

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра электротехники и электроники

Ю.В. Бладыко
Г.С. Климович
Л.С. Пекарчик

ЭЛЕКТРОНИКА

Методическое пособие
к выполнению расчетно-графической работы
по дисциплинам «Электроника»,
«Электротехника и электроника»,
Электроника и микропроцессорная техника»,
«Электроника и информационно-измерительная техника»

Под общей редакцией Ю.В. Бладыко

М и н с к 2 0 0 5

УДК 621.38 (075.8)

ББК 32.85 я 7

Б 68

Рецензенты:

М.И. Полуянов, Т.Т. Розум

Б 68 **Бладыко, Ю.В.**
Электроника: метод. пособие к выполнению расчетно-графической работы по дисц. «Электроника», «Электротехника и электроника», «Электроника и микропроцессорная техника», «Электроника и информационно-измерительная техника» / Ю.В. Бладыко, Г.С. Климович, Л.С. Пекарчик; под общ. ред. Ю.В. Бладыко. – Мн.: БНТУ, 2005. – 72 с.

ISBN 985-479-246-3.

Методическое пособие содержит многовариантные задания и типовые расчеты по дисциплине «Электроника». В него включены задачи по расчету выпрямителя, усилителя на транзисторе, схем на операционном усилителе, логических элементах и триггерах. Набор заданий и указания к ним предусматривают возможность изменять объем работы для студентов различных специальностей. Задачи рассчитаны на поток до шести студенческих групп и содержат тридцать вариантов заданий.

УДК 621.38 (075.8)

ББК 32.85 я 7

ISBN 985-479-246-3

© Бладыко Ю.В.,
Климович Г.С.,
Пекарчик Л.С., 2005
© БНТУ, 2005

ЗАДАНИЯ К РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЕ

ЗАДАЧА 1. Напряжение и частота сети переменного тока заданы в табл. 1. Тип выпрямителя, мощность и номинальное напряжение нагрузки, тип фильтра и допустимый коэффициент пульсации напряжения на нагрузке приведены в табл. 2.

ЗАДАНИЕ.

1. Начертить схему выпрямителя с фильтром, на которой обозначить напряжения и токи в обмотках трансформатора, вентилях и нагрузке. Указать полярность выходных клемм.

2. Рассчитать необходимые параметры и выбрать тип вентиля при условии работы выпрямителя на заданную активную нагрузку. Индуктивностью и сопротивлением обмоток трансформатора пренебречь.

3. Определить расчетную мощность, напряжение вторичной обмотки и коэффициент трансформации трансформатора. Вентили считать идеальными.

4. Рассчитать амплитуды тока и напряжения при работе выпрямителя без фильтра и начертить в масштабе временные диаграммы тока и напряжения на нагрузке.

5. Рассчитать параметры сглаживающего фильтра, который обеспечит допустимый коэффициент пульсаций напряжения на нагрузке.

6. Указать на схеме выпрямителя тип вентиля, параметры элементов фильтра, мощность и коэффициент трансформации трансформатора.

Т а б л и ц а 1

Группа	1	2	3	4	5	6
$U_c, В$	127	80	220	110	380	200
$f_c, Гц$	50	400	50	400	50	400

ПРИМЕЧАНИЯ.

1. Для трехфазных выпрямителей в табл. 1 приведены фазные напряжения трехфазной сети.

2. Если приведенные в приложении 1 диоды по предельным параметрам не удовлетворяют требованиям схемы, их надо включать параллельно или последовательно.

3. Если параметры элементов, фильтра оказываются слишком большими (индуктивность $L > 1$ Гн, емкость $C > 10000$ мкФ), рекомендуется выбрать более сложный или многозвенный фильтр (приложение 2).

4. Для выпрямителей приняты следующие обозначения:

А – однофазный однополупериодный;

Б – однофазный с нулевым выводом;

В – однофазный мостовой;

Г – трехфазный с нулевым выводом;

Д – трехфазный мостовой.

5. Для обозначения типа фильтра приняты следующие обозначения:

I – простой емкостный фильтр;

II – простой индуктивный фильтр;

III – Г-образный индуктивно-емкостный фильтр;

IV – П-образный LC-фильтр;

V – Г-образный RC-фильтр.

Т а б л и ц а 2

Вариант	Тип выпрямителя	Номинальное напряжение нагрузки, В	Номинальная мощность нагрузки, Вт	Тип фильтра	Допустимый коэффициент пульсации, %
1	2	3	4	5	6
1	А	6000	50	V	5,0
2	Б	1500	40	I	5,0
3	В	12	60	III	3,0
4	Г	110	300	III	10,0
5	Д	220	1500	II	2,0

1	2	3	4	5	6
6	А	3000	10	V	10,0
7	Б	600	100	IV	1,0
8	В	24	120	IV	2,0
9	Г	100	500	III	2,0
10	Д	200	1000	II	1,0
11	А	1000	20	V	5,0
12	Б	250	25	I	1,0
13	В	48	100	III	1,0
14	Г	150	1500	II	5,0
15	Д	250	2500	II	1,5
16	А	1000	100	I	10,0
17	Б	200	50	IV	2,0
18	В	60	600	IV	1,0
19	Г	200	600	III	5,0
20	Д	200	2000	II	1,0
21	А	3500	30	I	5,0
22	Б	150	150	III	3,0
23	В	12	100	IV	1,0
24	Г	250	750	III	5,0
25	Д	250	5000	II	1,0
26	А	2500	20	V	1,0
27	Б	150	300	III	5,0
28	В	24	150	IV	0,5
29	Г	80	200	III	5,0
30	Д	80	1600	II	3,0

ЗАДАЧА 2. Схемы усилительных каскадов приведены на рис. 1 – 4. Исходные данные для расчета заданы в табл. 3 и 4. Входные и выходные характеристики транзисторов приведены в приложении 3. При расчете каскадов с R_3 его величину принять равной $0,1R_k$. Для каскадов с делителем R_1 и R_2 ток делителя принять $5I_{\text{от}}$.

ЗАДАНИЕ.

1. Начертить схему усилительного каскада с учетом заданного типа транзистора. На схеме указать токи и напряжения транзистора, а также $U_{вх}$ и $U_{вых}$.
2. По заданным в табл. 4 параметрам на характеристиках транзистора нанести точку покоя и построить статическую линию нагрузки. Рассчитать величину сопротивлений резисторов, обеспечивающих заданный режим покоя. При расчете учесть, что $I_k \gg I_б$.
3. В точке покоя по характеристикам транзистора определить его h -параметры (h_{11} , h_{21} , h_{22}). Параметр h_{12} принять равным нулю.
4. Начертить схему замещения усилителя в динамическом режиме, заменив транзистор эквивалентной схемой с h -параметрами.
5. Рассчитать с учетом нагрузки входное и выходное сопротивление каскада, коэффициенты усиления тока, напряжения и мощности.
6. Построить динамическую линию нагрузки на выходных характеристиках транзистора и определить максимальную амплитуду выходного напряжения, усиливаемого без заметных искажений сигнала, и максимальную выходную мощность.
7. Построить амплитудную характеристику каскада.
8. Определить коэффициент полезного действия каскада.

Т а б л и ц а 3

Группа	1	2	3	4	5	6
Схема	Рис. 1	Рис. 2	Рис. 3	Рис. 4	Рис. 1	Рис. 3

ЗАДАЧА 3. Схемы усилительных каскадов приведены на рис. 1 – 4. Исходные данные для расчета заданы в табл. 5 и 6. В приложении 4 приведены транзисторы, которые надо использовать в схеме каскада, и их основные параметры. При расчете каскадов с R_3 его величину принять равной $0,1R_k$. Для каскадов с делителем R_1 и R_2 ток делителя принять $5I_{бп}$.

Таблица 4

Вариант	Тип транзистора	Напряжения источника питания E_k , В	Ток покоя транзистора $I_{кп}$, мА	Напряжения покоя $U_{кп}$, В	Сопротивление нагрузки R_n , кОм
1	МП25	12	5	6	10
2	МП25	20	10	10	2
3	МП25А	12	10	6	10
4	МП25А	20	10	10	1
5	МП25Б	24	15	12	10
6	МП25Б	27	15	14	2
7	ГТ122А	12	10	6	5
8	ГТ122Б	12	5	6	2
9	ГТ122В	12	10	6	10
10	ГТ122Г	12	8	6	1
11	ГТ122А	15	8	8	1
12	ГТ122В	15	10	8	10
13	КТ301А	12	4	6	10
14	КТ301А	24	4	12	3
15	КТ301Б	12	5	6	10
16	КТ301Б	24	5	12	4
17	КТ301В	12	5	6	10
18	КТ301В	24	5	12	2
19	КТ301Ж	12	3	6	10
20	КТ301Ж	24	3	12	4
21	КТ315А	12	20	6	5
22	КТ315А	12	25	6	1
23	КТ315Б	12	25	6	1
24	КТ315Б	15	20	7	0,5
25	КТ315Б	24	10	12	10
26	КТ315В	24	15	12	2
27	КТ315Г	12	20	6	5
28	КТ315Г	12	20	6	0,5
29	КТ315Е	12	20	6	2
30	КТ315Е	15	20	7	1

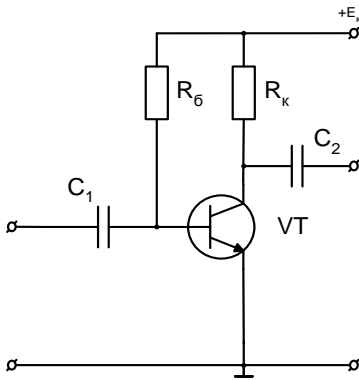


Рис. 1

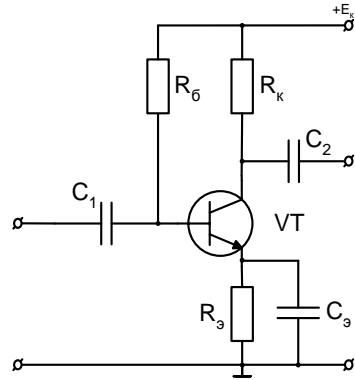


Рис. 2

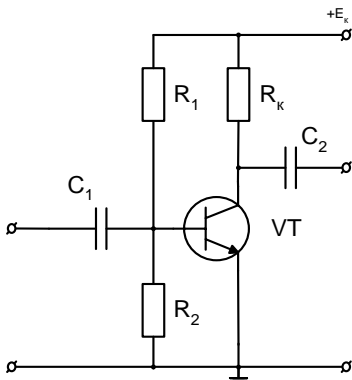


Рис. 3

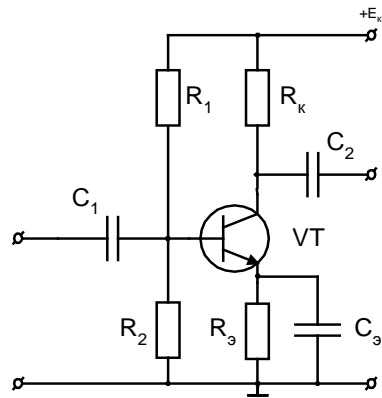


Рис. 4

ЗАДАНИЕ.

1. Начертить схему каскада с учетом заданного типа транзистора. Указать полярность источника питания, токи и напряжения между электродами транзистора, а также входное и выходное напряжения.

2. По заданным E_k , P_H и амплитуде выходного напряжения $U_{\text{вых } m}$ выбрать точку покоя и тип транзистора по его предельным параметрам.

3. Рассчитать сопротивления резисторов, которые должны обеспечить работу транзистора в выбранной точке покоя.

4. Начертить схему замещения каскада в динамическом режиме, заменив транзистор эквивалентной схемой с h - параметрами.

5. Проверить работу каскада в динамическом режиме, построив динамическую линию нагрузки. Если каскад не обеспечивает заданное значение $U_{\text{вых } m}$, точку покоя следует выбрать снова.

6. Рассчитать коэффициенты усиления тока, напряжения и мощности.

7. Начертить в масштабе амплитудную характеристику каскада при работе на заданную нагрузку. Рассчитать коэффициент полезного действия.

Т а б л и ц а 5

Группа	1	2	3	4	5	6
Схема	Рис. 3	Рис. 4	Рис. 1	Рис. 2	Рис. 3	Рис. 4
Тип транзистора	$n - p - n$			$p - n - p$		

Т а б л и ц а 6

Вариант	Напряжение источника питания $E_{\text{кз}}$, В	Выходное напряжение $U_{\text{вых } m}$, В	Мощность нагрузки $P_{\text{н}}$, мВт
1	2	3	4
1	12	5	5
2		4,5	
3		4	
4		3,5	
5		3	
6	16	6	10
7		5,5	
8		5	
9		4,5	
10		4	

1	2	3	4
11	20	7	15
12		6,5	
13		6	
14		5,5	
15		5	
16	24	8	20
17		7,5	
18		7	
19		6,5	
20		6	
21	27	9	25
22		8,5	
23		8	
24		7,5	
25		7	
26	36	12	30
27		11,5	
28		11	
29		10,5	
30		10	

ЗАДАЧА 4. На основе операционного усилителя (ОУ) проектируется усилитель низкой частоты с заданным коэффициентом усиления напряжения. Тип ОУ, требуемый коэффициент усиления и минимальное входное напряжение $U_{вх \min}$ приведены в табл. 7. Сопротивление нагрузки значительно больше выходного сопротивления ОУ.

ЗАДАНИЕ.

1. Начертить заданную схему усилителя с цепью обратной связи и источниками питания. Указать входное и выходное напряжения.
2. Рассчитать сопротивления резисторов схемы для получения требуемого коэффициента усиления.

3. Определить максимальную амплитуду входного синусоидального сигнала, при которой не будет значительных искажений выходного сигнала.

4. Начертить амплитудную характеристику усилителя.

