство с элементами схем интегрирования и дифференцирования аналоговых сигналов на основе операционных усилителей, изучение их принципа работы и исследование основных характеристик.

Аппаратура: учебный лабораторный стенд НТЦ – 12.100

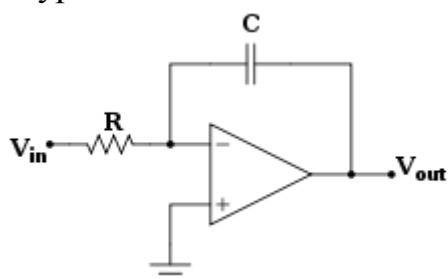
Общие сведения

Интеграл функции — аналог суммы последовательности. Неформально говоря, (определённый) интеграл является площадью части графика функции (в пределах интегрирования), то есть площадью криволинейной трапеции.



Процесс нахождения интеграла называется **интегрированием**.

Согласно основной теореме анализа, интегрирование является операцией, обратной дифференцированию, чем помогает решать дифференциальные уравнения.



Интегратор на операционном усилителе интегрирует (инвертированный) входной сигнал по времени.

$$V_{\text{out}} = \int_0^t -\frac{V_{\text{in}}}{RC} dt + V_{\text{initial}},$$

где V_{in} и V_{out} — функции времени, V_{initial} — выходное напряжение интегратора в момент времени $t = 0$.

Данный четырехполюсник можно также рассматривать как фильтр нижних частот.

Некоторые потенциальные проблемы:

- Обычно предполагается, что у входного напряжения V_{in} отсутствует постоянная компонента (т.е. усреднение V_{in} по времени даёт ноль). В противном случае выходное напряжение будет дрейфовать, со временем выходя за пределы рабочего диапазона напряжений, если конденсатор не подвергать периодической разрядке.

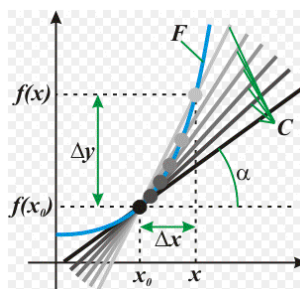
- Даже если V_{in} не смещено, токи смещения и утечки на входах операционного усилителя могут создать нежелательную постоянную добавку к V_{in} и, таким образом, привести к дрейфу выходного напряжения. Дрейф можно уменьшить путём балансировки входных токов и введением резистора сопротивлением R в цепь заземления неинвертирующего входа.

- Поскольку в этой схеме отсутствует обратная связь по постоянному току (конденсатор не пропускает ток с нулевой частотой), смещение выхода может оказаться любым, т.е. конструктор не может управлять напряжением V_{initial} .

Эти проблемы можно частично решить введением резистора с большим сопротивлением R_F , шунтирующего конденсатор. На достаточно высоких частотах $f \gg 1/R_F C$ влияние этого сопротивления пренебрежимо мало; при этом на низких частотах, где существенны проблемы ненулевого смещения и дрейфа, резистор обеспечивает необходимую обратную связь по постоянному току. Он снижает усиление интегратора по постоянному току от, формально говоря, бесконечности до конечного значения R_F/R .

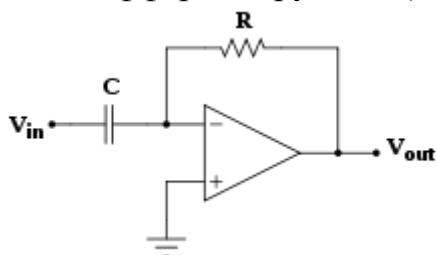
Дифференциатор

Производная (функции в точке) — основное понятие дифференциального исчисления, характеризующее скорость изменения функции (в данной точке). Определяется как предел отношения приращения функции к приращению ее аргумента при стремлении приращения аргумента к ну-



лю, если такой предел существует.

Функцию, имеющую конечную производную (в некоторой точке), называют дифференцируемой (в данной точке).



Дифференциальный усилитель дифференцирует (инвертированный) входной сигнал по времени.

$$V_{\text{out}} = -RC \left(\frac{dV_{\text{in}}}{dt} \right)$$

где V_{in} и V_{out} — функции времени.

Данный четырехполюсник можно также рассматривать как фильтр высоких частот.

Порядок выполнения работы:

Собрать схему, как показано на рисунке 1.

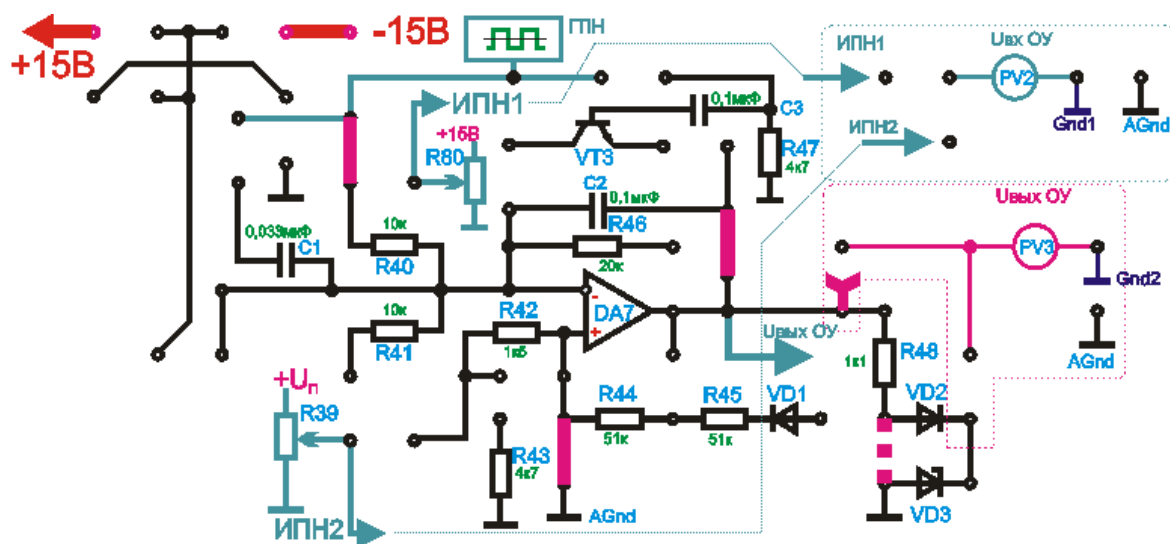


Рисунок 1 – Схема интегратора

2. Убедиться, что схема собрана правильно и на панели стенда присутствуют только необходимые для проведения данного опыта переключки, тумблеры SA2, SA3, SA5, SA6, SA7, SA8, SA22, SA23, SA25, SA70 находятся в нижнем положении («Выключено»). Регуляторы R21, R22 установить в крайнее левое положение. Если необходимо использовать измерительные приборы на панели стенда, тумблеры SA10, SA11 установить в положение «Измерение».

3. Включить питание стенда (три автоматических выключателя «Сеть»).

4. Произвести действия в соответствии с рабочим заданием (см. ниже).

5. Выключить питание (три автоматических выключателя «Сеть») и разобрать схему.

6. Собрать схему, как показано на рисунке 2.

