

Министерство образования
Республики Беларусь

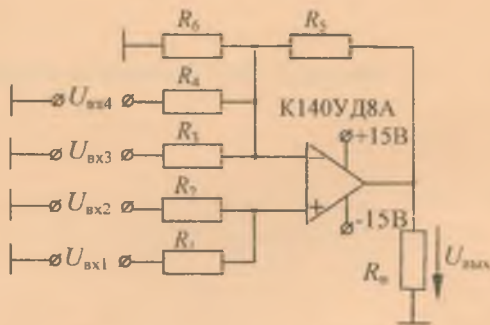
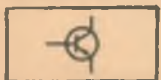
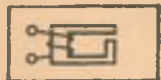
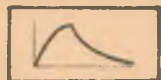
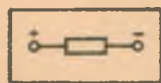
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра электротехники и электроники

Ю.В. Бладыко
Т.Е. Жуковская

ЭЛЕКТРОНИКА

Методическое пособие
к выполнению контрольных работ



Минск 2008

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра электротехники и электроники

Ю.В. Бладыко
Т.Е. Жуковская

ЭЛЕКТРОНИКА

Методическое пособие
к выполнению контрольных работ по дисциплинам
«Электроника», «Электротехника и электроника»,
«Электроника и микропроцессорная техника»,
«Электроника и информационно-измерительная техника»

Под общей редакцией Ю.В. Бладыко

Минск 2008

УДК 621.38 (075.8)

~~ББК 32.85я7~~

Б 68

Рецензенты:
М.И. Полуянов, Т.Т. Розум

Бладыко, Ю.В.

Б 68

Электроника: методическое пособие к выполнению контрольных работ по дисциплинам «Электроника», «Электротехника и электроника», «Электроника и микропроцессорная техника», «Электроника и информационно-измерительная техника» / Ю.В. Бладыко, Т.Е. Жуковская; под общ. ред. Ю.В. Бладыко. – Минск: БНТУ, 2008. – 71 с.

ISBN 978-985-479-741-0.

Методическое пособие содержит многовариантные задания и типовые расчеты по дисциплине «Электроника». 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 6 студенческих групп и содержат 30 вариантов заданий.

УДК 621.38 (075.4)

ББК 32.85я7

ISBN 978-985-479-741-0

© Бладыко Ю.В.,
Жуковская Т.Е., 2008
© БНТУ, 2008

Задания к контрольным работам

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.

Таблица 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

Таблица 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
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

1	2	3	4	5	6
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

Примечания

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

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

3. Если параметры элементов фильтра оказываются слишком большими (индуктивность > 1 Гн, емкость > 10000 мкФ), рекомендуется выбрать более сложный или многосвязный фильтр (прил. 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 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.

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.

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 прил. 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 $5I_{бп}$.