Т а б л и ц а 7

Вариант	Тип ОУ	Требуемый коэффициент усиления			U _{вх} min, мВ	Тип усилителя
		Группа 1, 4	Группа 2, 5	Группа 3, 6		
1	2	3	4	5	6	7
1	К140УД1А	25		50	15	Инверти-рующий
2		50	30	75	10	
3		100	60	100	5	“
4		25	30	50	10	Неинвертирующий.
5		50	60	75	5	
6		75	90	100	5	
7	К140УД1Б	30		100	20	Инверти-рующий
8		60	50	200	15	
9		90	75	300	10	“
10		30	50	100	10	Неинвертирующий
11		60	75	200	10	
12		90	100	300	5	
13	К140УД2А	50		75	5	Инверти-рующий
14		75	100	100	5	
15		100	200	150	10	“
16		50	300	75	10	Неинверти- рующий
17		75	100	100	10	
18		100	200	150	5	
19	К140УД6	100		25	1	Инверти-рующий
20		200	75	50	1	
21		300	100	100	1	“
22		100	150	25	2	Неинверти- рующий
23		200	75	50	2	
24		300	100	75	2	

Окончание табл. 7

1	2	3	4	5	6	7
---	---	---	---	---	---	---

	К140УД7					
25		75	25	30	3	Инвертирующий.
26		100	50	60	3	“
27		150	100	90	1	“
28		75	25	30	3	Неинвертирующий.
29		100	50	60	3	“
30		150	75	90	3	“

ЗАДАЧА 5. На основе операционного усилителя проектируется сумматор для выполнения заданной операции. Тип ОУ, выполняемая операция и сопротивление резистора обратной связи приведены в табл. 8. Сопротивление нагрузки значительно больше выходного сопротивления ОУ.

ЗАДАНИЕ.

1. Начертить схему сумматора для реализации заданной операции с указанием источников питания, входного и выходного напряжений.
2. Рассчитать величину сопротивлений резисторов входных цепей.

Т а б л и ц а 8

Вариант	Тип ОУ	Выполняемая операция	Сопротивление обратной связи, кОм			Тип сумматора
			Группа 1, 4	Группа 2, 5	Группа 3, 6	
1	2	3	4	5	6	7
1	К140УД1А	$U_1+2U_2+3U_3$	20	50	75	Неинвертирующий
2		$4U_1+U_2+U_3$				“
3		$2U_1+U_2+2U_3$				“
4		$-(U_1+2U_2+3U_3)$				Инвертирующий
5		$-(4U_1+U_2+U_3)$				“
6		$-(2U_1+U_2+2U_3)$				“
7		$U_1+2U_2-3U_3-4U_4$				Параллельный
8		$2U_1+U_2-3U_3-2U_4$				“

Окончание табл. 8

1	2	3	4	5	6	7
---	---	---	---	---	---	---

9	К140УД2А	$3U_1+2U_2+2U_3$	50	75	100	Неинвертирующий
10		$U_1+4U_2+2U_3$				“
11		$2U_1+3U_2+U_3$				“
12		$-(3U_1+2U_2+2U_3)$				Инвертирующий
13		$-(U_1+4U_2+2U_3)$				“
14		$-(2U_1+3U_2+3U_3)$				“
15		$3U_1+U_2-2U_3-U_4$				Параллельный
16	$4U_1+2U_2-3U_3-2U_4$	“				
17	К140УД6	$5U_1+U_2+U_3$	75	100	40	Неинвертирующий.
18		$3U_1+U_2+4U_3$				“
19		$2U_1+5U_2+U_3$				“
20		$-(5U_1+U_2+U_3)$				Инвертирующий
21		$-(5U_1+U_2+2U_3)$				“
22		$-(3U_1+U_2+4U_3)$				“
23		$5U_1+U_2-U_3-U_4$				Параллельный
24		$2U_1+U_2-5U_3-U_4$				“
25	К140УД7	$6U_1+2U_2+U_3$	100	20	150	Неинвертирующий
26		$6U_1+4U_2+U_3$				“
27		$-(U_1+6U_2+U_3)$				Инвертирующий
28		$-(2U_1+2U_2+5U_3)$				“
29		$5U_1+2U_2-3U_3-U_4$				Параллельный
30		$U_1+6U_2-U_3-4U_4$				“

ЗАДАЧА 6. Работа автоматизированного комплекса контролируется по N параметрам: положение рабочих органов и заготовок, давление и температура масла в системе, давление охлаждающей жидкости и т.д. Параметры контролируются двоичными датчиками. При отклонении хотя бы одного из параметров от нормы комплекс автоматически отключается. Система управления построена на элементах положительной логики, то есть наличие сигнала, например, о достаточном давлении масла соответствует 1, а отсутствие сигнала – 0. Число и нормальное значение контролируемых параметров заданы десятичным числом, которое получают сложением числа А (табл. 9) с числом, которое задано в табл. 10. Его надо преобразовать в двоичное число, количество разрядов которого соответствует количеству параметров, а значение каждого разряда – нормальному значению параметра.

ЗАДАНИЕ.

1. Сложить число А с числом согласно варианту.

2. Преобразовать полученное десятичное число в двоичное.
3. Пронумеровать датчики от младшего разряда двоичного числа к старшему.
4. Составить таблицу истинности и записать логическую функцию. Функция равна единице только для заданного набора.
5. Преобразовать логическую функцию в соответствии с заданным типом логических элементов.
6. Составить схему управления из заданных логических элементов.
7. Проверить на схеме правильность работы, подав на входы заданный код.

Т а б л и ц а 9

Группа	1	2	3	4	5	6
Число А	32	34	36	38	40	42

Т а б л и ц а 10

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Тип логических элементов
Число	10	12	14	15	16	17	18	19	21	24	2И-НЕ 2ИЛИ-НЕ
Вариант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	3И-НЕ 3ИЛИ-НЕ
Число	20	22	23	24	25	26	28	19	21	27	
Вариант	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	2И-НЕ 3ИЛИ-НЕ
Число	11	12	13	14	15	16	17	21	22	23	

ЗАДАЧА 7. Работа производственного механизма контролируется по четырем параметрам. При трех сочетаниях этих параметров схема управления должна выдавать предупреждающий сигнал. Нужные сочетания заданы десятичными числами. Первое – в табл. 11, два других – в табл. 12. Для реализации схемы управления можно использовать только заданные типы логических элементов.

ЗАДАНИЕ.

1. Преобразовать заданные десятичные числа в четырехразрядные двоичные коды. Недостающие разряды добавить нулями.
2. Составить таблицу истинности, в которой единице должны соответствовать только заданные наборы параметров.
3. Записать и упростить логическое уравнение. Преобразовать его в соответствии с типом заданных логических элементов.
4. Составить схему управления.
5. Проверить ее работу, подав на входы заданные наборы параметров.

Т а б л и ц а 11

Группа	1	2	3	4	5	6
Первое число	3	4	5	6	5	4
Тип логических элементов	2И-НЕ, 3ИЛИ-НЕ			3И-НЕ, 2ИЛИ-НЕ		

Т а б л и ц а 12

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Числа	7; 8	7; 9	7; 10	7; 11	7; 12	7; 13	7; 14	7; 15	8; 9	8; 10
Вариант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Числа	8, 11	8, 12	8, 13	8, 14	8, 15	9, 10	9, 11	9, 12	9, 13	9, 14
Вариант	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Числа	10,11	10,12	10,13	10,14	10,15	11,12	11,14	12,13	12,14	13,15

ЗАДАЧА 8. Разработать дешифратор с двумя входами, работающий на семисегментный индикатор. Схема соединений электродов индикатора (общий катод или общий анод) и логические элементы заданы в табл. 13. Индикатор показывает последовательно символы, приведенные в табл. 14.

Т а б л и ц а 13

Группа	1	2	3	4	5	6
--------	---	---	---	---	---	---

Схема соединений электродов индикатора	ОК	ОА	ОК	ОА	ОК	ОА
Логический базис	2И-НЕ, 2ИЛИ-НЕ		2ИЛИ-НЕ		2И-НЕ	

Т а б л и ц а 14

Вариант	Символы	Вариант	Символы	Вариант	Символы
1	<i>0123</i>	11	<i>FLIP</i>	21	<i>ПОРА</i>
2	<i>1234</i>	12	<i>FLOP</i>	22	<i>РАНО</i>
3	<i>2468</i>	13	<i>LOAd</i>	23	<i>УГОН</i>
4	<i>3210</i>	14	<i>HOLd</i>	24	<i>РУСЬ</i>
5	<i>4321</i>	15	<i>HIFI</i>	25	<i>РАНГ</i>
6	<i>6420</i>	16	<i>ОРЕП</i>	26	<i>ПЕЧЬ</i>
7	<i>3456</i>	17	<i>StOP</i>	27	<i>СПОР</i>
8	<i>5678</i>	18	<i>HALt</i>	28	<i>БГПА</i>
9	<i>6543</i>	19	<i>НОРЕ</i>	29	<i>НОЧЬ</i>
10	<i>9876</i>	20	<i>HOLA</i>	30	<i>ГОРА</i>

ЗАДАЧА 9. Разработать комбинационное устройство с четырьмя входами, дающее на выходе $F = 1$ при подаче на входы заданных в табл. 15 чисел в двоичном коде. При подаче на входы других чисел $F = 0$. Используемые логические элементы приведены в табл. 16.

ЗАДАНИЕ.

1. Преобразовать заданные десятичные числа в четырехразрядные двоичные коды. Недостающие разряды добавить нулями.
2. Составить таблицу истинности, в которой единице должны соответствовать только заданные числа.
3. Записать и упростить логическое уравнение. Преобразовать его в соответствии с типом заданных логических элементов.
4. Составить схему устройства.

Т а б л и ц а 15

Вариант	Заданные числа	Вариант	Заданные числа	Вариант	Заданные числа
1	4, 6, 12, 14	11	4, 5, 12, 13	21	0, 1, 4, 5, 8, 9, 12, 13
2	0, 1, 8, 9	12	4-7, 12-15	22	0-7
3	6, 7, 14, 15	13	8, 10, 12, 14	23	8-15
4	2, 6, 10, 14	14	0, 2, 4, 6	24	числа, кратные 4
5	9, 11, 13, 15	15	1, 3, 5, 7	25	0, 3, 4, 7, 8, 11, 12, 15
6	0, 1, 2, 3	16	0, 1, 4, 5	26	четные числа
7	4, 5, 6, 7	17	8, 9, 12, 13	27	нечетные числа
8	8, 9, 10, 11	18	1, 3, 9, 11	28	1, 2, 5, 6, 9, 10, 13, 14
9	12, 13, 14, 15	19	10, 11, 14, 15	29	2, 3, 6, 7, 10, 11, 14, 15
10	3, 7, 11, 15	20	1, 5, 9, 13	30	0-3, 8-11

Т а б л и ц а 16

Группа	1	2	3	4	5	6
Логический базис	2ИЛИ-НЕ	И, НЕ	ЗИ-НЕ	2И-НЕ	ИЛИ, НЕ	ЗИЛИ-НЕ

ЗАДАЧА 10. Электропривод производственного механизма осуществляется тремя электродвигателями. Включение и отключение электродвигателей производится контакторами, которые управляются кнопочными постами. Для нормальной работы электродвигатели должны включаться и отключаться в определенном порядке, который задается схемой управления на логических элементах. Питание катушек контакторов осуществляется от схемы управления через усилители.

ЗАДАНИЕ.

1. Для заданного в табл. 17 порядка включения и отключения двигателей составить схему управления на стандартных логических элементах, триггерах.

2. На схеме указать кнопки включения и выключения, усилители и катушки контакторов.

ПРИМЕЧАНИЕ.

Если указан порядок включения 1-2-3 – это значит, что двигатели можно запустить, нажимая кнопки “Пуск” только в таком порядке. При нажатии кнопок 1-3 третий двигатель не должен запускаться. Это же относится и к порядку отключения.

Т а б л и ц а 17

Вариант	Порядок включения двигателей	Порядок выключения двигателей
1	2	3
1	1-2-3	1-2-3
2	2-1-3	1-3-2
3	3-2-1	2-1-3
4	1-3-2	2-3-1
5	2-3-1	3-1-2
6	3-1-2	3-2-1
7	1-2-3	1-3-2
8	2-1-3	2-1-3
9	3-2-1	2-3-1
10	1-3-2	3-1-2
11	2-3-1	3-2-1
12	3-1-2	1-2-3
13	1-2-3	2-1-3
14	2-1-3	2-3-1
15	3-2-1	3-1-2
16	1-3-2	3-2-1
17	2-3-1	1-2-3
18	3-1-2	1-3-2
19	1-2-3	2-3-1
20	2-1-3	3-1-2
21	3-2-1	3-2-1
22	1-3-2	1-2-3
23	2-3-1	1-3-2
24	3-1-2	2-1-3

Окончание табл. 17

1	2	3
25	1-2-3	3-1-2
26	2-1-3	3-2-1
27	3-2-1	1-2-3
28	1-3-2	1-3-2
29	2-3-1	2-1-3
30	3-1-2	2-3-1

ЗАДАЧА 11. Составить схему суммирующего счетчика на D-триггерах K155TM2 или JK-триггерах K155ТВ1. Тип счетчика и модуль счета заданы в табл. 18. При необходимости можно использовать логические элементы той же серии. Предусмотреть установку нуля счетчика.

ЗАДАНИЕ.

1. Выбрать необходимое число триггеров и составить таблицу состояний счетчика для заданного модуля счета.
2. Начертить схему счетчика с обозначением входов и выходов.
3. Начертить временную диаграмму работы счетчика за полный цикл работы.

Т а б л и ц а 18

Вариант	Тип счетчика	Тип триггера	Модуль счета
1	2	3	4
1	Параллельный	D	5
2	“	JK	5
3	“	D	6
4	“	JK	6
5	Кольцевой	D	5
6	“	JK	5
7	“	D	6
8	“	JK	6
9	“	D	7
10	“	JK	7

Окончание табл. 18

1	2	3	4
11	Последовательный	D	5
12	“	JK	5
13	“	D	6
14	“	JK	6
15	“	D	7
16	“	JK	7
17	“	D	9
18	“	JK	9
19	“	D	10
20	“	JK	10
21	“	D	11
22	“	JK	11
23	“	D	12
24	“	JK	12
25	“	D	13
26	“	JK	13
27	“	D	14
28	“	JK	14
29	“	D	15
30	“	JK	15

ЗАДАЧА 12. Разрядность и тип регистра, тип триггеров, из которых следует составить схему заданного регистра, заданы в табл. 19. При необходимости можно использовать дополнительно стандартные логические элементы.

ЗАДАНИЕ.

1. Составить из заданного типа триггеров схему последовательного или параллельного регистра нужной разрядности.
2. В регистрах предусмотреть входы «Сброс» и «Запись».
3. Начертить временные диаграммы работы регистра при записи произвольного слова.
4. Кратко описать назначение и принцип работы регистра, используя временные диаграммы.