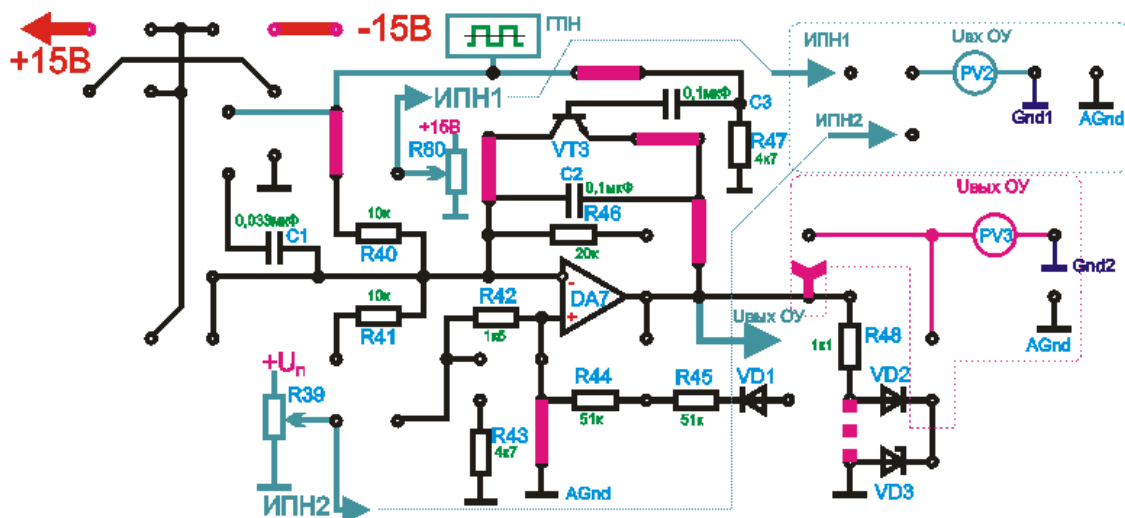


Рисунок 2 – Схема интегратора со сбросом

7. Убедиться, что схема собрана правильно и на панели стенда присутствуют только необходимые для проведения данного опыта перемычки, тумблеры SA2, SA3, SA5, SA6, SA7, SA8, SA22, SA23, SA25, SA70 находятся в нижнем положении («Выключено»). Регуляторы R21, R22 установить в крайнее левое положение. Если необходимо использовать измерительные приборы на панели стенда, тумблеры SA10, SA11 установить в положение «Измерение».

8. Произвести действия в соответствии с рабочим заданием (см. ниже).

9. Выключить питание (три автоматических выключателя «Сеть») и разобрать схему.

Рабочее задание

- Исследовать с помощью осциллографа схему интегратора (Рисунок 1) сигнал генератора прямоугольного напряжения (ГПН), поступающий на вход схемы (частота f , амплитуда A , скважность S , смещение U_0 , постоянная времени τ). Данные занести в таблицу 3.
- Исследовать с помощью осциллографа сигнал $U_{\text{вых.ОУ}}$ на выходе схемы (частота f , амплитуда A , скважность S , смещение U_0 , постоянная времени τ). Данные занести в таблицу 3.

Таблица 3

	Измерено				
	f, Гц	A, с	S	U ₀ , В	τ , с
ГПН					
U _{вых.ОУ}					

6. Исследовать с помощью осциллографа схему интегратора (Рисунок 2) сигнал генератора прямоугольного напряжения (частота f , амплитуда A , скважность S , смещение U_0 , постоянная времени τ). Данные занести в таблицу 4.
7. Исследовать с помощью осциллографа сигнал $U_{\text{вых.ОУ}}$ на выходе схемы (частота f , амплитуда A , скважность S , смещение U_0 , постоянная времени τ). Данные занести в таблицу 4.

Таблица 4

	Измерено				
	f, Гц	A, с	S	U ₀ , В	τ , с
ГПН					
U _{вых.ОУ}					

Вопросы для самопроверки

1. Какова физическая суть процесса интегрирования аналогового сигнала?
2. Каким образом процесс интегрирования аналогового сигнала реализуется в операционном усилителе?
3. В чем заключаются потенциальные проблемы интегрирования и как они решаются?
4. Какова физическая суть процесса дифференцирования аналогового сигнала?
5. Каким образом процесс получения производной аналогового сигнала реализуется в операционном усилителе?
6. Как с помощью осциллографа измерить скважность импульсного сигнала?
7. Как с помощью осциллографа определить постоянную времени импульсного сигнала?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

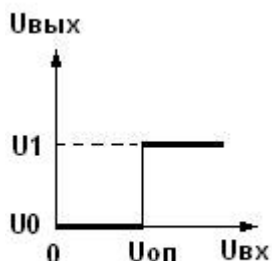
ИЗУЧЕНИЕ ПРИНЦИПА РАБОТЫ, ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ И ХАРАКТЕРИСТИК СХЕМ КОМПАРАТОРОВ АНАЛОГОВЫХ СИГНАЛОВ

Цель работы: Практическое знакомство с элементами схем компараторов аналоговых сигналов на основе операционных усилителей, изучение их принципа работы и исследование основных характеристик.

Аппаратура: учебный лабораторный стенд НТЦ – 12.100

Общие сведения

Компаратор (аналоговых сигналов) (англ. comparator — сравнивающее устройство) — электронная схема, принимающая на свои входы два аналоговых сигнала и выдающая логическую «1», если сигнал на прямом входе («+») больше чем на инверсном входе («-»), и логический «0», если сигнал на прямом входе меньше, чем на инверсном входе.



Простейший компаратор представляет собой дифференциальный усилитель. Компаратор отличается от линейного операционного усилителя (ОУ) устройством и входного, и выходного каскадов:

- Входной каскад компаратора должен выдерживать широкий диапазон входных напряжений между инвертирующим и неинвертирующим входами, вплоть до размаха питающих напряжений, и быстро восстанавливаться при изменении знака этого напряжения. В ОУ, охваченном обратной связью, это требование не критично, так как дифференциальное входное напряжение измеряется милливольтами и микровольтами.
- Выходной каскад компаратора выполняется совместимым по уровням и токам с конкретным типом логических схем (ТТЛ, ЭСЛ

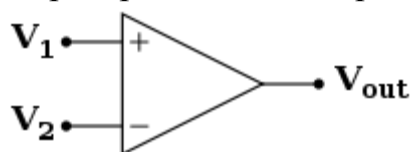
и т. п.). Возможны выходные каскады на одиночном транзисторе с открытым коллектором (совместимость с ТТЛ и КМОП логикой).

При подаче эталонного напряжения на инвертирующий вход, входной сигнал подаётся на неинвертирующий вход и компаратор является неинвертирующим (повторителем, буфером).

При подаче эталонного напряжения на неинвертирующий вход, входной сигнал подаётся на инвертирующий вход и компаратор является инвертирующим (инвертором).

Несколько реже применяются компараторы на основе логических элементов, охваченных обратной связью (см., например, триггер Шмитта — не компаратор по своей природе, но устройство с очень схожей областью применения).

При математическом моделировании компаратора возникает проблема выходного напряжения компаратора при одинаковых напряжениях на обоих входах компаратора. В этой точке компаратор находится в состоянии неустойчивого равновесия. Проблему можно решить, если принять доопределение, что, в точке неустойчивого равновесия выходное напряжение компаратора остаётся в предыдущем состоянии.



Компаратор сравнивает два напряжения и выдает на выходе одно из двух состояний в зависимости от того, какое из входных напряжений больше.

$$V_{\text{out}} = \begin{cases} V_{S+} & V_1 > V_2 \\ V_{S-} & V_1 < V_2 \end{cases}$$

V_{S+} — положительное напряжение питания;

V_{S-} — отрицательное напряжение питания.

Компараторы с двумя и более напряжениями сравнения строятся на двух и более дифференциальных усилителях.