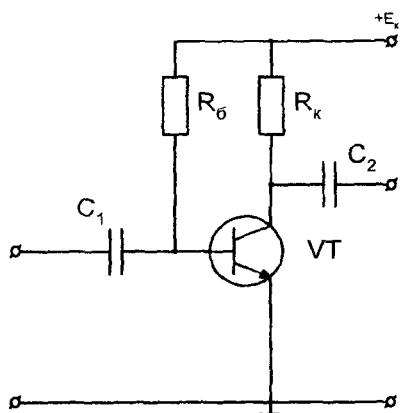


Рис. 1

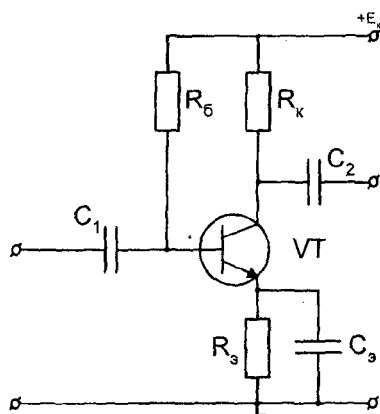


Рис. 2

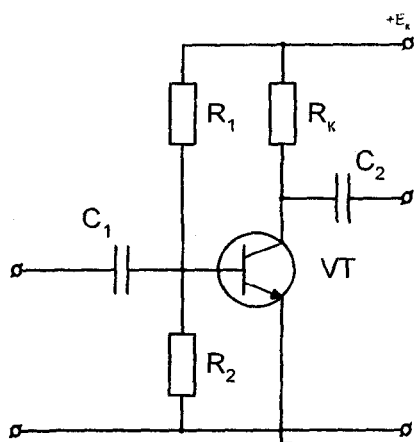


Рис. 3

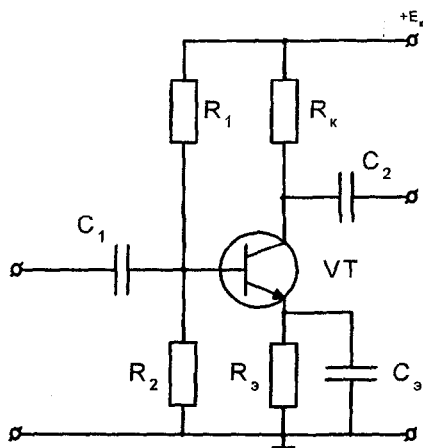


Рис. 4

Таблица 3

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

Таблица 4

Вариант	Тип транзистора	Напряжение источника питания E_k , В	Ток покоя транзистора $I_{кп}$, мА	Напряжение покоя $U_{кэп}$, В	Сопротивление нагрузки R_n , кОм
1	2	3	4	5	6
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

1	2	3	4	5	6
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	КТ315В	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

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 $I_k \gg I_b$.

3. В точке покоя по характеристикам транзистора определить его h -параметры (h_{11} , h_{21} , h_{22}). Параметр h_{12} принять равным 0.

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

5. Рассчитать с учетом нагрузки входное и выходное сопротивления 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.

Задача 3.

Схемы усилительных каскадов приведены на рис. 1–4. Исходные данные для расчета заданы в табл. 5 и 6. В прил. 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 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		

Таблица 6

Вариант	Напряжение источника питания E_K , В	Выходное напряжение $U_{вых м}$, В	Мощность нагрузки P_H , 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	
11	20	7	15
12		6,5	
13		6	
14		5,5	
15		5	
16	24	8	20
17		7,5	
18		7	
19		6,7	
20		6	

1	2	3	4
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	

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.

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.

Таблица 7

Вариант	Тип ОУ	Требуемый коэффициент усиления			$U_{вх\ min}$ мВ	Тип усилителя
		Группы 1, 4	Группы 2, 5	Группы 3, 6		
1	К140УД1А	25	30	50	15	инвертирующий
2		50	60	75	10	“
3		100	90	100	5	“
4		25	30	50	10	неинвертирующий
5		50	60	75	5	“
6		75	90	100	5	“
7	К140УД1Б	30	50	100	20	инвертирующий
8		60	75	200	15	“
9		90	100	300	10	“
10		30	50	100	10	неинвертирующий
11		60	75	200	10	“
12		90	100	300	5	“
13	К140УД2А	50	100	75	5	инвертирующий
14		75	200	100	5	“
15		100	300	150	10	“
16		50	100	75	10	неинвертирующий
17		75	200	100	10	“
18		100	300	150	5	“
19	К140УД6	100	75	25	1	инвертирующий
20		200	100	50	1	“
21		300	150	100	1	“
22		100	75	25	2	неинвертирующий
23		200	100	50	2	“
24		300	150	75	2	“
25	К140УД7	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	“

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.

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.

Таблица 8

Вариант	Тип ОУ	Выполняемая операция	Сопротивление резистора обратной связи, кОм			Тип сумматора
			Группы 1, 4	Группы 2, 5	Группы 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		$2U_1 + U_2 - 3U_3 - 2U_4$				“
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		$2U_1 + U_2 - 5U_3 - U_4$				“

1	2	3	4	5	6	7
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		$U_1 + 6U_2 - U_3 - 4U_4$				“

Задание

1. Начертить схему сумматора для реализации заданной операции с указанием источников питания, входного и выходного напряжений.

2. Рассчитать величину сопротивлений резисторов входных цепей.

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 A (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.

Таблица 9

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

Таблица 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	

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.

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.

Таблица 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		

Таблица 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

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.

Задача 8.