Т а б л и ц а 19

Вариант	Тип регистра	Разрядность	Тип триггера
1	Параллельный	3	D
2	“	4	“
3	“	5	“
4	“	6	“
5	“	7	“
6	Последовательный	3	JK
7	“	4	“
8	“	5	“
9	“	6	“
10	“	7	“
11	Параллельный	3	Синхронный RS
12	“	4	“
13	“	5	“
14	“	6	“
15	“	7	“
16	Последовательный	3	D
17	“	4	“
18	“	5	“
19	“	6	“
20	“	7	“
21	Параллельный	3	JK
22	“	4	“
23	“	5	“
24	“	6	“
25	“	7	“
26	Последовательный	3	Синхронный RS
27	“	4	“
28	“	5	“
29	“	6	“
30	“	7	“

ТИПОВЫЕ РАСЧЕТЫ К ЗАДАЧАМ

ПРИМЕР 1. Схема выпрямителя с П-образным индуктивно-емкостным фильтром приведена на рис. 5. Номинальное напряжение нагрузки 100 В, номинальная мощность 50 Вт, допустимый коэффициент пульсации 0,5%, напряжение сети переменного тока 220 В при частоте 50 Гц.

Выбрать тип вентиляй, определить расчетную мощность и коэффициент трансформации трансформатора, параметры фильтра.

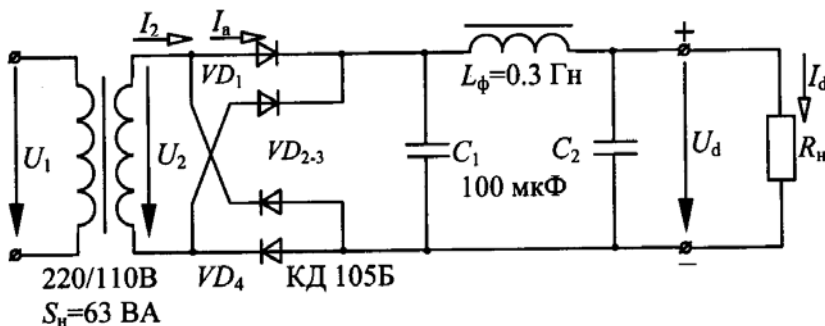


Рис. 5

РЕШЕНИЕ. 1. *Выбор вентиляй.* Ток нагрузки

$$I_d = \frac{P_H}{U_d} = \frac{50}{100} = 0,5 \text{ А.}$$

Для однофазного мостового выпрямителя среднее значение прямого тока через вентиль (см. приложение 5)

$$I_a = \frac{I_d}{2} = \frac{0,5}{2} = 0,25 \text{ А.}$$

Обратное максимальное напряжение на вентиле

$$U_{B \max} = 1,57 \cdot U_d = 1,57 \cdot 100 = 157 \text{ В.}$$

Выбираем вентиля КД105Б (см. приложение 1), для которых

$$I_{a \text{ доп}} = 0,3 \text{ A} > I_a = 0,25 \text{ A};$$

$$U_{\text{в доп}} = 400 \text{ В} > U_{\text{в max}} = 157 \text{ В}.$$

2. *Определение параметров трансформатора.* Для однофазного мостового выпрямителя действующее значение вторичного напряжения

$$U_2 = 1,11 \cdot U_d = 1,11 \cdot 100 = 111 \text{ В}.$$

Откуда коэффициент трансформации

$$n = \frac{U_1}{U_2} = \frac{220}{111} \approx 2.$$

Расчетная мощность

$$S_{\text{расч}} = 1,23 \cdot P_H = 1,23 \cdot 50 = 61,5 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

Выбираем трансформатор

$$U_1/U_2 = 220/110 \text{ В};$$

$$S_{\text{ном}} = 63 \text{ В} \cdot \text{А} > S_{\text{расч}} = 61,5 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

3. *Определение параметров фильтра* (см. приложение 2). Коэффициент пульсаций на выходе однофазного мостового выпрямителя

$$q_1 = 0,67.$$

Требуемый коэффициент пульсаций

$$q_2 = 0,005.$$

Коэффициент сглаживания фильтра

$$S = \frac{q_1}{q_2} = \frac{0,67}{0,005} = 134.$$

П-образный фильтр состоит из простого С-фильтра и Г-образного LC-фильтра. Его коэффициент сглаживания

$$S = S_C \cdot S_{LC}.$$

Принимаем емкость конденсаторов фильтра $C_1 = C_2 = 100$ мкФ. Тогда

$$S_C = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot m \cdot C_1 \cdot R_H = 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 2 \cdot 100 \cdot 10^{-6} \cdot 200 = 12,6,$$

где m – число пульсаций выпрямленного напряжения за период (см. приложение 5);

R_H – сопротивление нагрузки,

$$R_H = \frac{U_d}{I_d} = \frac{100}{0,5} = 200 \text{ Ом.}$$

Тогда коэффициент сглаживания LC-фильтра

$$S_{LC} = \frac{S}{S_C} = \frac{134}{12,6} = 10,6.$$

Для LC-фильтра

$$L_\Phi C_2 = \frac{S_{LC}}{(2 \cdot \pi \cdot f \cdot m)^2} = \frac{10,6}{(2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 2)^2} = 26,8 \cdot 10^{-6} \text{ Гн} \cdot \Phi.$$

При $C_2 = 100$ мкФ

$$L_\Phi = \frac{L_\Phi C_2}{C_2} = \frac{26,8 \cdot 10^{-6}}{100 \cdot 10^{-6}} \approx 0,3 \text{ Гн.}$$

Параметры фильтра $C_1 = C_2 = 100$ мкФ, $L_\Phi = 0,3$ Гн удовлетворяют условиям эффективной работы (приложение 2):

$$\frac{1}{m\omega C_\Phi} \ll R_H \text{ и } m\omega L_\Phi \gg R_H.$$

ПРИМЕР 2. Для усилительного каскада на транзисторе ГТ108А, схема которого приведена на рис. 4, заданы: напряжение источника питания 9 В, ток покоя коллектора 10 мА, напряжение покоя эмиттер-коллектор – 4 В, сопротивление нагрузки 1 кОм. Рассчитать сопротивления резисторов схемы, определить коэффициент усиления напряжения, тока и мощности, входное и выходное сопротивления каскада, максимальную амплитуду выходного синусоидального сигнала. Принять $R_3 = 0,1R_K$ и ток делителя $I_1 = 5I_{БП}$.

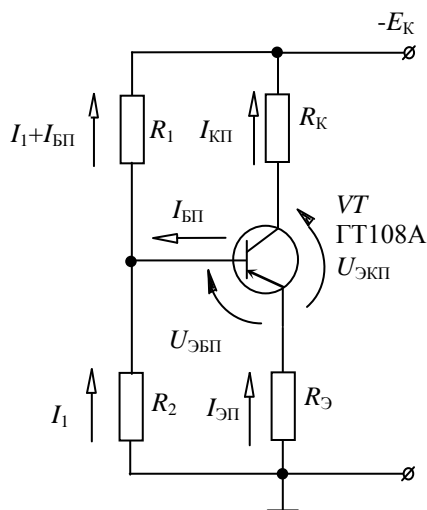


Рис. 6

Уравнение статической линии нагрузки:

$$E_K = I_3 \cdot R_3 + U_{ЭК} + I_K \cdot R_K.$$

РЕШЕНИЕ. При использовании транзистора $p-n-p$ типа необходимо изменить полярность источника питания E_K на рис. 4. При этом направления токов и напряжений меняются на противоположные.

1. *Статический режим или режим покоя.* В статическом режиме входное напряжение отсутствует и токи протекают только под действием источника питания E_K . Сопротивление конденсаторов постоянному току равно бесконечности и поэтому схема каскада в этом режиме имеет следующий вид (рис. 6).

Учитывая, что $I_K \gg I_B$, $I_K \approx I_E$

$$E_K = U_{ЭК} + I_K \cdot (R_K + R_E).$$

Тогда ток коллектора

$$I_K = \frac{E_K - U_{ЭК}}{R_K + R_E}.$$

При использовании значений тока в миллиамперах сопротивления получаются в килоомах.

По полученному уравнению на выходных характеристиках транзистора ГТ108А строим статическую линию нагрузки (рис. 7) по двум точкам: точка покоя П с координатами $I_{кп} = 10$ мА и $U_{ЭКп} = 4$ В и точка отсечки $I_K = 0$, $U_{ЭК} = E_K = 9$ В.

Германиевые сплавные *p-n-p*-транзисторы предназначены для работы в схемах усиления и генерирования. Корпус металлический, масса не более 0,5 г.

$$\begin{aligned} U_{кЭ m} &= 10 \text{ В}, \\ I_{к m} &= 50 \text{ мА}, \\ P_{к m} &= 75 \text{ мВт}, \\ T_{к m} &= 55^\circ \text{С}. \end{aligned}$$

Входные характеристики

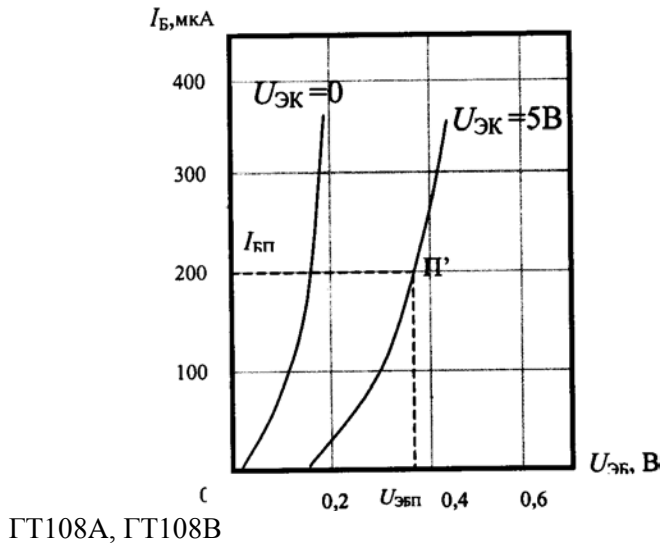


Рис. 7, а

Выходные характеристики

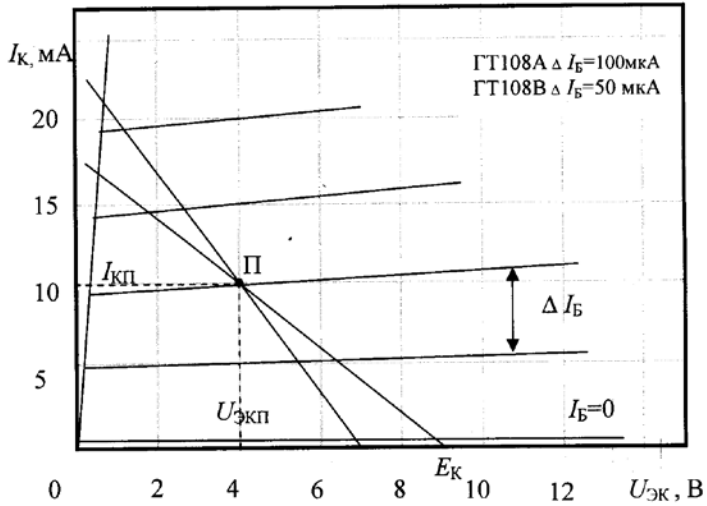


Рис. 7, б

Подставляя в уравнение линии нагрузки значения E_K , $I_{КП}$ и $U_{ЭКП}$, получаем:

$$R_3 + R_K = \frac{E_K - U_{\text{ЭКП}}}{I_{\text{КП}}} = \frac{9 - 4}{10} = 0,5 \text{ кОм.}$$

Так как по условию $R_3 = 0,1R_K$, то

$$R_K = \frac{R_3 + R_K}{1,1} = \frac{0,5}{1,1} \approx 0,45 \text{ кОм} = 450 \text{ Ом};$$

$$R_3 \approx 50 \text{ Ом.}$$

Для контура « R_3 – эмиттер – база – R_2 » можно написать уравнение по второму закону Кирхгофа:

$$I_{\text{ЭП}} \cdot R_3 + U_{\text{эбП}} - I_1 \cdot R_2 = 0;$$

$$R_2 = \frac{I_{\text{ЭП}} \cdot R_3 + U_{\text{эбП}}}{I_1}.$$

Точка покоя П лежит на выходной характеристике $I_6 = 200 \text{ мкА} = 0,2 \text{ мА}$. По входной характеристике $U_{\text{ЭК}} = 5 \text{ В}$ для этого тока базы получаем: $U_{\text{эбП}} = 0,35 \text{ В}$.

Учитывая, что $I_{\text{КП}} \approx I_{\text{ЭП}}$ и $I_1 = 5I_{\text{бП}} = 5 \cdot 0,2 = 1 \text{ мА}$, определяем:

$$R_2 = \frac{10 \cdot 0,05 + 0,35}{1} = 0,85 \text{ кОм.}$$

Аналогично для контура $R_2 - R_1 - E_K$ рассчитываем:

$$E_K = R_2 \cdot I_1 + R_1 \cdot (I_1 + I_{\text{бП}});$$

$$R_1 = \frac{E_K - R_2 \cdot I_1}{I_1 + I_{\text{бП}}} = \frac{9 - 0,85}{1 + 0,2} = 6,8 \text{ кОм.}$$

2. *Динамический режим.* По выходным характеристикам транзистора в точке покоя П определяем:

$$h_{21} = \left. \frac{\Delta I_{\text{к}}}{\Delta I_{\text{б}}} \right|_{U_{\text{ЭК}}=4\text{В}} = \frac{15-5}{0,3-0,1} = 50;$$

$$h_{22} = \left. \frac{\Delta I_{\text{к}}}{\Delta U_{\text{ЭК}}} \right|_{I_{\text{б}}=0,2\text{мА}} = \frac{10,5-10}{10-4} = 83 \cdot 10^{-3} \text{ мСм.}$$

По входной характеристике рассчитываем:

$$h_{11} = \left. \frac{\Delta U_{\text{эб}}}{\Delta I_{\text{б}}} \right|_{U_{\text{ЭК}}=5\text{В}} = \frac{0,41-0,3}{0,3-0,1} = 0,55 \text{ кОм.}$$

В динамическом режиме источник питания $E_{\text{к}}$ закорочен, а токи протекают только за счет $u_{\text{вх}} = U_{\text{вх м}} \sin \omega t$. Емкость конденсаторов выбирается так, чтобы на минимальной рабочей частоте их сопротивление было значительно меньше активных сопротивлений схемы и конденсаторы можно было считать закороченными. Тогда, заменив транзистор эквивалентной схемой с h -параметрами, получим схему замещения усилителя (рис. 8). В этой схеме

$$R_{\text{Б}} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{6,8 \cdot 0,85}{6,8 + 0,85} = 0,75 \text{ кОм;}$$

$$h_{22}^{-1} = \frac{1}{83 \cdot 10^{-3}} \approx 12 \text{ кОм.}$$

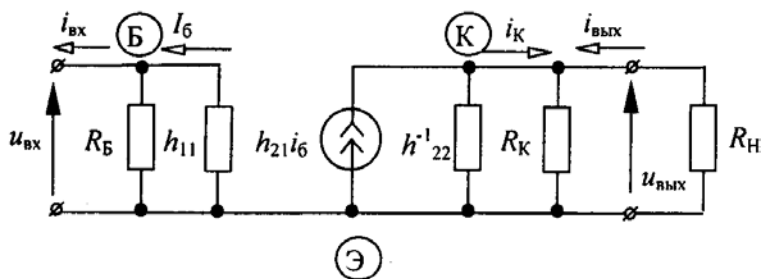


Рис. 8

Так как $h_{22}^{-1} \gg R_K$, то им можно пренебречь.