Компараторы, построенные на двух дифференциальных усилителях, можно условно разделить на двухвходовые и трёхвходовые. Двухвходовые компараторы применяются в тех случаях, когда сигнал изменяется достаточно быстро (не вызывает дребезга), и на выходе генерируют один из потенциалов, которыми запитаны операционные усилители (как правило — +5В или 0).

Трёхвходовые компараторы имеют более широкую область применения и обладают двумя опорными потенциалами, за счёт чего их вольт-амперная характеристика может представлять собой прямоугольную петлю гистерезиса.

Входной каскад параллельных АЦП прямого преобразования является многоуровневым компаратором. В нём применяются $2^n - 1$ напряжений сравнения, где n — количество битов выходного кода.

Пример широко известных промышленных компараторов: LM311 (российский аналог — КР554СА3), LM339 (российский аналог — К1401СА1). Эта микросхема часто встречается, в частности, на системных платах ЭВМ, а также в системах управления ШИМ контроллеров в блоках преобразования напряжения

Порядок выполнения работы:

1. Собрать схему, как показано на рисунке 1.

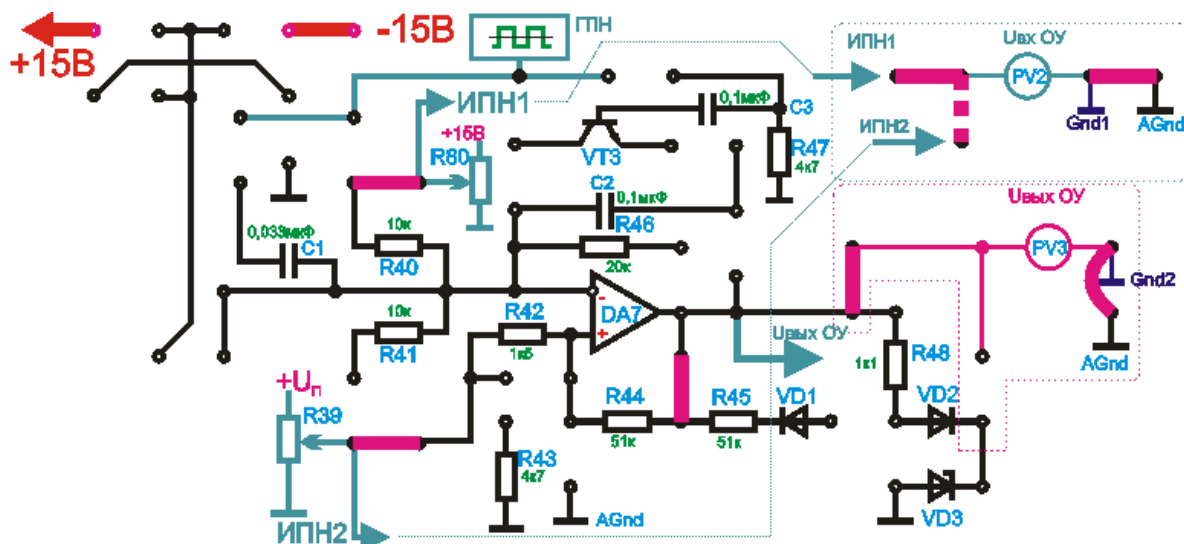


Рисунок 1 – Схема компаратора

2. Убедиться, что схема собрана правильно и на панели стенда присутствуют только необходимые для проведения данного опыта переключки, тумблеры SA2, SA3, SA5, SA6, SA7, SA8, SA22, SA23, SA25, SA70 находятся в нижнем положении («Выключено»). Регуляторы R21, R22 установить в крайнее левое положение. Если необходимо использовать измерительные приборы на панели стенда, тумблеры SA10, SA11 установить в положение «Измерение».

3. Включить питание стенда (три автоматических выключателя «Сеть»).
4. Установить минимальное значение $U_{оп}$ (ИПН2) с помощью регулятора R39.
5. Произвести действия в соответствии с рабочим заданием (см. ниже).
6. Выключить питание (три автоматических выключателя «Сеть») и разобрать схему.
7. Собрать схему, как показано на рисунке 2.

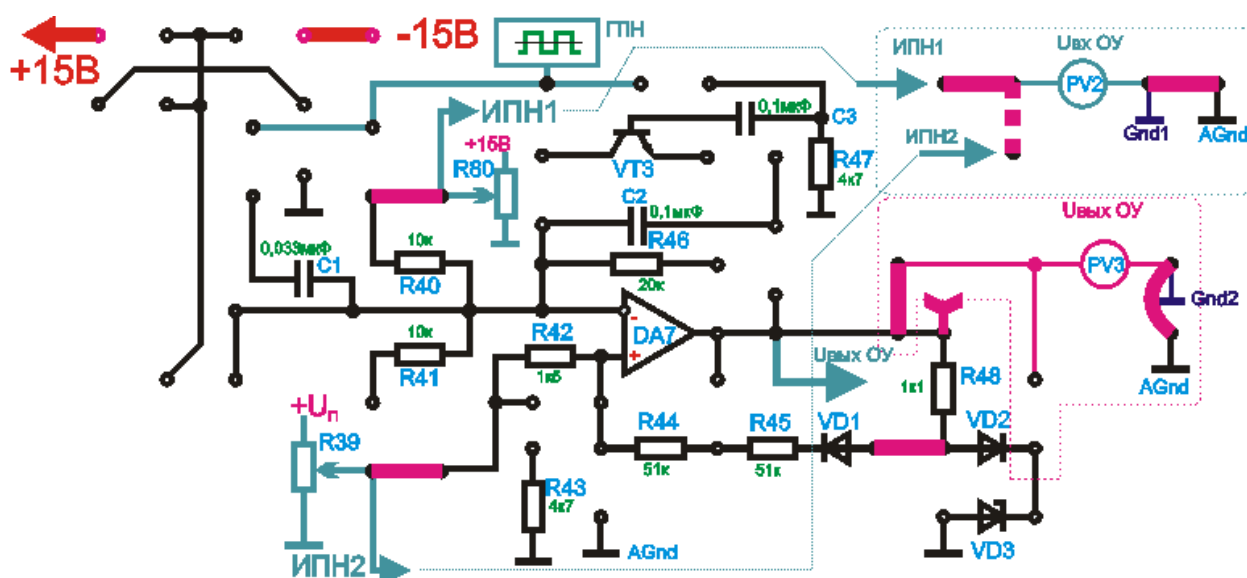


Рисунок 2 - Схема компаратора с гистерезисом

8. Убедиться, что схема собрана правильно и на панели стенда присутствуют только необходимые для проведения данного опыта переключки, тумблеры SA2, SA3, SA5, SA6, SA7, SA8, SA22, SA23, SA25, SA70 находятся в нижнем положении («Выключено»). Регуляторы R21, R22 установить в крайнее левое положение. Если необходимо использовать измерительные приборы на панели стенда, тумблеры SA10, SA11 установить в положение «Измерение».

9. Включить питание стенда (три автоматических выключателя «Сеть»).

10. Установить минимальное значение $U_{оп}$ (ИПН2) с помощью регулятора R39.

11. Произвести действия в соответствии с рабочим заданием (см. ниже).

12. Выключить питание (три автоматических выключателя «Сеть») и разобрать схему.

Рабочее задание

1. В схеме компаратора (Рисунок 1) плавно изменяя от минимума до максимума напряжение $U_{вх}$ (ИПН1) с помощью регулятора R80, зафиксировать напряжения на входах и выходах компаратора, соответствующие моментам его переключения. Занести данные в таблицу 1.

