

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**

**ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»**

**Технический колледж им. С.И. Мосина**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ**

**расчетно-практических работ**

**по учебной дисциплине «Основы электроники»**

по специальности СПО:

08.02.09 Монтаж, наладка и эксплуатация

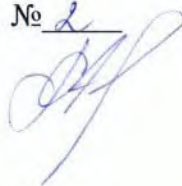
электрооборудования промышленных и гражданских зданий

УТВЕРЖДЕНО

на заседании цикловой комиссии естественнонаучных дисциплин

Протокол от «12» сентября 2024 г. № 2

Председатель цикловой комиссии



Е.А.Рейм



$I_{\text{ПР}}, \text{A}$												
---------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Таблица 2.

Диод КД102А							Диод Д817V					
R, %	0	20	40	60	80	100	0	6	12	18	24	30
$U_{\text{ОБР}}, \text{В}$												
$I_{\text{ОБР}}, \text{A}$												

- По результатам опытов построить вольтамперную характеристику обоих диодов на общей координатной сетке.
- Рассчитать коэффициент выпрямления для одного из значений напряжения по формуле  $K_{\text{выпр}} = I_{\text{ПР}} / I_{\text{ОБР}}$ . Для этого задать следующие значения параметров для элементов обеих схем:  $U = 15\text{В}$ ,  $R = 2\text{кОм}/100\%$ .

Для диода КД102А:  $U_{\text{ОБР}} = 15\text{В}$ ,  $I_{\text{ОБР}} =$   
 $U_{\text{ПР}} = 15\text{В}$ ,  $I_{\text{ПР}} =$

$K_{\text{выпр}} =$

Для диода Д817V:  $U_{\text{ОБР}} = 15\text{В}$ ,  $I_{\text{ОБР}} =$   
 $U_{\text{ПР}} = 15\text{В}$ ,  $I_{\text{ПР}} =$

$K_{\text{выпр}} =$

*Вольтамперная характеристика:*

*Анализ результатов и выводы:*

## Лабораторная работа №2. Снятие входной и выходной характеристик биполярного транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером

### Цель работы:

Снятие и анализ характеристик транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером, и определение его параметров.

### Краткие теоретические сведения:

Биполярным транзистором называется полупроводниковый прибор, основу которого составляют два взаимодействующих электронно-дырочных (p-n) перехода и который имеет три вывода. Эти выводы называются **эмиттером, коллектором и базой**, а p-n-переходы между зонами, от которых сделаны эти выводы, называются соответственно **эмиттерным и коллекторным переходами**.

Биполярный транзистор способен выполнять усилительные, генераторные и ключевые функции.

Существуют три схемы включения транзистора: **с общей базой, с общим эмиттером, с общим коллектором**. Наиболее универсальной является схема включения с общим эмиттером, т.к. она усиливает сигнал и по току, и по напряжению, и по мощности.

**Коэффициентом усиления сигнала** называется отношение его приращения на выходе к приращению на входе:  $K_x^y = \Delta X_{\text{вых}} / \Delta X_{\text{вх}}$ . (у-индекс, соответствующий схеме включения транзистора; x- индекс, показывающий параметр, по которому рассматривается усиление).

**Характеристики транзистора** выражают зависимость между напряжениями и токами в его цепях. Рассмотрим **статические** (снятые при постоянном напряжении) **характеристики** транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером.

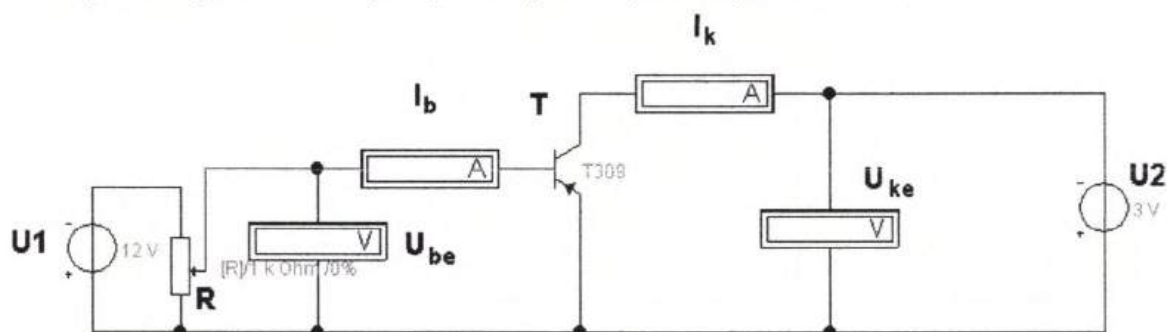
**Входной характеристикой** называется зависимость тока базы от напряжения база-эмиттер при постоянном напряжении коллектор-эмиттер:  $I_b = f(U_{be})$  при  $U_{ce} = \text{const}$ .

**Выходной характеристикой** называется зависимость тока коллектора от напряжения коллектор-эмиттер при постоянном токе базы:  $I_c = f(U_{ce})$  при  $I_b = \text{const}$ .

**Переходной характеристикой** называется зависимость тока коллектора от тока базы при постоянном напряжении коллектор-эмиттер:  $I_c = (I_b) U_{ce} = \text{const}$ .

### Порядок выполнения работы:

1. Запустить программу « Electronics Workbench Professional Edition ».
2. Собрать схему для снятия характеристик транзистора. Она будет иметь вид:




3. Задать следующие параметры для элементов схемы: напряжение источника  $U1=12В$ , напряжение источника  $U2=3В$  (затем  $U2=6В$ ), сопротивление резистора  $R=1кОм-0\%$ . Выбрать из базы «siemens» транзистор Т309 (Т).
4. Чтобы схема начала функционировать, необходимо нажать кнопку в правом верхнем углу .
5. Изменяя значение сопротивления R в соответствии с таблицей 1 снять показания приборов и занести их в таблицу 1.

Таблица 1.

$U_{к,В} (U2)$	3В					6В				
	0	20	40	60	80	0	20	40	60	80
$R, \%$										
$U_b, мВ$										
$I_b, мА$										

6. Задать следующие параметры для элементов схемы: напряжение источника  $U_1=12В$ , напряжение источника  $U_2$  задавать в соответствии с таблицей 2, сопротивление резистора  $R=1кОм-0\%$ . Выбрать из базы «siemens» транзистор **T309 (Т)**.
7. Поддерживая с помощью резистора  $R$  ток базы в соответствии с таблицей 2, произвести снятие выходных характеристик транзистора. Все показания приборов заносить в таблицу 2.

Таблица 2.

	I <sub>б</sub> =20мА							I <sub>б</sub> =30мА								
U <sub>кэ</sub> , В	0	1	2	3	4	5	6	7	0	1	2	3	4	5	6	7
I <sub>к</sub> , мА																

8. По результатам опытов построить входную и выходную характеристики транзистора.
9. По выходной характеристике рассчитать коэффициент усиления тока для данного транзистора при напряжении U<sub>кэ</sub> по указанию преподавателя :

$$K_I^э = \Delta I_k / \Delta I_b =$$

10. Рассчитать коэффициент передачи тока данного транзистора по формуле:

$$\alpha = K_I^э / (1 + K_I^э) =$$

*Входная и выходная характеристики:*

*Анализ результатов и выводы:*

### Лабораторная работа № 3. Исследование полевого транзистора.

**Цель работы:** исследование вольтамперных характеристик различных видов полевых транзисторов.

#### **Краткие теоретические сведения.**

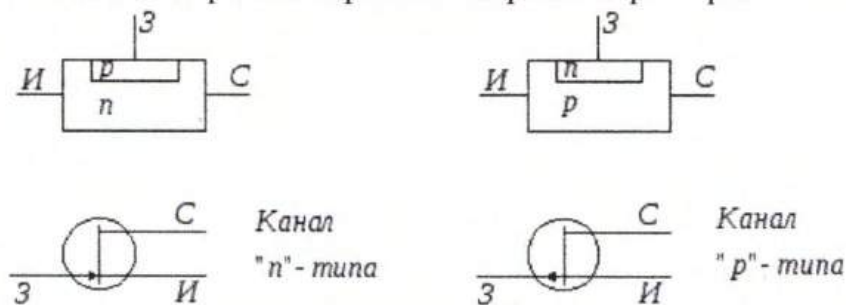
Полевым транзистором называется полупроводниковый усилительный прибор, при переносе тока в котором участвуют носители только одного типа (электроны или дырки). Такие транзисторы иногда называются униполярными.

Управление потоком носителей, проходящим через соответствующую область полевого транзистора (канал), осуществляется путем изменения электрического поля, создаваемого в этой области с помощью специального электрода – затвора. В отличие от биполярного транзистора, ток в цепи управления полевого не протекает, то есть полевой транзистор подобно электронной лампе, является прибором с потенциальным управлением.

Затвор может быть отдален от области канала либо посредством обратносмещенного р-п перехода, или слоем диэлектрика, в роли которого чаще всего используются окислы полупроводниковых материалов. Транзисторы первого вида называются полевыми транзисторами с управляющим р-п переходом, а транзисторы второго вида - МДП или МОП транзисторами. Выводы от крайних областей канала имеют наименования – сток и исток.

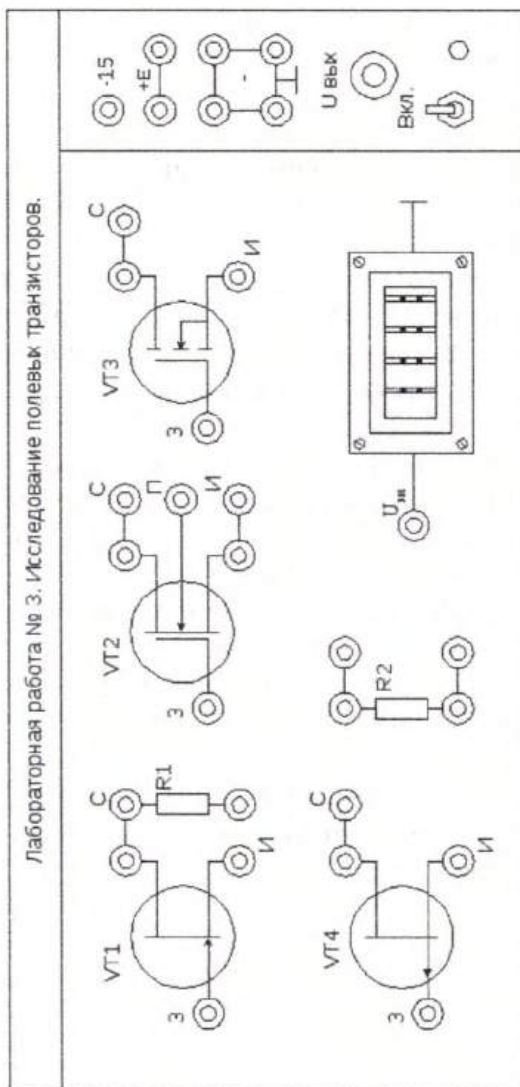
Упрощенная структура полевых транзисторов с р-п переходом и каналами различных типов проводимости, а также их условные обозначения на электрических схемах приведены на рисунке.

При работе такого транзистора переход затвор-канал смещается в обратном направлении, в связи с чем в слоях полупроводника появляются зоны, обедненные свободными носителями. С ростом обратного напряжения размеры



Структура и условные обозначения полевых транзисторов с р-п переходом.

В лабораторной работе исследуются характеристики полевых транзисторов с управляющим р-п переходом и *n*-каналом КП302Б (VT1). В состав лабораторного макета входит полевой транзистор с *p*-каналом и управляющим р-п переходом (КП302Б) VT1, резистор R1 величиной 1 кОм и резистор R2 с сопротивлением 2 кОм. Включение питания лабораторного стенда производится тумблером «Вкл.». О функционировании источников питания свидетельствует свечение зеленого светодиода.



### Порядок проведения работы.

1. Снятие стокзатворной (передаточной) характеристики.

Собрать с транзистором VT1 схему, приведенную на рисунке.

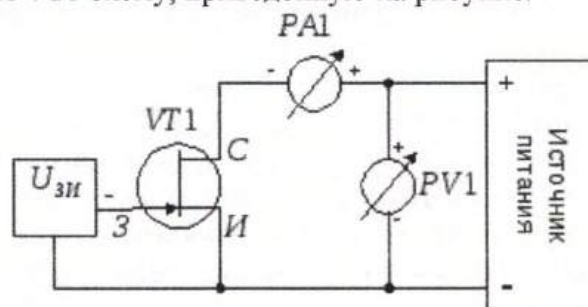


Схема для исследования характеристик полевого транзистора с управляющим р-п переходом.

Установить ручку регулятора напряжения питания в крайнее левое положение ( $U_{\text{ВЫХ}} \approx 0$ ), переключатели источника управляющего напряжения в положение 000, предел измерения вольтметра PV1 – 15В, предел измерения миллиамперметра PA1 – 100мА.

Включить питание макета. Ручкой регулятора установить напряжение  $U_{\text{СИ}} = 5\text{В}$ . Задавая переключателями источника управляющего сигнала напряжения 0В; -0,5В; -1В; -1,5В; -2В; -2,5В;  $-U^*$ ;  $-(U^* + 0,5)$ ;  $-(U^* + 1)$ , зафиксировать по миллиамперметру PA1 токи стока и занести полученные результаты в таблицу:



$U_{зи}$ (В)	0	-0,5	-1	-1,5	-2	-2,5	$-U^*$	$-(U^* + 0,5)$	$-(U^* + 1)$	
$I_c$ (мА)							0,01			$U_{си} = 5В$

Под  $U^*$  понимается напряжение отсечки, т.е. напряжение  $U_{зи}$ , при котором ток стока становится равным 10 мкА. Установить напряжение  $U_{си} = 10В$  и провести аналогичные измерения, заполнив соответствующую таблицу. При выключенном лабораторном стенде поменять местами выводы стока и истока (схема на рис. 3.14) и провести вышеописанный цикл измерений для  $U_{си} = 10В$ .

### 2. Снятие выходных характеристик полевого транзистора.

Собрать, используя транзистор VT1, схему, приведенную на рис. 3.13. Установить напряжение источника питания и управляющее напряжение равными нулю, пределы измерения PV1 – 0,75В, PA1 – 100мА. Задавая управляющее напряжение  $U_{зи}$  равным 0В; -0,5В; -1В; -1,5В; -2В; -2,5В, провести измерения тока стока и записать результаты в крайний левый столбец таблицы.

$U_{си}$	0	0,5	1	1,5	2	3	5	8	10	15
$U_{зи}$										
0										
-0,5										
-1										
-1,5										
-2										
-2,5										

Установить управляющее напряжение равным нулю, задать следующее по таблице значение  $U_{си}$  и провести цикл аналогичных измерений, заполнив второй столбец таблицы и так далее вплоть до  $U_{си} = 15В$ .

При токах стока, превышающих 10 ÷ 15мА, мощность, рассеиваемая на испытуемом транзисторе, может вызвать его разогрев и, соответственно, изменение характеристик. Поэтому измерения при токах стока следует проводить по возможности быстрее.

### 3. Снятие начального участка семейства выходных характеристик полевого транзистора.

Установить предел измерения PV1 – 1,5В, предел измерения PA1 – 100мА. Задать управляющее напряжение  $U_{зи} = 0В$  и, изменяя  $U_{си}$  в пределах 0В; 0,5В; 1В; 1,5В, произвести замеры тока стока. Результаты занести в соответствующие графы таблицы. Последовательно устанавливая  $U_{зи}$  равным -0,5В; -1В; -1,5В; -2В, провести аналогичные измерения.

$U_{си}$	+1,5	+1	+0,5	0	-0,5	-1	-1,5
$U_{зи}$							
0							
-0,5							
-1							
-1,5							
-2							

При выключенном лабораторном стенде поменять полярность вольтметра PV1, миллиамперметра PA1 и источника питания. Провести цикл измерений, описанных выше для  $U_{си} \approx -0,5$ ; -1В; -1,5В и заполнить соответствующее графы таблицы. Построить на одном листе миллиметровки стокзатворные характеристики полевого транзистора с управляющим р-п переходом для  $U_{си} = 5$ В и  $U_{си} = 10$ В при нормальной и инверсной схемах включения, выбрав масштаб по оси токов 2,5 мА/см, а по оси напряжений 0,25В/см.

4. По характеристикам для  $U_{си} = 10$  В определить крутизну полевого транзистора для управляющих напряжений -2,5В; -2В; -1,5В; -1В; -0,5В, используя соотношение (3.5) и приняв  $\Delta U_{зи} = 0,25$ В ( $\pm 0,125$ В относительно заданной точки). Построить график зависимости  $S = f(U_{зи})$ . Отметить на графиках стокзатворных характеристик напряжения отсечки.

5. Используя результаты измерений по п. 2.1.2, построить на одном листе миллиметровки семейство выходных характеристик полевого транзистора выбрав масштаб по оси токов 2,5мА/см, а по оси напряжений 1В/см. Выделить на характеристиках омическую область и область насыщения. Проверить выполнение соотношения (3.2).

**Анализ результатов и выводы:**

## Лабораторная работа №4. Исследование работы неуправляемого и управляемого тиристоров.

### **Цель работы:**

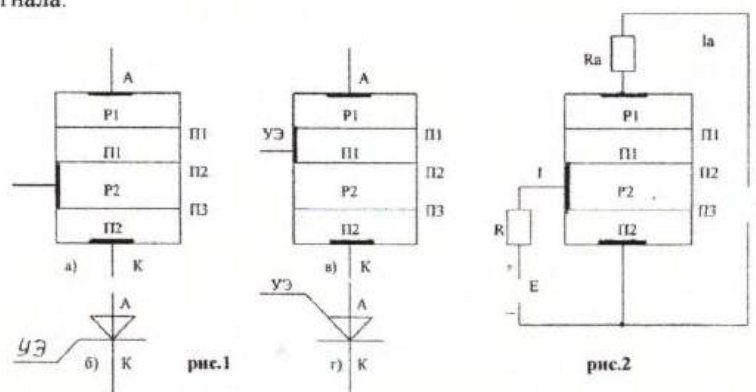
Изучение принципа действия неуправляемого и управляемого тиристоров, снятие и анализ их вольт-амперных характеристик.

### **Краткие теоретические сведения:**

*Тиристоры* – полупроводниковые приборы, имеющие два устойчивых состояния: открытое, при котором они хорошо проводят электрический ток, и закрытое, когда они полностью закрыты для электрического тока. Они применяются для включения и выключения мощности, подаваемой на нагрузку, а также для регулирования её величины, например, для управления освещенностью или скоростью вращения двигателя. Тиристоры делятся на управляемые – *триисторы*, и неуправляемые – *динисторы*.

Управляемый тиристор имеет четырехслойную p-n-p-n - структуру, то есть три p-n -перехода: p1, p2, p3. Выводы от слоев p1 и p2 соответственно называются анодом А и катодом К, являются основными электродами тиристора и включаются в цепь нагрузки. Выводы управляющего электрода УЭ выполняются от слоев p2 или p1 и служат для включения тиристора - перевода его в открытое состояние.

Тиристор с управляющим электродом p-типа и его условное обозначение показаны на рис. 1а, б. Такой прибор переключается в открытое состояние при подаче на управляющий электрод положительного относительно катода сигнала.

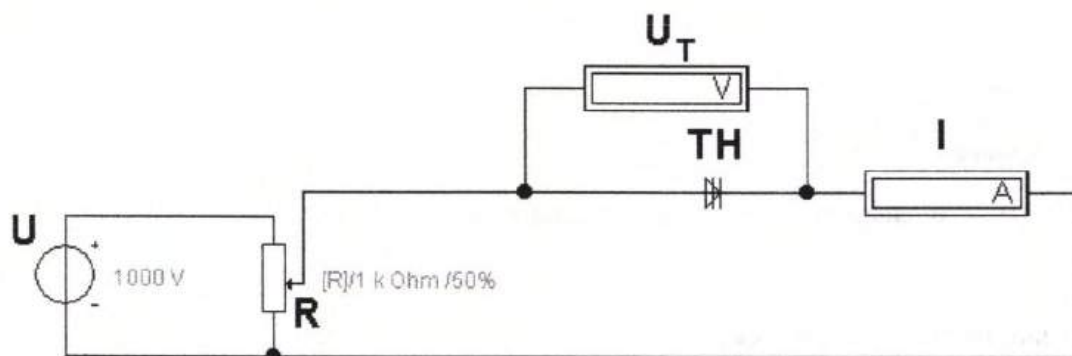


Тиристор с управляющим электродом n-типа и его условное обозначение показаны на рис. 1в, г. Такой прибор переключается в открытое состояние при подаче на управляющий электрод отрицательного по отношению к аноду сигнала. Схема включения управляемого тиристора представлена на рис.2. Перевод тиристора в закрытое состояние с помощью управляющего электрода невозможен.

Неуправляемый тиристор имеет два электрода (вывода). Переход из одного состояния в другое для этого тиристора осуществляется изменением значения или полярности напряжения на выводах.

### **Порядок выполнения лабораторной работы.**

1. Запустить программу « Electronics Workbench Professional Edition » .
2. Собрать схему для проведения анализа неуправляемого тиристора, выбрав тиристор ECG553. Она будет иметь вид:




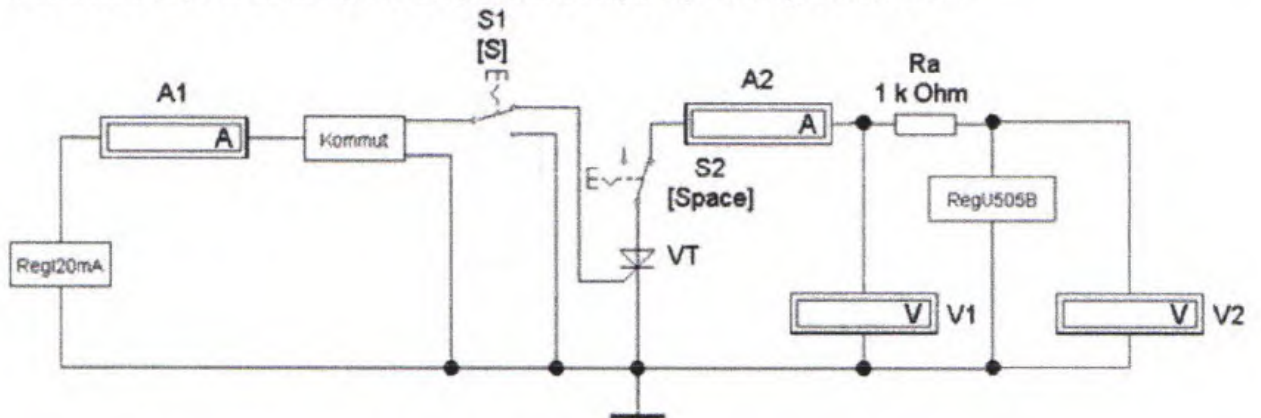
3. Чтобы схема начала функционировать, необходимо нажать кнопку  в правом верхнем углу.
4. Изменяя значение сопротивления R в соответствии с таблицей 1, произвести замер тока I и напряжения  $U_T$ . Полученные данные занести в таблицу 1.

Таблица 1.

№ опыта	R, %	U, В	I, А
1	0		
2	2		
3	4		
4	6		
5	8		
6	10		
7	12		
8	14		
9	20		
10	40		

- По данным табл.1 построить вольтамперную характеристику неуправляемого тиристора и сравнить ее с теоретической.
- Собрать схему для анализа работы управляемого тиристора. Она будет иметь вид:



- Разорвать цепь управляющего электрода (S1).
- Уменьшить до 0 напряжение на входе тиристора. Он находится в закрытом состоянии.
- Подав на управляющий электрод напряжение в соответствии с заданием, снять показания приборов, характеризующих работу тиристора. Занести их в таблицу 2.

Таблица 2.

Прямое напряжение $U_{a}$ , В	$U_{a1}=25$ в	$U_{a2}=50$ В	$U_{a3}=75$ В	$U_{a4}=100$ В
Закрытое состояние	10	20	40	60
Ток управления, А				
Ток нагрузки, А				
Напряжение в открытом состоянии, В				
Ток в открытом состоянии, А				

- По полученным результатам построить семейство вольтамперных характеристик

*Анализ результатов и выводы*

## Лабораторная работа №5-6. Исследование работы электронного усилителя на биполярном транзисторе.

**Цель работы:** Исследование каскада резистивного усилителя низкой частоты на биполярном транзисторе, определение основных параметров каскада.

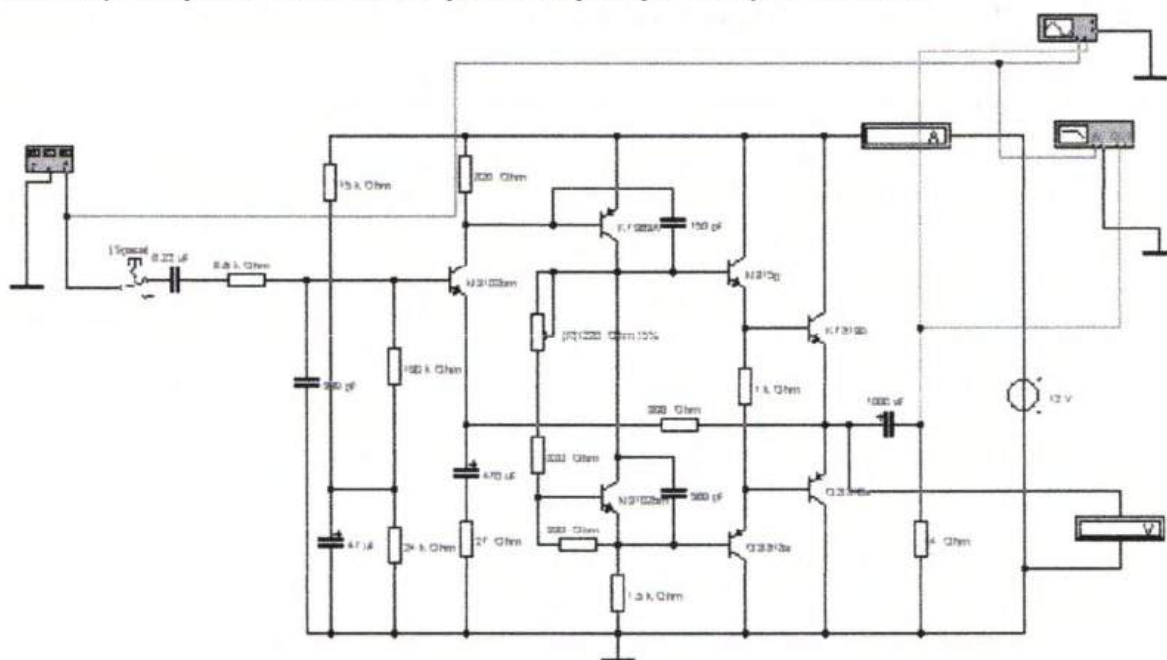
**Краткие теоретические сведения:** Усилитель напряжения низкой частоты (УНЧ) чаще всего выполняется на транзисторе, включенном по схеме с общим эмиттером. Рабочую точку усилительного каскада выбирают в каждом конкретном случае в зависимости от параметров, которыми должен обладать усилитель. Основными требованиями, которые предъявляют к УНЧ являются:


1. Максимальное усиление по напряжению, что позволяет сократить количество каскадов и, следовательно, упростить и удешевить схему;
2. Минимальные частотные и нелинейные искажения;
3. Высокая экономичность, что особенно необходимо в портативной аппаратуре с автономными источниками питания (батареи, аккумуляторы);
4. Температурная стабильность - устройство должно сохранять работоспособность в заданном интервале температур.