Входное сопротивление каскада

$$R_{\text{ВХ}} = \frac{R_{\text{Б}} \cdot h_{11}}{R_{\text{Б}} + h_{11}} = \frac{0,75 \cdot 0,55}{0,75 + 0,55} = 0,32 \text{ кОм.}$$

Выходное сопротивление каскада

$$R_{\text{ВЫХ}} = R_K = 450 \text{ Ом.}$$

Коэффициент усиления напряжения находим с помощью уравнений для входной и выходной цепей (см. рис. 8):

$$\begin{aligned} u_{\text{ВХ}} &= i_{\text{б}} \cdot h_{11}; \\ u_{\text{ВЫХ}} &= -h_{21} \cdot i_{\text{б}} \cdot \frac{R_K \cdot R_{\text{Н}}}{R_K + R_{\text{Н}}}; \\ K_u &= \frac{u_{\text{ВЫХ}}}{u_{\text{ВХ}}} = -\frac{h_{21}}{h_{11}} \cdot \frac{R_K \cdot R_{\text{Н}}}{R_K + R_{\text{Н}}} = -\frac{50}{0,55} \cdot \frac{0,45 \cdot 1}{0,45 + 1} = -28,2 \end{aligned}$$

(минус показывает, что $u_{\text{ВЫХ}}$ в противофазе с $u_{\text{ВХ}}$).

Коэффициент усиления тока при $i_{\text{ВХ}} = \frac{u_{\text{ВХ}}}{R_{\text{ВХ}}}$; $i_{\text{ВЫХ}} = \frac{u_{\text{ВЫХ}}}{R_{\text{Н}}}$ определяется по формуле

$$K_i = \frac{i_{\text{ВЫХ}}}{i_{\text{ВХ}}} = \frac{u_{\text{ВЫХ}}}{u_{\text{ВХ}}} \cdot \frac{R_{\text{ВХ}}}{R_{\text{Н}}} = K_u \cdot \frac{R_{\text{ВХ}}}{R_{\text{Н}}} = -28,2 \cdot \frac{0,32}{1,0} = -9.$$

Коэффициент усиления мощности

$$K_p = K_u \cdot K_i = 28,2 \cdot 9 = 254.$$

Уравнение динамической линии нагрузки записывается по второму закону Кирхгофа для выходного контура схемы замещения каскада:

$$u_{\text{ЭК}} = -i_{\text{К}} \cdot \frac{R_{\text{К}} \cdot R_{\text{Н}}}{R_{\text{К}} + R_{\text{Н}}} = -i_{\text{К}} \cdot \frac{0,45 \cdot 1}{0,45 + 1} = -0,31 \cdot i_{\text{К}}.$$

При $i_{\text{К}} = 0$ каскад работает в статическом режиме и динамическая линия нагрузки должна проходить через точку покоя П. При изменении коллекторного тока $\Delta I_{\text{К}} = 5$ мА напряжение $U_{\text{ЭК}}$ изменится на $-1,55$ В, т. е. вторая точка динамической линии нагрузки будет иметь координаты

$$I_{\text{К}} = I_{\text{КП}} + \Delta I_{\text{К}} = 10 + 5 = 15 \text{ мА}$$

и

$$U_{\text{ЭК}} = U_{\text{ЭКП}} + \Delta U_{\text{ЭК}} = 4 - 1,55 = 2,45 \text{ В}.$$

Через точки с этими координатами проводим динамическую линию нагрузки. Она пересекает характеристику $I_{\text{Б}} = 0$ в точке, которая соответствует $U_{\text{ЭК}} = 6,9$ В. Следовательно, максимальная амплитуда выходного напряжения

$$U_{\text{ВЫХ м}} = U_{\text{ЭК}} - U_{\text{ЭКП}} = 6,9 - 4 = 2,9 \text{ В}.$$

Максимальная выходная мощность

$$P_{\text{ВЫХ м}} = \frac{U^2}{2 \cdot R_{\text{н}}} = \frac{2,9^2}{2 \cdot 1} = 4,2 \text{ мВт.}$$

ПРИМЕР 3. Схема каскада усиления переменного тока приведена на рис. 4. Транзистор *n-p-n*. Напряжение источника питания $E_{\text{к}} = 36 \text{ В}$, мощность нагрузки $P_{\text{н}} = 30 \text{ мВт}$, максимальная амплитуда выходного напряжения $U_{\text{ВЫХ м}} = 9 \text{ В}$.

ЗАДАНИЕ.

Выбрать параметры точки покоя, тип транзистора. Рассчитать сопротивления резисторов, динамические параметры каскада. Определить КПД каскада и построить его амплитудную характеристику.

РЕШЕНИЕ. 1. *Параметры нагрузки.*

Заданы $P_{\text{н}} = 30 \text{ мВт}$ и $U_{\text{ВЫХ м}} = 9 \text{ В}$.

Сопротивление нагрузки

$$R_{\text{н}} = \frac{U_{\text{ВЫХ м}}^2}{2 \cdot P_{\text{н}}} = \frac{9^2}{2 \cdot 30} = 1,35 \text{ кОм.}$$

Амплитуда тока нагрузки

$$I_{\text{ВЫХ м}} = \frac{U_{\text{ВЫХ м}}}{R_{\text{н}}} = \frac{9}{1,35} = 6,7 \text{ мА.}$$

2. *Выбор точки покоя.*

Чтобы избежать нелинейных искажений выходного сигнала, параметры точки покоя выбираются из следующих условий:

$$I_{\text{кп}} \geq I_{\text{ВЫХ м}};$$

$$U_{\text{кэп}} \geq U_{\text{ВЫХ м}} + \Delta U,$$

где ΔU – напряжение на транзисторе в режиме насыщения, принимается 1...1,5 В.

Чем больше выбран $I_{кп}$, тем больше мощность, потребляемая от источника питания и, следовательно, ниже КПД каскада. При малом $I_{кп}$ могут возникнуть нелинейные искажения выходного сигнала. Принимаем $I_{кп} = 12$ мА, $U_{кэп} = 10$ В.

3. Выбор транзистора.

Если не указаны дополнительные условия, транзистор выбирается по предельным параметрам:

$$U_{кэ доп} \geq E_k = 36 \text{ В};$$

$$I_{к доп} \geq I_{кп} + I_{вых м} = 12 + 6,7 = 18,7 \text{ мА};$$

$$P_{к доп} \geq I_{кп} \cdot U_{кэп} = 12 \cdot 10 = 120 \text{ мВт}.$$

Выбираем транзистор КТ315В (приложение 4), у которого

$$U_{кэ доп} = 40 \text{ В}; I_{к доп} = 100 \text{ мА}; P_{к доп} = 150 \text{ мВт}.$$

Данный транзистор имеет следующие h -параметры:

$$h_{11} = 0,14 \text{ кОм}; h_{21} = 50; h_{22} = 0,3 \text{ мкСм}.$$

Параметром h_{12} пренебрегаем, а рекомендуемое напряжение база-эмиттер в режиме покоя $U_{бэп} = 1,0$ В.

4. Статический режим.

В статическом режиме источник сигнала отключен и каскад работает только под действием источника питания E_k . Поэтому сопротивление конденсаторов равно бесконечности и расчетная схема имеет следующий вид (рис. 9).

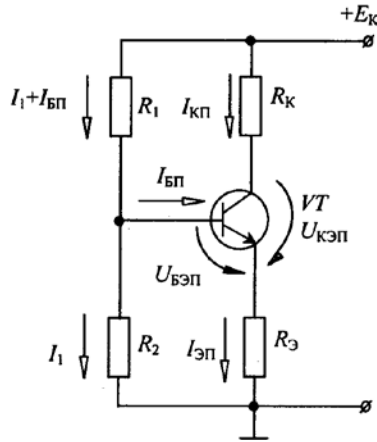


Рис. 9

Уравнение статической линии нагрузки:

$$E_K = I_K R_K + U_{КЭ} + I_Э R_Э.$$

Так как $I_Э = I_K + I_Б$ и $I_K \gg I_Б$, то $I_Э \approx I_K$;

$$E_K = I_K \cdot (R_K + R_Э) + U_{КЭ}.$$

Рекомендуется принимать $R_Э = (0,1 \dots 0,2) R_K$. Тогда

$$E_K = 1,1 I_K R_K + U_{КЭ}.$$

В режиме покоя $I_K = I_{КП}$, $U_{КЭ} = U_{КЭП}$.

Сопротивления

$$R_K = \frac{E_K - U_{КЭП}}{1,1 \cdot I_{КЭП}} = \frac{36 - 10}{1,1 \cdot 12} = 1,97 \text{ кОм};$$

$$R_Э = 0,2 \text{ кОм}.$$

Чтобы в динамическом режиме не менялись существенно условия работы конденсатора, ток делителя рекомендуется выбирать в 5...10 раз больше $I_{бп}$. Примем $I_1 = 5I_{бп}$.

$$I_{бп} = \frac{I_{кп}}{h_{21}} = \frac{12}{50} = 0,24 \text{ мА};$$

$$I_1 = 5 \cdot I_{бп} = 5 \cdot 0,24 = 1,2 \text{ мА}.$$

Для контура « R_2 – база – эмиттер – R_3 » уравнение по второму закону Кирхгофа:

$$-R_2 I_1 + U_{бэп} + I_{кп} R_3 = 0;$$

$$R_2 = \frac{U_{бэп} + I_{кп} \cdot R_3}{I_1} = \frac{1 + 12 \cdot 0,2}{1,2} = 2,8 \text{ кОм}.$$

Второе уравнение для контура $E_k - R_1 - R_2$:

$$E_k = (I_1 + I_{бп}) \cdot R_1 + I_1 \cdot R_2;$$

$$R_1 = \frac{E_k - I_1 \cdot R_2}{I_1 + I_{бп}} = \frac{36 - 1,2 \cdot 2,8}{1,2 + 0,24} = 22,7 \text{ кОм}.$$

5. Динамический режим.

В динамическом режиме E_k закорочен, а сопротивлением конденсаторов можно пренебречь, так как их емкость выбирается из условия, чтобы на минимальной рабочей частоте реактивное сопротивление конденсаторов было на порядок меньше сопротивлений резисторов схемы. Поэтому схема замещения каскада с учетом h -параметров транзистора имеет вид, как на рис. 8, но с противоположными направлениями токов, напряжений и источника тока. В этой схеме

$$R_B = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{22,7 \cdot 2,8}{22,7 + 2,8} = 2,5 \text{ кОм}.$$

Входное сопротивление каскада

$$R_{\text{вх}} = \frac{R_{\text{Б}} \cdot h_{11}}{R_{\text{Б}} + h_{11}} = \frac{2,5 \cdot 0,14}{2,5 + 0,14} \approx 0,14 \text{ кОм.}$$

Выходное сопротивление

$$R_{\text{вых}} = \frac{R_{\text{К}}}{R_{\text{К}} h_{22} + 1} \approx R_{\text{К}} = 1,97 \text{ кОм} \quad (h_{22} = 0,3 \cdot 10^{-6} \text{ См}).$$

Уравнение динамической линии нагрузки

$$u_{\text{кэ}} = -i_{\text{К}} \frac{R_{\text{К}} \cdot R_{\text{Н}}}{R_{\text{К}} + R_{\text{Н}}}.$$

Максимальная амплитуда выходного напряжения при $I_{\text{км}} = I_{\text{кп}}$

$$U_{\text{вых м}} = I_{\text{кп}} \frac{R_{\text{К}} \cdot R_{\text{Н}}}{R_{\text{К}} + R_{\text{Н}}} = 12 \cdot \frac{1,97 \cdot 1,35}{1,97 + 1,35} = 9,6 \text{ В.}$$

По заданию $U_{\text{вых м}} = 9 \text{ В}$. Поэтому сигнал искажаться не будет. Если бы $U_{\text{вых м}}$ получилось меньше заданного, то надо было бы увеличить $I_{\text{кп}}$ и расчет повторить.

Коэффициенты усиления:

$$K_u = \frac{h_{21}}{h_{11}} \cdot \frac{R_{\text{К}} \cdot R_{\text{Н}}}{R_{\text{К}} + R_{\text{Н}}} = 50 \cdot \frac{1,97 \cdot 1,35}{0,14 \cdot (1,97 + 1,35)} = 286;$$

$$K_i = h_{21} \frac{R_{\text{К}}}{R_{\text{К}} + R_{\text{Н}}} = 50 \frac{1,97}{1,97 + 1,35} = 29,7;$$

$$K_p = K_u \cdot K_i = 286 \cdot 29,7 = 8485.$$

Потребляемая мощность (мощность, потребляемая делителем, незначительна, и ее не учитывают)

$$P_1 = I_{\text{КП}} \cdot U_{\text{КЭП}} = 12 \cdot 10 = 120 \text{ мВт} .$$

КПД при $P_2 = P_{\text{Н}} = 30 \text{ мВт}$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{30}{120} = 0,25 .$$

Для каскадов, работающих в классе А, это достаточно высокий КПД, близкий к максимально возможному 0,35.

б. Амплитудная характеристика $U_{\text{ВЫХ м}} = f(U_{\text{ВХ м}})$.

$$U_{\text{ВЫХ м}} = K_u \cdot U_{\text{ВХ м}} = 286 \cdot U_{\text{ВХ м}} .$$

Это линейное уравнение справедливо до $U_{\text{ВЫХ м}} = 9,6 \text{ В}$. Дальнейший рост напряжения ограничивается тем, что транзистор закрывается. Следовательно амплитудную характеристику (рис. 10) можно построить по двум точкам:

первая точка – начало координат $U_{\text{ВХ м}} = 0, U_{\text{ВЫХ м}} = 0$;

вторая точка – $U_{\text{ВЫХ м}} = 9,6 \text{ В}, U_{\text{ВХ м}} = U_{\text{ВЫХ м}}/K_u = 9,6/286 = 0,034 \text{ В}$.