2. Повторить предыдущий пункт для разных значений $U_{оп}$. Занести данные в таблицу 1.

Таблица 1

N	Измерено				
	$U_{оп}$, В	$U_{ср}$, В	$U_{отп}$, В	$U_{вых(0)}$, В	$U_{вых(1)}$, В
1					
2					
3					
...					

3. В схеме компаратора с гистерезисом (Рисунок 2) плавно изменяя от минимума до максимума напряжение $U_{вх}$ (ИПН1) с помощью регулятора R80, зафиксировать напряжения на входах и выходах компаратора, соответствующие моментам его переключения. Занести данные в таблицу 2.

4. Повторить предыдущий пункт для разных значений $U_{оп}$. Занести данные в таблицу 2.

Таблица 2

N	Измерено				
	$U_{оп}, В$	$U_{ср}, В$	$U_{отп}, В$	$U_{вых(0)}, В$	$U_{вых(1)}, В$
1					
2					
3					
...					

Вопросы для самопроверки

1. Каково назначение компаратора аналогового сигнала?
2. Каким образом процесс сравнения аналогового сигнала реализуется в операционном усилителе?
3. В чем заключаются отличие компаратора от обычного линейного операционного усилителя?
4. Какова физическая суть процесса сравнения аналоговых сигналов?
5. Каким образом сравнение аналоговых сигналов реализуется на основе схем, охваченных обратной связью?
6. Как решается проблема возможности вхождения в состояние неустойчивого равновесия при сравнении сигналов схемой компаратора?
7. Как схемно реализуются многовыходовые компараторы?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ В РЕЛЕЙНОЙ СХЕМЕ

Цель работы: Получение навыков практического использования законов алгебры логики, знакомство с функциональными схемами систем автоматического дискретного управления, с устройством и принципом действия электрических реле.

Аппаратура: учебный лабораторный стенд НТЦ – 12.100

Общие сведения

Релé (фр. relais) — электромеханическое устройство (выключатель), предназначенное для замыкания и размыкания различных участков электрических цепей при заданных изменениях электрических или неэлектрических входных величин. Различают электромагнитные, пневматические и температурные реле. Основные части электромагнитного реле: электромагнит, якорь и переключатель. Электромагнит представляет собой электрический провод, намотанный на катушку с сердечником из магнитного материала. Якорь — пластина из магнитного материала, через толкатель управляющая контактами.

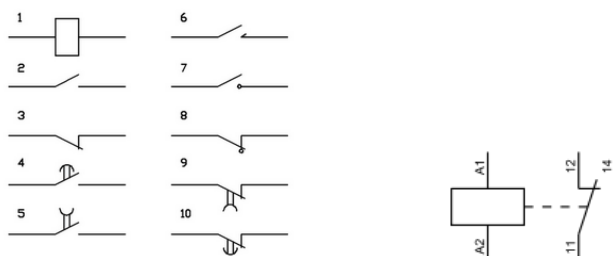
Работа электромагнитных реле основана на использовании электромагнитных сил, возникающих в металлическом сердечнике при прохождении тока по виткам его катушки. Детали реле монтируются на основании и закрываются крышкой. Над сердечником электромагнита установлен подвижный якорь (пластина) с одним или несколькими контактами. Напротив них находятся соответствующие парные неподвижные контакты.

В исходном положении якорь удерживается пружиной. При подаче управляющего сигнала электромагнит притягивает якорь, преодолевая её усилие, и замыкает или размыкает контакты в зависимости от конструкции реле. После отключения управляющего напряжения пружина возвращает якорь в исходное положение. В некоторые модели, могут быть встроены электронные элементы. Это резистор, подключенный к обмотке катушки для более чёткого срабатывания реле, или (и) конденсатор, параллельный контактам для снижения искрения и помех.

Управляемая цепь электрически никак не связана с управляющей (такая ситуация часто обозначается в электротехнике как сухой контакт). Более того в управляемой цепи величина тока может быть намного больше чем в управляющей. Источником управляющего сигнала могут быть: слаботочные электрические схемы (например дистанционного управления), различные датчики (света, давления, температуры и т. п.), и другие приборы которые на выходе имеют минимальные значения тока и напряжения. Таким образом, реле по сути выполняют роль дискретного усилителя тока, напряжения и мощности в электрической цепи. Это свойство реле, кстати, имело широкое применение в самых первых дискретных (цифровых) вычислительных машинах. Впоследствии реле в цифровой вычислительной технике были заменены сначала лампами, потом транзисторами и микро-

схемами — работающими в ключевом (переключательном) режиме. В настоящее время имеются попытки возродить релейные вычислительные машины с использованием нанотехнологий.

На схемах реле обозначается следующим образом:



1 — обмотка реле (A1, A2 — управляющая цепь), 2 — контакт замыкающий, 3 — контакт размыкающий, 4 — контакт замыкающий с замедлителем при срабатывании, 5 — контакт замыкающий с замедлителем при возврате, 6 — контакт импульсный замыкающий, 7 — контакт замыкающий без самовозврата, 8 — контакт размыкающий без самовозврата, 9 — контакт размыкающий с замедлителем при срабатывании, 10 — контакт размыкающий с замедлителем при возврате, 11 — общий контакт, 11-12 — нормально замкнутые контакты, 11-14 — нормально разомкнутые контакты.

В настоящее время в электронике и электротехнике реле используют в основном для управления большими токами. В цепях с небольшими токами для управления чаще всего применяются транзисторы или тиристоры.

Реле до сих пор очень широко применяются в бытовой электротехнике, в особенности для автоматического включения и выключения электродвигателей (пускозащитные реле). В этих устройствах реле намного надёжнее электроники, так как оно устойчиво к броску тока при запуске электродвигателя и, особенно, к сильному броску напряжения при его отключении.

Порядок выполнения работы:

- 1.Собрать схему, как показано на рисунке 1.

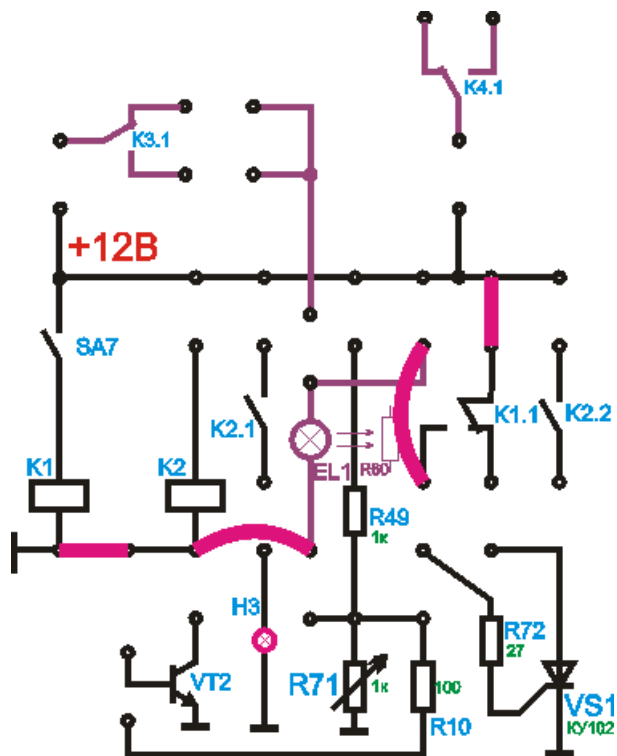


Рисунок 1 – Схема с сигнализацией

2. Убедиться, что схема собрана правильно и на панели стенда присутствуют только необходимые для проведения данного опыта переключки, тумблеры SA2, SA3, SA5, SA6, SA7, SA8, SA22, SA23, SA25, SA70 находятся в нижнем положении («Выключено»). Регуляторы R21, R22 установить в крайнее левое положение. Если необходимо использовать измерительные приборы на панели стенда, тумблеры SA10, SA11 установить в положение «Измерение».