Выполнение всех этих требований одновременно невозможно. Так, при большом усилении снижается устойчивость работы усилителя, который легко возбуждается, превращаясь в генератор, его нормальное функционирование нарушается. Увеличение температурной стабильности обязательно сопровождается снижением усиления и КПД.

### **Порядок выполнения лабораторной работы.**

1. Запустить программу « Electronics Workbench Professional Edition ».
2. Загрузить схему для проведения анализа, сохранив её параметры. Она будет иметь вид:



4. Развернуть панели генератора и осциллографа. Чтобы схема начала функционировать, необходимо нажать кнопку в правом верхнем углу .

5. Снять зависимость выходного сигнала от входного (амплитудная характеристика усилителя), меняя напряжение на генераторе, для частоты 1 кГц и результаты занести в табл. 1

Таблица 1.

Входное напряжение $U_{вх}$ , мВ	20	50	100	150	200	250	300
Выходное напряжение $U_{вых}$ , В							

6. Снять зависимость коэффициента усиления от частоты усиливаемого сигнала, меняя частоту входного сигнала с генератора при напряжении его 1В (амплитудно – частотная характеристика усилителя). Результаты опыта занести в табл.2.

Таблица 2.

Частота, $f$ , Гц	10	20	50	100	1000	10 000	20 000	30 000	50 000	100 000
$lg f$	1,0	1,3	1,7	2,0	3,0	4,0	4,3	4,5	4,7	5,0
Входное напряжение $U_{вх}$ , мВ										
Напряжение на выходе $U_{вых}$ , мВ										
Коэффициент усиления, $K$										

7. По таблицам 1 и 2 построить амплитудную  $U_{вых} = f(U_{вх})$  и амплитудно – частотную  $K = f(lg f)$  характеристики усилителя.

8. По построенным характеристикам произвести расчет основных параметров усилителя.

**Анализ результатов и выводы:**

**Лабораторная работа № 7. Усилительный каскад на полевом транзисторе**

**Цель работы:** изучить принцип работы усилителей на полевых транзисторах, методику их расчетов, научиться экспериментально и теоретически определять характеристики и параметры усилителей.

Схема усилительного каскада с общим истоком (ОИ) приведена на рис.1.

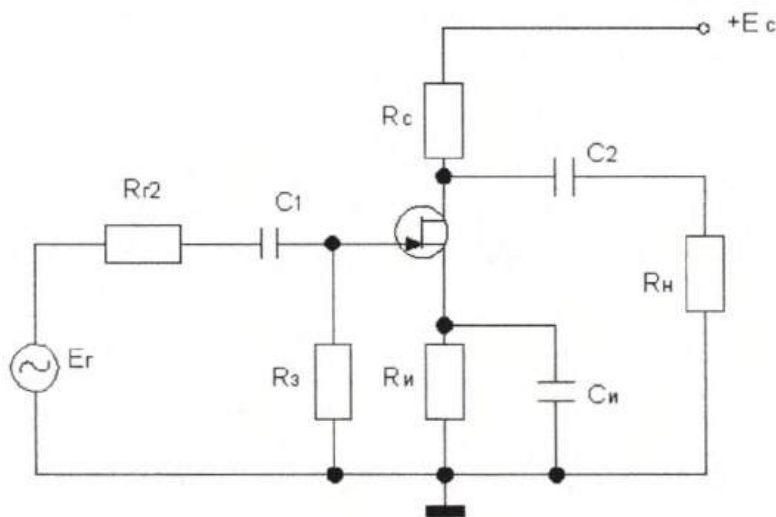


Рис.1. Усилительный каскад с ОИ.

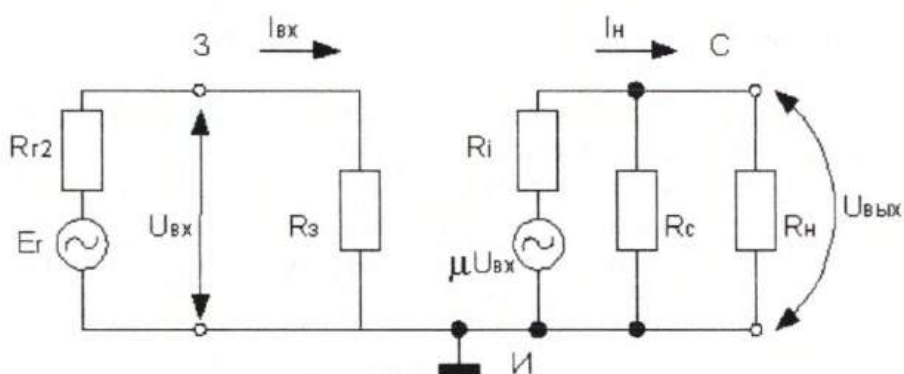


Рис. 2 Эквивалентная схема усилительного каскада с ОИ.

Параметры усилительного каскада:

входное сопротивление каскада  $R_{вх} = R_{з}$

выходное сопротивление каскада  $R_{вых} = R_i \parallel R_c$ ,

коэффициенты усиления:

$$k = - \frac{\mu(R_c \parallel R_n)}{R_i + (R_c \parallel R_n)}$$

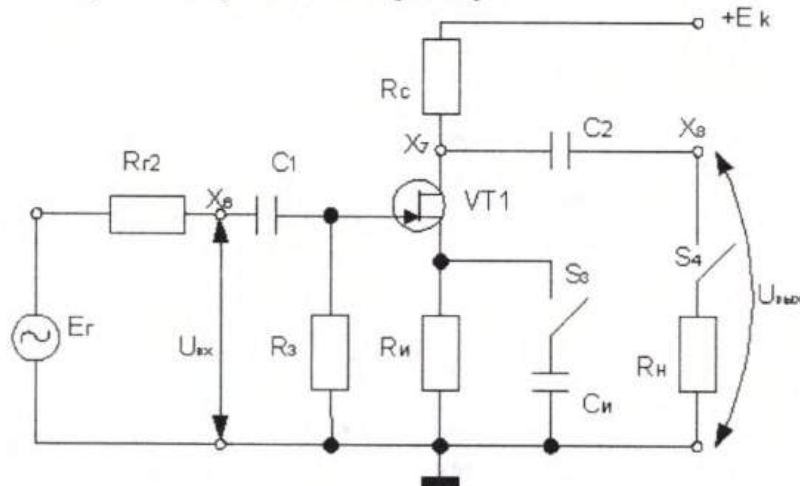
$$k_i = k \cdot \frac{R_z}{R_n}$$

$$k_p = k \cdot k_i$$

Для линейных участков амплитудных характеристик коэффициент усиления определяется по соотношению (3.7). Усилительные каскады с общим истоком обеспечивают получение сравнительно большого коэффициента усиления по напряжению и большого входного сопротивления, так как  $R_3$  берется порядка долей мОм, имеют относительно высокое выходное сопротивление. В полосе рабочих частот фазовый сдвиг равен  $180^\circ$ .

### Порядок работы

1. Собрать схему и задать параметры



Данные каскада:  $E_k = 15 \text{ В}$ ;  $R_c = 3 \text{ кОм}$ ;  $R_{и} = 200 \text{ Ом}$ ;  $R_3 = 470 \text{ кОм}$ ;  $R_{г2} = 10 \text{ кОм}$ ;  $r_{г} = 6,2 \text{ кОм}$ ;  $C_{и} = 4,7 \text{ нФ}$ ;  $C_1 = 0,1 \text{ мкФ}$ ;  $C_2 = 3,3 \text{ мкФ}$ ; VT1 - КПЗОЗГ.

2. При выполнении данной работы учитывается аналогия со схемой на биполярном транзисторе (см. л.р. №5-6).

3. Измерить напряжения на стоке транзистора по отношению к общей шине, рассчитать ток покоя стока и режим работы транзистора по постоянному току.

4. Снять и построить амплитудные характеристики  $U_{\text{вых}} = f(U_{\text{вх}})$  на холостом ходу (кнопка S4 отжата) и при  $R_{н}$  (кнопка S4 нажата). Характеристики снимаются без обратной связи (кнопка S3 нажата). Значения напряжений  $U_{\text{вх}}$  и  $U_{\text{вых}}$  снимаются в контрольных точках X6 и X8.

5. Подключить к контрольной точке X8 осциллограф и произвести измерения в соответствии с пунктом 4 (л.р. №5-6).

**Анализ результатов и выводы:**



## Лабораторная работа № 8. Исследование мультивибратора

**Цель работы** изучить схему и принцип действия мультивибратора с коллекторно-базовыми связями в автоколебательном режиме, экспериментально исследовать данный мультивибратор, определив его важнейшие характеристики.

### **Краткие теоретические сведения:**

Мультивибраторы относятся к генераторам релаксационного типа, у которых форма генерируемых колебаний резко отличается от синусоидальной, а длительность колебаний зависит от реактивных элементов (чаще конденсаторов), входящих в схему.

Мультивибраторы широко применяются для получения импульсов напряжения прямоугольной формы и могут быть использованы в качестве задающих генераторов различных устройств промышленной электроники.

Наиболее часто для построения мультивибраторов применяются многокаскадные транзисторные ключи с положительной обратной связью, замкнутые в кольцо. В схемном отношении мультивибраторы отличаются от триггеров наличием времязадающих (хронирующих) элементов, которые обычно состоят из конденсатора и сопротивления. Мультивибраторы могут работать в одном из трех режимов: автоколебаний, ждущем (заторможенном) и синхронизации (деления частоты).

В режиме автоколебаний мультивибратор имеет два состояния квазиравновесия, во время которых в схеме происходят относительно медленные изменения токов и напряжений. Квазиравновесные состояния заканчиваются лавинообразными изменениями токов и напряжений - скачками в схеме. Таким образом, в этом режиме мультивибратор без воздействия внешних сил поочередно переходит скачком из одного состояния квазиравновесия в другое, т. е. является автогенератором. Параметры генерируемых импульсов (амплитуда длительность, частота повторения и т. д.) определяются только параметрами элементов схемы. К мультивибраторам в автоколебательном режиме предъявляется требование высокой стабильности частоты. Однако стабильность частоты мультивибраторов без применения специальных мер стабилизации сравнительно невысока. Относительная нестабильность частоты при воздействии дестабилизирующих факторов (колебаний температуры, напряжения питания и т. п.) достигает нескольких процентов.

В ждущем режиме одно состояние равновесия является устойчивым (исходное состояние), другое - квазиустойчивым. Перевод схемы в квазиустойчивое состояние осуществляется внешним запускающим импульсом, а возврат в исходное состояние происходит в результате внутренних процессов. Во время этого цикла генерируется один импульс, параметры которого определяются параметрами элементов схемы. При подаче на вход последовательности запускающих импульсов частота выходных импульсов равна частоте входных. Ждущий режим обычно используется для формирования импульсов заданной длительности и формы. Мультивибратор в ждущем режиме называют также одновибратором; запертым, заторможенным, ждущим мультивибратором; однотактным релаксатором; кипп-реле и некоторыми другими терминами. В дальнейшем мультивибратор в ждущем режиме будем называть одновибратором.

В режиме синхронизации на автоколебательный мультивибратор подается внешнее синхронизирующее напряжение (синусоидальное или импульсное). В результате этого частота повторения импульсов на выходе мультивибратора становится кратной частоте синхронизирующего напряжения.

Схема автоколебательного мультивибратора с коллекторно-базовыми связями показана на рис. 8.1. Этот мультивибратор представляет собой двухкаскадный ключ с ОЭ с емкостной связью между каскадами и выходом, замкнутым на вход. Конденсаторы  $C_{61}$  и  $C_{62}$  выполняют роль элементов связи (в отличие от резисторов в триггере) и входят во времязадающие цепи. Другим элементом времязадающих цепей являются резисторы  $R_{61}$  и  $R_{62}$ . Выходные импульсы снимаются с коллекторов транзисторов  $T_1$  и  $T_2$ .

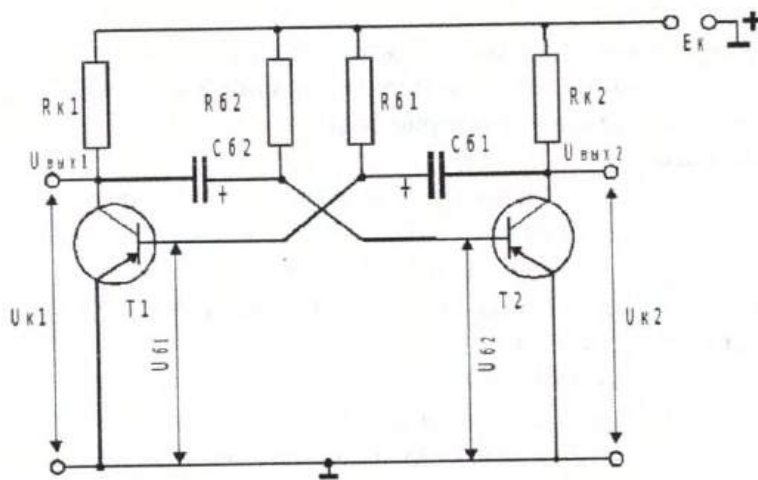


Рис. 1. Схема мультивибратора с коллекторно-базовыми связями

Мультивибратор обладает двумя состояниями квазиравновесия: в одном состоянии транзистор  $T_1$  заперт,  $T_2$  наоборот. При выполнении условий — насыщен; в другом самовозбуждения  $K_1 K_2 > \varphi_1$  и  $\varphi_1 + \varphi_2$  возникают скачки,  $\pi = 2$  поочередно изменяющие состояния транзисторов, после чего происходит перезаряд одного и заряд другого времязадающего конденсатора.

Напряжение базы запертого транзистора при перезаряде конденсатора уменьшается по экспоненте, стремящейся к уровню  $-E_k$ . Крутизна экспоненты вблизи порога отпирания достаточно велика, что улучшает стабильность частоты выходных импульсов. Так как мультивибратор работает в автоколебательном режиме, то описание процессов можно начать с любого момента, например, когда после очередного опрокидывания  $T_1$  оказался насыщенным, а  $T_2$  запертым.

Насыщенный транзистор  $T_1$  в этот момент можно представить эквипотенциальной точкой, поэтому  $U_{к1} \approx 0$  и  $U_{б1} \approx 0$ . Напряжение на конденсаторе  $C_{62}$ , заряженном в предыдущем цикле, с полярностью, показанной на рис. 8.1, приложено между базой и эмиттером транзистора  $T_2$  и удерживает последний в запертом состоянии. У запертого транзистора  $T_2$  напряжение на коллекторе  $U_{к2} = E_k$ , а напряжение на базе  $U_{б2} \approx U_{с62}$  в первоначальный момент близко к  $+E_k$ , а затем начинает уменьшаться по экспоненциальному закону вследствие перезаряда конденсатора  $C_{62}$ . Перезаряд конденсатора протекает по цепи корпус - эмиттер-коллектор  $T_1 - C_{62} - R_{экв2} - (-E_k)$ . Здесь  $R_{экв2} = [(r_{к2} + R_{к2})R_{б2}] / (r_{к2} + R_{к2} + R_{б2})$ ,  $r_{к2}$  — сопротивление коллекторного перехода транзистора  $T_2$ .

В это же время заряжается конденсатор  $C_{61}$  по цепи корпус - эмиттер-база  $T_1 - C_{61} - R_{к1} - (-E_k)$  с полярностью, показанной на рис. 8.1. Обычно элементы схемы выбираются так, чтобы процесс заряда конденсатора  $C_{61}$  протекал быстрее, чем перезаряд  $C_{62}$ . После окончания заряда  $C_{61}$  транзистор  $T_1$  удерживается в насыщении за счет протекания базового тока, достаточного для насыщения.

По мере перезаряда конденсатора  $C_{62}$  напряжение на нем уменьшается и в некоторый момент становится равным нулю. Начиная с этого момента развивается лавинообразный процесс опрокидывания триггера. Транзистор  $T_1$  начинает открываться, и напряжение на его коллекторе  $U_{к2}$  возрастает. Возникшее положительное  $\Delta U$  приращение  $U_{к2}$  через конденсатор  $C_{61}$  передается на базу транзистора  $T_1$ , вызывая его запираение. Это приводит к уменьшению  $U_{к1}$  и возникновению на коллекторе  $T_1$  отрицательного  $\Delta U$  приращения напряжения  $U_{к1}$ , которое через  $C_{62}$  попадает на базу  $T_2$ , содействуя его отпиранию и т. д. В результате  $T_2$  насыщается,  $T_1$  запирается, а конденсатор  $C_{62}$  заряжается по цепи корпус - эмиттер-база  $T_2 - C_{62} - R_{к1} - (-E_k)$ . Одновременно с зарядом конденсатора  $C_{62}$  происходит

более медленный процесс перезаряда конденсатора  $C_{61}$ . Далее процесс протекает аналогично рассмотренному выше.

Понимая под длительностью импульса  $t_{и}$  время открытого состояния одного или другого транзистора, можно рассчитать скважность импульсов.

Скважность импульсов  $q = (t_{и1} + t_{и2}) / t_{и1} = 1 + (t_{и2} / t_{и1})$  ограничивается временем полного заряда конденсатора через соответствующее сопротивление. Поэтому максимальная скважность не превышает величины  $q_{\text{макс}} \approx 5 \cdot \beta / (3\beta + 1) \approx 5 / 3 \approx 1,67$ . Например, при использовании транзисторов с  $\beta = 30$  максимальная скважность около 10.  $\beta$ с обычным значением

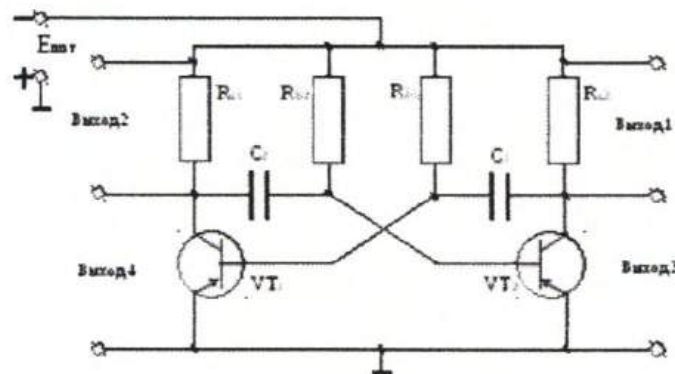
Транзисторные мультивибраторы могут работать в жестком и мягком режиме самовозбуждения. Мягкий режим характеризуется обязательным возникновением генерации при включении источника питания. В жестком режиме для возникновения автоколебаний необходимо внешнее воздействие на схему, например, запускающий импульс.

Жесткий режим самовозбуждения наблюдается в мультивибраторах, когда при включении источника питания оба транзистора оказываются в насыщенном состоянии и не обладают усилительными свойствами. В этом случае условия самовозбуждения не выполняются, и автоколебания отсутствуют. Во избежание жесткого самовозбуждения, что недопустимо в задающих генераторах, необходимо предотвращать сильное насыщение транзисторов. С другой стороны, чтобы получить импульс с плоской вершиной и стабильной амплитудой, необходим насыщенный режим работы транзисторов. Для насыщения транзисторов следует  $R_{в}$  выполнять условия  $R_{к1} \geq R_{61}$ ;  $R_{к2} \geq R_{62}$ .

Чтобы удовлетворить приведенные выше противоречивые требования, неравенства не должны быть сильными. В этом случае транзисторы поочередно будут работать в режиме насыщения, но вблизи границы с активной областью.

#### **Порядок работы:**

1. Ознакомиться с лабораторным стендом (схема на рис.8.2) и принципом работы мультивибратора.



2. С помощью осциллографа зарегистрировать форму генерируемых импульсов на всех выходах мультивибратора (кривые зарисовать).
3. Определить период следования импульсов симметричного мультивибратора, используя для этой цели осциллограф.
4. Вычислить частоту следования импульсов  $f_{и}$  по формуле  $f_{и} = 1 / T_{и}$ , где  $T_{и} \approx 1,4 R_{б} C$ .
5. Определить влияние величины напряжения питания на форму и частоту генерируемых импульсов.
6. Определить связь между амплитудой выходных импульсов и величиной напряжения питания.
7. Сравнить результаты, полученные расчетным и опытным путем.

#### **Анализ результатов и выводы:**

## Лабораторная работа №9 Исследование электронного реле времени

**Цель работы:** изучение работы электронного реле времени.

**Краткие теоретические сведения:** Реле времени представляет собой устройство, предназначенное для получения заданной выдержки времени при включении или отключении электрических цепей. Выдержка времени этих реле зависит от изменения какого-либо параметра управляемого процесса, поэтому реле времени являются важнейшим элементом в различных системах автоматики.

В зависимости от назначения реле к ним предъявляются свои специфические требования, которые, естественно, накладывают отпечаток на принцип действия реле и его конструкцию.

В современной технике широко используются реле времени с электромагнитным замедлением, реле с механическим замедлением, электронное реле времени. В настоящее время отечественная промышленность выпускает большое число модификаций реле с электромагнитным замедлением, выполненных на базе электромагнитов постоянного тока. Эти реле выполняются с магнитопроводами клапанного либо втяжного типа. Реле клапанного типа является более дешевым и технологичным. Так как надежность, и получаемы характеристики обеих реле примерно одинаковы, поэтому наибольшее распространение получило реле клапанного типа.

Время срабатывания таких реле состоит из двух составляющих

$$t_{ND} = t_{0D} - t_{AA}$$

Где  $t_{TP}$  – время трогания при срабатывании,  $t_{ДВ}$  – время движения якоря при срабатывании. Временем трогания при срабатывании называется промежуток времени от момента включения напряжения на обмотку реле до начала движения якоря. За это время ток в катушке реле изменяется от нуля до значения, при котором создается электромагнитное тяговое усилие, способное преодолеть усилие противодействующей пружины. За время движения принимается промежуток времени от начала движения якоря до замыкания контактов. После замыкания контактов якорь может продолжать движение, преодолевая сопротивление контактных пружин. Время отпускания электромагнитного реле, т.е. время с момента выключения реле до размыкания его контактов, также содержит две составляющие.

$$t_{i0I} = t_{0D} + t_{AA}$$

Для срабатывания электромагнитного реле необходимо наличие определенного магнитного потока, значение которого достигается не сразу в момент включения или выключения обмотки реле, а через определенное время. Замедляя нарастание или спадание магнитного потока, можно регулировать время срабатывания реле. Эти задачи могут быть решены не только схемными, но и конструктивными методами.

Во втором случае, кроме основной обмотки, на сердечнике магнитной системы размещается короткозамкнутый контур в виде медной гильзы или медных колец. При подаче напряжения в рабочую обмотку реле в сердечнике магнитопровода возникает магнитный поток. Изменение магнитного потока по амплитуде влечет за собой появление в короткозамкнутом контуре противо-ЭДС. Под её действием в контуре протекает ток, препятствующий нарастанию возбуждавшего его магнитного потока. Этот метод магнитного демпфирования позволяет при включении получить выдержку порядка 0,1-0,5 сек. Большие задержки времени получить трудно, так как нарастание магнитного потока в этом случае происходит при большом зазоре между якорем и сердечником.

Малая индуктивность системы при отпущенном якоря определяет относительно быстрый рост магнитного потока. Применение магнитного демпфирования для замедления отпускания реле является более удобной задачей. Спад магнитного потока происходит

при малом рабочем воздушном зазоре, т.е. при относительно большой индуктивности системы. Использование короткозамкнутого контура позволяет в этом случае получить выдержку от 0,2 до 10 сек.

Регулирование времени срабатывания реле осуществляется изменением толщины немагнитной прокладки между якорем и сердечником (изменением величины остаточного воздушного зазора - грубая регулировка) или изменением натяжения противодействующей пружины (точная регулировка).

Как отмечалось выше, магнитная система реле по конструктивному решению и характеру движения якоря бывает преимущественно клапанного П-образного типа с внешним поворачивающимся на призмах якорем.

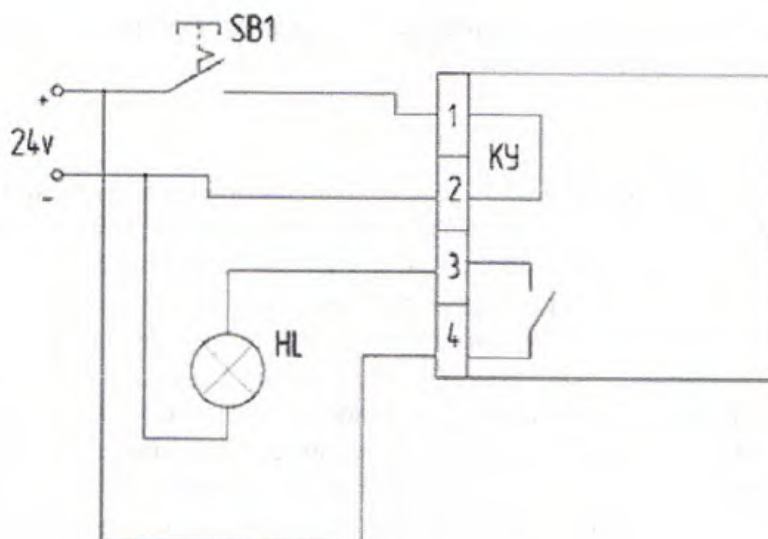
Электронные реле времени обладают высокой чувствительностью. Благодаря простоте изготовления, дешевизне, возможности получения большой частоты включений и высокой износоустойчивости эти реле получали очень широкое распространение. При сравнительно простых средствах электронные реле времени позволяют получить большой диапазон выдержек времени (от  $10^{-3}$  – до десятков секунд), кроме того, имеется возможность плавно регулировать выдержку времени. Наиболее широкое применение электронное реле находит в системах пуска и управления электрических машин.

Принцип работы электронного реле основан на использовании инерционности заряда конденсатора через сопротивление, причем постоянная времени цепи и определяет время выдержки. Изменение выдержки времени может осуществляться изменением зарядного сопротивления или изменением зарядного напряжения, причем использование второго метода ограничено из-за малого диапазона регулирования.

Реле времени ЭВ-237 широко применяется в различных схемах защиты и автоматики в качестве вспомогательного элемента для получения регулируемой замедленной передачи импульса от управляющего органа. Катушка реле не должна длительно находиться под током.