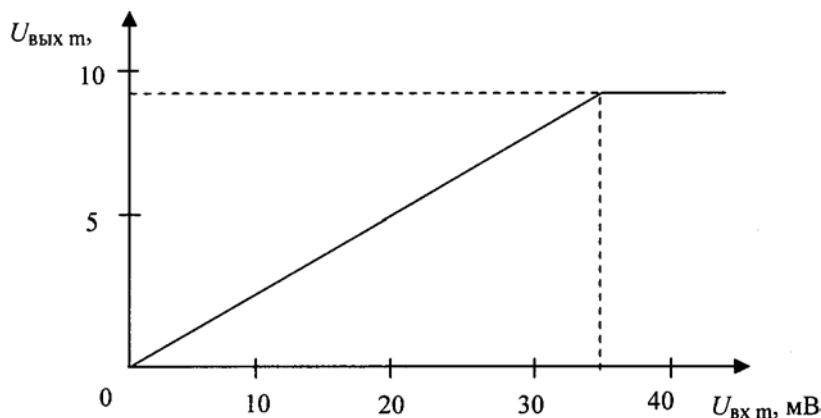


Рис. 10

ПРИМЕР 4. Коэффициент усиления инвертирующего усилителя равен 20. Усилитель на ОУ К140УД2Б имеет следующие основные параметры: напряжение источников питания $E_{п} = \pm 6,3$ В, разность входных токов $\Delta I_{вх} = 0,2$ мкА, коэффициент усиления $K_u = 3000$, максимальное выходное напряжение $U_{вых м} = \pm 3$ В, входное сопротивление $R_{вх} = 0,3$ МОм, выходное сопротивление $R_{вых} = 1$ кОм.

Рассчитать сопротивления резисторов схемы для получения заданного коэффициента усиления, определить входное и выходное сопротивления усилителя с обратной связью и максимальную амплитуду входного синусоидального сигнала, при которой не будет заметных искажений выходного сигнала. Сопротивлением нагрузки пренебречь.

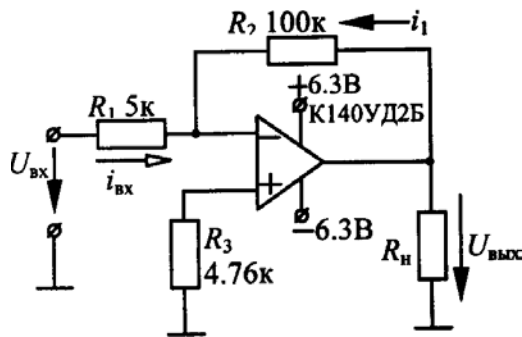


Рис. 11

РЕШЕНИЕ. Схема инвертирующего усилителя на ОУ изображена на рис. 11. Параметры ОУ приведены в приложении 6.

Для инвертирующего усилителя на ОУ входное сопротивление $R_{вх} = R_1$. Чтобы не загружать источники сигнала, величину R_1 желательно иметь большой. Но падение напряжения на R_1 от разностного тока $\Delta I_{вх}$ воспринимается усилителем как сигнал. Чтобы отстроить эту помеху от полезного сигнала, надо иметь $\Delta I_{вх} \cdot R_1$ значительно меньше, чем $U_{вх \text{ min}}$.

$$\frac{U_{вх \text{ min}}}{\Delta I_{вх}} = \frac{10}{0,2} = 50 \text{ кОм.}$$

Принимаем $R_1 = 5 \text{ кОм}$, тогда $\Delta I_{\text{вх}} \cdot R_1 = 0,2 \cdot 5 = 1 \text{ мВ} \ll U_{\text{вх min}} = 10 \text{ мВ}$.
Сопrotивление обратной связи

$$R_2 = K_u \cdot R_1 = 20 \cdot 5 = 100 \text{ кОм}.$$

Для уравнивания входных токов ОУ по обоим входам в цепь неинвертирующего входа включают резистор R_3 :

$$R_3 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{5 \cdot 100}{5 + 100} = 4,76 \text{ кОм}.$$

Входное сопротивление инвертирующего усилителя на ОУ с обратной связью

$$R_{\text{вх}} = R_1 = 5 \text{ кОм}.$$

Выходное сопротивление

$$R_{\text{вых}} = R'_{\text{вых}} \cdot \frac{1 + \frac{R_2}{R_1}}{K_u} = 1000 \cdot \frac{1 + \frac{100}{5}}{3000} = 0,007 \text{ кОм} = 7 \text{ Ом}.$$

Амплитуда выходного сигнала не может быть больше максимального выходного напряжения (для данного типа ОУ – 3 В). Поэтому максимальная амплитуда входного синусоидального сигнала составит:

$$U_{\text{вх m}} = \frac{U_{\text{вых m}}}{K_u} = \frac{3}{20} = 0,15 \text{ В}.$$

ПРИМЕР 5. Параллельный сумматор для реализации операций $U_{\text{вых}} = 10U_1 + U_2 - 2U_3 - 5U_4$ выполнен на ОУ К14ОУД8А и имеет следующие основные параметры: напряжения источников питания $E_{\text{п}} = \pm 15 \text{ В}$, максимальное выходное напряжение $U_{\text{вых m}} = \pm 10 \text{ В}$, коэффициент усиления $K_u = 50000$. Сопrotивление обратной связи равно 40 кОм. Определить сопротивления резисторов во входных цепях схемы и максимальную величину входного единичного напряжения U .

РЕШЕНИЕ. Схема параллельного сумматора для реализации заданной функции приведена на рис. 12. Количество неинвертирующих входов соответствует числу положительных, а число инвертирующих – числу отрицательных членов функции.

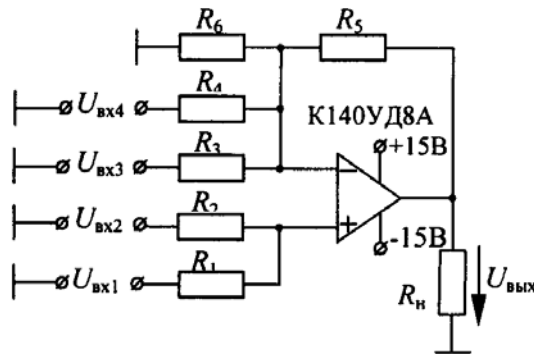


Рис. 12

1. Выходное напряжение параллельного сумматора $U_{\text{вых}} = \sum K_{\text{ин}} \cdot U_{\text{ин}} - \sum K_{\text{ин}} \cdot U_{\text{ин}}$, где $K_{\text{ин}}$, $U_{\text{ин}}$, $K_{\text{ин}}$, $U_{\text{ин}}$ – коэффициенты усиления (весовые коэффициенты) и входные напряжения по каждому из неинвертирующих и инвертирующих входов;

$$K_i = \frac{R_{\text{ос}}}{R_i},$$

где $R_{\text{ос}}$ – сопротивление обратной связи (резистор R_5); R_i – сопротивление в цепи данного входа. По заданному значению R_5 и весовым коэффициентам входов ($K_1 = 10$, $K_2 = 1$, $K_3 = 2$, $K_4 = 5$) определяем:

$$R_1 = \frac{R_5}{K_1} = \frac{40}{10} = 4 \text{ кОм},$$

$$R_2 = \frac{R_5}{K_2} = \frac{40}{1} = 40 \text{ кОм},$$

$$R_3 = \frac{R_5}{K_3} = \frac{40}{2} = 20 \text{ кОм},$$

$$R_4 = \frac{R_5}{K_4} = \frac{40}{5} = 8 \text{ кОм}.$$

Для нормальной работы сумматора надо уравнять сопротивления по обоим входам. В противном случае входные токи ОУ вызовут на них неодинаковое падение напряжений и на входе ОУ появится разностный сигнал, который будет им усилен. На выходе будет $U_{\text{вых}}$ при отсутствии $U_{\text{вх}}$. Входное сопротивление по инвертирующему входу:

$$\frac{1}{R_{\text{и}}} = \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5} = \frac{1}{20} + \frac{1}{8} + \frac{1}{40} = \frac{8}{40};$$

$$R_{\text{и}} = 5 \text{ кОм},$$

по неинвертирующему входу:

$$R_{\text{н}} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{4 \cdot 40}{4 + 40} = 3,6 \text{ кОм}, \quad R_{\text{и}} > R_{\text{н}}.$$

Чтобы выравнять входные сопротивления параллельно инвертирующему входу, надо включить резистор R_6 так, чтобы

$$R_{\text{н}} = \frac{R_6 \cdot R_{\text{и}}}{R_6 + R_{\text{и}}}; \quad R_6 = \frac{R_{\text{и}} \cdot R_{\text{н}}}{R_{\text{и}} - R_{\text{н}}} = \frac{5 \cdot 3,6}{5 - 3,6} = 12,9 \text{ кОм}.$$

2. Выходное напряжение при выполнении данной операции $U_{\text{вых}} = 10U + U - 2U - 5U = 4U$. При максимальном выходном напряжении ОУ 10 В единичное входное напряжение (равное по всем входам)

$$U = \frac{U_{\text{вых м}}}{4} = \frac{10}{4} = 2,5 \text{ В}.$$

При единичном входном напряжении 100 мВ $U_{\text{вх1}} = U_{\text{вх2}} = U_{\text{вх3}} = U_{\text{вх4}} = 100$ мВ. Доля выходного напряжения за счет первого входа $U_{\text{вых1}} = K_1 U_{\text{вх1}} = 10 \cdot 100 = 1000$ мВ. Для других входов $U_{\text{вых2}} = K_2 U_{\text{вх2}} = 1 \cdot 100 = 100$ мВ, $U_{\text{вых3}} = -K_3 U_{\text{вх3}} = -2 \cdot 100 = -200$ мВ, $U_{\text{вых4}} = -K_4 U_{\text{вх4}} = -5 \cdot 100 = -500$ мВ. Выходное напряжение сумматора

$$U_{\text{вых}} = U_{\text{вых1}} + U_{\text{вых2}} + U_{\text{вых3}} + U_{\text{вых4}} =$$

$$= 1000 + 100 - 200 - 500 = 400 \text{ мВ} .$$

ПРИМЕР 6. Работа механизма контролируется по N параметрам, которые могут принимать два значения: 0 или 1. Количество параметров и их нормальное значение задано десятичным числом 341. При несовпадении хотя бы одного из параметров механизм отключается. Составить схему управления механизмом, используя логические элементы ЗИ-НЕ, ЗИЛИ-НЕ.

РЕШЕНИЕ. 1. Заданное десятичное число 341 преобразуем в двоичное: 101010101. Следовательно, механизм контролируется по 9 параметрам (двоичное число имеет 9 разрядов). Нормальное значение параметров: $X_9 = 1$, $X_8 = 0$, $X_7 = 1$, $X_6 = 0$, $X_5 = 1$, $X_4 = 0$, $X_3 = 1$, $X_2 = 0$, $X_1 = 1$.

2. Таблица истинности. Логическая функция зависит от 9 аргументов. Следовательно, таблица истинности должна состоять из 512 наборов. Только для одного заданного набора функция равна 1. Поэтому нет смысла приводить все наборы. Ограничимся для примера только пятью (табл. 20).

Т а б л и ц а 20

X_9	X_8	X_7	X_6	X_5	X_4	X_3	X_2	X_1	F
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
...
1	0	1	0	1	0	1	0	1	1
...
1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1	0

Логическая функция. При составлении логической функции по таблице истинности через минтермы

$$F = \sum F_i \cdot m_i,$$

где F_i , m_i – значения функции и минтерм, соответствующие i -й строке. Минтерм – это произведение (конъюнкция) всех переменных составляющих строки. Переменные входят в произведение в прямом виде, если их значение в строке 1, и в инверсном, если их значение 0. Так как $F = 1$ только для одной строки, то логическая функция будет содержать только один минтерм:

$$F = X_1 \cdot \overline{X_2} \cdot X_3 \cdot \overline{X_4} \cdot X_5 \cdot \overline{X_6} \cdot X_7 \cdot \overline{X_8} \cdot X_9.$$

Преобразование логической функции в соответствии с данными элементами. Используемые логические элементы выполняют следующие функции:

ЗИ-НЕ	$F_1 = \overline{X_1 \cdot X_2 \cdot X_3},$
ЗИЛИ-НЕ	$F_2 = \overline{X_1 + X_2 + X_3}.$

Преобразуемая функция F содержит 9 переменных, а у каждого из логических элементов можно использовать не более 3 входов. Поэтому надо произвести декомпозицию функции F , т. е. представить ее в виде набора функций F_1 и F_2 , каждая из которых должна содержать не более 3 переменных. Подобные преобразования проводят, используя законы и теоремы алгебры логики. Применяв закон ассоциативности (приложение 7), исходную функцию представим в следующем виде:

$$\begin{aligned} F &= X_1 \cdot \overline{X_2} \cdot X_3 \cdot \overline{X_4} \cdot X_5 \cdot \overline{X_6} \cdot X_7 \cdot \overline{X_8} \cdot X_9 = \\ &= (X_1 \cdot \overline{X_2} \cdot X_3) \cdot (\overline{X_4} \cdot X_5 \cdot \overline{X_6}) \cdot (X_7 \cdot \overline{X_8} \cdot X_9). \end{aligned}$$

Выполнив операцию двойного отрицания каждого члена и используя теорему Де-Моргана (см. приложение 7), получим:

$$\begin{aligned}
 F &= \overline{\overline{\overline{X_1 \cdot X_2 \cdot X_3}} \cdot \overline{\overline{\overline{X_4 \cdot X_5 \cdot X_6}}} \cdot \overline{\overline{\overline{X_7 \cdot X_8 \cdot X_9}}} = \\
 &= \overline{(X_1 \cdot \overline{X_2} \cdot X_3) + (\overline{X_4} \cdot X_5 \cdot \overline{X_6}) + (X_7 \cdot \overline{X_8} \cdot X_9)}.
 \end{aligned}$$

В такой форме функция F может быть реализована на заданных элементах. Инверсию X_2, X_4, X_6, X_8 можно выполнить на элементах И-НЕ или ИЛИ-НЕ, объединив их входы. Схема соединения элементов представлена на рис. 13.