3. Включить питание стенда (три автоматических выключателя «Сеть»).

4. Включить переключатель SA7.

5. Выключить переключатель SA7.

6. Произвести действия в соответствии с рабочим заданием (см. ниже).

7. Выключить питание (три автоматических выключателя «Сеть») и разобрать схему.

8. Собрать схему, как показано на рисунке 2.

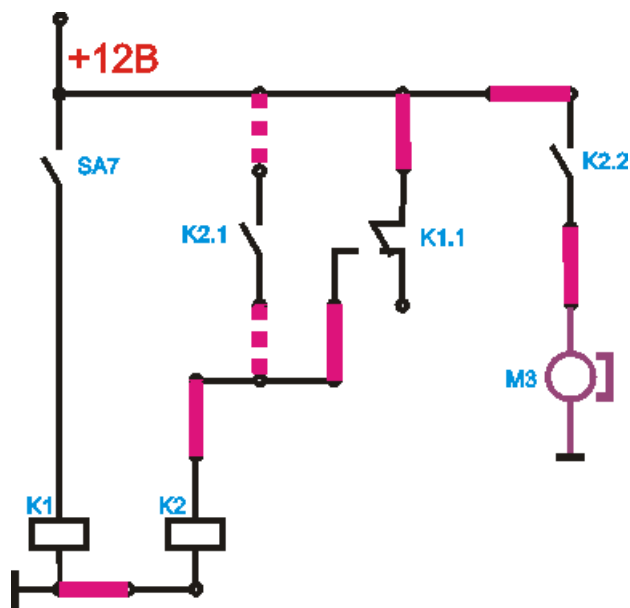


Рисунок 2 – Схема управления ДПТ с постоянными магнитами

9. Убедиться, что схема собрана правильно и на панели стенда присутствуют только необходимые для проведения данного опыта переключки, тумблеры SA2, SA3, SA5, SA6, SA7, SA8, SA22, SA23, SA25, SA70 находятся в нижнем положении («Выключено»). Регуляторы R21, R22 установить в крайнее левое положение. Если необходимо использовать измерительные приборы на панели стенда, тумблеры SA10, SA11 установить в положение «Измерение».

10. Включить питание стенда (три автоматических выключателя «Сеть»).

11. Включить переключатель SA7.

12. Выключить переключатель SA7.

13. Произвести действия в соответствии с рабочим заданием (см. ниже).

14. Выключить питание (три автоматических выключателя «Сеть») и разобрать схему.

Рабочее задание

1. Описать принцип действия схемы с сигнализацией (Рисунок 1) и схемы управления ДПТ с постоянными магнитами (Рисунок 2).

2. Составить алгоритм работы схем.

3. Разработать функциональные схемы, в которых разделены исполнительная (силовая) часть и сигналы управления.
4. Составить логические уравнения, описывающие схемы.

Вопросы для самопроверки

1. На каких физических явлениях основана работа электромагнитных реле?
2. Почему электромагнитное реле считают аналогом дискретного усилителя тока?
3. Из каких основных конструктивных узлов состоит электромагнитное реле?
4. Что такое сухой контакт?
5. Как обозначается замыкающий контакт с замедлителем при возврате?
6. Как обозначается замыкающий контакт с замедлителем при срабатывании?
7. Как на двух электромагнитных реле выполнить схему генератора импульсов?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕВЕРСИВНОГО ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ НА IGBT-ТРАНЗИСТОРАХ

Цель работы:

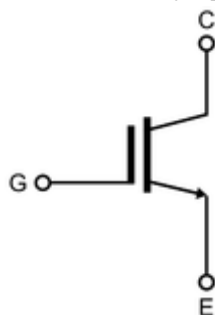
- 1) Изучение принципов построения и работы трехфазных широтно-импульсных преобразователей;
- 2) Изучение регулировочных характеристик трехфазного широтно-импульсного преобразователя;
- 3) Экспериментальное исследование работы трехфазного широтно-импульсного преобразователя на активную, активно-индуктивную и двигательную нагрузку на универсальном лабораторном стенде.

Аппаратура: учебный лабораторный стенд НТЦ – 12.100,
осциллограф

Общие сведения

IGBT, БТИЗ (от англ. Insulated-gate bipolar transistor — биполярный транзистор с изолированным затвором) — трёхэлектродный силовой электронный прибор, используемый, в основном, как мощный электронный ключ в импульсных источниках питания, инверторах, в системах управления электрическими приводами.

По своей внутренней структуре IGBT представляет собой каскадное включение двух электронных ключей: входной ключ на полевом транзисторе управляет мощным оконечным ключом на биполярном транзисторе. Управляющий электрод называется затвором как у ПТ, два других электрода — эмиттером и коллектором как у биполярного. Такое составное включение ПТ и БТ позволяет сочетать в одном устройстве достоинства обоих типов полупроводниковых приборов.



Условное графическое обозначение IGBT.

Выпускаются как отдельные IGBT, так и силовые сборки (модули) на их основе, например, для управления цепями трёхфазного тока.

Основное применение IGBT — это инверторы, импульсные регуляторы тока, частотно-регулируемые приводы.

Широтно-импульсный преобразователь (ШИП) - устройство, генерирующее широтно-импульсный модулированный (ШИМ) сигнал по заданному значению управляющего напряжения. Основное достоинство ШИП — высокий КПД его усилителей мощности, который достигается за счёт использования их исключительно в ключевом режиме. Это значительно уменьшает выделение мощности на силовом преобразователе (СП).

ШИМ использует транзисторы (могут быть и др. элементы) не в линейном, а в ключевом режиме, то есть транзистор всё время или разомкнут (выключен), или замкнут (находится в состоянии насыщения). В первом случае транзистор имеет почти бесконечное сопротивление, поэтому ток в цепи почти не течёт, и, хотя всё напряжение питания падает на транзисторе, то есть КПД=0 %, в абсолютном выражении выделяемая на транзисторе мощность равна нулю. Во втором случае сопротивление транзистора крайне мало, и, следовательно, падение напряжения на нём близко к нулю — выделяемая мощность так же мала.

$$1. R_{tr} \rightarrow \infty \leftrightarrow P = \frac{U^2}{R} \rightarrow 0$$

$$2. R_{tr} \rightarrow 0 \leftrightarrow P = I^2 R \rightarrow 0$$

Принцип работы ШИМ

ШИМ есть импульсный сигнал постоянной частоты и переменной скважности, то есть отношения периода следования импульса к его длительности. С помощью задания скважности (длительности импульсов) можно менять среднее напряжение на выходе ШИМ.

Генерируется аналоговым компаратором, на отрицательный вход которого подаётся опорный сигнал в виде «пилы» или «треугольника», а на положительный — собственно сам модулируемый непрерывный аналоговый сигнал. Частота импульсов соответствует частоте «зубьев» пилы. Ту часть периода, когда входной сигнал выше опорного, на выходе получается единица, ниже — нуль.