**Порядок работы:**

1. Включить стенд для проверки работы реле. Схема будет иметь вид:





2. После включения стенда необходимо обнулить показания секундомера кнопкой «Сброс». Схема готова к пуску.
3. Установить время срабатывания реле при помощи уставки расположенной на верхней части реле (кликнуть по корпусу исследуемого реле).
4. Включить реле кнопкой «Включить реле» проверить работоспособность реле, наблюдая за индикаторами.
5. Включить реле кнопкой «Включить реле вместе с секундомером» секундомер начнет отсчет времени по окончании выдержки времени остановить секундомер нажатием на кнопку «Пауза» показания занести в таблицу.
6. Обнулить показания секундомера.
7. Провести опыт с разными выдержками времени реле результаты измерений занести в таблицу:

Таблица

Уставка времени $t_{уст}$	1с	3с	5с	7с	9с
Время срабатывания $t_{ср}$ , С					
Погрешность срабатывания $\Delta_t$ , С					
Относительная погрешность $\delta_t$ , %					

8. Рассчитать абсолютную погрешность по формуле:

$$\Delta_t = |t_{\text{ОНД}} - t_{\text{НД}}| = \tilde{N}$$

9. Рассчитать относительную погрешность по формуле:

$$\delta_t = \frac{\Delta_t}{t_{\text{ОНД}}} \cdot 100\%$$

10. Определить среднюю относительную погрешность по формуле:

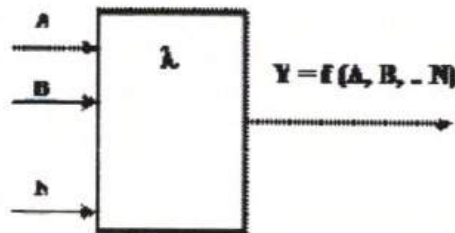
$$\bar{\delta}_t = \frac{\sum \delta_t}{n} \%$$

*Анализ результатов и вывод:*

Лабораторная работа № 10. Исследование работы логических элементов «И», «ИЛИ», «НЕ»

**Цель работы:** изучение принципов действия и экспериментальное исследование работы логических элементов.

**Теоретические сведения**



Логические элементы вместе с запоминающими элементами составляют основу вычислительных машин, цифровых измерительных приборов и устройств автоматики. Логические элементы выполняют простейшие логические операции над цифровой информацией. Их создают на базе электронных устройств, работающих в ключевом режиме, который характеризуется двумя состояниями ключа: «Включено» - «Отключено». Поэтому цифровую информацию обычно представляют в двоичной форме, когда сигналы принимают только два значения: «0» (логический ноль) и «1» (логическая единица), соответствующие двум состояниям ключа. Эти два положения (логическая 1 и логический 0) составляют электронный алфавит, или основание двоичного кода.

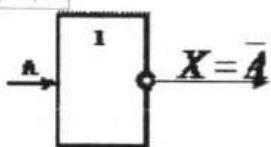
На вход любого цифрового устройства поступает набор кодовых слов, которые оно преобразует в другие кодовые слова или слово. Кодовые слова на выходе являются некой функцией, для которой входные кодовые слова приходятся аргументом этой функции. Их называют функции алгебры логики.

Логические функции, как и математические, можно записать в виде формулы или таблицы – таблицы истинности, которая приводит все возможные сочетания аргументов и соответствующие им значения логических функций. Устройство, предназначенное для выполнения определенных функций алгебры логики, называется логическим элементом. Рассмотрим некоторые из них.

**Логический элемент «НЕ»**

Предназначен для выполнения функции **логического отрицания (инверсии)**. Логическим отрицанием высказывания *A* называется высказывание *X*, истинное в том случае, когда *A* ложно.

A	X

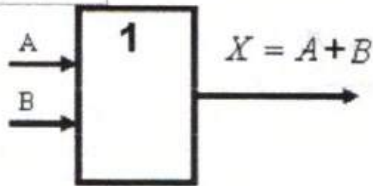


$$X = \bar{A}$$

**Логический элемент «ИЛИ»**

Предназначен для выполнения функции **логического сложения (дизъюнкции)**. Логическим сложением называют такую связь между двумя простыми высказываниями *A* и *B*, в результате которой сложное высказывание *X* ложно лишь в том случае, когда одновременно ложны оба высказывания.

A	B	X



$$X = A + B$$

$$X = A \vee B$$

### Логический элемент И

Предназначен для выполнения функции логического умножения

(конъюнкции). Логическим умножением называют такую связь между двумя простыми высказываниями  $A$  и  $B$ , в результате которой сложное высказывание  $X$  истинно лишь в том случае, когда одновременно истинны оба высказывания.

A	B	X



$$X = A \cdot B$$

$$X = A \wedge B$$

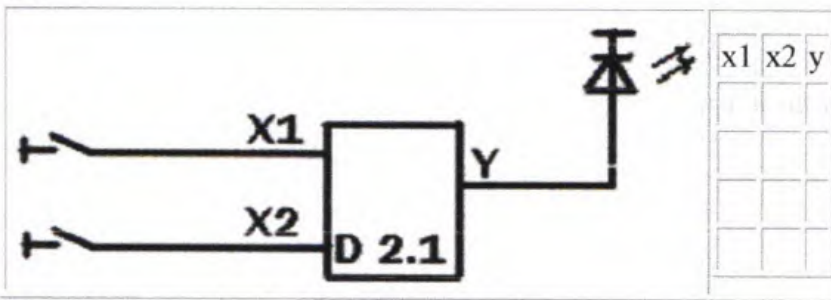
### Порядок выполнения работы:

1. Проанализируйте работу светодиодного индикатора стенда для определения уровней логических сигналов.
2. Исследуйте работу логических устройств, последовательно используя технологические карты. Выполните для каждой схемы следующие задания:
  - а. заполните таблицы истинности,
  - б. используя полученные данные, определите логические элементы,
  - в. назовите выполняемые ими функции алгебры логики,
  - г. обозначьте логические элементы на схеме соответствующими условными обозначениями,



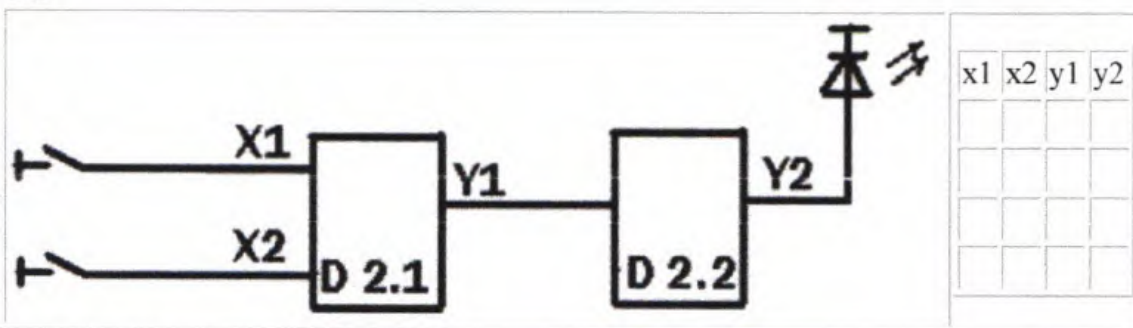
д. запишите формулы, выражающие связь между входными и выходными характеристиками.

I-1



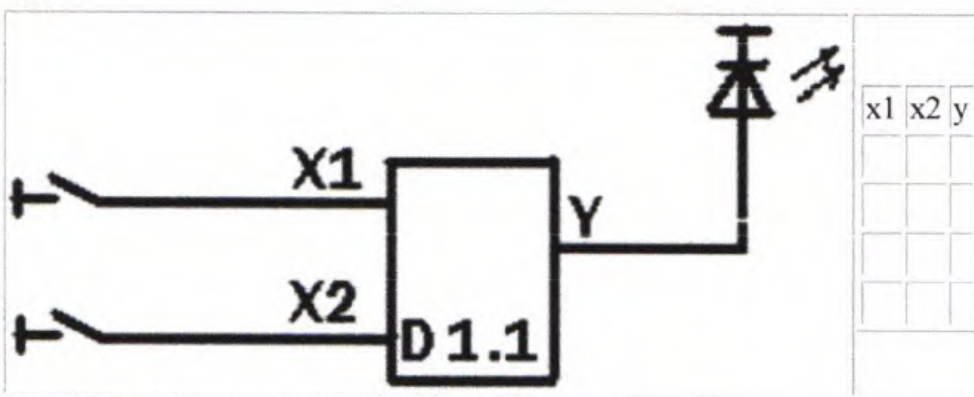
Автомат	Функция	Формула
D2.1		

I-2



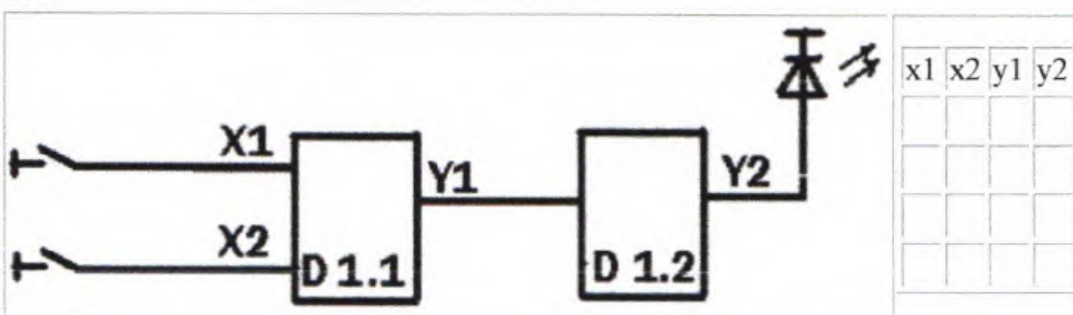
Автомат	Функция	Формула
D2.1		
D2.2		

I-3



Автомат	Функция	Формула
D1.1		

I-4



Автомат	Функция	Формула
D1.1		
D1.2		

*Анализ результатов и выводы:*

## Лабораторная работа №11. Исследование работы счётчика импульсов

**Цель работы:** изучение универсального двоичного счётчика и приобретение навыков в построении и экспериментальном исследовании счётчиков.

### **Краткие теоретические сведения:**

Счётчик – устройство для подсчёта числа входных импульсов.

### **Параметры счётчика:**

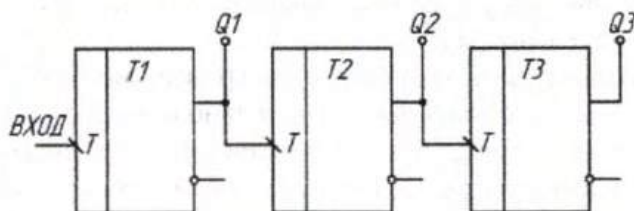
- модуль счёта  $M$  – число устойчивых состояний;
- ёмкость  $E$  – максимальное число, которое может быть записано в счётчик ( $E=M-1$ );
- быстродействие (скорость перехода из состояния «все 1» в состояние «все 0» и наоборот).

### **Классификация:**

1. По направлению счёта:
  - суммирующие;
  - вычитающие;
  - реверсивные;
1. По способу построения цепи переноса:
  - с последовательным переносом;
  - с параллельным переносом;
  - с комбинированным переносом;
1. По способу переключения триггера:
  - синхронные;
  - асинхронные.

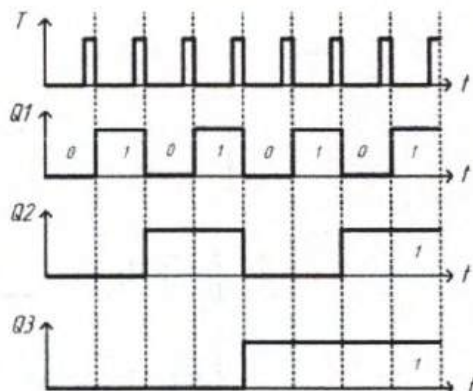
### **2.1 Простейший суммирующий асинхронный счётчик**

Счётчик представляет собой несколько последовательно включенных счётных триггеров. Напомним, что по каждому входному импульсу счётный триггер изменяет своё состояние на противоположное.



#### Простейший суммирующий асинхронный счётчик

Если вход синхроимпульса триггера отмечен как «\», то опрокидывание триггера происходит по заднему фронту, если как «/» — то по переднему.



#### Временная диаграмма работы суммирующего асинхронного счётчика

Для того чтобы разобраться, как работает схема двоичного счётчика, воспользуемся временными диаграммами сигналов на входе и выходах этой схемы, приведёнными на рисунке 2.2.

Пусть первоначальное состояние всех триггеров счётчика будет нулевым. Это состояние мы видим на временных диаграммах. Запишем его в таблицу 2.1. После поступления на вход счётчика тактового импульса (который воспринимается по заднему фронту) первый триггер изменяет своё состояние на противоположное, то есть единицу.

Запишем новое состояние выходов счётчика в ту же самую таблицу. Так как по приходу первого импульса изменилось состояние первого триггера, то этот триггер содержит младший разряд двоичного числа (единицы).

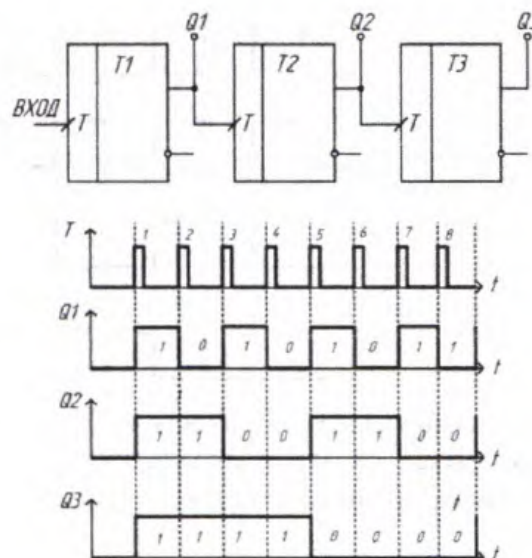
Таблица 2.1 – Изменение уровней на выходе суммирующего двоичного счётчика при поступлении на его вход импульсов

Номер входного импульса	Q2	Q1	Q0
1			1
2		1	
3		1	1
4	1		
5	1		1
6	1	1	
7	1	1	1
8			

Подадим на вход счётчика ещё один тактовый импульс. Значение первого триггера снова изменится на прямо противоположное. На этот раз на выходе первого триггера, а значит и на входе второго триггера сформируется задний фронт. Это означает, что второй триггер тоже изменит своё состояние на противоположное. Это отчётливо видно на временных диаграммах, приведённых на рисунке 2.2. Запишем новое состояние выходов счётчика в таблицу 2.1. В этой строке таблицы образовалось двоичное число 2. Оно совпадает с номером входного импульса.

Продолжая анализировать временную диаграмму, можно определить, что на выходах приведённой схемы счётчика последовательно появляются цифры от 0 до 7. Эти цифры записаны в двоичном виде. При поступлении на счётный вход счётчика очередного импульса, содержащего его триггеров увеличивается на 1. Поэтому такие счётчики получили название суммирующих двоичных счётчиков. Если информацию снимать с инверсных выходов триггеров, то получится вычитающий счётчик.

## 2.2 Простейший вычитающий асинхронный счётчик

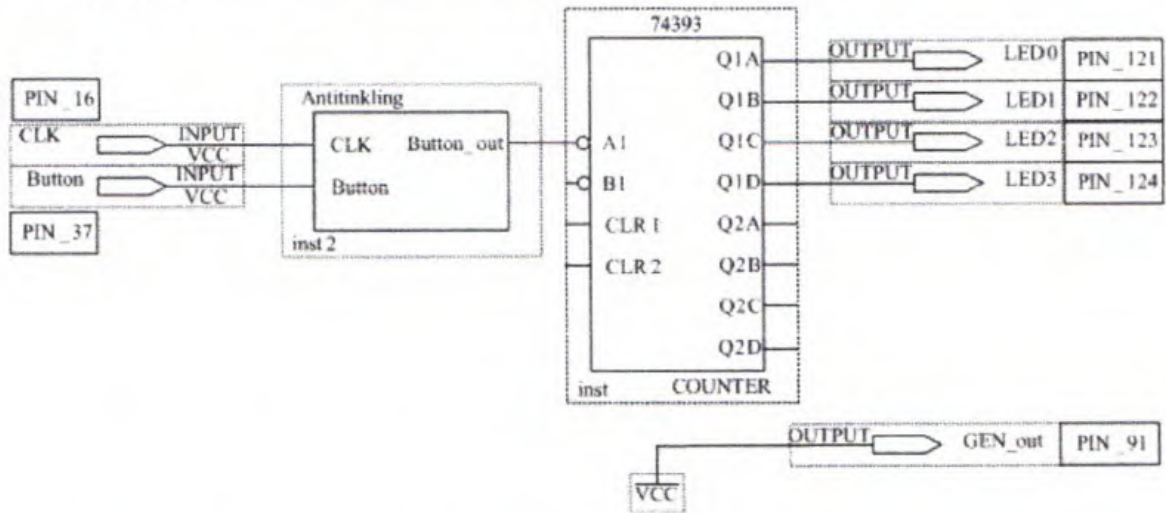


Из временной диаграммы видим, что получился вычитающий счётчик. Если информацию снимать с инверсных выходов триггеров, то получится суммирующий счётчик.

**Порядок работы:**

### 3.1 Исследовать суммирующий счётчик.

1. Сконфигурировать ПЛИС в соответствии с рисунком 3.1.



Элемент 74393 представляет собой суммирующий счётчик.

Подавая с помощью кнопки Button на вход счётчика импульсы и наблюдая за выходами Q, заполнить таблицу.

Таблица– Таблица состояний суммирующего счётчика

Номер входного импульса	QD	QC	QB	QA
1				
.				
15				

**Анализ результатов и выводы:**

## Лабораторная работа №12. Исследование работы однофазного двухполупериодного выпрямителя со сглаживающим фильтром.

### Цель работы:

Исследование однофазной двухполупериодной схемы выпрямителя с RC-фильтром.

### Краткие теоретические сведения:

Выпрямители- это устройства, которые служат для преобразования переменного тока в постоянный.

Сглаживающий фильтр- служит для преобразования выпрямленного тока в ток, близкий по форме к постоянному.

Рассмотрим работу схем однофазного двухполупериодного выпрямителя.

Схема состоит из силового трансформатора Тр, 2 диодов и сглаживающего RC фильтра.

В каждый полупериод открытым оказывается только один из диодов. Таким образом, ток через нагрузку протекает все время в одном направлении.

Сглаживающие фильтры подразделяются на:

1. емкостные;
2. индуктивные;
3. индуктивно-емкостные;
4. резисторно-емкостные

q- коэффициент сглаживания- показывает, во сколько раз уменьшается пульсация при прохождении сигнала через данный фильтр.

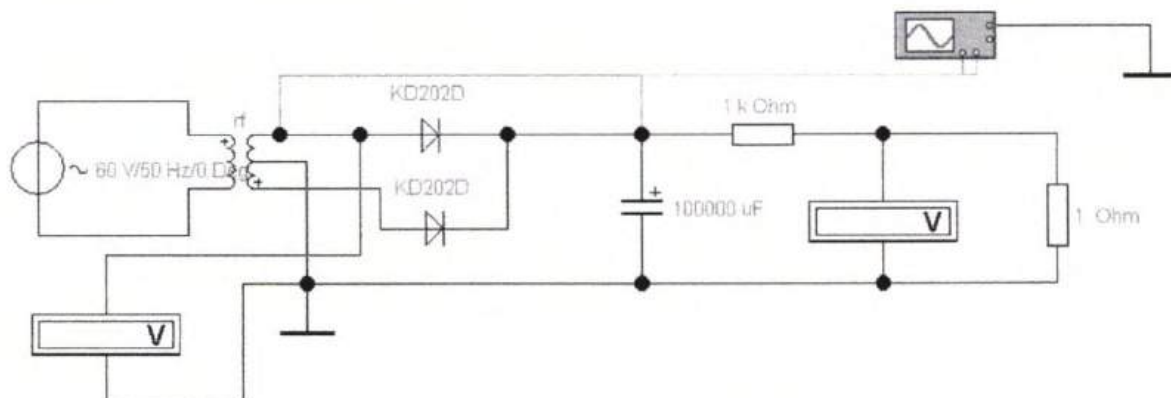
$$q = k_1/k_2, \text{ где}$$


k<sub>1</sub>-коэффициент пульсаций без сглаживающего фильтра;

k<sub>2</sub>-коэффициент пульсаций после прохождения сигналом сглаживающего фильтра.

### Порядок выполнения работы:

1. Запустить программу « Electronics Workbench Professional Edition » .
2. Собрать схему для проведения исследования. Она будет иметь вид:



3. Задать параметры для элементов схемы в соответствии с нанесенными на ней.
4. : Чтобы схема начала функционировать, необходимо нажать кнопку в правом верхнем углу .
5. Отключить конденсатор.
6. Развернув экран осциллографа, пронаблюдать формы сигналов на входе и на выходе вентиля. Зарисовать их.
7. Подключить конденсатор. Повторить п.6
8. Изменить емкость конденсатора на C=1мФ и повторить п.6
9. Произвести замеры напряжения на нагрузке и занести их в таблицу

	C=0	C=100000мкФ	C=1 мФ
U <sub>1</sub> , В			
U <sub>2</sub> , В			

10. Рассчитать коэффициенты сглаживания для C=100000мкФ и C=1мФ

$$q_1 = k_1/k_{2_1} =$$

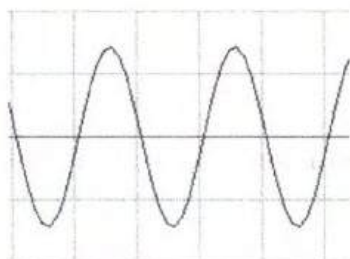
$$q_2 = k_1/k_2 =$$

Без фильтра (С-отключен):  $k_1 = U_1/U_2 =$

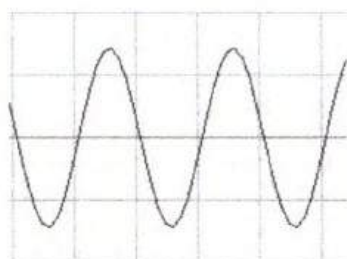
С фильтром (С-подключен):  
 $C = 100000 \text{ мкФ}: k_{2_1} = U_1/U_2 =$

$C = 1 \text{ мФ}: k_{2_2} = U_1/U_2 =$

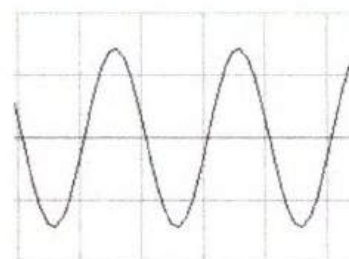
*Оциллограммы:*



$C=0$



$C=100000 \text{ мкФ}$



$C=1 \text{ мФ}$

*Анализ результатов и выводы:*

### Лабораторная работа №13. Исследование работы мостового однофазного выпрямителя.

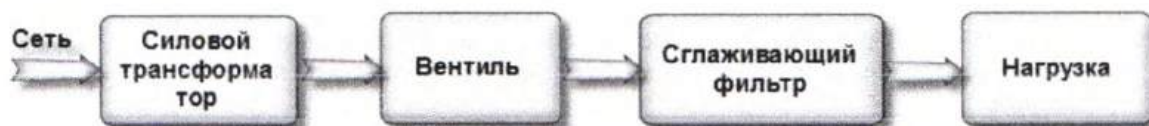
**Цель работы:**

Исследование двухполупериодной мостовой схемы выпрямителя с RC-фильтром.

**Краткие теоретические сведения:**

**Выпрямители** - это устройства, которые служат для преобразования переменного тока в постоянный.

Рассмотрим структурную схему выпрямителя.



**Силовой трансформатор** - служит для преобразования переменного питающего напряжения.

**Вентиль** - обладает односторонней проводимостью и обеспечивает преобразование переменного тока в выпрямленный, т. е. ток одного направления.

**Сглаживающий фильтр** - служит для преобразования выпрямленного тока в ток, близкий по форме к постоянному.

Наиболее широкое применение получила мостовая схема двухполупериодного выпрямителя.

Схема состоит из силового трансформатора  $Tr$ , и 4 диодов  $VD1, VD2, VD3, VD4$ . К диагонали моста «ас» подключена вторичная обмотка трансформатора, а к диагонали «bd» - сопротивление нагрузки  $R_H$ .

В положительный полупериод напряжения  $u_2$  имеют диоды  $D1$  и  $D3$ . Следовательно, ток потечет по цепи:

$$(\cdot)a - \text{диод } D1 - (\cdot)d - R_H - (\cdot)b - \text{диод } D3 - (\cdot)c.$$

В отрицательный полупериод открытыми оказываются диоды  $D2$  и  $D4$  и ток потечет по цепи:

$$(\cdot)c - \text{диод } D2 - (\cdot)d - R_H - (\cdot)b - \text{диод } D4 - (\cdot)a.$$

Таким образом, ток через нагрузку протекает все время в одном направлении. Получаем форму тока представленную на рисунке. Это и соответствует двухполупериодному выпрямлению.

Сглаживающие фильтры подразделяются на:

1. емкостные;
2. индуктивные;
3. индуктивно-емкостные;
4. резисторно-емкостные

$q$  - коэффициент сглаживания - показывает, во сколько раз уменьшается пульсация при прохождении сигнала через данный фильтр.

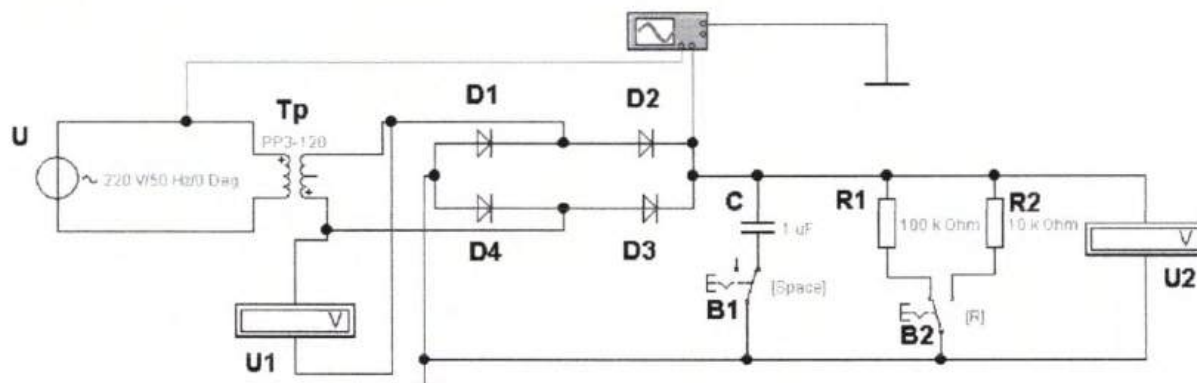
$$q = k1/k2, \text{ где}$$

$k1$  - коэффициент пульсаций без сглаживающего фильтра;

$k2$  - коэффициент пульсаций после прохождения сигналом сглаживающего фильтра.

**Порядок выполнения работы:**

1. Запустить программу « Electronics Workbench Professional Edition ».
2. Собрать схему для проведения исследования. Она будет иметь вид:



3. Задать следующие параметры для элементов схемы: напряжение источника  $U=220V$ , сопротивление резистора  $R1=100k\Omega$ , сопротивление резистора  $R2=10k\Omega$ , выбрать тип трансформатора **PP-120** из базы «powrvolt», по умолчанию оставить диоды идеальными, емкость конденсатора  $C=1\mu F$ .