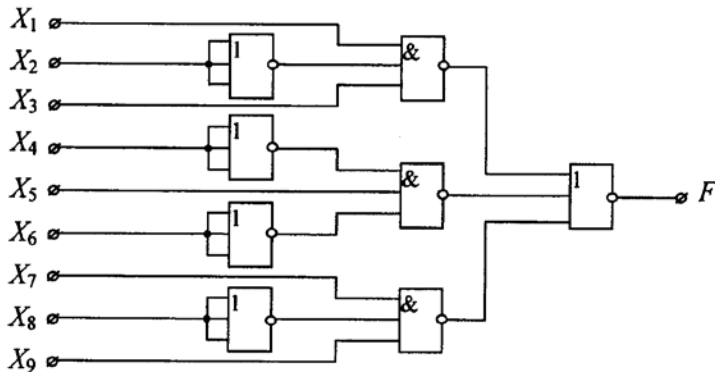


Рис. 13

Для реализации схемы требуется 8 логических элементов (5 элементов ЗИЛИ-НЕ и 3 элемента ЗИ-НЕ). При другом методе декомпозиции функции F число логических элементов можно уменьшить. Например, исходную функцию можно представить так:

$$\begin{aligned}
 F &= X_1 \cdot \overline{X_2} \cdot X_3 \cdot \overline{X_4} \cdot X_5 \cdot \overline{X_6} \cdot X_7 \cdot \overline{X_8} \cdot X_9 = \\
 &= (X_1 \cdot X_3 \cdot X_5) \cdot [X_7 \cdot X_9 \cdot (\overline{X_2} \cdot \overline{X_4} \cdot \overline{X_6})] \cdot \overline{X_8} = \\
 &= (X_1 \cdot X_3 \cdot X_5) \cdot [X_7 \cdot X_9 \cdot (\overline{X_2 + X_4 + X_6})] \cdot \overline{X_8} = \\
 &= \overline{\overline{\overline{(X_1 \cdot X_3 \cdot X_5)}} \cdot \overline{\overline{\overline{X_7 \cdot X_9 \cdot (X_2 + X_4 + X_6)}}}} \cdot \overline{X_8} = \\
 &= \overline{\overline{\overline{X_1 \cdot X_3 \cdot X_5} + X_7 \cdot X_9 \cdot (X_2 + X_4 + X_6)}} + X_8.
 \end{aligned}$$

В таком виде ее тоже можно реализовать на заданных элементах. Схема соединения логических элементов приведена на рис. 14.

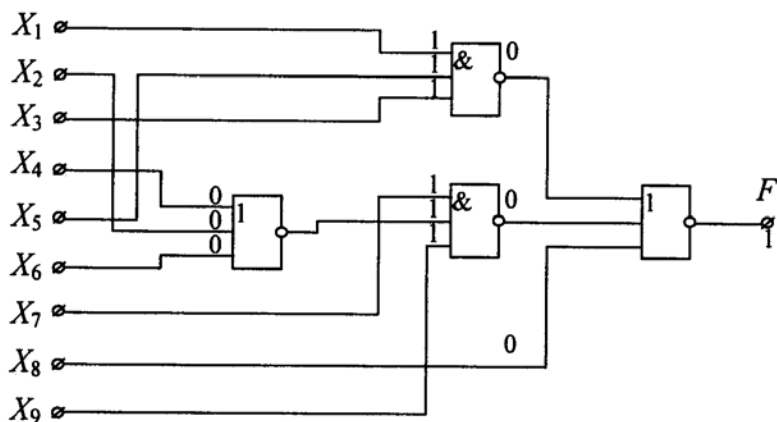


Рис. 14

В схеме использованы только четыре логических элемента (два элемента ЗИ-НЕ и два элемента ЗИЛИ-НЕ). Такая схема более экономична и обладает большим быстродействием. Поэтому при проектировании всегда стараются оптимизировать схему. Для проверки работы схемы на входах X_1, \dots, X_9 указаны значения переменных и значение функции. Легко проверить, что при любом другом наборе $F = 0$.

ПРИМЕР 7. Разработать комбинационное устройство с четырьмя входами, дающее на выходе $F = 1$ при подаче на входы чисел 2, 3, 10, 11 в двоичном коде. При подаче на входы других чисел $F = 0$.

РЕШЕНИЕ. В двоичном коде числа 2, 3, 10, 11 записываются 0010, 0011, 1010 и 1011 соответственно. Составляем таблицу истинности (табл. 21).

Запишем логическую функцию и преобразуем ее согласно тождествам и законам алгебры логики (см. приложение 7):

$$\begin{aligned}
 F &= \overline{X_3} \cdot \overline{X_2} \cdot X_1 \cdot \overline{X_0} + \overline{X_3} \cdot \overline{X_2} \cdot X_1 \cdot X_0 + X_3 \cdot \overline{X_2} \cdot X_1 \cdot \overline{X_0} + X_3 \cdot \overline{X_2} \cdot X_1 \cdot X_0 = \\
 &= \overline{X_2} \cdot X_1 \cdot (\overline{X_3} \cdot \overline{X_0} + \overline{X_3} \cdot X_0 + X_3 \cdot \overline{X_0} + X_3 \cdot X_0) = \overline{X_2} \cdot X_1.
 \end{aligned}$$

Таблица 21

X_3	X_2	X_1	X_0	F
0	0	0	0	0
0	0	0	1	0
0	0	1	0	1
0	0	1	1	1
0	1	0	0	0
0	1	0	1	0
0	1	1	0	0
0	1	1	1	0
1	0	0	0	0
1	0	0	1	0
1	0	1	0	1
1	0	1	1	1
1	1	0	0	0
1	1	0	1	0
1	1	1	0	0
1	1	1	1	0

Это – элемент “Запрет X_2 ” (приложение 8). Схему нужно реализовать в заданном базисе.

Наглядный и простой способ решения – графический с помощью карт Карно (рис. 15). Минтермы, соответствующие двум соседним (в столбце или ряду) клеткам карты Карно, отличаются значениями только одной переменной. Поэтому дизъюнкция этих минтермов дает одну импликанту, в которой исключена переменная, имеющая взаимоинверсные значения. На карте Карно графически объединяют клетки, представляющие одну импликанту. Такое объединение клеток эквивалентно выполнению операции склеивания минтермов (см. приложение 7) и позволяет получить более простое выражение логической функции.

Правила объединения клеток:

1. Объединяются две соседние клетки в столбце или ряду, четыре соседние клетки, составляющие квадраты.

2. Объединяются клетки или пары клеток, крайние в столбцах или рядах.

3. Объединяются полные столбцы или ряды, пары рядом расположенных столбцов или рядов, а также крайние столбцы или ряды на карте.

4. Для функций пяти или шести переменных объединяются клетки, пары соседних клеток, квадраты, столбцы, ряды, пары соседних столбцов или рядов, расположенные симметрично относительно вертикальной или горизонтальной оси карты Карно.

Применяем правило 2 для решения данной задачи. Объединяя пары клеток, занятые 1, получаем функцию

$$F = \overline{X_2} \cdot X_1.$$

		X_1X_0			
		00	01	11	10
X_3X_2	00			1	1
	01				
	11				
	10			1	1

Рис. 15. Карта Карно

ПРИМЕР 8. Разработать дешифратор, работающий на семисегментный индикатор с общим катодом. Индикатор показывает последовательно символы *HELP*.

РЕШЕНИЕ. *Дешифратор* – комбинационное устройство, вырабатывающее на выходах сигналы высокого или низкого уровня. Состояние на выходах определяется комбинацией входных (адресных) переменных. Сигналы поступают на соответствующие сегменты знакового индикатора. Для индикатора с ОК на сегменты, которые должны светиться, подают сигналы высокого уровня. Для индикатора с ОА – сигналы низкого уровня.

Работа проектируемого дешифратора на индикатор с ОК приведена в таблице истинности (табл. 22), заполненной на основании состояний индикатора (рис. 16). Два входных сигнала обеспечивают четыре возможных состояния знакового индикатора.

Т а б л и ц а 22

Символ	Входы		Выходы						
	X_1	X_0	F_0	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6
H	0	0	0	1	1	0	1	1	1
E	0	1	1	0	0	1	1	1	1
L	1	0	0	0	0	1	1	1	0
P	1	1	1	1	0	0	1	1	1

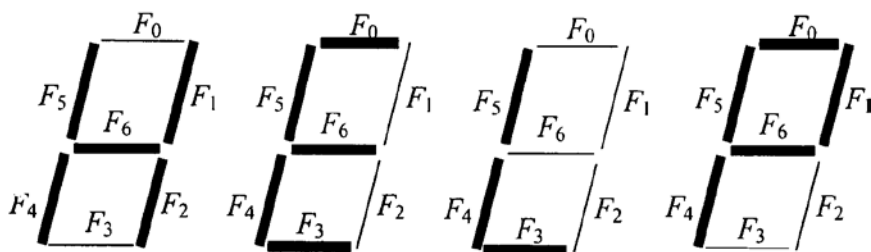


Рис.16. Состояния индикатора

Запишем логические функции для каждого выхода и преобразуем их согласно тождествам и законам алгебры логики (см. приложение 7):

$$\begin{aligned}
 F_0 &= \overline{X_1} \cdot X_0 + X_1 \cdot X_0 = X_0 \cdot (\overline{X_1} + X_1) = X_0; \\
 F_1 &= \overline{X_1} \cdot \overline{X_0} + X_1 \cdot X_0 = X_1 \sim X_0; \\
 F_2 &= \overline{X_1} \cdot \overline{X_0} = \overline{X_1 + X_0}; \quad F_3 = X_1 \cdot \overline{X_0} + \overline{X_1} \cdot X_0 = X_1 \oplus X_0; \\
 F_4 &= F_5 = \overline{X_1} \cdot \overline{X_0} + \overline{X_1} \cdot X_0 + X_1 \cdot \overline{X_0} + X_1 \cdot X_0 = 1; \\
 F_6 &= \overline{X_1} \cdot \overline{X_0} + \overline{X_1} \cdot X_0 + X_1 \cdot X_0 = \\
 &= \overline{X_1} \cdot (\overline{X_0} + X_0) + X_0 \cdot (\overline{X_1} + X_1) = \overline{X_1} + X_0.
 \end{aligned}$$

Схема устройства показана на рис. 17. Ее нужно реализовать в заданном базисе (см. приложение 8).

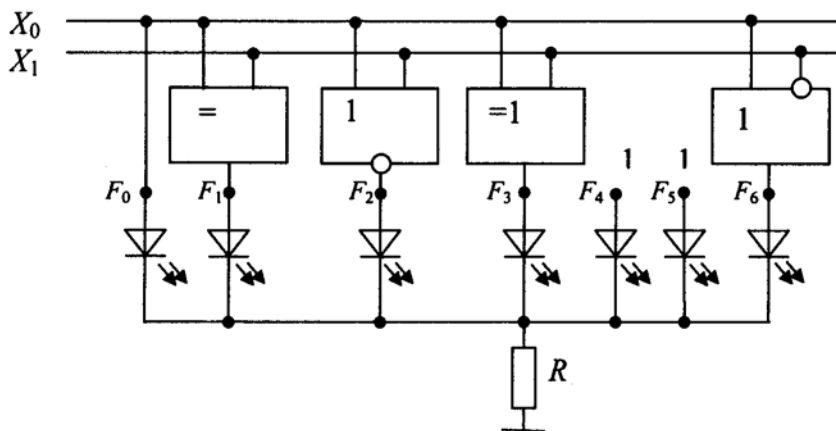


Рис. 17. Схема дешифратора с индикатором

ПРИМЕР 9. Составить схему суммирующего параллельного счетчика с модулем счета $K_c = 7$ на основе JK -триггера (микросхема К155ТВ1).

РЕШЕНИЕ. *Счетчик* – устройство, предназначенное для подсчета числа импульсов, поступивших на его вход, и хранения результата счета в двоичном коде. Основным параметром счетчика является *модуль счета* K_c – максимальное количество импульсов, которое может быть подсчитано устройством. После поступления K_c импульсов счетчик должен возвратиться в исходное состояние. Значение K_c равно числу устойчивых состояний счетчика: $K_c \leq 2^m$, где m – число разрядов (триггеров). При $K_c = 7$ $m = 3$, так как $2^2 = 4 < K_c = 7 < 2^3 = 8$.

Суммирующий счетчик выполняет прямой счет, при поступлении на вход очередного импульса число на выходе счетчика увеличивается на единицу. *Вычитающий счетчик* уменьшает выходной код на единицу, т.е. производит обратный счет. *Реверсивный счетчик* может работать в режимах прямого и обратного счета.

В параллельных счетчиках считываемые импульсы подаются одновременно на синхровходы S всех триггеров. Проектирование таких счетчиков базируется на словарном методе (табл. 23).

Т а б л и ц а 23

F_Q	RS		JK		T	D
	S	R	J	K		
0	0	X	0	X	0	0
1	X	0	X	0	0	1
Δ	1	0	1	X	1	1
∇	0	1	X	1	1	0

X – любой сигнал; 0 – низкий уровень сигнала; 1 – высокий уровень;
 Δ – переход из состояния 0 в 1; ∇ – переход из состояния 1 в 0

Микросхема K155ТВ1 представляет собой JK -триггер со входами R , S , $3И-J$, $3И-K$, C и выходами Q и \bar{Q} . Триггер переводится в новое состояние по отрицательному фронту (спаду) синхроимпульса C . Для предварительной установки заданного числа используют входы установки S , для перевода счетчика в исходное состояние – входы сброса R .

Для реализации заданного счетчика требуется не менее трех триггеров. При $2^n - K_c = 1$ состояние будет избыточным. Используя таблицу состояний счетчика (табл. 24), находим функции переходов F_Q для каждого разряда, карты которых даны на рис. 18,а.