В цифровой технике, выходы которой могут принимать только одно из двух значений, приближение желаемого среднего уровня выхода при помощи ШИМ является совершенно естественным. Схема настолько же проста: пилообразный сигнал генерируется N-битным счётчиком. Цифровые устройства (ЦШИП) работают на фиксированной частоте, обычно намного превышающей реакцию управляемых установок (передискретизация). В периоды между фронтами тактовых импульсов, выход ЦШИП остаётся стабильным, на нём действует либо низкий уровень либо высокий, в зависимости от выхода цифрового компаратора, сравнивающего значение счётчика с уровнем приближаемого цифрового сигнала $V(n)$. Выход за много тактов можно трактовать как череду импульсов с двумя возможными значениями 0 и 1, сменяющимися друг-друга каждый такт T . Частота появления единичных импульсов получается пропорциональной уровню приближаемого сигнала $\sim V(n)$. Единицы, следующие одна за дру-

гой, формируют контур одного, более широкого импульса. Длительности полученных импульсов переменной ширины $\sim V(n)$, кратны периоду тактирования T , а частота равна $1/(T \cdot 2N)$. Низкая частота означает длительные, относительно T , периоды постоянства сигнала одного уровня, что даёт невысокую равномерность распределения импульсов.

Описанная цифровая схема генерации подпадает под определение однобитной (двухуровневой) импульсно-кодовой модуляции (ИКМ). 1-битную ИКМ можно рассматривать в терминах ШИМ как серию импульсов частотой $1/T$ и шириной 0 либо T . Добиться усреднения за менее короткий промежуток времени позволяет имеющаяся передискретизация. Высоким качеством обладает такая разновидность однобитной ИКМ, как импульсно-плотностная модуляция (pulse density modulation), которая ещё именуется импульсно-частотной модуляцией.

Восстанавливается непрерывный аналоговый сигнал арифметическим усреднением импульсов за много периодов при помощи простейшего фильтра низких частот. Хотя обычно даже этого не требуется, так как электромеханические составляющие привода обладают индуктивностью, а объект управления (ОУ) — инерцией, импульсы с выхода ШИП сглаживаются и ОУ, при достаточной частоте ШИМ-сигнала, ведёт себя как при управлении обычным аналоговым сигналом.

Схема системы управления для исследования ШИП приведена на рисунке 10.

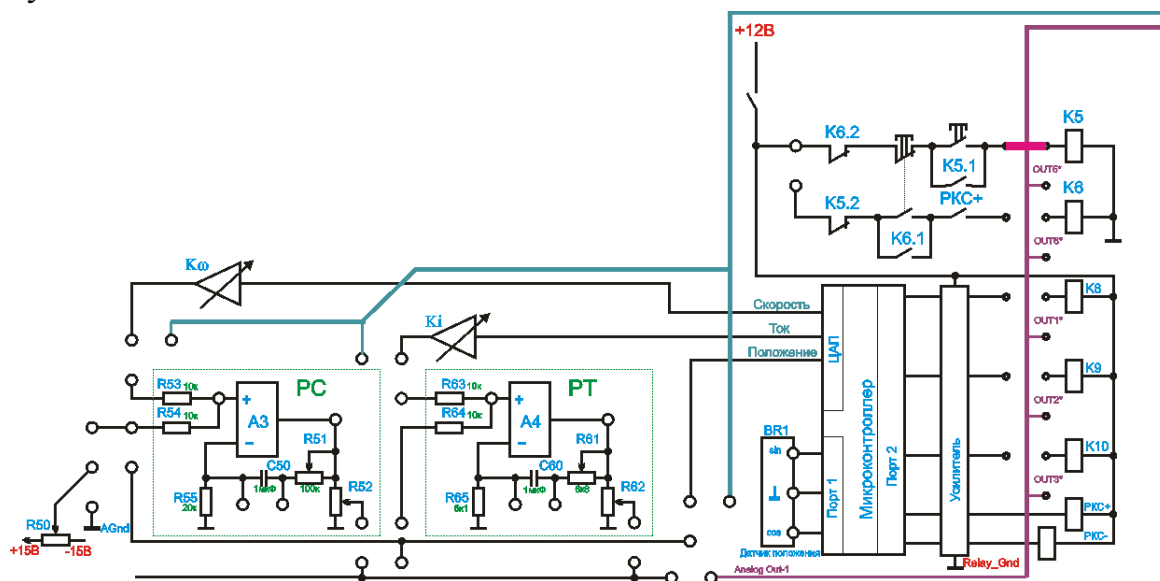


Рисунок 1 – Схема системы управления для исследования ШИП

Для измерения скорости вращения электромашинного агрегата используется импульсный датчик положения, имеющий 90 отверстий.

Для питания обмоток якоря и возбуждения ДПТ НВ в состав стенда входит трехфазный широтно-импульсный преобразователь (ШИП), два плеча которого используются для получения реверсивного ШИП для питания якоря ДПТ, оставшееся плечо используется в качестве нереверсивного ШИП для питания обмотки возбуждения ДПТ.

Реверсивный ШИП может работать в симметричном (поочередное диагональное включение) режиме или несимметричном (диагональное включение одной пары транзисторов).

Для исследования пуска ДПТ НВ с введенным в цепь якоря сопротивлением в состав стенда включены 3 переменных резистора (R1, R2, R3).

Для регистрации измеряемых величин в процессе выполнения экспериментальных исследований в состав стенда входит блок измерения (на базе цифрового измерительного прибора), который позволяет проводить измерение постоянного (переменного) тока и напряжения (действующее или среднее значение).

Релейно-контакторная схема, входящая в состав лабораторного стенда, позволяет осуществлять требуемые коммутации и дистанционное подключение электромашинного агрегата к источникам питания, реализуя требуемые схемы включения.

Для исследования способов торможения ДПТ НВ универсальный стенд оснащен двухдвигательным электромашинным агрегатом, в который входят:

Исследуемый двигатель – двигатель постоянного тока с независимым возбуждением (ДПТ НВ).

Нагрузочный двигатель – двигатель постоянного тока с независимым возбуждением (ДПТ НВ).

Для измерения скорости вращения электромашинного агрегата используется импульсный датчик положения, имеющий 90 отверстий.

Для регистрации измеряемых величин в процессе выполнения экспериментальных исследований в состав стенда входит блок измерения (на базе цифрового измерительного прибора), который позволяет проводить измерение постоянного (переменного) тока и напряжения (действующее или среднее значение).

Блок измерения позволяет осуществить индикацию измеренных величин.

Релейно-контакторная схема, входящая в состав лабораторного стенда, позволяет осуществлять требуемые коммутации и дистанционное подключение электромашинного агрегата к источникам питания, реализуя требуемые схемы включения.

Для исследования искусственных (реостатных) статических характеристик ДПТ НВ в состав стенда включены 3 переменных резистора (R1, R2, R3).

Релейно-контакторная схема, входящая в состав лабораторного стенда, позволяет осуществлять требуемые коммутации и дистанционное подключение электромашинного агрегата к источникам питания, реализуя требуемые схемы включения.

Порядок выполнения работы:

1. Ознакомиться со схемой управления (рисунок 10). Установить назначение органов управления, принцип работы схемы.

2. Исследовать работу трехфазного широтно-импульсного преобразователя на активную нагрузку, для чего:

2.1 Собрать схему, как показано на рисунках 1, 2.