4. Чтобы схема начала функционировать, необходимо нажать кнопку в правом верхнем углу 
5. Развернув экран осциллографа, пронаблюдать формы сигналов на входе и на выходе вентиля. Зарисовать их.
6. Выключателем В1 отключить конденсатор С.
7. Выключателем В2 подключить сопротивление нагрузки R1. Показания приборов занести в таблицу.
8. Выключателем В2 подключить сопротивление нагрузки R2. Показания приборов занести в таблицу.
9. Выключателем В1 подключить конденсатор С и повторить п.п. 7 и 8.
10. Изменить емкость конденсатора на  $C=1\text{мФ}$  и повторить п.9.

Таблица.

	C=0		C=1мкФ		C=1 мФ	
	R1	R2	R1	R2	R1	R2
U1, В						
U2, В						

11. Рассчитать коэффициенты сглаживания для  $C=1\text{мкФ}$  и  $C=1\text{мФ}$

$$q_1 = k_1/k_{2_1} =$$

$$q_2 = k_1/k_{2_2} =$$

Без фильтра (С-отключен):  $k_1 = U_1/U_2 =$

С фильтром (С-подключен):  
 $C=1\text{мкФ}$ :  $k_{2_1} = U_1/U_2 =$

$C=1\text{мФ}$ :  $k_{2_2} = U_1/U_2 =$

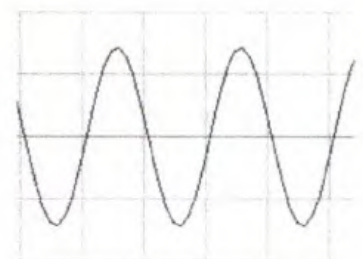
Осциллограммы:



$C=0$



$C=1\text{мкФ}$



$C=1\text{мФ}$



Рассчитать коэффициенты стабилизации для двух режимов нагрузки по приращениям входного и выходного напряжений, соответствующих режиму стабилизации:

Для  $R_H = \infty$ :

$$K_{ст} = \frac{\Delta U_{вх}}{\Delta U_{вых}} * \frac{U_{вых}}{U_{вх}} =$$

Для  $R_H = 4.7 \text{ кОм}$ :

$$K_{ст} = \frac{\Delta U_{вх}}{\Delta U_{вых}} * \frac{U_{вых}}{U_{вх}} =$$

Используя эквивалентные схемы СН, записать систему уравнений для выходного напряжения:

$$\begin{cases} U_{вых} = \frac{E_{вых} * R_H}{R_{вых} + R_H}; \\ U_{вых, \infty} = E_{вых}; \end{cases}$$

Разрешить ее относительно  $R_{вых}$ :

8. Измерение нагрузочной характеристики стабилизатора  $U_{вых}=f(I_H)$

8.1 Напряжение на входе стабилизатора установлено 12 В, движок резистора R7 установлен в крайнее положение с максимальным сопротивлением 4,7 кОм, диапазон изменения напряжения на R8 = 0,011... 0,51 В.

8.2 Снятие зависимости выходного напряжения стабилизатора от напряжения на резисторе R8:

U8, V	Uвых, V	Iн, mA

$$I_H = \frac{U_8}{R_8}$$

Ток нагрузки рассчитывается по формуле:

8.3. Построить нагрузочную характеристику стабилизатора и определим ток срабатывания защиты по уровню выходного напряжения 0,9 от максимального:

**Анализ результатов и выводы:**

### Лабораторная работа № 15. Исследование работы инвертора

**Цель работы:** изучить принцип действия, назначение и виды инверторов. Усвоить требования, предъявляемые к схемам. Ознакомиться с методами расчета и характеристиками схем инверторов. Закрепить полученные знания о схемах инверторов, выполнив лабораторную работу.

#### Краткие теоретические сведения:

При построении устройств и систем электропитания часто возникает задача преобразования постоянного тока в переменный ток. Такие устройства называются инверторами. Они могут быть реализованы с применением транзисторов или тиристоров. К ним можно отнести схемы, представленные на рисунке 1:

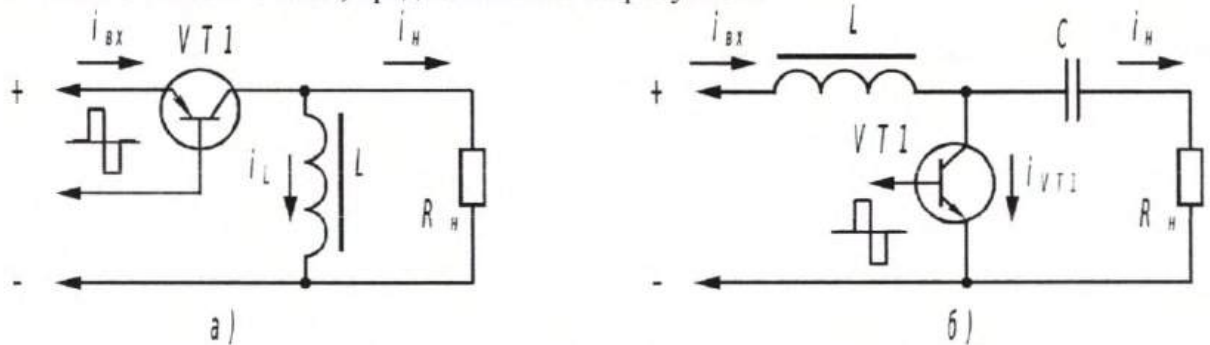


Рисунок 1 — Схемы одноктактных инверторов а) последовательного; б) параллельного.

В схеме на рисунке 1а, в дросселе  $L$  запасается энергия во время открытого состояния транзистора  $VT1$ , которая отдается в нагрузку при запираании транзистора. При отрицательной полярности управляющего напряжения транзистор  $VT1$  открыт и в предположении малости сопротивления участка коллектор – эмиттер все напряжение источника питания приложено к нагрузке. При этом ток дросселя  $i_L$  будет нарастать по линейному закону. После запираания транзистора  $VT1$  ток дросселя  $L$  замыкается через нагрузку, создавая отрицательную полуволну напряжения. Этот ток уменьшается по экспоненциальному закону. Для установившегося режима работы инвертора постоянная составляющая напряжения на нагрузке равна нулю и, соответственно, площади ограниченные положительными и отрицательными полупериодами должны быть одинаковыми. При этом пиковое значение отрицательной полуволны превышает напряжение источника питания. Ток  $i_{BX}$  от источника питания равен сумме токов нагрузки  $i_H$  и дросселя  $i_L$  при открытом транзисторе и нулю – при закрытом.

В схеме на рисунке 1б при закрытом транзисторе  $VT1$  (отрицательная полуволна управляющего напряжения) ток замыкается через дроссель  $L$ , конденсатор  $C$  и сопротивление нагрузки  $R_H$ . При этом конденсатор заряжается и через него проходит ток, уменьшающийся по экспоненциальному закону. После отпираания  $VT1$  ток через дроссель  $L$  увеличивается по линейному закону, создавая в нем запас энергии. Ток в цепи нагрузки обусловлен разрядом конденсатора  $C$  через открытый транзистор  $VT1$  и имеет противоположное направление.

Временные диаграммы токов и напряжений для схем на рисунке 1 приведены на рисунке 2.

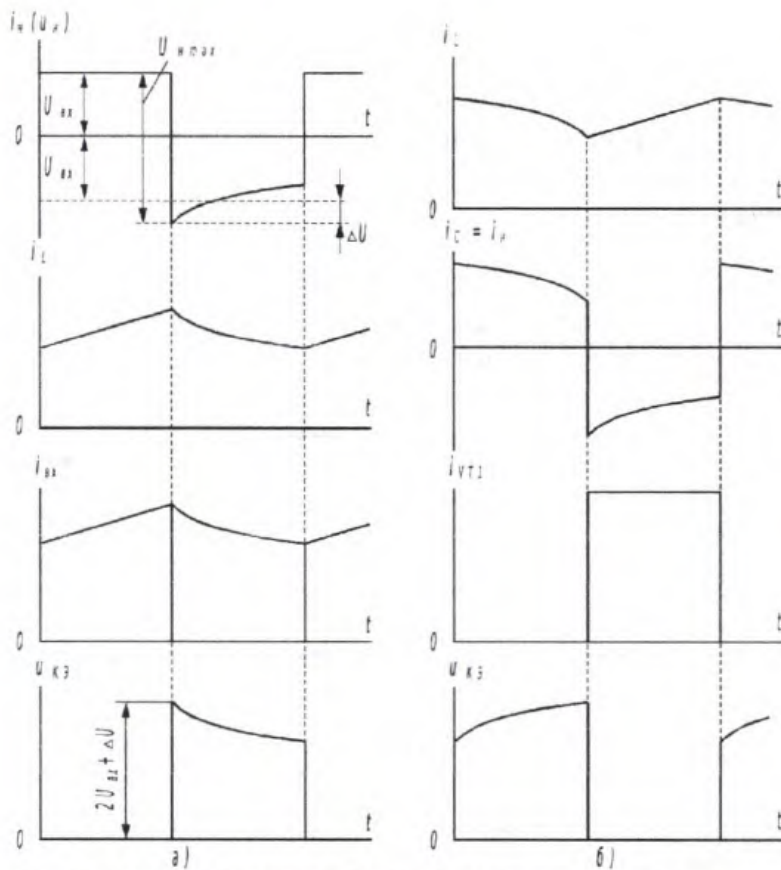


Рисунок 2 — Временные диаграммы токов и напряжений для схем последовательного инвертора а) и параллельного инвертора б).

Недостатком схемы инвертора на рисунке 1а является неравномерная во времени нагрузка источника питания (импульсный характер  $i_{BX}$ ). Этот недостаток отсутствует у схемы инвертора на рисунке 1б, где транзистор и нагрузка включены параллельно.

Различные варианты двухтактных инверторов приведены на рисунке 3.

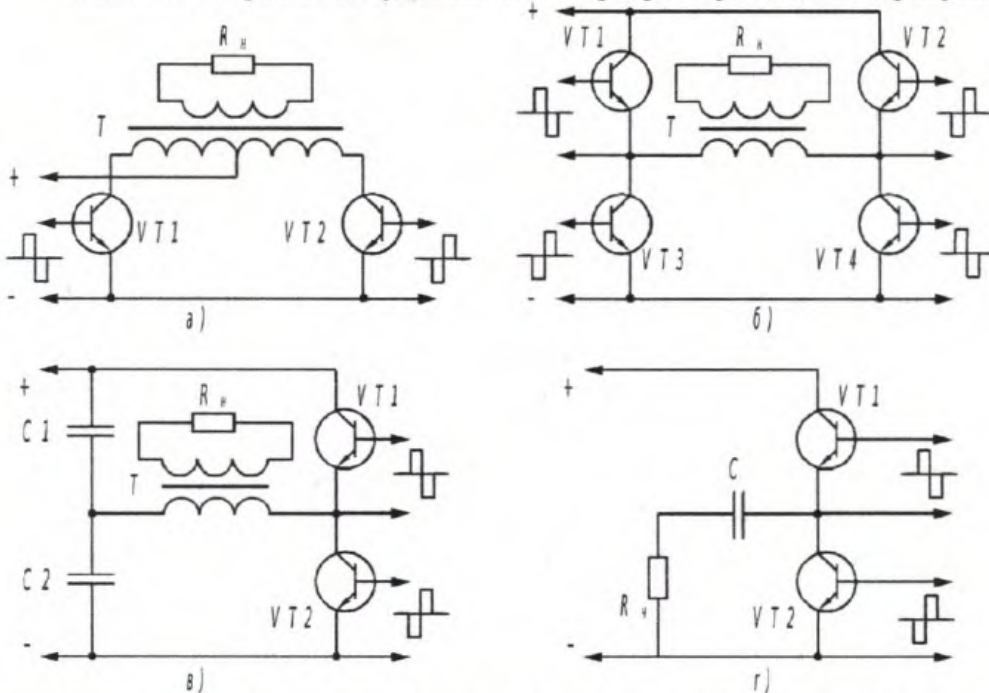


Рисунок 3 — Схемы двухтактных инверторов с дифференциальным трансформатором а), мостовая б), полумостовая в) и полумостовая с общей точкой источника питания и нагрузки.

Схема на рисунке 3а имеет меньшее количество транзисторов, чем мостовая, но имеется удвоенное число витков первичной обмотки у трансформатора со средним выводом. Мостовая схема (рисунок 3б) имеет лучший коэффициент использования мощности трансформатора и к закрытому транзистору прикладывается вдвое меньшее напряжение. В схеме на рисунке 3в используется два конденсатора, которые поочередно перезаряжаются в циклах коммутации транзисторов и обеспечивают протекание тока по первичной обмотке трансформатора. Схема на рисунке 3г отличается отсутствием трансформатора и наличием гальванической связи нагрузки с источником питания.

Схемы инверторов с использованием тиристоров приведены на рисунке 4.

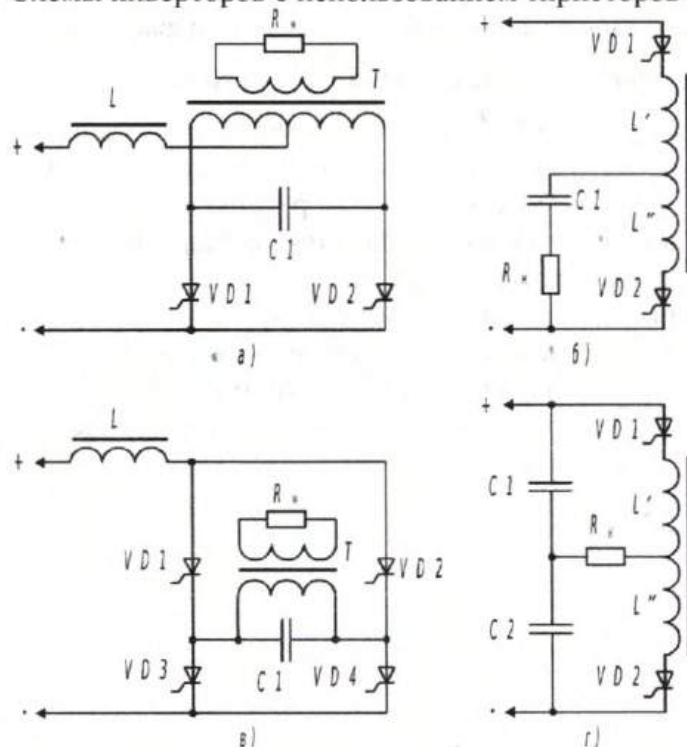


Рисунок 4 — Схемы тиристорных инверторов параллельного а), однофазного последовательного б), мостового параллельного в) и двухфазного последовательного г) типов

На управляющие электроды тиристоров поочередно через определенные интервалы времени подаются управляющие импульсы. В схемах на рисунках 4а и 4в конденсатор  $C1$  при открывании одного тиристора обеспечивает запирающее напряжение отрицательной полярности на аноде другого тиристора. Дроссель  $L$  обеспечивает непрерывность тока от источника питания и при большой его индуктивности ток через него практически постоянный. Тиристоры  $VD1$  и  $VD2$  последовательно открываются положительными импульсами тока, создаваемыми схемой управления. Важную роль в работе схемы играет коммутирующий конденсатор  $C1$ , который при открывании одного из тиристорov обеспечивает закрытие другого путем создания на его аноде напряжения отрицательной полярности. Дроссель  $L$  обеспечивает непрерывность тока источника питания при коммутации тиристора. При больших индуктивностях дросселя можно считать ток  $i_L$  практически постоянным.

В какой-то момент времени тиристор  $VD1$  открывается подачей на его управляющий электрод положительного импульса тока. Анодный ток открытого тиристора  $VD1$ , протекая через левую половину первичной обмотки трансформатора  $T$ , индуцирует на правой половине обмотки ЭДС. Конденсатор  $C1$  перезаряжается, причем ток  $i_C$  будет уменьшаться. Напряжение  $U_{VD1}$  на открытом тиристоре  $VD1$ , мало, а его ток  $i_{VD1} = i_L$  при достаточно большой индуктивности дросселя  $L$  остается практически постоянным. В момент, когда на управляющий электрод тиристора  $VD2$  подается открывающий импульс тока напряжение на коммутирующем конденсаторе  $C1$  имеет наибольшее

значение. Это напряжение оказывается приложенным через малое внутреннее сопротивление открытого тиристора  $VD2$  к тиристорам  $VD1$ . Тиристор  $VD1$  оказывается под обратным напряжением, в результате чего он закрывается. При этом ток коммутирующего конденсатора изменяет свое направление и конденсатор  $C1$  вновь начинает перезаряжаться. К моменту времени, когда вновь будет происходить коммутация тиристоров, полярность напряжения на конденсаторе будет противоположна. Таким образом, процесс коммутации тиристоров периодически повторяется и на нагрузке действует переменное напряжение, форма которого отличается от синусоидальной и прямоугольной.

Необходимо отметить, что после закрывания тиристора  $VD1$  напряжение на его аноде сохраняет отрицательное значение в течение времени  $t_\delta$ . Обязательным условием нормальной работы инвертора является  $t_\delta > t_{\text{выкл}}$ , где  $t_{\text{выкл}}$  — время выключения тиристора. Если неравенство не выполняется, то тиристор не успевает закрыться и это приведет к короткому замыканию. В мостовой схеме на рисунке 4в тиристоры открываются и закрываются попарно, чем обеспечивается перезарядка конденсатора  $C1$  и, соответственно, надежная коммутация тиристоров. Достоинством мостовой схемы является простота конструкции трансформатора (нет средней точки) и лучшее использование его мощности. Схемы на рисунке 4б и 4г используют для надежной коммутации тиристоров дроссель с выводом средней точки. В момент открывания  $VD1$  через нагрузку начинает протекать ток, одновременно заряжающий конденсатор  $C1$ . Процесс заряда описывается уравнением

$$R_H \cdot i_{VD1} + L \cdot \frac{di_{VD1}}{dt} + \frac{1}{C} \cdot \int i_{VD1} dt = U_{\text{ин}} \quad (1)$$

Решение этого уравнения имеет вид

$$i_{VD1} = \frac{U_{\text{ин}} - U_{C1}}{\omega_0 L} \cdot e^{-\alpha t} \sin \omega_0 t \quad (2)$$

где  $U_{\text{ин}}$  — напряжение источника постоянного тока;

$$\alpha = \frac{R_H}{2L} \quad \text{— коэффициент затухания колебательного процесса;}$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC} - \alpha^2} \quad \text{— частота собственных колебаний контура, образованного дросселем, конденсатором и сопротивлением нагрузки.}$$

В последовательном инверторе используется колебательный режим заряда

конденсатора  $C1$ , для которого  $\frac{1}{LC} > \alpha^2$ . Ток заряда в этом режиме согласно изменяется

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0}$$

по закону затухающей синусоиды с периодом

Напряжение на конденсаторе  $U_{C1}$  в момент открывания тиристора  $VD1$ , обусловлено процессами, происходящими при открытом тиристоре  $VD2$ . Через половину периода колебательного процесса ток заряда конденсатора станет равным нулю, а напряжение на конденсаторе достигнет максимального значения. В этот момент происходит закрывание тиристора  $VD1$  поскольку ток через него в обратном направлении протекать не может. При этом напряжение на коммутирующем дросселе также достигнет максимального значения и появляется импульс на управляющем электроде тиристора  $VD2$ , что обеспечивается выбором периода  $T$  коммутирующих импульсов, равного периоду колебательного процесса заряда конденсатора  $T = T_0$ .

После открывания тиристора  $VD2$  конденсатор  $C1$  начинает разряжаться через этот тиристор, нижнюю половину коммутирующего дросселя и нагрузку. Разряд конденсатора также носит колебательный характер и ток разряда определяется из соотношения

$$i_{VD2} = \frac{U_C}{\omega_0 L} e^{-\alpha t} \sin \omega_0 t \quad (3)$$

В момент открывания тиристора  $VD2$  напряжение на коммутирующем дросселе скачком изменяет свою полярность на противоположную. Это напряжение через открытый тиристор  $VD2$  обеспечивает надежное закрывание тиристора  $VD1$ . В процессе разряда конденсатора  $C1$  напряжение на его обкладках изменяет свою полярность и к моменту подачи отпирающего импульса на  $VD1$  равно максимальному значению. Ток разряда в этот момент времени обращается в нуль. При этом тиристор  $VD2$  закрывается, а приходящий в это время коммутирующий импульс тока открывает тиристор  $VD1$ . Изменяющееся скачком напряжение на дросселе обеспечивает надежное закрывание тиристора  $VD2$ . Далее описанные процессы периодически повторяются.

Рассмотренный режим работы последовательного инвертора, называемый *граничным*, предполагал равенство периода коммутирующих импульсов и периода собственных колебаний цепи заряда и разряда конденсатора. В этом режиме форма выходного напряжения близка к синусоидальной. Возможны два других режима.

Если тиристор  $VD2$  открывается не сразу после закрывания тиристора  $VD1$ , то между импульсами тока в нагрузке имеется временная пауза. Такой прерывистый режим работы последовательного инвертора называется *режимом с естественной коммутацией*. Он может быть обеспечен выбором периода коммутирующих импульсов, большего периода собственных колебаний цепи заряда конденсатора  $C1$ :  $T > T_0$ .

Если выполняется неравенство  $T < T_0$ , то тиристор  $VD2$  открывается до того, как закрывается тиристор  $VD1$  и в течение некоторого времени оба тиристора проводят ток. Такой режим называется режимом с вынужденной коммутацией. Форма выходного тока в этом режиме приближается к прямоугольной. Нормальная работа инвертора в режиме с вынужденной коммутацией возможна только в случае, если напряжение на дросселе в момент коммутации будет больше напряжения источника питания. Недостаток рассмотренной схемы последовательного инвертора заключается в том, что ток источника носит прерывистый характер и энергия источника поступает в цепь нагрузки только в то время, когда открыт тиристор  $VD1$ . Временные диаграммы различных режимов работы последовательного инвертора показаны на рисунке 5.

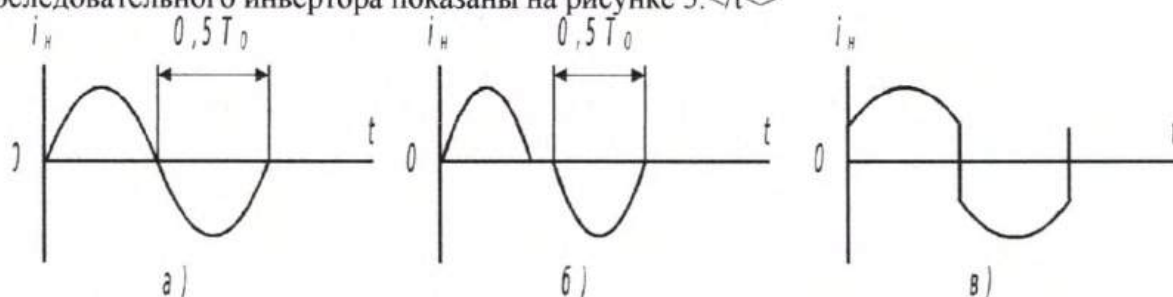


Рисунок 5 — Временные диаграммы токов нагрузки последовательного инвертора а) в граничном режиме; б) в режиме с естественной коммутацией; в) в режиме с вынужденной коммутацией

### 3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

В соответствии с вариантом задания (Таблица 1 Приложение А), указанным преподавателем, произвести расчет инвертора и его параметров в соответствии с приведенными в методических указаниях расчетными формулами. Для индуктивностей принять  $R=0$ .



Для определения частоты  $\omega_0$ , на которой работает инвертор, необходимо

выполнение условия  $\frac{1}{LC} > \alpha^2$ . Коэффициент затухания  $\alpha$  необходимо поддерживать в диапазоне 0,04 - 0,12. Определить величину  $LC$  и рассчитать значение емкости конденсатора  $C1$  для получения частота выходного напряжения  $f_{\text{вых}} = 50 \text{ Гц}$ . Выбрать тиристоры, используя данные таблиц 2-5 Приложения А.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица 1 — Исходные данные для расчетных вариантов

№ п/п	Входное напряжение $U_{\text{вх}}$ , В	Сопротивление нагрузки $R_n$ , Ом	Схема
1	12	0,1	4б
2	24	0,3	4г
3	36	0,25	4б
4	48	0,4	4г
1	2	3	4
5	12	0,15	4б
6	24	0,25	4г
7	36	0,35	4б
8	48	0,5	4г
9	60	0,4	4б
10	100	0,45	4г
11	120	0,55	4б
12	140	0,75	4г

Таблица 2 — Силовые тиристоры

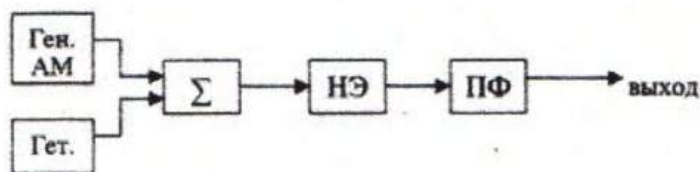
тип	$I_{\text{FSM}}$ , при $T_{\text{max}}$	$I_{\text{RRM}}$ , mA не более	$U_{\text{DRM}}$	$U_{\text{TM}}$ , не более	$\left[ \frac{dU}{dt} \right]^*$ , В/мкс	$\left[ \frac{dI}{dt} \right]^*$ , А/мкс	$t_q^*$ (мкс) не более
1	2	3	4	5	6	7	8
T112-10; T112-16	0,15; 0,2	2,5; 3	100—1800	1,85; 1,8	50—1000	100	(4,0)
T122-20; T122-25	0,3; 0,35	3	100—1800	1,75	50—1000	100	(6,0)
T130-40; T130-50	0,75; 0,8	5; 6	100—1200	1,75	50—1000	100	(8,0)
T130-63; T130-80	1,2; 1,35	6	100—1200	1,65	50—1000	100	(10,0)
T132-40; T132-50	0,75; 0,8	5; 6	100—1200	1,75	50—1000	100	(6,0)
T132-16; T132-25	0,22; 0,33	9	1300—2000	2,2	50—1000	100	(6,0)
T142-32	0,38	9	1300—2000	2,1	50—1000	100	(8,0)

### Лабораторная работа № 16. Исследование работы преобразователя частоты

**Цель работы:** изучить процесс преобразования частоты (транспонирования спектра) сигналов в нелинейных цепях с избирательной нагрузкой и приобрести навыки экспериментального исследования качественных показателей преобразователей частоты.

#### **Описание лабораторной установки.**

В данной лабораторной работе исследуется процесс преобразования частоты АМ сигнала. Структурная схема лабораторной установки изображена на рисунке 7.1.



Обозначения на схеме: Ген. АМ - генератор сигналов с амплитудной модуляцией; Гет. — гетеродин — генератор гармонических колебаний;  $\Sigma$ - сумматор; НЭ — нелинейный элемент; ПФ - полосовой фильтр.

Лабораторная работа выполняется на основе блока № 1 лабораторного макета, содержащего необходимые составные элементы преобразователя частоты; сумматор, нелинейный элемент (транзистор) и полосовой фильтр - колебательный контур  $LC$ .