Т а б л и ц а 24

Состояние счетчика	Состояние до прихода импульса			Состояние после прихода импульса			Функции перехода		
	Q_2^n	Q_1^n	Q_0^n	Q_2^{n+1}	Q_1^{n+1}	Q_0^{n+1}	F_{Q2}	F_{Q1}	F_{Q0}
S_0	0	0	0	0	0	1	0	0	Δ
S_1	0	0	1	0	1	0	0	Δ	∇
S_2	0	1	0	0	1	1	0	1	Δ
S_3	0	1	1	1	0	0	Δ	∇	∇
S_4	1	0	0	1	0	1	1	0	Δ
S_5	1	0	1	1	1	0	1	Δ	∇
S_6	1	1	0	0	0	0	∇	∇	0

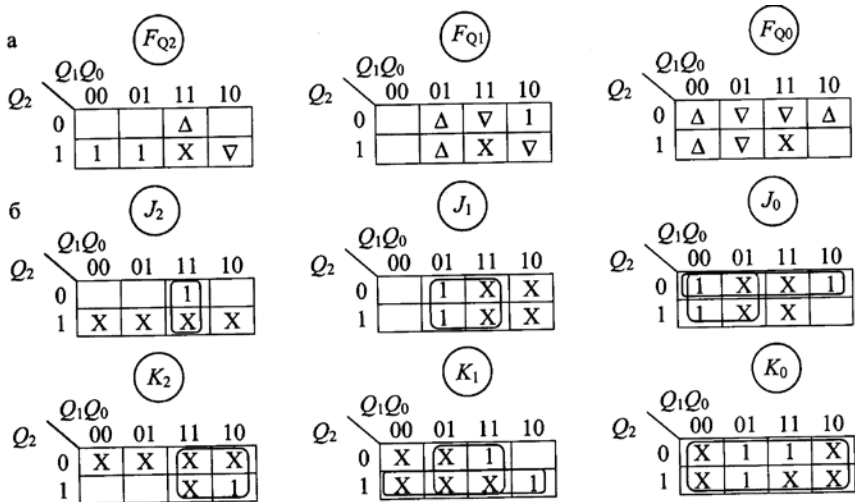


Рис. 18. Карты Карно: а – для функций перехода F_Q ; б – для функций входов J и K

С помощью словаря переходов (см. табл. 23) получаем карты Карно для функций входов J и K триггеров в каждом разряде (рис. 18, б). После минимизации функции входов имеют вид

$$\begin{aligned}
 J_2 &= Q_1 \cdot Q_0; \\
 J_1 &= Q_0; \\
 J_0 &= \overline{Q_1} + \overline{Q_2}; \\
 K_2 &= Q_1; \\
 K_1 &= Q_0 + Q_2; \\
 K_0 &= 1.
 \end{aligned}$$

Схема счетчика показана на рис. 19.

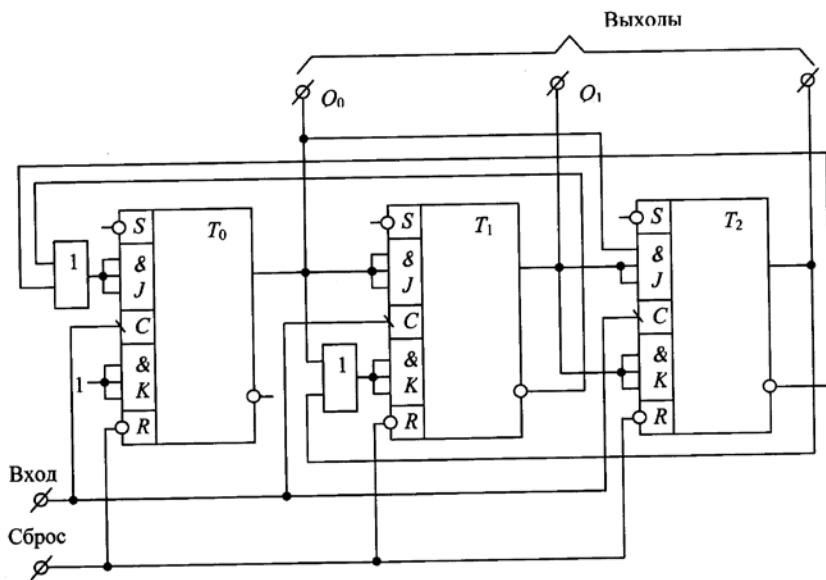


Рис. 19

Для проверки работоспособности схемы строится ее временная диаграмма (рис. 20).

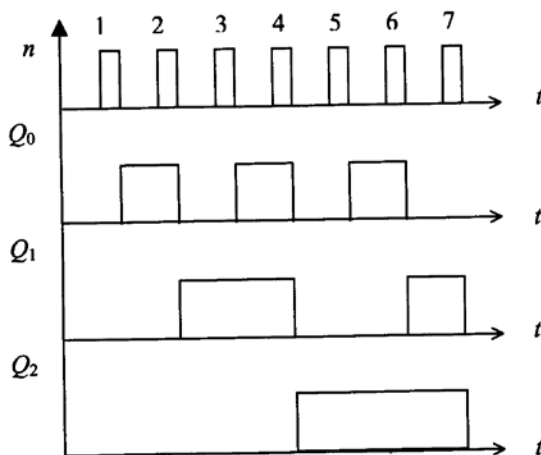


Рис. 20

ПРИМЕР 10. Составить схему суммирующего кольцевого счетчика с модулем счета $K_c = 9$ на основе триггеров K155TM2. Начертить временную диаграмму работы счетчика.

РЕШЕНИЕ. Кольцевые счетчики являются разновидностью параллельных. Счетные импульсы подаются на входы всех триггеров, но счет ведется в коде Джонсона. В связи с этим количество триггеров при модуле K_c должно быть $K_c \leq 2m$. При $K_c = 9$ $m = 5$ и $K_c < 2 \cdot 5 = 10$.

Состояния триггеров приведены в табл. 25.

Т а б л и ц а 25

Импульс	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5
	n					$n+1$				
1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
2	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0
3	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0
4	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0
5	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
7	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1
8	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1
9	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1
10	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0

Как видно из таблицы, при нечетном K_c одно из состояний счетчика оказывается избыточным и его надо исключить. Обычно исключают состояние $Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_4 = Q_5 = 1$. Для этого надо за счет связей между триггерами перевести T_1 в состояние $Q_1 = 0$ при поступлении пятого импульса.

Триггеры K155TM2 представляют собой D-триггеры с входами \bar{S} , \bar{R} , D, C и выходами Q и \bar{Q} . Счетные импульсы подаются на синхровходы триггеров. С приходом синхроимпульса D-триггер переходит в состояние, определяемое сигналом на D-входе. Он срабатывает по переднему фронту импульса. Для установки нуля счетчика (сброс) подается 0 на объединенные входы \bar{R} всех триггеров.

Из приведенной таблицы состояний видно, что триггеры должны включаться один за другим и в таком же порядке отключаться. Поэтому выход Q каждого предыдущего триггера надо соединить со входом D последующего.

На входе первого триггера T_1 высокий уровень должен поддерживаться до прихода четвертого импульса. Тогда после первого импульса T_1 перейдет в состояние $Q_1 = 1$ и изменится только после пятого импульса. Для этого можно использовать выходы Q триггеров T_4 и T_5 , у которых после четвертого импульса $Q_4 = 1$ или $Q_5 = 1$. Соединив Q_4 и Q_5 с D_1 через элемент 2ИЛИ-НЕ, получают желаемый результат.

Схема счетчика приведена на рис. 21. Для проверки ее работы строим временные диаграммы (рис. 22).

Подачей низкого уровня на объединенные входы \bar{R} переводят все триггеры в состояние $Q = 0$. Так как $Q_4 = 0$ и $Q_5 = 0$, то на выходе схемы 2ИЛИ-НЕ устанавливается высокий уровень, который и подается на вход D_1 триггера T_1 .

При поступлении первого импульса T_1 устанавливается в состояние $Q_1 = 1$. Остальные остаются в состоянии $Q = 0$, так как на входах $D = 0$. Второй импульс переводит в состояние $Q = 1$ триггер T_2 , у которого на входе $D_2 = Q_1 = 1$.

Когда приходит четвертый импульс, меняется состояние T_4 ($Q_4 = 1$) и на входе T_1 $D_1 = 0$. Пятый импульс устанавливает T_5 в состояние $Q_5 = 1$ (у него $D_5 = 1$), а T_1 – в состояние $Q_1 = 0$. Девятый импульс переводит счетчик в состояние 00000.

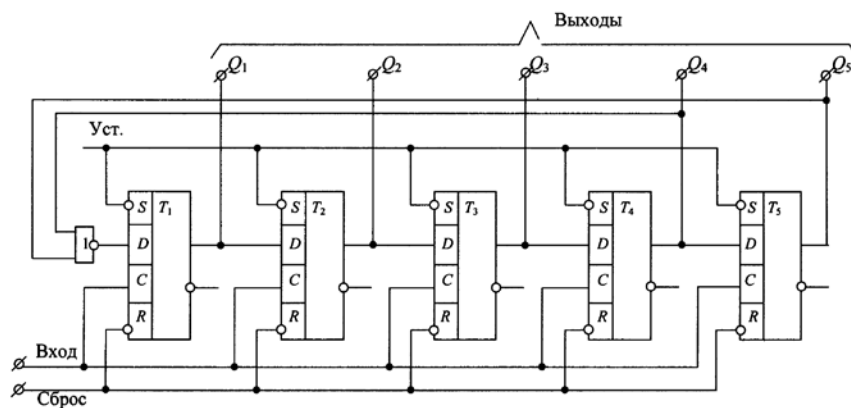


Рис. 21

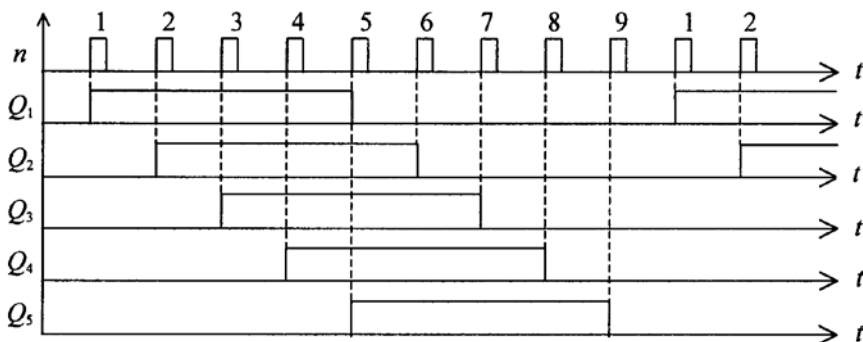


Рис. 22

ПРИМЕР 11. Составить схему последовательного суммирующего счетчика с модулем счета $K_c = 17$ на основе триггеров К155ТВ1. Построить временную диаграмму работы схемы.

РЕШЕНИЕ. При модуле счета $K_c > 10$ в схемах параллельных счетчиков увеличивается количество дополнительных элементов и усложняются связи между триггерами, а в кольцевых счетчиках требуется большее число триггеров. При таких модулях более простой оказывается схемная реализация последовательных счетчиков.

В последовательных счетчиках счетный импульс подается только на вход первого триггера, который играет роль двоичного счетчика младшего разряда. С выхода первого триггера сигнал поступает на счетный вход второго и т. д. Каждый триггер осуществляет счет импульсов в своем разряде. Количество триггеров в счетчике должно удовлетворять условию $K_c \leq 2^m$.

При $K_c = 17$ и $m = 5$ $K_c < 2^5 = 32$.

Состояния триггеров приведены в табл. 26.

Таблица 26

Импульс	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5
	n					$n+1$				
1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
2	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
3	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0
4	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0
5	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0
6	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0
7	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0
8	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0
9	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0
10	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0
11	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0
12	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0
13	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0
14	1	0	1	1	0	0	1	1	1	0
15	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0
16	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1
17	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1
18	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1
19	0	1	0	0	1	1	1	0	0	1
...
32	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0

Как видно из таблицы, счетчик из 5 триггеров имеет 32 устойчивых состояния. При $K_c = 17$ должно быть исключено 15 избыточных состояний. После семнадцатого импульса счетчик из состояния 00001 должен перейти не в состояние 10001, а в исходное состояние – 00000. Это осуществляется подачей на объединенные установочные входы \bar{R} сигнала от комбинационной схемы, на выходе которой появляется низкий уровень, когда счетчик достиг состояния 00001.

Схема счетчика приведена на рис. 23.

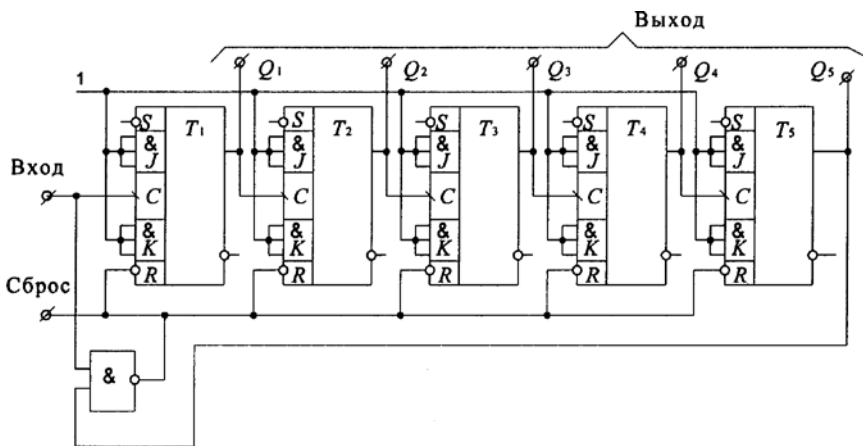


Рис. 23

При переходе T_5 в состояние $Q_5 = 1$ на один из входов элемента 2И-НЕ подается высокий уровень. При подаче семнадцатого импульса на выходе у него появляется низкий уровень, который подается на входы \bar{R} , и все триггеры переходят в состояние $Q = 0$.

Временные диаграммы приведены на рис. 24.

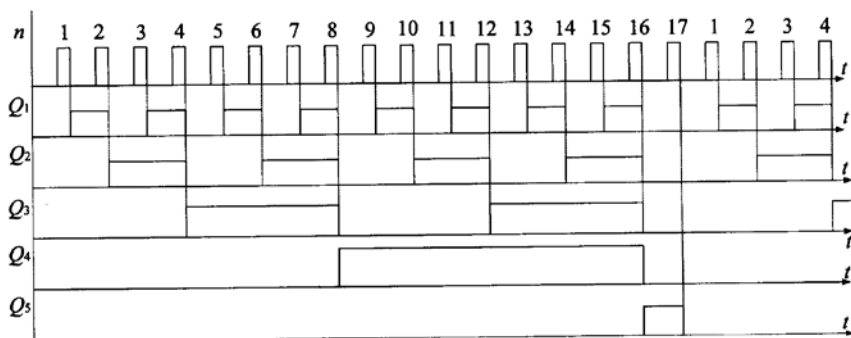


Рис. 24

Так как каждый триггер работает в счетном режиме, то он переходит в новое состояние по спаду управляющего импульса, которым служит входной сигнал предыдущего триггера. Благодаря элементу 2И-НЕ после семнадцатого импульса счетчик возвращается в исходное положение.