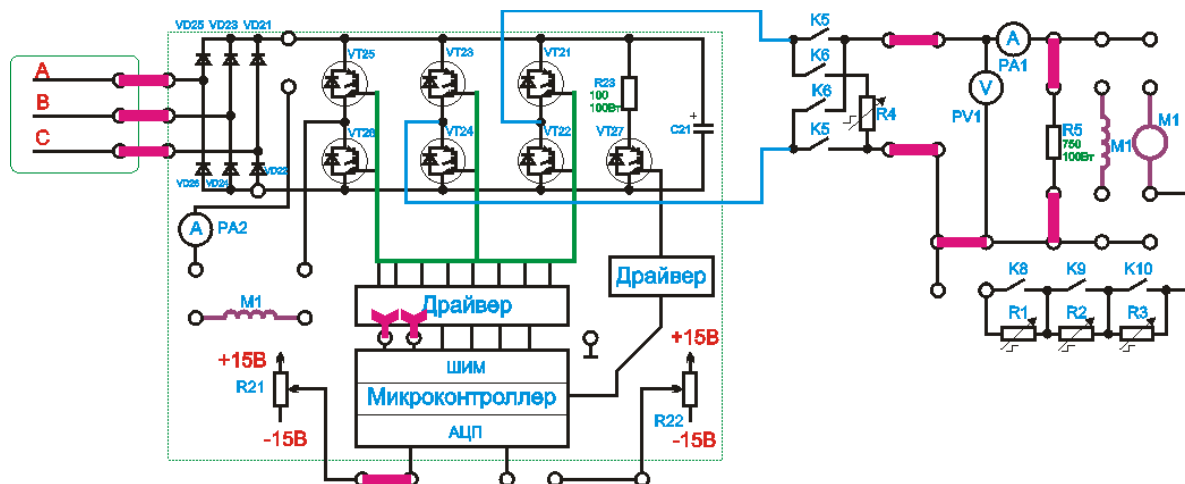


Рисунок 2 – Схема силовой части и подключения сигналов задания при работе на активную нагрузку

2.2 Убедиться, что схема собрана правильно и на панели стенда присутствуют только необходимые для проведения данного опыта переключки, тумблеры SA2, SA3, SA5, SA6, SA7, SA8, SA22, SA23, SA25, SA70 находятся в нижнем положении («Выключено»). Регуляторы R21, R22 устано-

вить в крайнее левое положение. Если необходимо использовать измерительные приборы на панели стенда, тумблеры SA10, SA11 установить в положение «Измерение».

2.3. Включить питание стенда (три автоматических выключателя «Сеть»).

2.4. Включить схему релейно-контакторного управления (тумблер SA70).

2.5. Произвести действия в соответствии с рабочим заданием (см. ниже).

2.6. Перевести регулятор R21 в крайнее левое положение.

2.7. Выключить тумблер SA22. Отключить нагрузку (кнопка SB73).

2.8. Выключить питание (три автоматических выключателя «Сеть») и разобрать схему.

3. Исследовать работу трехфазного широтно-импульсного преобразователя на активно-индуктивную нагрузку, для чего:

3.1 Собрать схему, как показано на рисунках 1, 3.

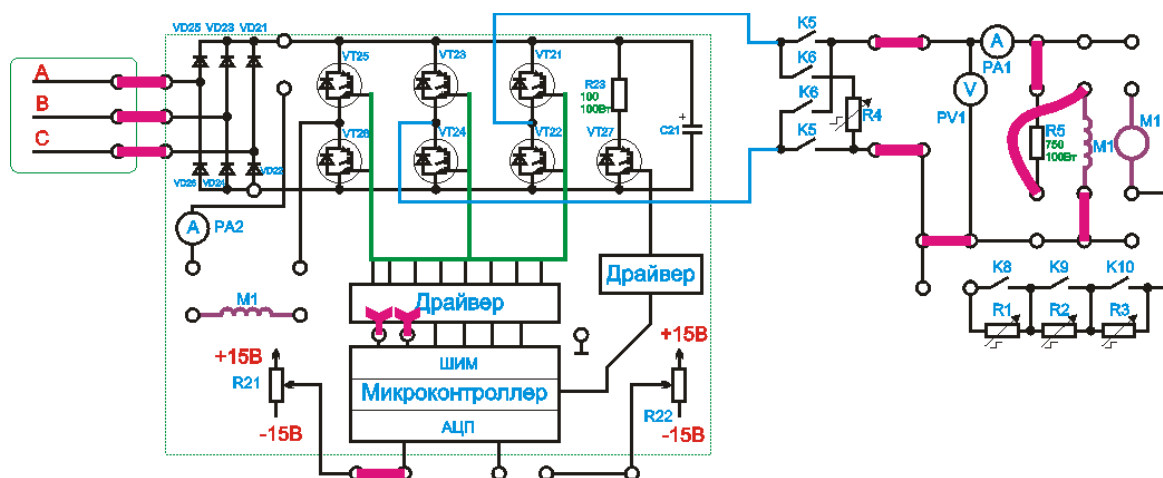


Рисунок 3 – Схема силовой части и подключения сигналов задания при работе на активно-индуктивную нагрузку

3.2. Убедиться, что схема собрана правильно и на панели стенда присутствуют только необходимые для проведения данного опыта переключки, тумблеры SA2, SA3, SA5, SA6, SA7, SA8, SA22, SA23, SA25, SA70 находятся в нижнем положении («Выключено»). Регуляторы R21, R22 установить в крайнее левое положение. Если необходимо использовать измери-

тельные приборы на панели стенда, тумблеры SA10, SA11 установить в положение «Измерение».

3.3. Включить питание стенда (три автоматических выключателя «Сеть»).

3.4. Включить схему релейно-контакторного управления (тумблер SA70).

3.5. Произвести действия в соответствии с рабочим заданием (см. ниже).

3.6. Перевести регулятор R21 в крайнее левое положение.

3.7. Выключить тумблер SA22. Отключить нагрузку (кнопка SB73).

3.8. Выключить питание (три автоматических выключателя «Сеть») и разобрать схему.

4. Исследовать работу трехфазного широтно-импульсного преобразователя на двигательную нагрузку, для чего:

4.1. Собрать схему, как показано на рисунках 1, 4.

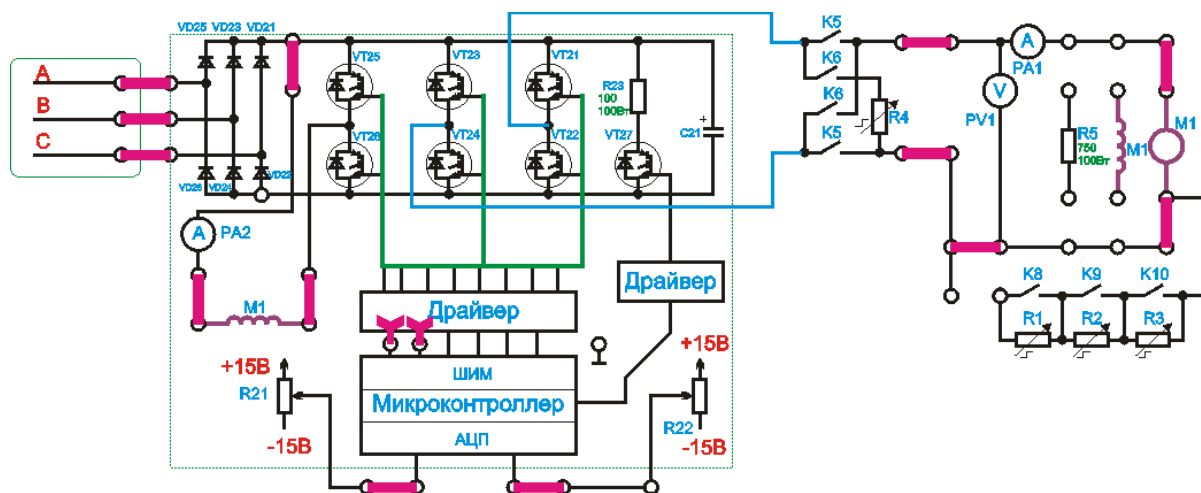


Рисунок 4 – Схема силовой части и подключения сигналов задания при работе на двигательную нагрузку

В качестве двигательной нагрузки используется двигатель постоянного тока с независимым возбуждением, паспортные данные приведены в таблице 1.