В качестве гетеродина используется генератор гармонических колебаний, встроенный в лабораторный макет. Частота его колебаний  $f_2 = 180 \text{ кГц}$ . В качестве генератора АМ сигналов используется промышленный генератор Г4-102.

#### **Лабораторное задание.**

1. Исследовать характеристику преобразования.
2. Наблюдать эффект преобразования частоты.
3. Экспериментально определить значения комбинационных частот

#### **Методические указания.**

1. Исследовать характеристику преобразования.
  - 1.1. Вход преобразователя (гнездо 1) соединить с выходом «Выход  $mV$ » генератора Г4-102. К гнезду 2 на входе преобразователя соединить вход «Выход АМ» внутреннего генератора лабораторного макета. Этот генератор в лабораторной установке выполняет функцию гетеродина.
  - 1.2. Включить лабораторный макет и его блок № 1. Включить генераторы и осциллограф.
  - 1.3. Регулятор «Амплитуда несущей ( $B$ )» внутреннего генератора макета повернуть до предела по часовой стрелке. Регулятор « $M$  глубина модуляции» этого генератора повернуть в крайнее левое положение. При таком положении ручек на выходе генератора будет существовать напряжение немодулированного гармонического сигнала с частотой  $f_2 = 180 \text{ кГц}$  и амплитудой  $1B$ .  
Проконтролировать существование этого сигнала на входе преобразователя с помощью осциллографа, соединив вход осциллографа  $Y_1$  с гнездом 2 лабораторного макета.
  - 1.4. На генераторе Г4-102 установить частоту  $f_c = 65 \text{ кГц}$ . Переключатель «АМ» генератора поставить в положение «Внеш». При этом положении на выходе генератора будет существовать напряжение сигнала без амплитудной модуляции, т.е. гармонический сигнал.  
Установить на выходе Г4-102 амплитуду напряжения  $U_c = 0,5B$ . Проконтролировать напряжение сигнала с помощью осциллографа, подсоединив его вход  $Y_2$  с гнездом 1 лабораторного макета.
  - 1.5. Соединив вход осциллографа « $Y_1$ » с выходом преобразователя частоты (гнездо 6). Нагрузкой транзистора преобразователя частоты сделать  $LC$  контур (нажать кнопку « $LC$ » на блоке №1) с высокой добротностью (отключить от контура шунтирующий резистор  $R_m$  отжатием кнопки  $R_m$ ).

Установить напряжение смещения  $E_{см} = 0В$ . Изменяя частоту сигнала генератора Г4-102 в небольших пределах (1-2кГц), добиться резонанса в колебательном контуре преобразователя по максимуму напряжения на его выходе или по максимуму показания миллиамперметра.

Убедиться в том, что на выходе преобразователя наблюдается преобразованный сигнал: при отсоединении от входа преобразователя (гнезда 1 и 2) внутреннего генератора макета или генератора Г4-102, должно исчезнуть напряжение сигнала на выходе преобразователя.

1.6. При исследовании характеристики преобразования, т.е. зависимости амплитуды тока преобразованного сигнала от амплитуды напряжения входного сигнала, источником напряжения входного сигнала служит генератор Г4-102. Амплитуду его выходного напряжения следует уменьшить от **0,5В** до значений, при которых амплитуда тока преобразованного колебания уменьшится до нуля.

Амплитуда тока преобразованного сигнала измеряется миллиамперметром лабораторного макета. Данные измерений занести в таблицу 1.

Таблица 1.

$E_{см} = 0В$		$E_{см} = 1,0В$		$E_{см} = 2,0В$	
$U_c, В$	$I_1, мА$	$U_c, В$	$I_1, мА$	$U_c, В$	$I_1, мА$
0,5		0,5		0,5	

1.7. Исследовать характеристику преобразования для других значений напряжения смещения:  $E_{см} = 1,0В$  и  $E_{см} = 2,0В$ . Данные занести в таблицу 5.1.

1.8. По данным измерений построить графики характеристик преобразования  $I_1 = f(U_c)$  в одной общей системе координат. Определить значение напряжения смещения и амплитуды напряжения входного сигнала, при которых будут минимальные искажения при преобразовании частоты. При выбранных  $E_{см}$  и  $U_c$  по характеристике преобразования определить максимально допустимый коэффициент амплитудной модуляции входного сигнала.

2. Наблюдать эффект преобразования частоты.

2.1. Зашунтировать резонансный LC контур в нагрузке транзистора преобразователя нажатием кнопки "**R<sub>ш</sub>**".

2.2. Выставить на лабораторном макете напряжение смещения  $E_{см}$ , определенное в п. 1.8.

2.3. На выходе генератора Г4-102 получить, сигнал с амплитудной модуляцией.

Установить амплитуду напряжения и коэффициент модуляции, определенные в п. 1.8.

2.4. Сравнить формы сигналов на входе (гнездо 1) и выходе (гнездо 6) преобразователя.

Осциллограммы зарисовать. Подобрать длительность развертки осциллографа такой, чтобы было заметно различие частот входного и выходного сигналов.

2.5. Меняя амплитуду входного сигнала, а затем и коэффициент модуляции, наблюдать искажения формы входного колебания. Зарисовать несколько осциллограмм искаженного по форме выходного сигнала.

3. Экспериментально определить значения комбинационных частот.

3.1. Установить на выходе Г4-102 параметры сигнала (амплитуду и коэффициент модуляции), при котором отсутствуют искажения в преобразованном колебании.

3.2. Медленно увеличивая частоту генератора Г4-102 от **160** до **320** кГц наблюдайте на экране осциллографа форму выходного сигнала. Запишите значения частот, при которых на выходе преобразователя будет наблюдаться преобразованный по частоте сигнал.

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**

**ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»**

**Технический колледж им. С.И. Мосина**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ**

**РАСЧЕТНО-ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ**

**по учебной дисциплине Основы электроники**

**по специальности СПО:**

**08.02.09 Монтаж, наладка и эксплуатация**

**электрооборудования промышленных и гражданских зданий**

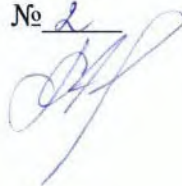
ТУЛА 2024

УТВЕРЖДЕНО

на заседании цикловой комиссии естественнонаучных дисциплин

Протокол от «12» сентября 2024 г. № 2

Председатель цикловой комиссии



Е.А.Рейм

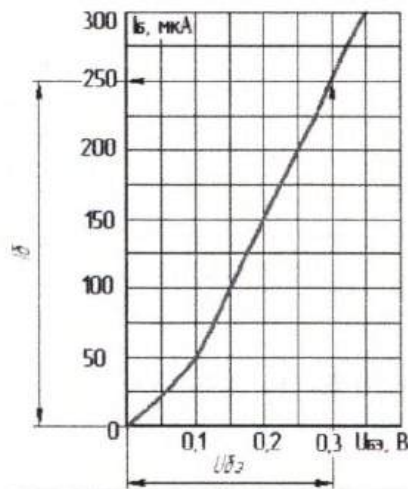
**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
ПО ВЫПОЛНЕНИЮ  
РАСЧЕТНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ №1**

## ПРИМЕР РАСЧЕТА УСИЛИТЕЛЬНОГО КАСКАДА ЗАДАЧА

Для транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером, заданы напряжение на базе  $U_{БЭ}=0,3В$ , сопротивление нагрузки  $R_K=0,8 кОм$  и напряжение источника питания  $E_K=20В$ . Используя входную и выходную характеристики (рис. 1-2) определить напряжение на коллекторе  $U_{КЭ}$ , ток коллектора  $I_K$ , мощность на коллекторе  $P_K$ , коэффициент усиления по току  $K_I^Э$ , а также коэффициент передачи тока  $\alpha$ .

### РЕШЕНИЕ

1. По входной характеристике для  $U_{БЭ}=0,3В$  определяем ток базы  $I_B$ :



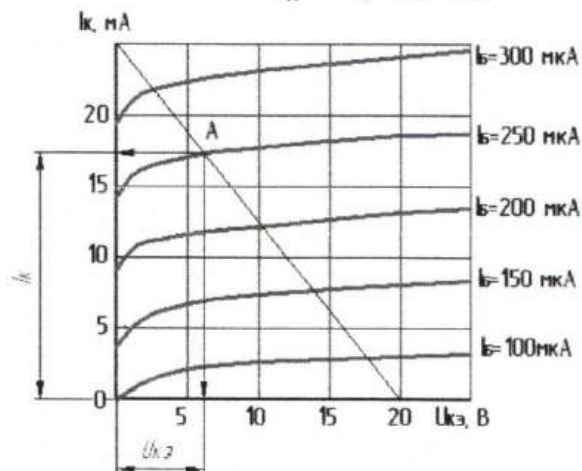
$$I_B = 250 \text{ мкА}$$

2. На выходной характеристике строим нагрузочную прямую в соответствии с формулой  $U_{КЭ} = E_K - I_K \cdot R_K$ . Для этого определяем две характерные точки:

На оси  $U_{КЭ}$  это будет точка с координатами:  $I_K=0$  и  $U_{КЭ}=E_K=20В$

На оси  $I_K$  это будет точка с координатами:

$$U_{КЭ}=0 \text{ и } I_K = \frac{E_K}{R_K} = \frac{20В}{0,8 \cdot 10^{-3} Ом} = 25 \cdot 10^{-3} А = 25 \text{ мА}$$



3. На пересечении построенной прямой и ветви характеристики, соответствующей найденному току базы, получаем точку **А**, по координатам которой находим:

$$U_{KЭ} \approx 6B \text{ и } I_{KЭ} \approx 17mA$$

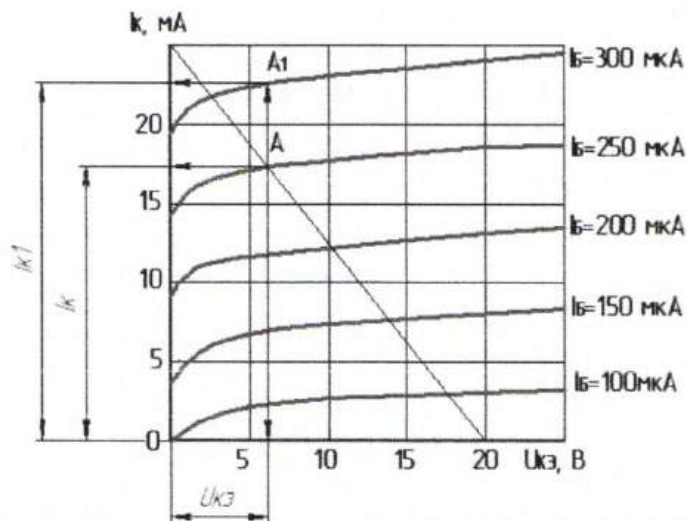
4. Определяем мощность на коллекторе:

$$P_K = U_K \cdot I_{KЭ} = 6 \cdot (17 \cdot 10^{-3}) = 102 \cdot 10^{-3} Bm = 102.mBm$$

5. Определяем коэффициент усиления по току  $K_I^Э$  по формуле

$$K_I^Э = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_B}$$

Для этого предполагаем, что точка А перешла в точку А<sub>1</sub> на ветвь с током базы 300мкА



При этом ток коллектора  $I_K$  увеличился до 27мА.

Тогда  $\Delta I_B = 300 - 250 = 50.mкА = 50 \cdot 10^{-6} A$ , а  $\Delta I_K = 27 - 17 = 10.mА = 10 \cdot 10^{-3} A$

$$K_I^Э = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_B} = \frac{10 \cdot 10^{-3}}{50 \cdot 10^{-6}} = 0,2 \cdot 10^3 = 200$$

6. Из формулы  $K_I^Э = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$  определяем

$$\alpha = \frac{K_I^Э}{1 + K_I^Э} = \frac{200}{1 + 200} = 0,995$$

ОТВЕТ:  $U_{KЭ} \approx 6B$ ;  $I_{KЭ} \approx 17mA$ ;  $P_K = U_K \cdot I_{KЭ} = 102.mBm$ ;  $K_I^Э = 200$ ;  $\alpha = 0,995$



**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
ПО ВЫПОЛНЕНИЮ  
РАСЧЕТНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ №2**

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ

1. Анализируем данные задачи.

2. Из таблицы выписываем  $U_{обр.д.}$  и  $I_{дон.д.}$  для заданного диода.

3. Определяем напряжение, действующее на диод в обратном направлении  $U_{обр}$  по формуле, соответствующей заданной схеме выпрямителя:

$$U_{обр} = 3,14 \cdot U_0 - \text{для однополупериодного выпрямителя}$$

$$U_{обр} = 3,14 \cdot U_0 - \text{для двухполупериодного со средней точкой трансформатора}$$

$$U_{обр} = 1,57 \cdot U_0 - \text{для мостового выпрямителя}$$

$$U_{обр} = 2,1 \cdot U_0 - \text{для трехфазного выпрямителя, собранного на трех диодах}$$

$$U_{обр} = 2,1 \cdot U_0 - \text{для трехфазного мостового}$$

4. Определяем подходит ли диод для работы в данной схеме в соответствии с неравенством:  $U_{обр.д.} \geq U_{обр}$ . Если напряжение, действующее на диод, не удовлетворяет данному неравенству, применяем последовательное соединение нескольких диодов\*. Определяем нужное число диодов для последовательного включения по формуле:

$$n = \frac{U_{обр}}{U_{обр.д.}} **.$$

\* - каждый диод, входящий в заданную схему, заменяется рассчитанным количеством диодов.

\*\* - полученное число округляется до ближайшего большего целого числа.

5. По заданной мощности потребителя из формулы  $P_o = U_o \cdot I_o$  находим ток в нагрузке:

$$I_o = \frac{P_o}{U_o}$$

6. Находим ток  $I_d$ , протекающий через диод в прямом направлении по формуле, соответствующей заданной схеме выпрямителя:

$$I_d = I_o - \text{для однополупериодного выпрямителя}$$

$$I_d = 0,5 \cdot I_o - \text{для двухполупериодного со средней точкой трансформатора}$$

$$I_d = 0,5 \cdot I_o - \text{для мостового выпрямителя}$$

$$I_d = \frac{I_o}{3} - \text{для трехфазного выпрямителя, собранного на трех диодах}$$

$$I_d = \frac{\pi}{3} \cdot I_o - \text{для трехфазного мостового}$$

Определяем подходит ли диод для работы в данной схеме в соответствии с неравенством:  $I_{дон.д.} \geq I_d$ . Если ток, протекающий через диод, не удовлетворяет данному неравенству, применяем параллельное соединение нескольких диодов\*. Определяем нужное число диодов для параллельного включения по формуле:

$$n = \frac{I_d}{I_{дон.д.}} **.$$

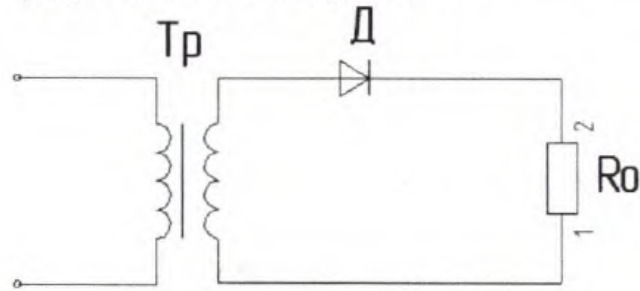
\* - каждый диод, входящий в заданную схему, заменяется рассчитанным количеством диодов.

\*\* - полученное число округляется до ближайшего большего целого числа.

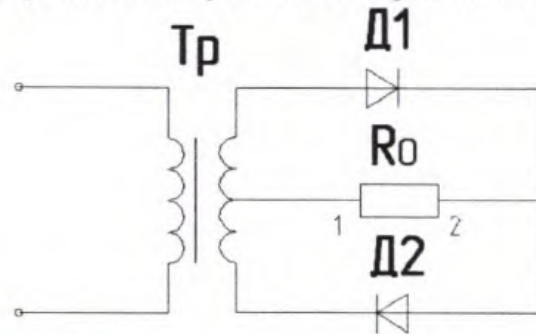
7. В соответствии с результатами расчета составляем заданную схему выпрямителя.

## Стандартные схемы выпрямителей

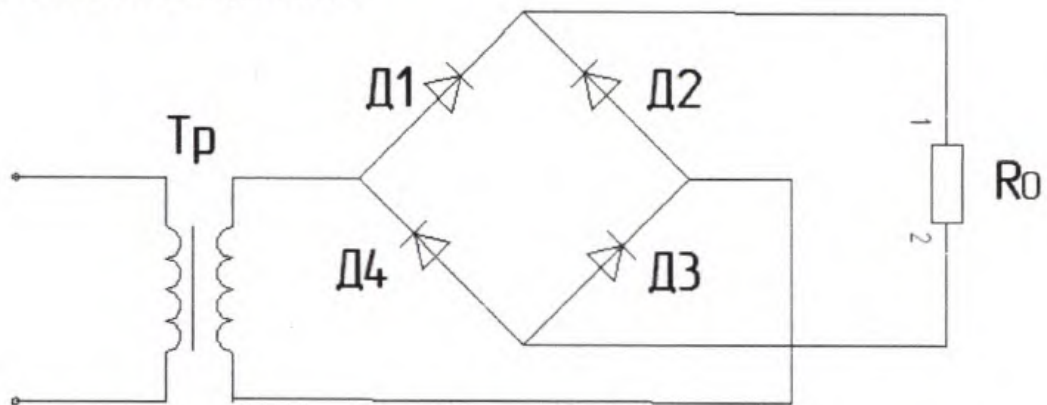
1. Однополупериодная схема выпрямителя



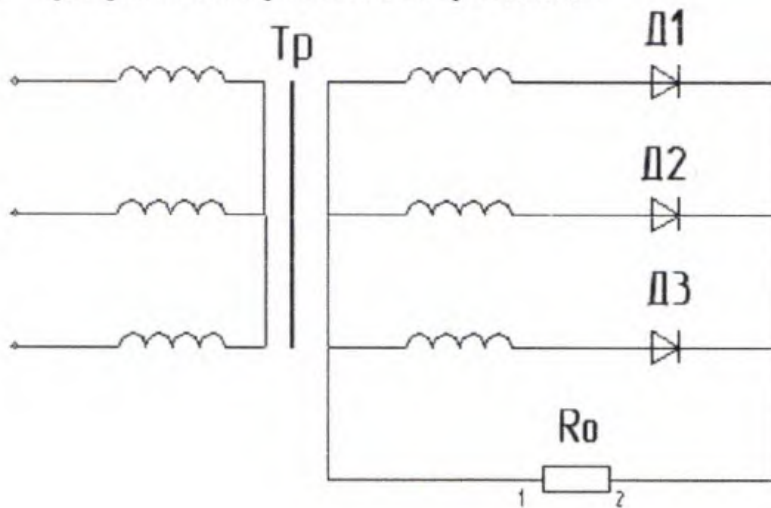
2. Двухполупериодный выпрямитель со средней точкой трансформатора



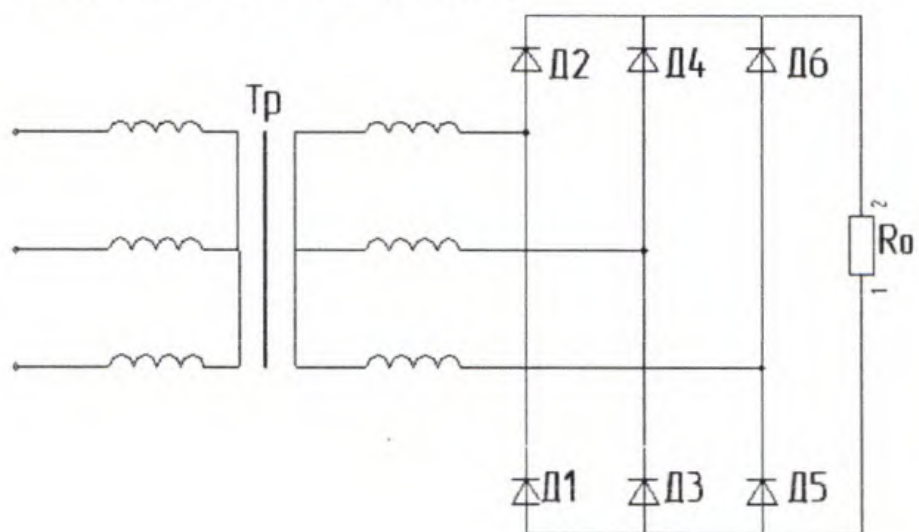
3. Мостовой выпрямитель



4. Трехфазный выпрямитель на трех диодах



5. Трехфазный мостовой выпрямитель



## ПАРАМЕТРЫ ДИОДОВ

Типы диодов	$I_{доп.}$ А	$U_{обр.}$ В	Типы диодов	$I_{доп.}$ А	$U_{обр.}$ В
Д7Г	0,3	200	Д231Б	5	300
Д205	0,4	400	Д232	10	400
Д207	0,1	200	Д232Б	5	400
Д209	0,1	400	Д233	10	500
Д210	0,1	500	Д233Б	5	500
Д211	0,1	600	Д234Б	5	600
Д214	5	100	Д242	5	100
Д214А	10	100	Д242А	10	100
Д214Б	2	200	Д242Б	2	100
Д215	5	200	Д243	5	200
Д215А	10	200	Д243А	10	200
Д215Б	2	200	Д243Б	2	200
Д217	0,1	800	Д244	5	50
Д218	0,1	1000	Д244А	10	50
Д221	0,4	400	Д244Б	2	50
Д222	0,4	600	Д302	1	200
Д224	5	50	Д303	3	150
Д224А	10	50	Д304	3	100
Д224Б	2	50	Д305	6	50
Д226	0,3	400	КД202А	3	50
Д226А	0,3	300	КД202Н	1	500
Д231	10	300			

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**

**ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»**

**Технический колледж им. С.И. Мосина**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ**

**практических заданий**

**по учебной дисциплине «Техническая механика»**

по специальности СПО:

08.02.09 Монтаж, наладка и эксплуатация

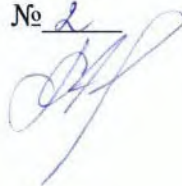
электрооборудования промышленных и гражданских зданий

УТВЕРЖДЕНО

на заседании цикловой комиссии естественнонаучных дисциплин

Протокол от «12» сентября 2024 г. № 2

Председатель цикловой комиссии



Е.А.Рейм

## Тема 1.2 Плоская система сходящихся сил

### Практическая работа №1

#### «Исследование плоской системы»

**Цель работы:** *уметь:* определять равнодействующую системы сил, решать задачи на равновесие геометрическим и аналитическим способом, рационально выбирая координатные оси  
*знать:* способы сложения двух сил и разложение силы на составляющие.

#### Теоретическая часть

##### Расчетные формулы

*Равнодействующая системы сил*

$$F_{\Sigma} = \sqrt{F_{\Sigma x}^2 + F_{\Sigma y}^2}; \quad F_{\Sigma x} = \sum_{i=1}^n F_{ix}; \quad ;$$

Где  $F_{\Sigma x}$ ,  $F_{\Sigma y}$  – проекции равнодействующей на оси координат;

$F_{ix}$ ,  $F_{iy}$  – проекции векторов-сил системы на оси координат.

$$\cos \alpha_{\Sigma x} = \frac{F_{\Sigma x}}{F_{\Sigma}}$$

Где  $\alpha_{\Sigma x}$  – угол равнодействующей с осью OX/

*Условие равновесия*

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n F_{ix} = 0 \\ \sum_{i=1}^n F_{iy} = 0 \end{cases}$$

Если плоская система сходящихся сил находится в равновесии, многоугольник сил должен быть замкнут.

**Пример 1. Определение равнодействующей системы сил**  
Определить равнодействующую плоской системы сходящихся сил аналитическим и геометрическим способами (рис.1). Дано:  $F_1=10\text{кН}$ ,  $F_2=15\text{кН}$ ,  $F_3=12\text{кН}$ ,  $F_4=8\text{кН}$ ,  $F_5=8\text{кН}$ ,  $\alpha_1=30^\circ$ ,  $\alpha_2=60^\circ$ ,  $\alpha_3=120^\circ$ ,  $\alpha_4=180^\circ$ ,  $\alpha_5=300^\circ$



**Решение.**

1. Определить равнодействующую аналитическим способом (рис. 1а)

$$\left\{ \begin{array}{l} F_{1x} = 10 \cdot \cos 30^\circ = 8,66 \text{ кН} \\ F_{2x} = 15 \cdot \cos 60^\circ = 7,5 \text{ кН} \\ F_{3x} = -12 \cdot \cos 60^\circ = -6 \text{ кН} \\ F_{4x} = -8 \text{ кН} \\ F_{5x} = 8 \cdot \cos 60^\circ = 4 \text{ кН} \end{array} \right\} F_{\Sigma x} = \sum F_{ix}$$

$$F_{\Sigma x} = 6,16 \text{ кН}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} F_{1y} = 10 \cdot \sin 60^\circ = 8,66 \text{ кН} \\ F_{2y} = 15 \cdot \sin 30^\circ = 7,5 \text{ кН} \\ F_{3y} = 12 \cdot \sin 30^\circ = 6 \text{ кН} \\ F_{4y} = 0 \text{ кН} \\ F_{5y} = -8 \cdot \sin 30^\circ = -4 \text{ кН} \end{array} \right\} F_{\Sigma y} = \sum F_{iy}$$

$$F_{\Sigma y} = 21,49 \text{ кН}$$

$$F_{\Sigma} = \sqrt{F_{\Sigma x}^2 + F_{\Sigma y}^2}; \quad F_{\Sigma} = \sqrt{6,16^2 + 21,49^2} = 22,36 \text{ кН};$$

$$\cos \alpha_{\Sigma x} = \frac{F_{\Sigma x}}{F_{\Sigma}}, \quad \cos \alpha_{\Sigma x} = \frac{6,16}{22,36} = 0,2755; \quad \alpha_{\Sigma x} = 74^\circ$$

Определить равнодействующую графическим способом.