Надо отметить, что считывание двоичного числа должно, как всегда, проводиться от старшего разряда к младшему, т. е. от выхода Q_5 к выходу Q_1 . Например, после прохождения 10 импульсов показания счетчика будут 01010, что составит $0 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^0 = 10$.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Горбачев, Г.Н., Чаплыгин, Е.Е.* Промышленная электроника: учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 320 с.
2. *Забродин, Ю.С.* Промышленная электроника: учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 1982. – 496 с.
3. Расчет электронных схем. Примеры и задачи/ Г.И. Изъюрова [и др.]. – М.: Высшая школа, 1987. – 335 с.
4. *Гусев, В.Г., Гусев, Ю.М.* Электроника. – М.: Высшая школа, 1991. – 622 с.
5. *Быстров, Ю.А., Мироненко, И.Г.* Электронные цепи и микросхемотехника. – М.: Высшая школа, 2002. – 384 с.
6. *Титце, У., Шенк, К.* Полупроводниковая схемотехника/ Пер. с нем. – М.: Мир, 1982. – 512 с.
7. Полупроводниковые приборы. Справочник/ Под ред. Н.Н. Горюнова. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 744 с.
8. *Галкин, В.И., Булычев, А.Л., Прохоренко, В.А.* Полупроводниковые приборы. Справочник. – Мн.: Беларусь, 1987. – 285 с.
9. Цифровые интегральные микросхемы. Справочник / М.И. Богданович [и др.]. – Мн.: Беларусь, 1991. – 493 с.
10. Аналоговые интегральные микросхемы. Справочник/ А.Л. Булычев [и др.]. – Мн.: Беларусь, 1993.

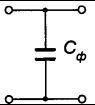
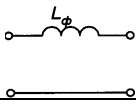
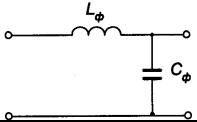
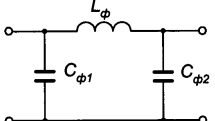
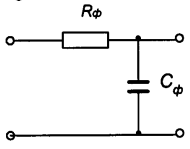
ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Предельные параметры некоторых выпрямительных диодов и столбов

Тип	Средний выпрямленный ток, А	Допустимое обратное напряжение, В	Диапазон температур, °С
КД105Б	0,3	400	-60...+55
КД105В	0,3	600	-60...+55
КД105Г	0,3	800	-60...+55
КД209А	0,7	400	-60...+55
КД209Б	0,7	600	-60...+55
КД208А	1,5	100	-40...+85
КД206А	10,0	400	-60...+70
КД206В	10,0	600	-60...+70
Д302	1,0	200	-60...+50
Д303	3,0	150	-60...+50
Д304	5,0	100	-60...+50
Д305	10,0	50	-60...+50
КЦ106А	0,01	4000	-60...+85
КЦ106Б	0,01	6000	-60...+85
КЦ106В	0,01	8000	-60...+85
КЦ106Г	0,01	10000	-60...+85
КЦ201А	0,1	2000	-60...+85
КЦ201Д	0,5	10000	-60...+85

Параметры сглаживающих фильтров

Тип фильтра	Коэффициент сглаживания фильтра	Условия эффективной работы
1. Емкостный 	$S_C = m\omega R_H C_\phi$	$\frac{1}{m\omega C_\phi} \ll R_H$
2. Индуктивный 	$S_L = \frac{m\omega L_\phi}{R_H}$	$m\omega L_\phi \gg R_H$
3. Г-образный LC-фильтр 	$S_\Gamma = S_L \cdot S_C = m^2 \omega^2 C_\phi L_\phi$	$m\omega L_\phi \geq (5 \dots 10) \cdot R_H$; $\frac{1}{m\omega C_\phi} \leq (0,1 \dots 0,2) \cdot R_H$
4. П-образный LC-фильтр 	$S_\Pi = S_{C1} \cdot S_\Gamma$	$C_{\phi 2} = (1 \dots 2) C_{\phi 1}$, $S_\Gamma = \frac{S_\Pi}{S_{C1}}$
5. Г-образный RC-фильтр 	$S_{RC} = m\omega C_\phi \frac{R_H R_\phi}{R_H + R_\phi}$	$\frac{U_H}{U_d} = \frac{R_H}{R_H + R_\phi} = 0,5 \dots 0,9$ $\frac{1}{m\omega C_\phi} \ll R_\phi$

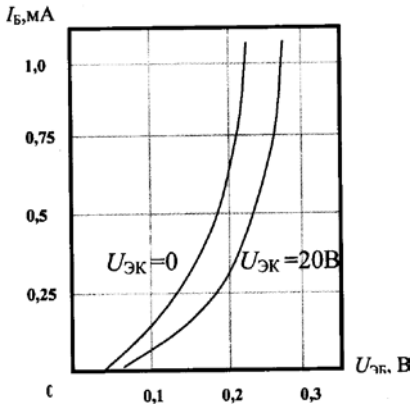
m – число пульсаций выпрямленного напряжения;

$\omega = 2\pi f_1$ – угловая частота сети;

R_H – сопротивление нагрузки.

Входные и выходные характеристики транзисторов

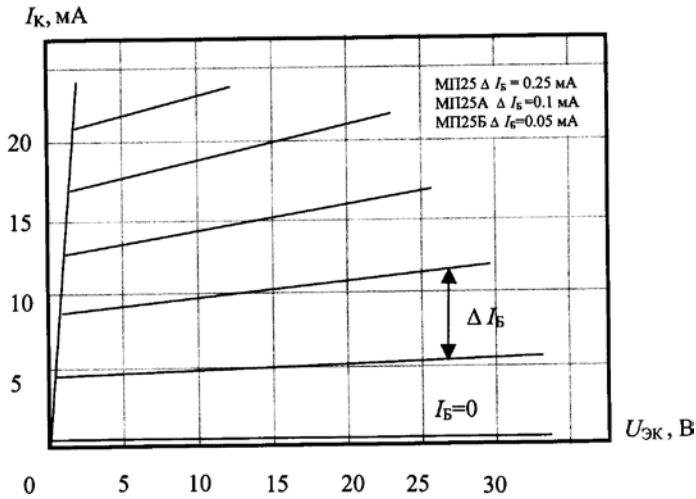
МП25, МП25А, МП25Б



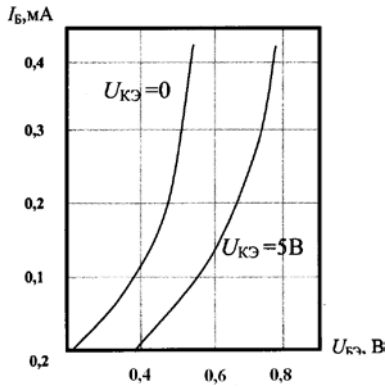
Германиевые высоковольтные $p-n-p$ -транзисторы предназначены для работы в усилителях и генераторах.

Корпус металлический, масса не более 2 г.

- $U_{эк м}, \text{В} - 40,$
- $I_{к м}, \text{mA} - 300,$
- $P_{к м}, \text{мВт} - 200,$
- $T_m, ^\circ\text{C} - +70.$



ГТ122А, ГТ122Б, ГТ122В, ГТ122Г



Германиевые *n-p-n*-транзисторы предназначены для усиления и генерирования низкочастотных колебаний. Корпус металлический, масса не более 2 г.

$U_{кэ м}, В:$

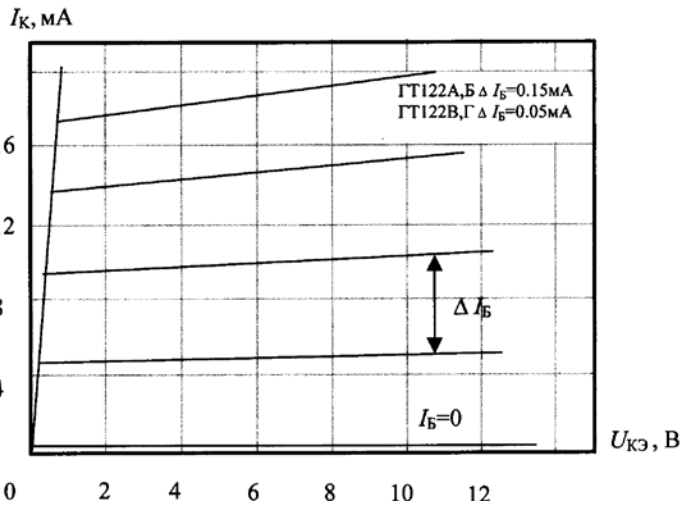
ГТ122А – 35;

ГТ122Б-Г – 20;

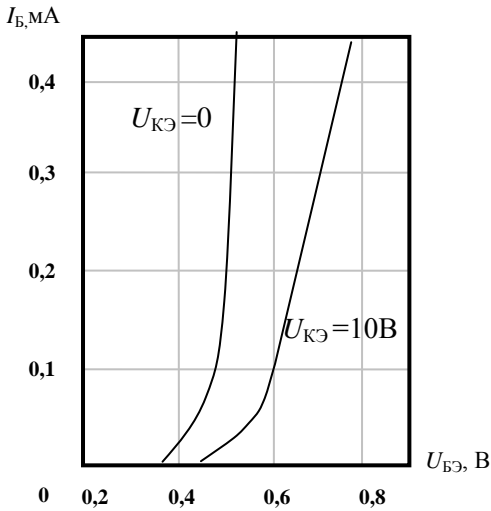
$I_{к м}, мА – 20,$

$P_{к м}, мВт – 150,$

$T_{м}, ^\circ C – +70.$



КТ315А, КТ315Б, КТ315В, КТ315Г, КТ315Е



Кремниевые *n-p-n*-транзисторы предназначены для работы в схемах усиления и генерирования колебаний.

Корпус пластмассовый, масса не более 0,18 г.

$U_{кэ м, В}$:

КТ315А – 25;

КТ315Б – 20;

КТ315В – 40;

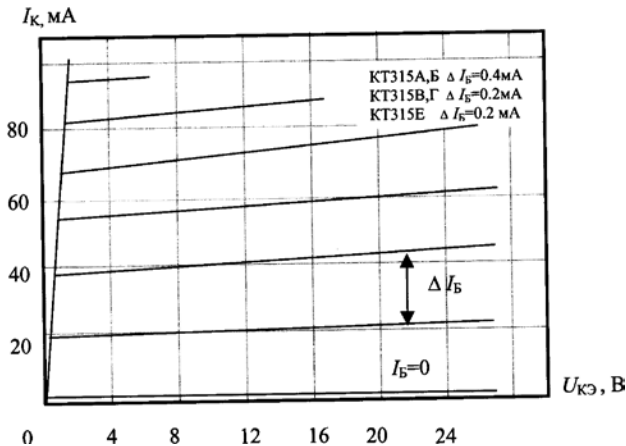
КТ315Г – 35;

КТ315Е – 35;

$I_{к м, mA}$ – 100,

$P_{к м, мВт}$ – 150,

$T_m, ^\circ C$ – +100.



КТ301А, КТ301Б, КТ301В, КТ301Ж

Кремниевые *n-p-n*-транзисторы предназначены для усиления и генерирования колебаний. Корпус металлический, масса не более 0,5 г.

$U_{КЭ м}, В:$

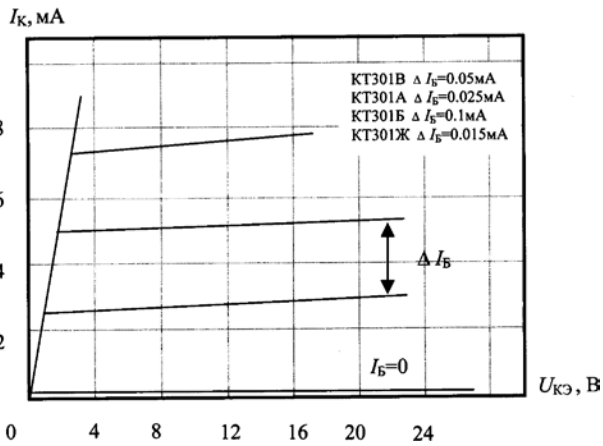
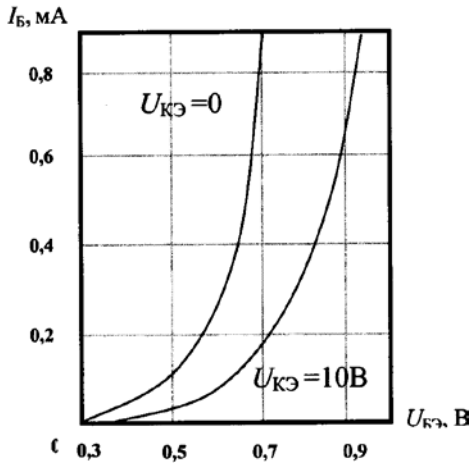
КТ301А, КТ301Ж – 20;

КТ301Б, КТ301В – 30;

$I_{К м}, мА – 10;$

$P_{К м}, мВт – 150;$

$T_{м}, ^\circ С – +85.$



Параметры некоторых транзисторов

Транзистор	$U_{кэ}$ доп, В	I_k доп, мА	P_k доп, мВт	h_{11} , кОм	h_{21}	h_{22} , кСм
<i>n-p-n</i>						
ГТ122А	35	20	150	0,2	30	4
ГТ122Б	20	20	150	0,2	40	4
КТ215Г	40	50	50	0,9	80	3
КТ215Д	30	50	50	0,9	80	3
КТ315А	25	100	150	0,14	50	0,3
КТ315В	40	100	150	0,14	50	0,3
КТ358В	15	30	100	0,12	100	0,3
ГТ404А	25	500	300	0,15	50	2,5
ГТ404В	40	500	300	0,15	100	2,5
КТ503А	40	150	350	0,1	80	0,5
<i>p-n-p</i>						
КТ203А	60	10	150	0,3	30	0,5
КТ203Б	30	10	150	0,3	60	0,5
КТ361А	25	50	150	0,1	50	3
КТ361Б	20	50	150	0,1	150	3
КТ361В	40	50	150	0,1	100	3
КТ501А	15	300	350	0,1	40	0,3
КТ501Г	30	300	350	0,1	40	0,3
ГТ115А	20	30	50	0,2	50	0,5
ГТ115Б	30	30	50	0,2	60	0,5

Примечание. Для германиевых транзисторов принять напряжение база-эмиттер в режиме покоя 0,5 В, для кремниевых – 1 В.