Таблица 1

Параметр	Значение
обозначение на схеме	M1
тип	ПЛ-062

напряжение ном.	-220В
мощность ном.	0,12кВт
частота вращения ном.	3000мин ⁻¹
ток якоря ном.	0,95А
ток возбуждения ном.	0,18А
КПД ном.	0,61

4.2. Убедиться, что схема собрана правильно и на панели стенда присутствуют только необходимые для проведения данного опыта переключки, тумблеры SA2, SA3, SA5, SA6, SA7, SA8, SA22, SA23, SA25, SA70 находятся в нижнем положении («Выключено»). Регуляторы R21, R22 установить в крайнее левое положение. Если необходимо использовать измерительные приборы на панели стенда, тумблеры SA10, SA11 установить в положение «Измерение».

4.3. Включить питание стенда (три автоматических выключателя «Сеть»).

4.4. Подать напряжение на обмотку возбуждения ДПТ (тумблер SA23), плавно вращая регулятор R22 установить номинальный ток возбуждения, ток контролировать по прибору PA2.

4.5. Включить схему релейно-контакторного управления (тумблер SA70).

4.6. Произвести действия в соответствии с рабочим заданием (см. ниже).

4.7. Отключить нагрузку (кнопка SB73).

4.8. Перевести регуляторы R21, R22 в крайнее левое положение.

4.9. Выключить тумблеры SA21, SA22, SA23, SA70.

4.10. Выключить питание (три автоматических выключателя «Сеть») и разобрать схему.

Рабочее задание

1. В схеме силовой части и подключения сигналов задания при работе на активную нагрузку (Рисунок 2) подключить нагрузку к ШИП (кнопка SB74).

2. Задать режим работы широтно-импульсного преобразователя несимметричный, для этого установить тумблер SA21 в положение «Независ.»

3. Включить широтно-импульсный преобразователь (тумблер SA22).

4. Плавно изменяя скважность ШИП от 0 до 100% с помощью регулятора задания «Скважность» (R21), снять зависимость среднего значения выпрямленного напряжения на выходе широтно-импульсного преобразователя $U_{ср}=f(S)$ и тока нагрузки $I_{ср}=f(S)$. Данные занести в таблицу 1.

5. Задать режим работы широтно-импульсного преобразователя симметричный, для этого установить тумблер SA21 в положение «Симметр.». Повторить опыт пункта 6 для этого режима работы ШИП. Данные занести в таблицу 1.

Таблица 1

S,%	Измерено			
	независимый режим		симметричный режим	
	U _{ср.} ,В	I _{ср.} ,А	U _{ср.} ,В	I _{ср.} ,А
0				
10				
20				
30				
...				

6. Снять осциллограммы сигналов управления на выходе ШИМ, сигналов напряжения и тока нагрузки для независимого и симметричного режимов работы ШИП.

7. В схеме силовой части и подключения сигналов задания при работе на активно-индуктивную нагрузку (Рисунок 3) подключить нагрузку к ШИП (кнопка SB74).

8. Задать режим работы широтно-импульсного преобразователя несимметричный, для этого установить тумблер SA21 в положение «Независ.»

9. Включить широтно-импульсный преобразователь (тумблер SA22).

10. Плавно изменяя скважность ШИП от 0 до 100% с помощью регулятора задания «Скважность» (R21), снять зависимость среднего значения

выпрямленного напряжения на выходе широтно-импульсного преобразователя $U_{ср}=f(S)$ и тока нагрузки $I_{ср}=f(S)$. Данные занести в таблицу 2.

11. Задать режим работы широтно-импульсного преобразователя симметричный, для этого установить тумблер SA21 в положение «Симметр.». Повторить опыт пункта 6 для этого режима работы ШИП. Данные занести в таблицу 2.

Таблица 2

S, %	Измерено			
	независимый режим		симметричный режим	
	$U_{ср.}, В$	$I_{ср.}, А$	$U_{ср.}, В$	$I_{ср.}, А$
0				
10				
20				
30				
...				

12. Снять осциллограммы сигналов управления на выходе ШИМ, сигналов напряжения и тока нагрузки для независимого и симметричного режимов работы ШИП.

13. В схеме силовой части и подключения сигналов задания при работе на двигательную нагрузку (Рисунок 4) подключить нагрузку к ШИП (кнопка SB74).

14. Задать режим работы широтно-импульсного преобразователя несимметричный, для этого установить тумблер SA21 в положение «Независ.»

15. Включить широтно-импульсный преобразователь (тумблер SA22).

16. Плавно изменяя скважность ШИП от 0 до 100% с помощью регулятора задания «Скважность» (R21), снять зависимость среднего значения выпрямленного напряжения на выходе широтно-импульсного преобразователя $U_{ср}=f(S)$ и тока нагрузки $I_{ср}=f(S)$. Данные занести в таблицу 4.

17. Задать режим работы широтно-импульсного преобразователя симметричный, для этого установить тумблер SA21 в положение «Сим-

метр.». Повторить опыт пункта 6 для этого режима работы ШИП. Данные занести в таблицу 4.

Таблица 4

S,%	Измерено			
	независимый режим		симметричный режим	
	U _{ср.} ,В	I _{ср.} ,А	U _{ср.} ,В	I _{ср.} ,А
0				
10				
20				
30				
...				

18. Снять осциллограммы сигналов управления на выходе ШИМ, сигналов напряжения и тока нагрузки для независимого и симметричного режимов работы ШИП.

Вопросы для самопроверки

1. С какой целью IGBT- транзисторы строятся в виде каскадного включения двух электронных ключей?
2. Почему в широтно-импульсных преобразователях транзисторы используются исключительно в ключевом режиме?
3. Что такое скважность широтно-импульсного сигнала?
4. В чем суть широтно-импульсной модуляции сигнала?
5. С какой целью в ШИМ используют пилообразный сигнал?
6. В чем отличие симметричного от несимметричного режимов работы реверсивного ШИП?
7. Как происходит восстановление непрерывного аналогового сигнала на выходе ШИП?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мелешин В.И. Транзисторная преобразовательная техника. – М.: Техносфера, 2005. – 632 с.

2. Воронин П.А. Силовые полупроводниковые ключи.: семейства, характеристики, применение. – М.:Изд. Дом Додэка-XXI, 2001. – 384 с.

3. Электронная энциклопедия "Википедия" [электронный ресурс]. - <http://ru.wikipedia.org/wiki/> режим доступа свободный/

ОГЛАВЛЕНИЕ

<i>1 Лабораторная работа № 1</i> Изучение основных параметров, характеристик и принципа работы схем суммирования и вычитания аналоговых сигналов.....	3
<i>2 Лабораторная работа № 2.</i> Изучение принципа работы, основных параметров и характеристик схем интегрирования и дифференцирования аналоговых сигналов	8
<i>3 Лабораторная работа №3</i> Изучение принципа работы, основных параметров и характеристик схем компараторов аналоговых сигналов	14
<i>4 Лабораторная работа №4</i> Электрические цепи в релейной схеме.....	19
<i>5 Лабораторная работа №5</i> Исследование реверсивного широтно-импульсного преобразователя на IGBT-транзисторах.....	24
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	35