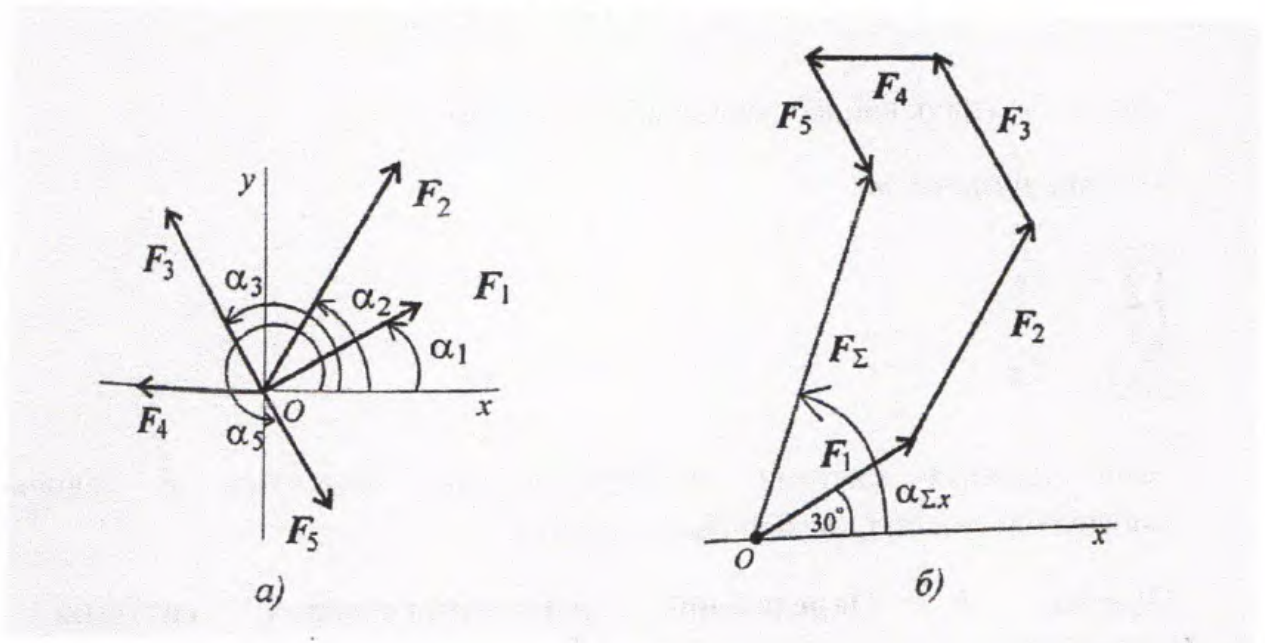


Рис. 1

С помощью транспортира в масштабе 2мм=1кН строим многоугольник сил (рис. 1б). Измерением определяем модуль равнодействующей силы и угол наклона ее к оси Oх.

$$\alpha_{\Sigma F} = 73^\circ$$

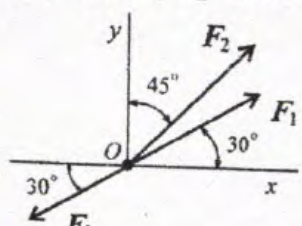
Результаты расчетов не должны отличаться более чем на 5%

### Практическая часть

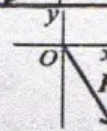
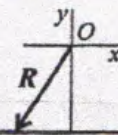
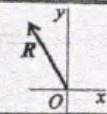
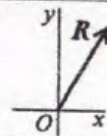
**Задание 1.** Используя схему рис. 1а, определить равнодействующую системы сил аналитическим и графическим способом

Параметр	Вариант				
	1	2	3	4	5
$F_1$ , кН	12	8	20	3	6
$F_2$ , кН	8	12	5	6	12
$F_3$ , кН	6	2	10	12	15
$F_4$ , кН	4	10	15	15	3
$F_5$ , кН	10	6	10	9	18
$\alpha_1$ , град	30	0	0	15	0
$\alpha_2$ , град	45	45	60	45	15
$\alpha_3$ , град	0	75	75	60	45
$\alpha_4$ , град	60	30	150	120	150
$\alpha_5$ , град	300	270	210	270	300

### Задание 2.

Вопросы	Ответы
<p>1. Определить проекции равнодействующей на ось Oх при <math>F_1=10</math>кН, <math>F_2=20</math>кН, <math>F_3=30</math>кН</p> 	$R_x = 4,99$ кН
	$R_x = 7,89$ кН
	$R_x = -3,18$ кН
	$R_x = 6,55$ кН
<p>2. Определить величину равнодействующей силы по ее известным проекциям: <math>R_x=15</math> кН, <math>R_y=8,66</math>кН</p>	23, 66 кН
	17,32 кН
	9,50 кН
	8,50 кН

3. Как направлен вектор равнодействующей системы сил, если известно, что  $R_x=4\text{кН}$ ,  $R_y=12\text{кН}$ ?



## Тема 1.3 Плоская система произвольно расположенных сил

### Практическая работа №2

#### «Определение реакций опор балочных систем»

**Цель работы:** *уметь:* приводить произвольную плоскую систему к точке, определяя величины главного вектора и главного момента системы.  
*знать:* три формы уравнений равновесия и уметь ими пользоваться при определении реакций в опорах балочных систем.

#### Теоретическая часть

Виды опор балок и их реакции (рис. 1)

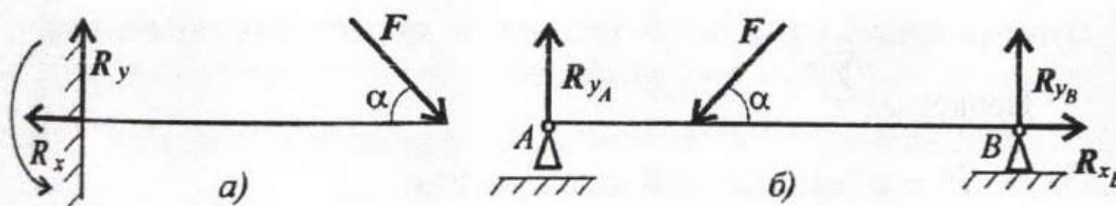


Рис. 1

Моменты пары сил и силы относительно точки (рис. 2)

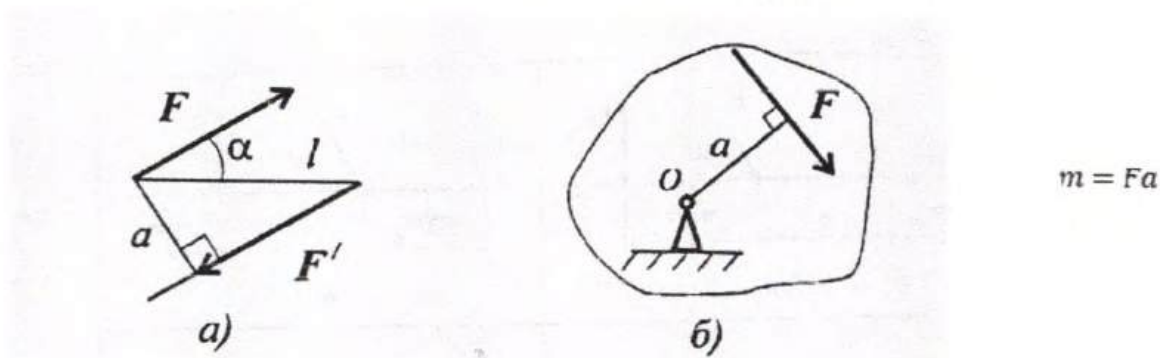


Рис. 2

Главный вектор

Главный момент

Условия равновесия

$$1. \sum_{\sigma}^n F_{ix} = 0; \sum_{\sigma}^n F_{iy} = 0; \sum_{\sigma}^n m_{iA} = 0$$

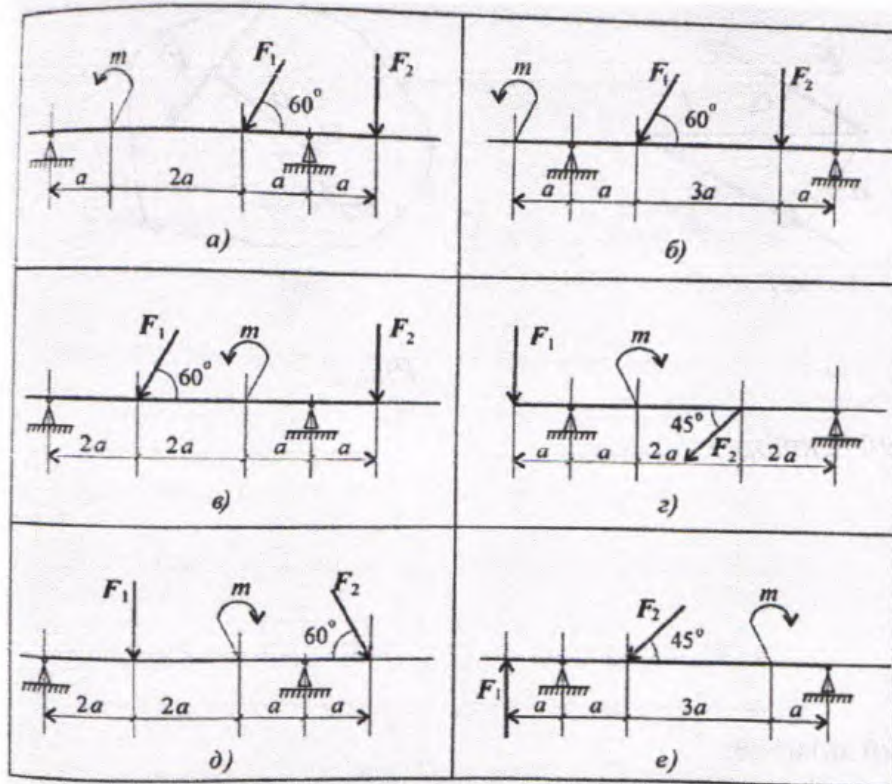
Проверка:  $\sum_{\sigma}^n m_{iB} = 0$

$$2. \sum_{\sigma}^n F_{ix} = 0; \sum_{\sigma}^n m_{iA} = 0; \sum_{\sigma}^n m_{iB} = 0$$

Проверка:  $\sum_{\sigma}^n F_{iy} = 0$

### Практическая часть

**Задание 1.** Определить величины реакций для балки с шарнирными опорами. Провести проверку правильности решения.



Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$F_1$ , кН	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
$F_2$ , кН	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5
$m$ , кН	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5
$a$ , м	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

## Тема 1.5 Центр тяжести

### Практическая работа №3

#### «Определение положения центра тяжести сечения, составленного из стандартных профилей проката»

**Цель работы:** *знать:* методы определения центра тяжести тела и плоских сечений, формулы для определения положения ЦТ плоских сечений.  
*уметь:* определять положение центра тяжести сложных геометрических фигур, определять положение центра тяжести фигур, составленных из стандартных профилей.

#### Теоретическая часть

Центры тяжести простейших сечений (рис. 1)

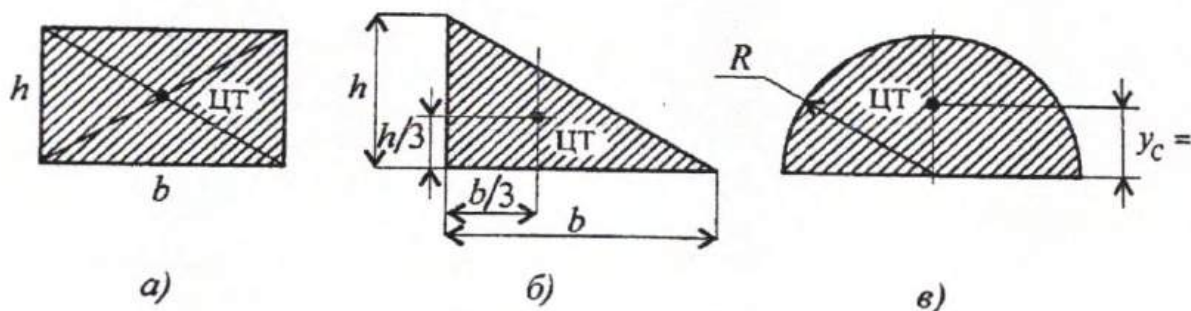


Рис. 1

Геометрические характеристики стандартных прокатных профилей в Приложении 1.

Методы расчета:

1. Метод симметрии;
2. Метод разделения на простые части;

### 3. Метод отрицательных площадей.

Координаты центров тяжести сложных и составных сечений

$$x_C = \frac{\sum_{i=1}^n A_i x_i}{A}; \quad y_C = \frac{\sum_{i=1}^n A_i y_i}{A},$$

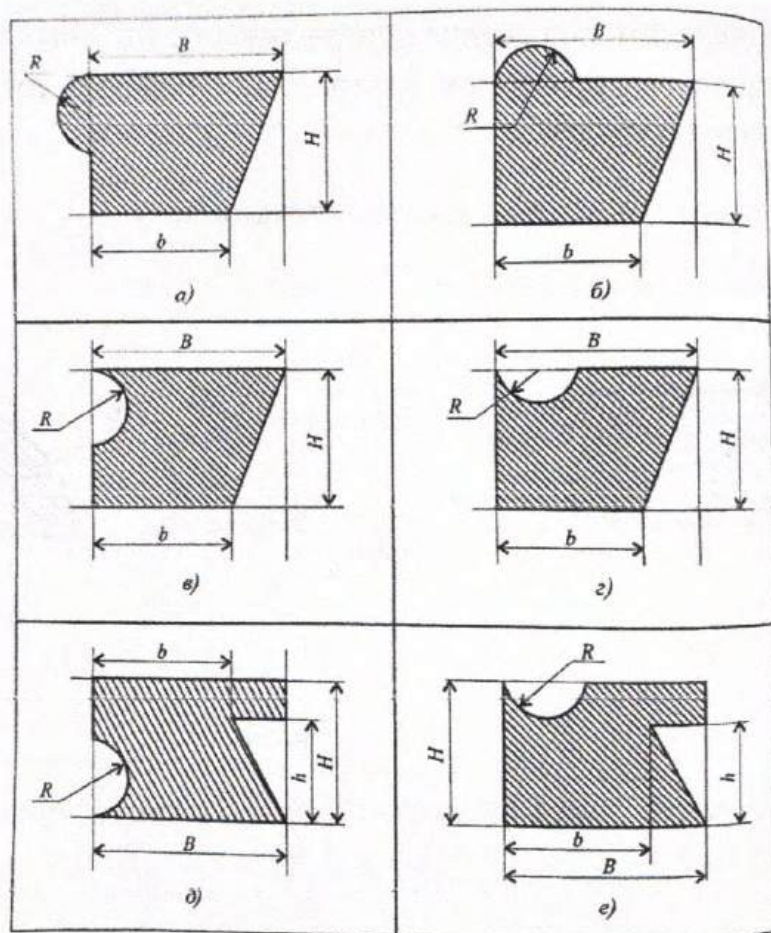
Где  $A_i$  – площади частей сечения;  $x_i, y_i$  – координаты ЦТ частей сечения;  $A$  –

$$A = \sum_{i=1}^n A_i$$

суммарная площадь сечения,

### Практическая часть

**Задание 1.** Определить координаты центра тяжести заданного сечения.

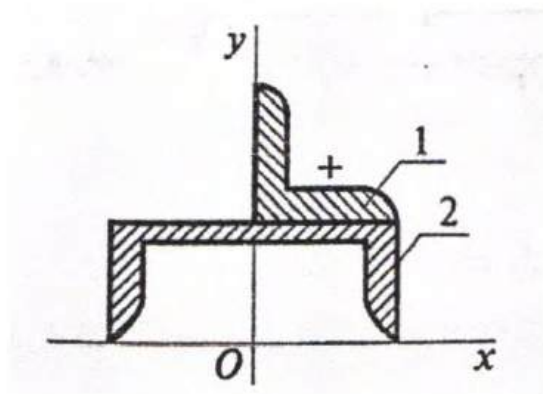


Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
B, мм	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190
b, мм	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150

H, MM	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170
h, MM	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
R, MM	20	25	25	30	30	40	40	50	50	60



**Задание 2.** Определить координату  $y_c$  центра тяжести фигуры 1 (уголок  $70 \times 70 \times 5$ ) относительно оси  $Ox$  (фигура 2 – швеллер № по номеру варианта)



## Тема 3.2 Растяжение и сжатие

### Практическая работа №4

#### «Расчеты на прочность при растяжении и сжатии»

**Цель работы:** *знать:* порядок расчетов на прочность и жесткость и расчетные формулы

*уметь:* проводить проектировочные и проверочные расчеты на прочность при растяжении и сжатии.

#### Теоретическая часть

##### Необходимые формулы

Нормальное напряжение

$$\sigma = \frac{N}{A}$$

Где N – продольная сила; A – площадь поперечного сечения.

Удлинение (укорочение) бруса

$$\Delta l = \frac{Nl}{AE} \text{ или } \Delta l = \frac{\sigma l}{E}$$

E – модуль упругости; l – начальная длина стержня.

Допускаемое напряжение

[s] – допускаемый запас прочности.

Условие прочности при растяжении и сжатии:

$$\sigma = \frac{N}{A} < [s]$$

#### Пример расчета на прочность и жесткость

Груз закреплен на стержнях и находится в равновесии (рис. 1). Материал стержней – сталь, допускаемое напряжение 160МПа. Вес груза 100кН. Длина стержней: первого – 2м, второго – 1м. Определить размеры поперечного сечения и удлинения стержней. Форма поперечного сечения – круг.

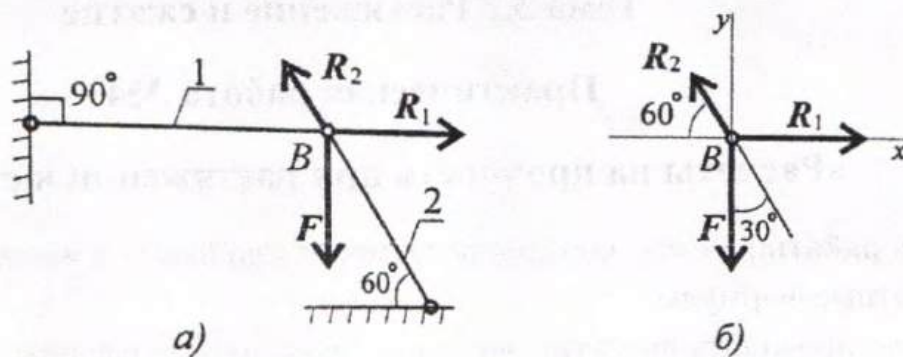


Рис. 1

### Решение

1. Определить нагрузку на стержни. Рассмотрим равновесие точки В, определим реакции стержней. По пятой аксиоме статики (закону действия и противодействия) реакция стержня численно равна нагрузке на стержень.

Наносим реакции связей, действующих в точке В. Освобождаем точку В от связей (рис. 1).

Выбираем систему координат так, чтобы одна из осей координат совпала с неизвестной силой (рис. 1б).

Составим систему уравнений равновесия для точки В:

$$\sum F_x = -R_2 \cos 60^\circ + R_1 = 0$$

$$\sum F_y = R_2 \cos 30^\circ - F = 0$$

Решаем систему уравнений и определяем реакции стержней.

$$R_2 = \frac{F}{\cos 30^\circ}; R_2 = \frac{100}{0,866} = 115,5 \text{ кН}$$

$$R_1 = R_2 \cos 60^\circ; R_1 = 115,5 \cdot 0,5 = 57,4 \text{ кН}$$

Направление реакций выбрано верно. Оба стержня сжаты. Нагрузки на стержни:  $F_1=57,4$  кН,  $F_2=115,5$  кН.

2. Определяем необходимую площадь поперечного сечения стержней из условий прочности.

Условие прочности на сжатие:  $\sigma = N/A \leq [\sigma]$ , откуда

$$A \geq \frac{N}{[\sigma]}$$

Стержень 1 ( $N_1=F_1$ ):

$$A \geq \frac{57,4 \cdot 10^3}{160} = 358,75 \text{ мм}^2$$

Для круга

$$A = \pi R^2$$

$$R = \sqrt{\frac{A}{\pi}}, \quad R_1 \geq \sqrt{\frac{358,75}{3,14}} = 10,68 \text{ мм}, \quad d_1 = 21,3 \text{ мм}$$

Стержень 2 ( $N_2=F_2$ ):

$$A_2 \geq \frac{115,5 \cdot 10^3}{160} = 722 \text{ мм}^2; \quad R_2 \geq \sqrt{\frac{722}{3,14}} = 15,2 \text{ мм}; \quad d_2 = 30,4 \text{ мм}$$

Полученные диаметры округляем:  $d_1 = 25 \text{ мм}$ ,  $d_2 = 32 \text{ мм}$

3. Определяем удлинение стержней  $\Delta l = \frac{Nl}{AE}$

Укорочение стержня 1:

$$l = 3,14 \cdot 25 = 490 \text{ мм}$$

$$A_1 = \frac{\pi d_1^2}{4};$$

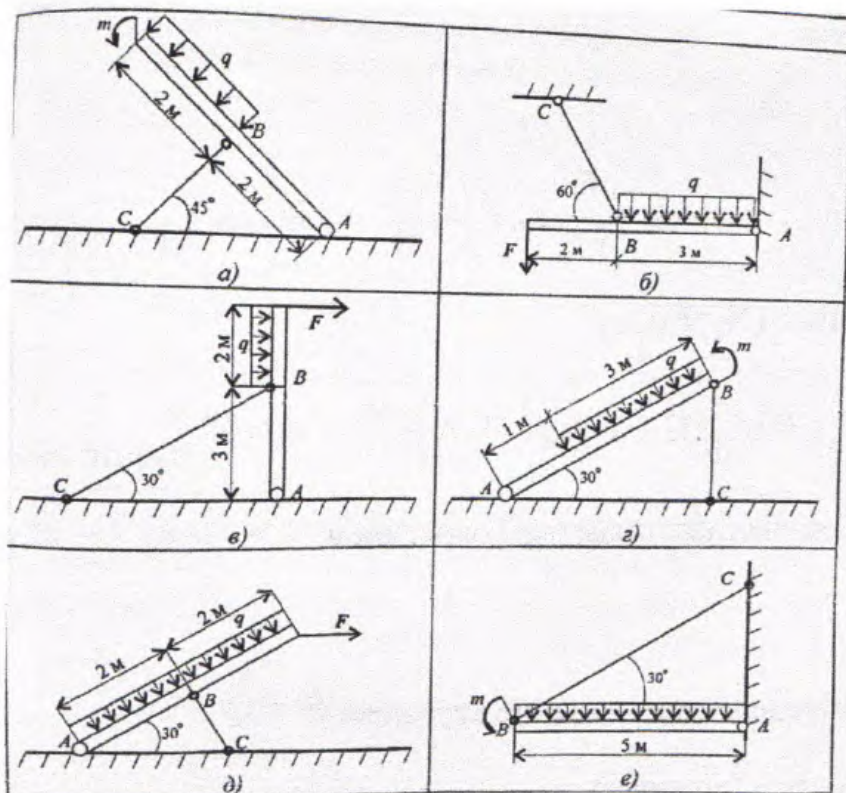
$$\Delta l_1 = \frac{57,4 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^5 \cdot 490} = 1,17 \text{ мм}$$

Укорочение стержня 2:

$$\Delta l = \frac{115,5 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^5 \cdot 804} = 0,72 \text{ мм}$$

### Практическая часть

**Задание 1.** Балка АВ, на которую действуют указанные нагрузки, удерживается в равновесии тягой ВС. Определить размеры поперечного сечения тяги для двух случаев: 1) сечение – круг; 2) сечение – уголок равнополочный по ГОСТ 8509-86. Принять  $[\sigma]=160 \text{ МПа}$ . Собственный вес конструкции не учитывать.



Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
F, кН	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
m, кН·м	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190
q, кН/м	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22

## Тема 3.2 Растяжение и сжатие

### Практическая работа №5

#### «Построение эпюр продольных сил, нормальных напряжений, определение абсолютного удлинения бруса»

**Цель работы:** *знать:* расчеты на прочность и жесткость балок  
*уметь:* строить эпюры продольных сил и нормальных напряжений по длине бруса.

#### Теоритическая часть

##### Необходимые формулы

Нормальное напряжение

$$\sigma = \frac{N}{A}$$

Где  $N$  – продольная сила;  $A$  – площадь поперечного сечения.

Удлинение (укорочение) бруса

$$\Delta l = \frac{Nl}{AE} \text{ или } \Delta l = \frac{\sigma l}{E}$$

$E$  – модуль упругости;  $l$  – начальная длина стержня.

Допускаемое напряжение

$[s]$  – допускаемый запас прочности.

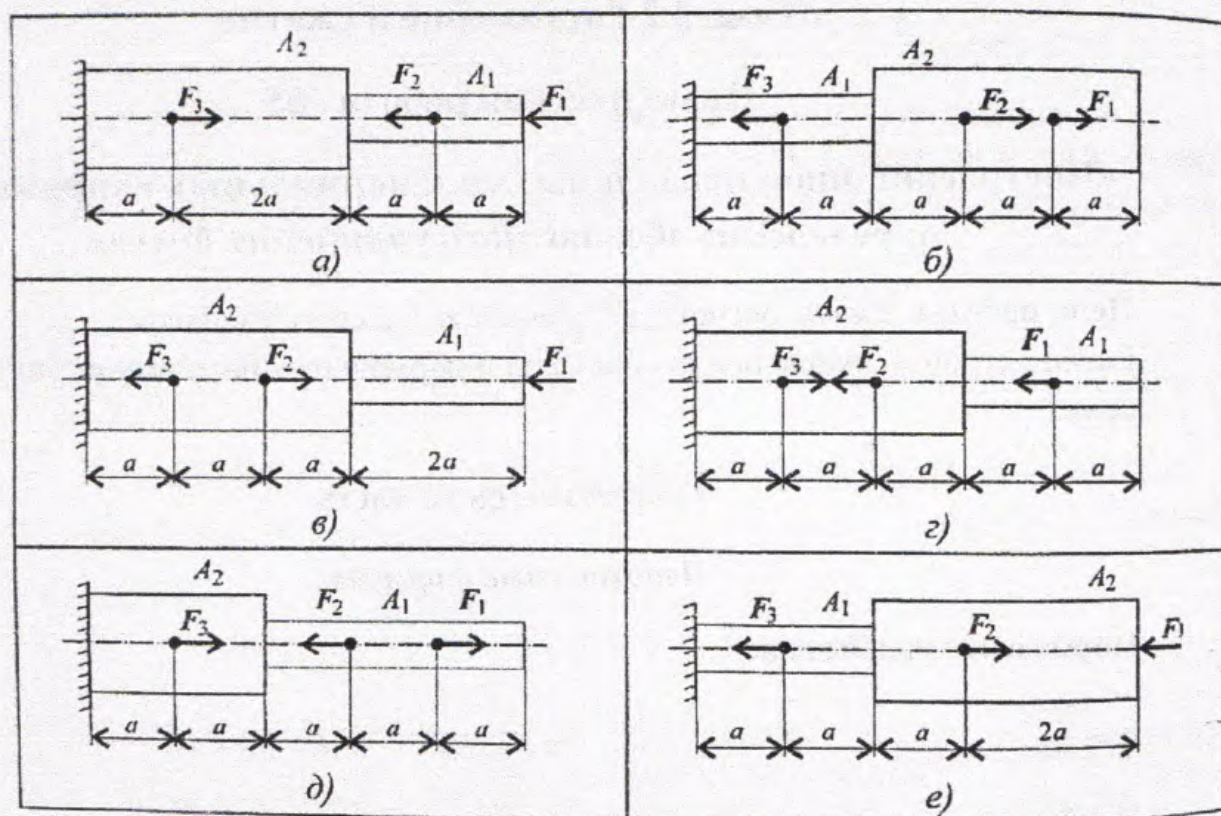
Условие прочности при растяжении и сжатии:

$$\sigma = \frac{N}{A} \leq [\sigma]$$

#### Практическая часть

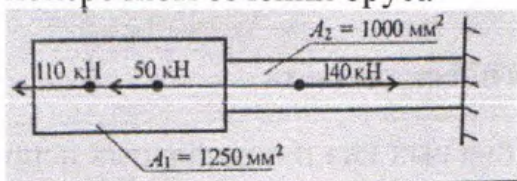
**Задание 1.** Построить эпюры продольных сил и нормальных напряжений по длине бруса. Определить перемещение свободного конца бруса.

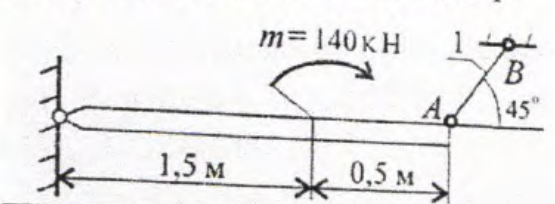
Двухступенчатый стальной брус нагружен силами  $F_1, F_2, F_3$ . Площади поперечных сечений  $A_1$  и  $A_2$ . Принять  $E=2 \cdot 10^5$  Н/мм<sup>2</sup>.



Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$F_1, \text{кН}$	20	26	20	17	16	10	26	40	14	28
$F_2, \text{кН}$	10	20	8	13	25	12	9	55	16	14
$F_3, \text{кН}$	5	10	4	8	28	13	3	24	10	5
$A_1, \text{см}^2$	1,8	1,6	1,0	2,0	1,2	0,9	1,9	2,8	2,1	1,9
$A_2, \text{см}^2$	3,2	2,4	1,5	2,5	2,8	1,7	2,6	3,4	2,9	2,4
$a, \text{м}$	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,4	0,3	0,2	0,5	0,6

## Задание 2.

Вопросы	Ответы
1. Определить максимальную продольную силу в поперечном сечении бруса 	110 кН
	140 кН
	160 кН
	300 кН
2. Определить максимальное напряжение в опасном сечении (схема вопроса 1)	88 МПа
	128 МПа
	160 МПа
	188 МПа

<p>3. Проверить прочность бруса, изображенного в вопросе 1, если материал бруса – сталь, <math>\sigma_B = 550</math> МПа, <math>\sigma_T = 290</math> МПа, допустимый запас прочности [s] - 2</p>	$\sigma < [\sigma]$
	$\sigma = [\sigma]$
	$\sigma > [\sigma]$
	Данных недостаточно
<p>4. Груз подвешен на стержне 1 и находится в равновесии. Материал стержня – сталь, допустимое напряжение <math>[\sigma] = 160</math> МПа. Подобрать размеры сечения для стержня. Форма поперечного сечения – швеллер.</p> 	№ 6,5
	№ 10
	№12
	№14
<p>5. Определить удлинение стержня АВ. Усилие в стержне 75,6 кН, длина стержня 2м, материал – сталь. <math>E = 2 \cdot 10^5</math> МПа, сечение – круг диаметром 30 мм</p>	1,07 мм
	2,12 мм
	0,1 м
	0,615 мм



## Тема 3.3 Практические расчеты на срез и смятие

### Практическая работа №6

#### «Практические расчеты на срез и смятие»

**Цель работы:** *знать:* условия прочности при срезе и смятии.

*уметь:* проводить расчеты на срез и смятие

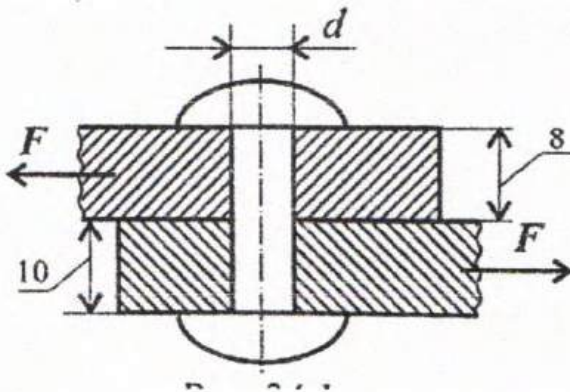
#### Теоретическая часть

#### Пример решения задач

**Пример 1.** Определить необходимое количество заклепок для передачи внешней нагрузки 120кН. Заклепки расположить в один ряд. Проверить прочность соединяемых листов. Известно:  $[\sigma]=160\text{МПа}$ ,  $[\sigma_{см}]=300\text{МПа}$ ,  $[\tau_c]=100\text{МПа}$ , диаметр заклепок 16 мм.

#### Решение

1. Определить количество заклепок из расчета на сдвиг (рис. 1)



Условие прочности на сдвиг:

$$\tau_c = \frac{Q}{A_s} \leq [\tau_c]; \quad Q = \frac{F}{z}; \quad \tau_c = \frac{Q}{zA_c} \leq [\tau_c]$$

Где  $A_c = \pi r^2$ ;  $z$  – количество заклепок

$$\text{Откуда } z \geq \frac{F}{A_s [\tau_c]}$$

$$z = \frac{120 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 0^2 \cdot 100} 5,97 \approx 6$$

Таким образом, необходимо 6 заклепок.

2. Определить количество заклепок из расчета на смятие.

Условие прочности на смятие:

$$F = \frac{F}{z};$$

;  $F$  - нагрузка на одну заклепку.

$$\text{Откуда } z \geq \frac{120 \cdot 10^3}{8 \cdot 16 \cdot 300} = 3,12$$

Таким образом, необходимо 4 заклепки.

Для обеспечения прочности на сдвиг (срез) и смятие необходимо 6 заклепок.

Для удобства установки заклепок расстояние между ними и от края листа регламентируется. Шаг в ряду (расстояние между центрами) заклепок  $3d$ ; расстояние до края  $1,5d$ . Следовательно, для расположения 6 заклепок диаметром 16 мм необходима ширина листа 288 мм. Округляем величину до 300 мм ( $b=300$  мм).

3. Проверим прочность листов на растяжение. Проверяем тонкий лист. Отверстия под заклепки ослабляют сечение, рассчитываем площадь листа в месте, ослабленном отверстиями (рис. 2).

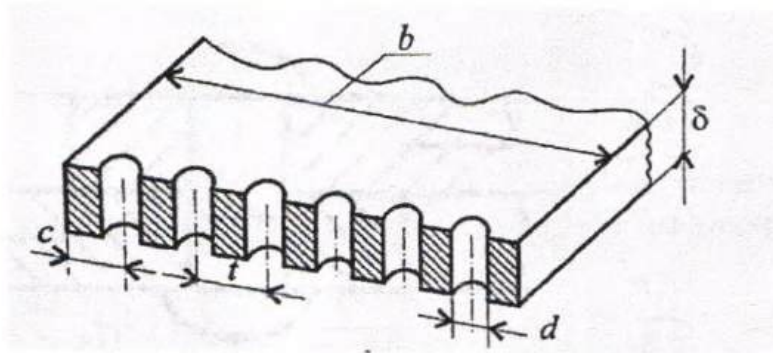


Рис. 2

$$A = (b - za)\delta = (300 - 6 \cdot 16) \cdot 8 = 1632 \text{ мм}^2$$

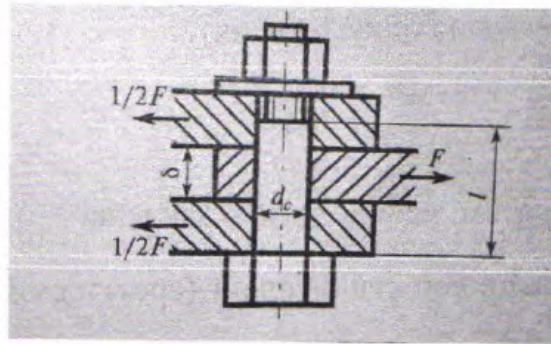
Условие прочности на растяжение:

$$\sigma_p = N/A \leq [\sigma_p]; \quad \sigma_p = \frac{120 \cdot 10^3}{1632} = 73,53 \text{ МПа}$$

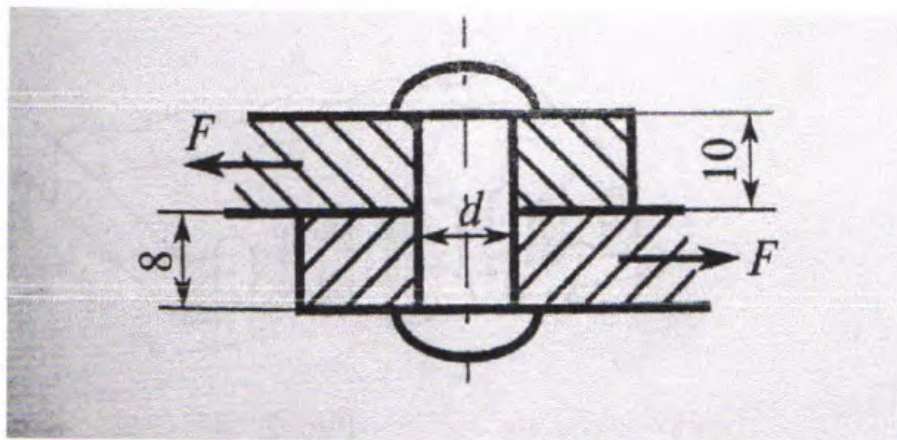
73,53 МПа < 160 МПа. Следовательно, прочность листа обеспечена.

### Практическая часть

**Задание 1.** Рассчитать площадь смятия внутреннего листа соединения, нагруженного растягивающей силой.



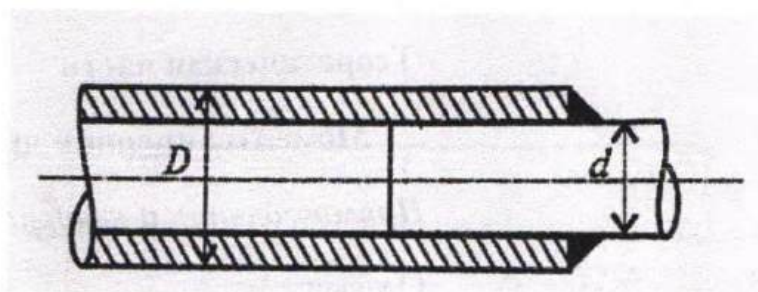
**Задание 2.** Из расчета на смятие определить количество заклепок, необходимое для передачи внешней силы.  $F = 120$  кН,  $[\tau_{ср}] = 80$  МПа,  $[\sigma_{см}] = 240$  МПа,  $d=20$  мм



### Контрольные вопросы и задания

1. Какие внутренние силовые факторы возникают при сдвиге и смятии?
2. Сформулируйте закон парности касательных напряжений.
3. Как обозначается деформация при сдвиге?
4. Запишите закон Гука при сдвиге.
5. Какой физический смысл у модуля упругости?
6. Укажите единицы измерения напряжений сдвига и смятия модуля упругости.
7. Как учесть количество деталей, использованных для передачи нагрузки при расчетах на сдвиг и смятие?

8. Запишите условия прочности на сдвиг и смятие.
9. Почему при расчете на смятие цилиндрических деталей вместо боковой цилиндрической поверхности подставляют плоскость, проходящую через диаметр?
10. Чем отличается расчет на прочность при сдвиге односрезной заклепки от двухсрезной?
11. Запишите формулы для расчета сварного соединения. Стержни круглого поперечного сечения сварены угловым швом.



## Тема 3.4 Геометрические характеристики плоских сечений

### Практическая работа №7

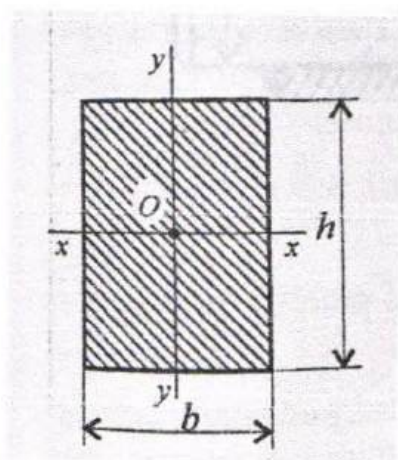
#### «Определение главных центральных моментов инерции сечения, составленного из стандартных профилей проката»

**Цель работы:** *знать:* формулы моментов инерции простейших сечений, способы вычисления моментов инерции при параллельном переносе осей.  
*уметь:* определять полярные и главные центральные моменты инерции для сечений, имеющих ось симметрии.

#### Теоретическая часть

##### Моменты инерции простейших сечений

##### Прямоугольник и квадрат (рис. 1)



Осевые:

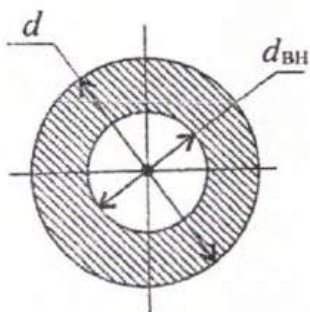
$$J_x - \text{относительно оси } xx \quad J_x = \frac{bh^3}{12}$$

$$J_y - \text{относительно оси } yy \quad J_y = \frac{hb^3}{12}$$

$$\text{Полярный } J_p = J_x + J_y$$

Рис. 1

##### Круг и кольцо (рис. 2)



$$\text{Осевые: } J_x = J_y = \frac{\pi d^4}{64} - \text{круг}$$

— КОЛЬЦО

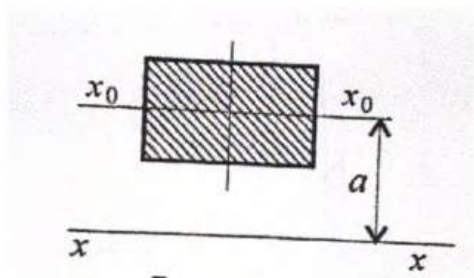
$$\text{Полярный: } J_p = \frac{\pi d^4}{32} - \text{круг}$$

— КОЛЬЦО

Рис. 2

Где  $d$  – диаметр круг и наружный диаметр кольца;  $d_{\text{вн}}$  – внутренний диаметр кольца;  $I$

### Моменты инерции относительно параллельных осей (рис. 3)



$$I_x = I_{x_0} + a^2 A,$$

Где  $J_x$  – момент инерции относительно оси  $xx$ ;

$J_{x_0}$  – момент инерции относительно оси  $x_0x_0$ ;

Рис. 3

$A$  – площадь сечения;  $a$  – расстояние между осями

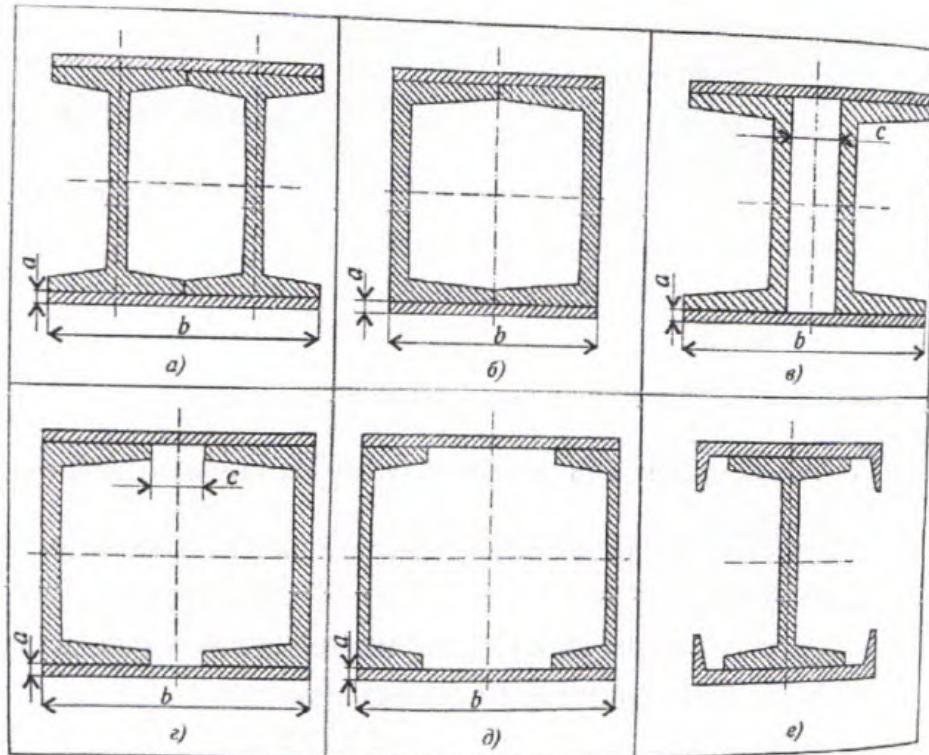
### Рекомендации для решения задач расчетно-графической работы

1. Момент инерции сложной фигуры является суммой моментов инерции частей, на которые ее разбивают. Разбить заданную фигуру на простейшие, для каждой части определить главные центральные моменты инерции по известным формулам.
2. Моменты инерции вырезов и отверстий можно представить отрицательными величинами.
3. Заданные сечения симметричны, главные центральные оси совпадают с осями симметрии составного сечения.
4. Моменты инерции частей, чьи главные центральные оси не совпадают с главными центральными осями сечения в целом, пересчитывают с помощью формулы для моментов инерции относительно параллельных осей. Расстояние между параллельными осями определить по чертежу.
5. При выполнении задания 1 главные центральные моменты инерции отдельных стандартных профилей определить по таблицам ГОСТ (Приложение 1).

Для использования в составных сечениях полюс моменты инерции определить по известной формуле для прямоугольника.

### Практическая часть

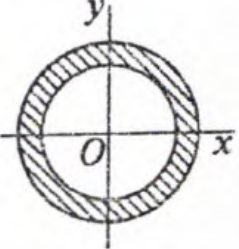
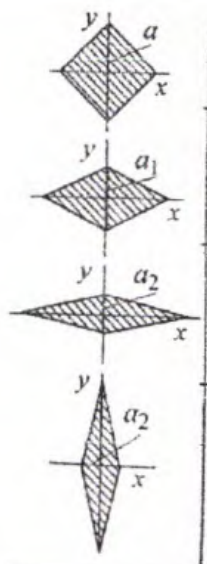
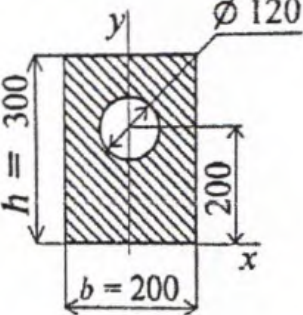
**Задание 1.** Вычислить главные центральные моменты инерции составных сечений. При расчете воспользоваться данными таблицы, выбрав необходимые величины. Геометрические характеристики стали горячекатаной выбрать по ГОСТ 8239-89 (Балки двутавровые) и ГОСТ 8240-89 (Швеллеры).



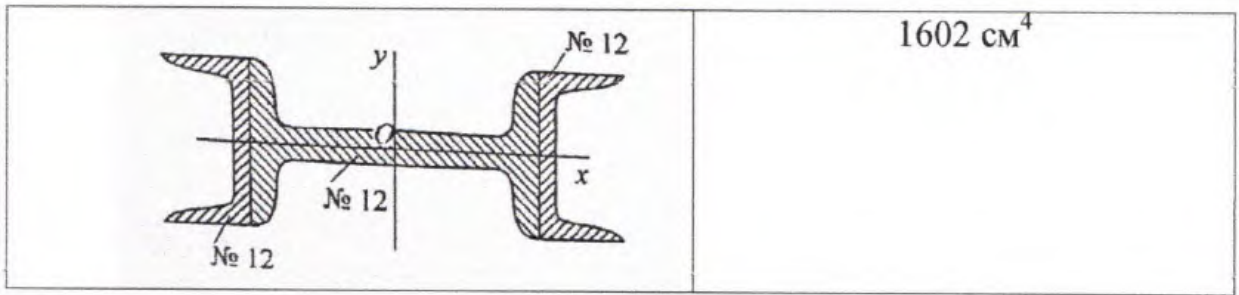
Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
№ швеллера	10	12	14	16	18	20	22	24	27	30
№ двутавра	10	12	14	16	18	20	22	24	27	30
a, мм	8	10	12	14	16	8	10	12	14	16
c, мм	10	15	20	25	30	10	15	20	25	30

**Задание 2.**

Вопросы	Ответы
1. Диаметр сплошного вала увеличили в 3 раза. Во сколько раз увеличились главные центральные моменты инерции?	В 6 раз
	В 3 раза
	В 9 раз
	В 81 раз
2. Определить осевой момент инерции относительно оси $Oy$ ,	$J_y = 4 \text{ см}^4$

<p>если <math>J_x = 4 \text{ см}^4</math></p> 	<p><math>J_y = 0 \text{ см}^4</math></p> <hr/> <p><math>J_y = 8 \text{ см}^4</math></p> <hr/> <p><math>J_y = 16 \text{ см}^4</math></p>
<p>3. У четырех ромбов одна и та же площадь. В каком случае <math>J_x</math> наименьшее?</p>	
<p>4. Выбрать формулы для определения осевого момента инерции всего сечения относительно его главной центральной оси y</p> 	<p><math>\frac{bh^3}{12} - \frac{\pi d^4}{64}</math></p> <hr/> <p><math>\frac{\pi d^4}{64} - \frac{b^3h}{12}</math></p> <hr/> <p><math>\frac{\pi d^4}{64} - \frac{bh^3}{12}</math></p> <hr/> <p><math>\frac{b^3h}{12} - \frac{\pi d^4}{64}</math></p>
<p>5. Найти главный центральный момент инерции всего сечения относительно оси Oх</p>	<p>1137 <math>\text{см}^4</math></p> <hr/> <p>1924 <math>\text{см}^4</math></p> <hr/> <p>815 <math>\text{см}^4</math></p>





## Тема 3.5 Кручение

### Практическая работа №8

#### «Расчеты на прочность и жесткость при кручении»

##### Цель работы:

*уметь:*

Применять формулы для расчета напряжений в точке поперечного сечения бруса;

Выполнять проектировочные и проверочные расчеты круглого бруса для статически определимых систем, проводить проверку на жесткость;

*Знать:*

Условия прочности и жесткости при кручении

**Материально-техническое оснащение:** ПО табличный процессор, калькулятор

**Количество часов:** 2 часа

#### Теоритическая часть

Основные положения при кручении

*Распределение касательных напряжений по сечению при кручении*

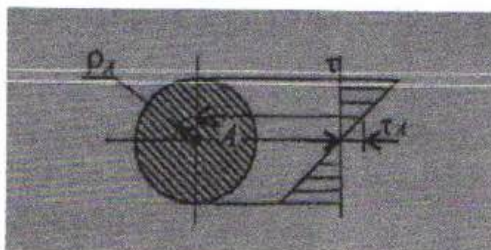


Рис. 1

**К Д**

Касательное напряжение в точке А:

Где  $r_A$  – расстояние от точки А до центра сечения.

### Условие прочности при кручении

$$\tau_k = \frac{M_k}{W_p} \leq [\tau_A] \quad W_p = \frac{\pi d^3}{16} \approx 0,2d^3 \quad (\text{круг})$$

$$W_p = \frac{\pi d^3}{16} (1 - c^4) \quad (\text{кольцо})$$

$M_k$  – крутящий момент в сечении, Н×м, Н×мм;

$W_p$  – крутящий момент при кручении м<sup>3</sup>, мм<sup>3</sup>;

$[\tau_k]$  – допускаемое напряжение при кручении, Н/м<sup>2</sup>, Н/мм<sup>2</sup>.

### Проектировочный расчет, определение размеров поперечного сечения

Сечение – круг: 
$$d \geq \sqrt[3]{\frac{M_k}{0,2[\tau_k]}}$$

Сечение – кольцо:

Где  $d$  – наружный диаметр круглого сечения;

$D_{вн}$  – внутренний диаметр кольцевого сечения;  $c = D_{вн}/d$

### Определение рационального расположения колес на валу

*Рациональное расположение колес – расположение, при котором максимальное значение крутящего момент на валу – на меньшее из возможных.*

Для экономии металла сечение бруса рекомендуется выполнить кольцевым.

### Условие жесткости при кручении

$$\varphi_0 = \frac{M_k}{GI_T} \leq [\varphi_0]; \quad G \approx 0,4E,$$

$G$  – модуль упругости при сдвиге, Н/м<sup>2</sup>, Н/мм<sup>2</sup>.

$E$  – модуль упругости при растяжении, Н/м<sup>2</sup>, Н/мм<sup>2</sup>.

$[\varphi_0]$  – допускаемый угол закручивания,  $[\varphi_0] \approx 0,5 \div 1$  град/м;

$I_p$  – полярный момент инерции в сечении,  $\text{м}^4$ ,  $\text{мм}^4$ .

*Проектировочный расчет, определение наружного диаметра сечения*

$$I_p \geq \frac{M_k}{G[\varphi_0]}$$

$$I_p = \frac{\pi d^4}{32} \approx 0,1d^4 \quad (\text{круг})$$

$$d \geq \sqrt[4]{\frac{32I_p}{\pi}}$$

$$I_p = \frac{\pi d^4}{32}(1 - c^4) \quad (\text{кольцо})$$

$$d \geq \sqrt[4]{\frac{32I_p}{\pi(1 - c^2)}}$$

### Практическая часть

Ознакомившись с теоритическим материалом, ответьте на вопросы, выполните предложенные задания.

**Задание 1.** Для стального вала круглого поперечного сечения:

- Определить значения внешних моментов, соответствующих передаваемым мощностям, и уравновешенный момент;
- Построить эпюру крутящих моментов по длине вала;
- Рациональным расположением шкивов на валу добиться уменьшения значения максимального крутящего момента на валу, построить эпюру крутящих моментов для этого случая
- Дальнейшие расчеты вести для вала с рациональным расположением шкивов;
- Определить диаметры вала по сечениям из расчетов на прочность и жесткость. Полученный больший результат округлить до ближайшего четного или оканчивающегося на 5 числа

- При расчете использовать следующие данные: вал вращается с угловой скоростью 25 рад/с; материал вала – сталь, допустимое напряжение кручения 30Мпа, модуль упругости при сдвиге  $8 \cdot 10^4$  Мпа; допустимый угол закручивания  $[\varphi_0]=0,2$ рад/м.

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$a=b=c, м$	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
$P_1, кВт$	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0
$P_2, кВт$	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5
$P_3, кВт$	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	3,7	3,8	3,9	4,0

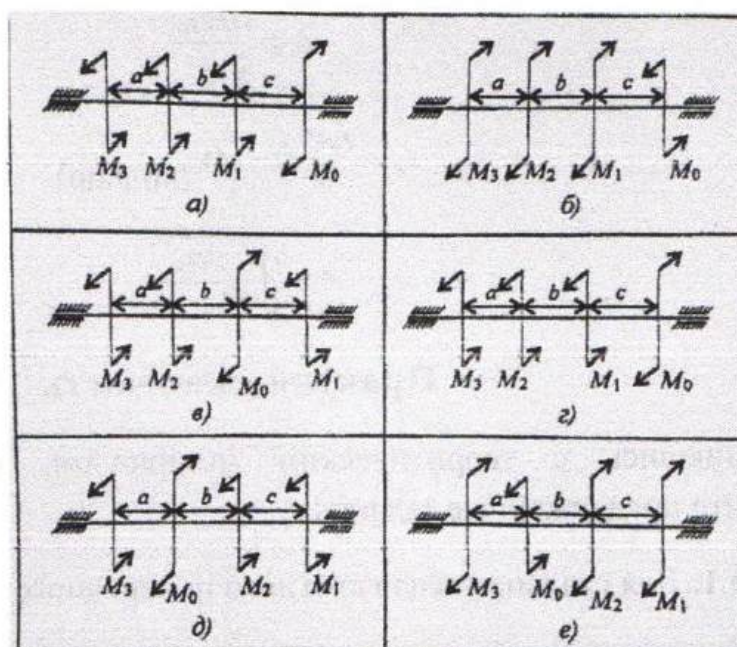


Рис. 2

**Задание 2.** Выберите правильный вариант:

Вопросы	Ответы
---------	--------

1. Указать размерность величины в знаменателе $I_x \frac{b h^3}{12}$	МПа
	мм <sup>2</sup>
	мм <sup>3</sup>
	Н·м
2. Определить диаметр бруса из условий прочности, если максимальный крутящий момент 1300 Н·м, допускаемое напряжение материала $[\tau] = 50$ МПа	48 мм
	51 мм
	5,1 мм
	72 мм
3. Как изменится угол закручивания вала, если крутящий момент увеличится в 2 раза, а диаметр увеличится в 4 раза?	Увеличится в 4 раза
	Увеличится в 256 раз
	Уменьшится в 256 раз
	Уменьшится в 128 раз

## Тема 3.6 Изгиб

### Практическая работа №9

#### «Расчеты на прочность при изгибе»

**Цель работы:** уметь:

Применять формулы для расчета на прочность при изгибе, строить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов;

**Знать:**

рациональные формы поперечных сечений балок из пластичных и хрупких материалов; условие прочности при изгибе

**Материально-техническое оснащение:** ПО табличный процессор, калькулятор

**Количество часов:** 2 часа

#### Теоретическая часть

Основные положения и расчетные формулы при изгибе

*Распределение нормальных и касательных напряжений при изгибе*

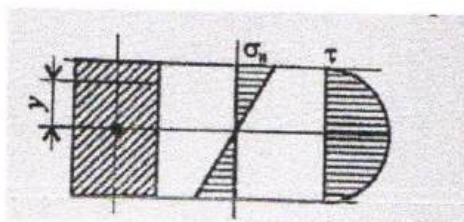


Рис. 1

■ y

$$\tau_{max} = \frac{1,5Q}{A}$$

Где  $M_{из}$  – изгибающий момент в сечении;  $Q$  – поперечная сила в сечении;  $y$  – расстояние до нейтрального слоя;  $I_x$  – осевой момент инерции сечения (рис. 1)

$$W_x = \frac{I_x}{y_{max}}$$

$W_x$  – осевой момент сопротивления сечения;  $A$  – площадь сечения

Условие прочности при изгибе

**М**

Где  $[\sigma_{и}]$  – допускаемое напряжение.

Знаки изгибающих моментов и поперечных сил (Рис. 2)

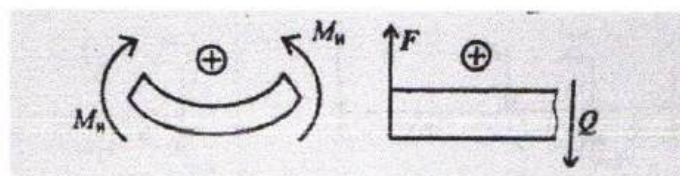


Рис. 2

### Практическая часть

**Задание 1.** Для одноопорной балки, нагруженной сосредоточенными силами и парой сил с моментами  $m$ , построить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов. Найти максимальный изгибающий момент и из условия прочности подобрать поперечное сечение для балки в виде двутавра и прямоугольника с соотношением сторон  $h=2b$ . Материал – сталь, допускаемое напряжение 160 МПа. Рассчитать площади поперечных сечений и сделать вывод о целесообразности применения сечений (рис.3)



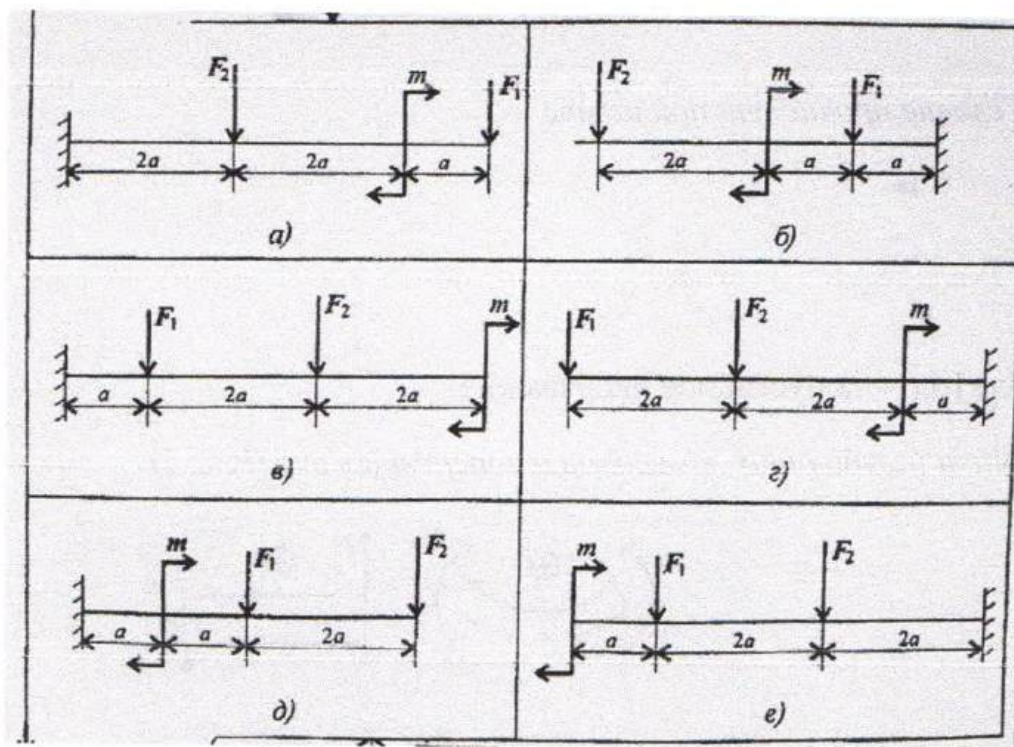


Рис. 3

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$F_1$ , кН	10	12	14	16	18	10	22	24	26	28
$F_2$ , кН	4,4	4,8	7,8	8,4	12	12,8	17	18	22,8	24
$m$ , к·Нм	8	7	6	5	4	8	7	6	5	4
$a$ , м	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6

**Задание 2.** Для двухопорной балки, нагруженной сосредоточенными силами и парой сил с моментом, определить реакции в опорах. Найти максимальный изгибающий момент и, используя условие прочности, подобрать необходимые размеры поперечных сечений. Материал – сталь, допускаемое напряжение изгиба 160 МПа. Сечение – швеллер (рис. 4)

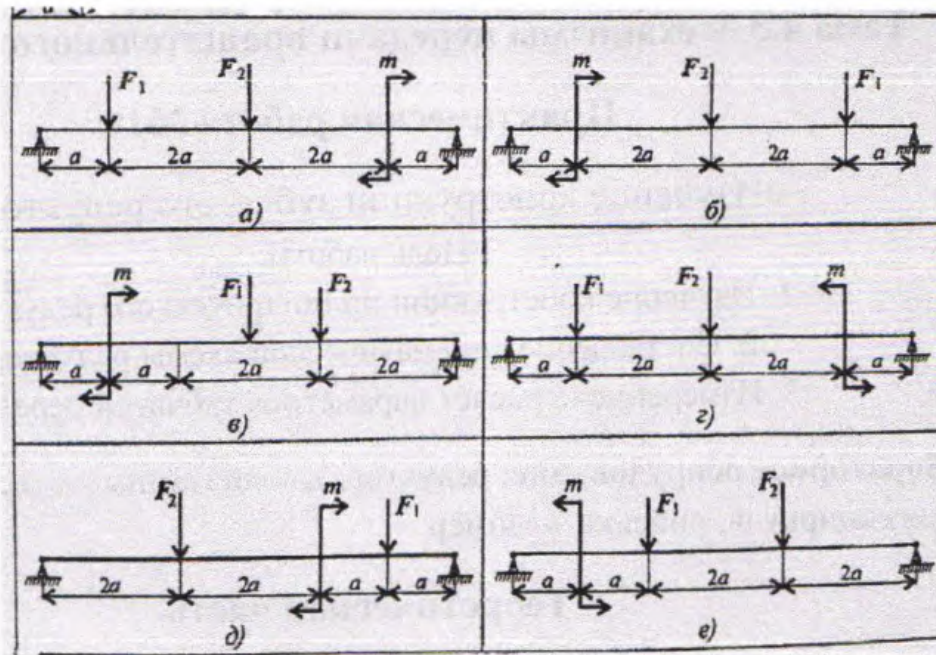


Рис. 4

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$F_1$ , кН	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
$F_2$ , кН	4,4	4,8	7,8	8,4	12	12,8	17	18	22,8	24
$m$ , к·Нм	3	4	5	6	7	7	6	5	4	3
$a$ , м	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6

## Тема 4.3 Механизмы передачи вращательного движения

### Практическая работа №10

#### «Изучение конструкции зубчатого редуктора»

Цель работы:

1. Изучение конструкции цилиндрического редуктора
2. Составление кинематической схемы редуктора
3. Измерение и расчет параметров зубчатой передачи.

**Лабораторное оборудование:** редуктор, ключи гаечные, отвертка, штангенциркуль, линейка, угломер

### Теоретическая часть

Редуктором называют механизм, состоящий из зубчатых или червячных передач, выполненный в виде отдельного агрегата и служащий для передачи мощности двигателя к рабочей машине. Назначение редуктора – понижение угловой скорости и повышение вращающегося момента ведомого вала по сравнению с валом ведущим. Редуктор состоит из корпуса (литого чугуна или сварочного стального), в котором помещают элементы передачи – зубчатые колеса, валы, подшипники и т.д. Наиболее распространены двухступенчатые горизонтальные редукторы, выполненные по развернутой схеме. Эти редукторы отличаются простотой, но из-за несимметричного расположения колес на валах повышается концентрация нагрузки по длине зуба. Поэтому в этих редукторах следует применять жесткие валы. Двухступенчатые цилиндрические редукторы обычно применяют в широком диапазоне передаточных чисел по ГОСТ 2185-66  $u_{\min}=6,3$ , а верхний предел  $u_{\max}=63$

### 1. Порядок выполнения работы

- 1.1 Сделать внешний осмотр редуктора
- 1.2 Разобрать редуктор
  - 1.2.1 Отвернуть болты
  - 1.2.2 Снять крышки подшипников
  - 1.2.3 Снять крышку корпуса редуктора
  - 1.2.4 Снять валы и насаженные на них детали
- 1.3 Измерить геометрические параметры и записать в таблицу
  - 1.3.1 Угол наклона зубьев « $\beta$ » можно измерить по отпечаткам зубьев на

бумаге

1.4 Сбор редуктора. После выполнения всех измерений редуктор собрать. До установки крышки редуктора проверить работоспособность редуктора, затем установить крышку корпуса редуктора и закрепить ее болтами.

1.5 Рассчитать параметры зубчатой передачи и записать в таблицу

1.5.1 Передаточное число

$$u = \frac{Z_2}{Z_1}, \text{ мм}$$

1.5.2 Нормальный модуль зацепления  $m_n = (0,01 \dots 0,02)a_w$ ,

где  $a_w$  – межосевое расстояние. Измерить и округлить до ближайшего стандартного значение из ряда нормальных линейных размеров, мм 40, 50, 63, 80, 100, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000

После расчета величину модуля согласуем с ГОСТом.

Таблица...

Размеры в миллиметрах

Ряды	Модули
1	1,0 1,25 1,5 2 2,5 3 4 5 6 8
2	1,125 1,375 1,75 2,25

и применяем ближайшее стандартное значение.

1.5.3 Торцевой модуль

$$m_t = \frac{m_n}{\cos\beta}, \text{ мм}$$

1.5.4 Диаметры делительных окружностей

$$d_1 = m_t \times Z_1, \text{ мм}$$

$$d_2 = m_t \times Z_2, \text{ мм}$$

1.5.5 Диаметры вершин зубьев

$$d_{1a} = d_1 + 2m_n$$

$$d_{2a} = d_2 + 2m_n$$

1.5.6 Диаметры впадин зубьев

$$d_{f1} = d_1 - 2,5m_n$$

$$d_{f2} = d_2 - 2,5m_n$$

Таблица...

Наименование	Обозначение	Способ определения	Результаты измерения	Результаты вычисления
Число зубьев шестерни	$Z_1$	сосчитать		
Число зубьев ведомого колеса	$Z_2$	сосчитать		
Передаточное число	$u$	рассчитать		
Межосевое расстояние	$a$	измерить		
Угол наклона зуба	$\beta$	измерить		
Модуль нормальный, мм	$m_n$	рассчитать		
Модуль торцевой, мм	$m_t$	рассчитать		
Диаметры делительных окружностей, мм	$d_1$ $d_2$	рассчитать		
Диаметры вершин зубьев, мм	$d_{a1}$ $d_{a2}$	рассчитать		
Диаметры впадин зубьев, мм	$d_{f1}$ $d_{f2}$	рассчитать		
Ширина венца, мм	$b_1$ $b_2$	измерить		

## 2. Отчет о работе

2. Работу выполнить на 2-х листах в клеточку формата А4 с рамкой
  - 2.1 На 1 листе 1 страницы – оформить титульный лист в виде этикетки (приложение А)
  - 2.2 На 1 листе 2 страницы записать:
    - 2.2.1 цель работы
    - 2.2.2 начертить кинематическую схему редуктора
    - 2.2.3 выполнить расчеты основных геометрических параметров по

формулам для заполнения таблицы

2.3 На 2 листе 1 страницы начертить и заполнить таблицу

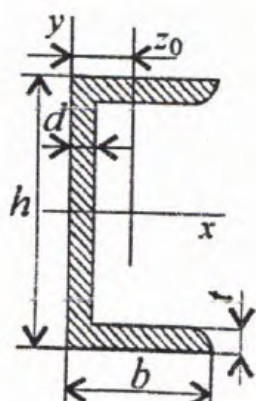
2.4 Сделать вывод

**Контрольные вопросы:**

1. Каково назначение редуктора?
2. Как меняется угловая скорость?
3. Какие типы подшипников применены в редукторе?
4. Как смазывать подшипник?
5. Как смазывать зацепление?
6. Как смазывать редуктор?

## ПРИЛОЖЕНИЕ №1

Сталь горячекатаная. ШВЕЛЛЕРЫ (По ГОСТ 8240-89)



Обозначение:

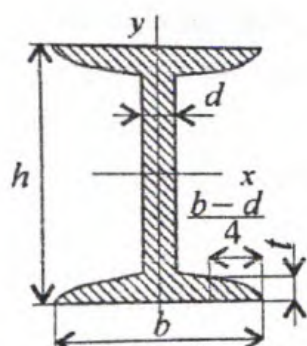
$h$  – высота швеллера;  $b$  – ширина швеллера;  $d$  – толщина стенки;  $t$  – средняя толщина полки;  $A$  – площадь швеллера;  $J$  – момент инерции;  $W$  – момент сопротивления;  $i$  – радиус инерции;  $S$  – статический момент полусечения;  $z_0$  – расстояние от оси  $y$  до наружной грани стенки

Таблица 1

№ проф иля	Размеры, мм				$A$ , см <sup>2</sup>	$J_x$ , см <sup>4</sup>	$W_{x_3}$ , см <sup>3</sup>	$i_x$ , см	$S_{x_3}$ , см <sup>3</sup>	$J_y$ , см <sup>4</sup>	$W_{y_3}$ , см <sup>3</sup>	$I_y$ , см	$Z_0$ , см
	$h$	$b$	$d$	$t$									
5	50	32	4,4	7,0	6,16	22,8	9,1	1,92	5,59	5,61	2,75	0,954	1,1
6,5	65	36	4,4	7,2	7,51	48,6	15,0	2,54	9,00	8,70	3,68	1,08	1,2
8	80	40	4,5	7,4	8,98	89,4	22,4	3,16	13,3	12,8	4,75	1,19	1,3
10	100	46	4,5	7,6	10,9	174	34,8	3,99	20,4	20,4	6,46	1,37	1,4
12	120	52	4,8	7,8	13,3	304	50,6	4,78	29,6	31,2	8,52	1,53	1,5
14	140	58	4,9	8,1	15,6	491	70,2	5,60	40,8	45,4	11,0	1,70	1,6
16	160	64	5	8,4	18,1	747	93,4	6,42	54,1	63,6	13,8	1,87	1,8
18	180	70	6,1	8,7	20,7	1090	121	7,24	69,8	86	17	2,04	1,9
20	200	80	5,2	9,0	23,4	1520	152	8,07	87,8	113	20,5	2,20	2,0
22	220	82	5,4	9,5	26,7	2110	192	8,89	110	151	25,1	2,37	2,2
24	240	90	5,6	10,0	30,6	2900	242	9,73	139	208	31,6	2,60	2,4
27	270	95	6,0	10,5	35,2	4160	308	10,9	178	262	37,3	2,73	2,4
30	300	100	6,5	11,0	40,5	5810	387	12,0	224	327	43,6	2,84	2,5
33	330	105	7,0	11,7	46,5	7980	484	13,1	281	410	51,8	2,97	2,5
36	360	110	7,5	12,6	53,4	10820	601	14,2	350	513	61,7	3,10	2,6
40	400	115	8,0	13,5	61,5	15220	761	15,7	444	642	73,4	3,23	2,7

Сталь горячекатаная.

БАЛКА ДВУТАВРОВЫЕ (по ГОСТ 8239-89)



Обозначения:

$h$  – высота балки;  $b$  – ширина балки;  $d$  – толщина стенки;  $t$  – средняя толщина полки;  $A$  – площадь сечения;  $J$  – момент инерции;  $W$  – момент сопротивления;  $i$  – радиус инерции;  $S$  – статический момент полусечения

Таблица 2

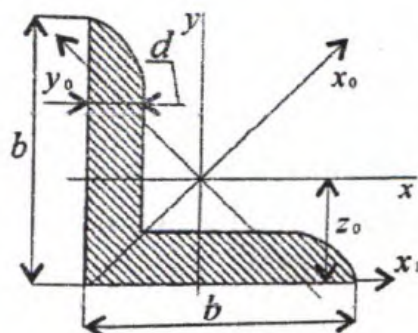
№ проф иля	Размеры, мм				$A$ , см <sup>2</sup>	$J_x$ , см <sup>4</sup>	$W_{x_3}$ , см <sup>3</sup>	$i_x$ , см	$S_{x_3}$ , см <sup>3</sup>	$J_y$ , см <sup>4</sup>	$W_{y_3}$ , см <sup>3</sup>	$I_y$ , см
	$h$	$b$	$d$	$t$								
10	100	55	4,5	7,2	12,0	198	39,7	4,06	23,0	17,9	6,49	1,2
12	120	64	4,8	7,3	14,7	350	58,4	4,88	33,7	27,9	8,72	1,3
14	140	73	4,9	7,5	17,4	572	81,7	5,73	46,8	41,9	11,5	1,5
16	160	81	5,0	7,8	20,2	873	109	6,57	62,3	58,6	14,5	1,7
18	180	90	5,1	8,1	23,4	1290	143	7,42	81,4	82,6	18,4	1,8
20	200	100	5,2	8,4	26,8	1840	184	8,28	104	115	23,1	2,0
22	220	110	5,4	8,7	30,6	2550	232	9,13	131	157	28,6	2,2
24	240	115	5,6	9,5	34,8	3460	289	9,97	163	198	34,5	2,3
27	270	125	6,0	9,8	40,2	5010	371	11,2	210	260	41,5	2,5
30	300	135	6,5	10,2	46,5	7080	472	12,3	268	337	49,9	2,6
33	330	140	7,0	11,2	53,8	9840	597	13,5	339	419	59,9	2,7
36	360	145	7,5	12,3	61,9	13380	743	14,7	423	516	71,1	2,8
40	400	155	8,3	13,0	72,6	19062	953	16,2	545	667	86,1	3,0
45	450	160	9,0	14,2	84,7	27696	1231	18,1	708	808	101	3,0
50	500	170	10	15,2	100	39727	1589	19,9	919	1043	123	3,2
55	550	180	11	16,5	118	55962	2035	21,8	1181	1356	151	3,3
60	600	190	12	17,8	138	76806	2560	23,6	1491	1752	182	3,5



## Сталь прокатная угловая равнополочная

(по ГОСТ 8509-86)

Обозначения:



$b$  – ширина полки;  $d$  – толщина полки;  $r$  – радиус инерции;  $W$  – момент сопротивления;  $z_0$  – расстояние от центра тяжести до наружной грани полки;  $A$  – площадь уголка

Таблица 3

Но мер уго лка	Размеры , мм		$A, \text{см}^2$	Справочные величины для осей							
	$b$	$d$		$x-x$			$x_0-x_0$		$y_0-y_0$		
				$J_x \text{см}^4$	$W_x \text{см}^3$	$i_x \text{см}$	$J_{x_0 \max} \text{см}^4$	$i_{x_0 \max} \text{см}$	$J_{y_0 \max} \text{см}^4$	$W_{y_0 \min} \text{см}^3$	
2	20	3	1,13	0,40	0,28	0,59	0,63	0,75	0,17	0,20	
		4	1,46	0,50	0,37	0,58	0,78	0,73	0,22	0,24	
2,5	25	3	1,43	0,81	0,46	0,75	1,29	0,95	0,34	0,35	
		4	1,86	1,03	0,59	0,74	1,62	0,93	0,44	0,41	
2,8	28	3	1,62	1,16	0,58	0,85	1,84	1,07	0,48	0,42	
3,0	30	3	1,74	1,45	0,67	0,91	2,30	1,15	0,60	0,55	
		4	2,27	1,84	0,77	0,80	2,92	1,13	0,77	0,61	
3,2	32	3	1,86	1,77	0,77	0,97	2,80	1,23	0,74	0,59	
		4	2,43	2,26	1,00	0,96	3,58	1,21	0,94	0,71	
3,5	35	3	2,04	2,35	0,93	1,07	3,72	1,35	0,97	0,71	
		4	2,17	3,01	1,21	1,06	4,76	1,33	1,25	0,88	
3,5	35	5	3,28	3,61	1,47	1,05	5,71	1,32	1,52	1,02	
4,0	40	3	2,35	3,55	1,22	1,23	5,63	1,55	1,47	0,98	
		4	3,08	4,58	1,60	1,22	7,26	1,53	1,90	1,19	
		5	3,79	5,53	1,95	1,21	8,75	1,52	2,30	1,39	
4,5	45	3	2,65	5,13	1,56	1,39	8,13	1,75	2,12	1,24	
		4	3,48	6,63	2,04	1,38	10,52	1,74	2,74	1,54	
		5	4,29	8,03	2,51	1,37	12,74	1,72	3,33	1,81	
5,0	50	3	2,96	7,11	1,94	1,55	11,27	1,95	2,95	1,57	
		4	3,89	9,21	2,54	1,54	14,63	1,94	3,80	1,95	
		5	4,80	11,20	3,13	1,53	17,77	1,92	4,63	2,30	
		6	5,69	13,07	3,69	1,52	20,72	1,91	5,43	2,63	

5,6	56	4	4,38	13,10	3,21	1,73	20,79	2,18	5,41	2,52
		5	5,41	15,97	3,96	1,72	25,36	2,16	6,59	2,97
6,0	60	4	4,72	16,21	3,70	1,85	25,69	2,33	6,72	2,93
		5	5,83	19,79	4,56	1,84	31,40	2,32	8,18	3,49
		6	6,92	23,21	5,40	1,83	36,81	2,31	9,60	3,99
		8	9,40	29,55	7,00	1,81	46,77	2,27	12,34	4,90
		10	11,08	35,32	8,52	1,79	55,64	2,24	15,00	5,70
6,3	63	4	4,69	18,86	4,09	1,95	29,00	2,45	7,81	3,26
		5	6,13	23,10	5,05	1,94	36,80	2,44	9,52	3,87
		6	7,28	27,06	5,98	1,93	42,91	2,43	11,18	4,44
7,0	70	4,5	6,20	29,04	5,67	2,16	46,03	2,72	12,04	4,53
		5	6,86	31,94	6,27	2,16	50,67	2,72	13,22	4,92
		6	8,15	37,58	7,43	2,15	59,64	2,71	15,52	5,66
		7	9,42	42,98	8,57	2,14	68,19	2,69	17,77	6,31
		8	10,67	48,16	9,68	2,12	76,35	2,68	19,97	6,99
7,5	75	5	7,39	39,53	7,21	2,31	62,65	2,91	16,41	5,74
		6	8,78	46,57	8,57	2,30	73,87	2,90	19,28	6,62
7,5	75	7	10,15	53,34	9,89	2,29	84,61	2,89	22,07	7,43
		8	11,50	59,84	11,18	2,28	94,89	2,87	24,80	8,16
		9	12,83	66,10	12,43	2,27	104,72	2,86	27,48	8,91
8,0	80	5,5	8,63	52,68	,03	2,47	83,56	3,11	21,80	7,10
		6	9,38	56,97	9,80	2,47	90,40	3,11	23,54	7,60
		7	10,85	65,31	11,32	2,45	103,60	3,09	26,97	8,55
		8	12,30	73,36	12,80	2,44	116,39	3,08	30,32	9,44
9,0	90	6	10,61	82,10	12,49	2,78	130,00	3,50	33,97	9,88
10	100	10	19,24	178,95	24,97	3,05	282,83	3,84	74,97	18,51
		16	29,68	263,82	38,04	2,98	416,04	3,74	111,61	25,79
11	110	8	17,20	198,17	24,77	3,39	314,51	4,28	81,83	19,29
12,5	125	12	28,89	422,23	47,06	3,82	670,02	4,82	174,43	34,94
		14	33,37	481,76	54,17	3,80	763,90	4,78	199,62	39,10
		16	37,77	538,56	61,09	3,78	852,84	4,75	224,29	43,10
14	140	10	27,33	512,29	50,32	4,33	813,62	5,46	210,96	39,05
		12	32,49	602,49	59,66	4,31	956,98	5,43	248,01	44,97
15	150	15	43,08	908,38	84,66	4,59	1442,60	5,79	374,17	61,96
16	160	10	31,43	774,24	66,19	4,96	1229,10	6,25	319,38	52,52
		16	49,07	1175,19	102,64	4,89	1865,73	6,17	484,64	75,92
18	180	12	42,19	1316,62	100,41	5,59	2092,78	7,04	540,45	78,15
20	200	12	47,10	1822,78	124,61	6,22	2896,16	7,84	749,40	98,68
		14	54,60	2097,00	144,17	6,20	3333,00	7,81	861,00	111,50
		20	76,54	2871,47	200,73	6,12	4560,42	7,72	1181,92	146,62
		30	111,54	4019,60	288,57	6,00	6351,05	7,55	1698,16	193,06
22	220	14	60,38	2814,36	175,18	6,83	4470,15	8,60	1158,56	138,62
25	250	20	96,96	5764,87	318,76	7,71	9159,73	9,72	2370,01	242,52

		25	119,71	7006,39	391,72	7,65	11125,5	9,64	2887,26	287,14
		30	141,96	8176,52	462,11	7,59	12964,7	9,56	3388,98	327,82