Разработать дешифратор с 2 входами, работающий на семисегментный индикатор. Схема соединений электродов индикатора (общий катод (ОК) или общий анод (ОА)) и логические элементы заданы в табл. 13. Индикатор показывает последовательно символы, приведенные в табл. 14.

Таблица 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	

Таблица 14

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

Задача 9.

Разработать комбинационное устройство с 4 входами, дающее на выходе $F = 1$ при подаче на входы заданных в табл. 16 чисел в двоичном коде. При подаче на входы других чисел $F = 0$. Используемые логические элементы приведены в табл. 15.

Таблица 15

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

Таблица 16

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	все 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	все четные
7	4, 5, 6, 7	17	8, 9, 12, 13	27	все нечетные
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

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.

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.

Таблица 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

1	2	3
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
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

Примечание.

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

Задача 11.

Составить схему суммирующего счетчика на *D*-триггерах К155ТМ2 или *JK*-триггерах К155ТВ1. Тип счетчика и модуль счета заданы в табл. 18. При необходимости можно использовать логические элементы той же серии. Предусмотреть установку нуля счетчика.

Вариант	Тип счетчика	Тип триггера	Модуль счета
1	Параллельный	<i>D</i>	5
2		<i>JK</i>	5
3	“	<i>D</i>	6
4	“	<i>JK</i>	6
5	Кольцевой	<i>D</i>	5
6		<i>JK</i>	5
7	“	<i>D</i>	6
8	“	<i>JK</i>	6
9	“	<i>D</i>	7
10	“	<i>JK</i>	7
11	Последовательный	<i>D</i>	5
12		<i>JK</i>	5
13		<i>D</i>	6
14		<i>JK</i>	6
15		<i>D</i>	7
16		<i>JK</i>	7
17		<i>D</i>	9
18		<i>JK</i>	9
19		<i>D</i>	10
20		<i>JK</i>	10
21	“	<i>D</i>	11
22	“	<i>JK</i>	11
23	“	<i>D</i>	12
24	“	<i>JK</i>	12
25	“	<i>D</i>	13
26	“	<i>JK</i>	13
27	“	<i>D</i>	14
28	“	<i>JK</i>	14
29	“	<i>D</i>	15
30	“	<i>JK</i>	15

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.

Задача 12.

Написать реферат. Номер вопроса для реферата задан в табл. 19.

Таблица 19

Группа	1	2	3	4	5	6
Номер вопроса	2 последние цифры шифра	2 последние цифры шифра + 20	2 последние цифры шифра + 40	2 последние цифры шифра + 60	2 последние цифры шифра + 80	2 последние цифры шифра + 50

Перечень вопросов

1. Полупроводниковые диоды и их краткая характеристика.
2. Выпрямительный диод.
3. Стабилитрон.
4. Биполярные транзисторы: характеристики и параметры.
5. Схемы включения биполярных транзисторов.
6. Схема замещения биполярного транзистора и h -параметры.
7. Полевые транзисторы, принцип их работы.
8. Тиристоры.
9. Интегральные микросхемы: определение, технологические процессы, особенности интегральной технологии.
10. Интегральные микросхемы: особенности ИС на примере полупроводниковой, классификация ИС, степень интеграции.
11. Усилительный каскад на биполярном транзисторе. Графический расчет каскада.
12. Усилительный каскад на полевом транзисторе.
13. Усилители мощности.
14. Эмиттерный повторитель.
15. Однотактный трансформаторный усилитель мощности.
16. Двухтактный бестрансформаторный усилитель мощности.
17. Обратные связи в усилителях.
18. Усилители постоянного тока (УПТ).
19. Операционные усилители (ОУ): параметры и характеристики.
20. Инвертирующий и неинвертирующий усилители на ОУ.
21. Разностный усилитель на ОУ.

22. Сумматор на ОУ.
23. Интегратор и дифференциатор на ОУ.
24. Избирательные усилители (полосовые фильтры): АЧХ, полоса пропускания, добротность.
25. Электронные генераторы.
26. ГЛИН.
27. Импульсные устройства на ОУ; компаратор. Параметры импульсных сигналов.
28. Триггер Шмитта на ОУ.
29. Мультивибратор и одновибратор на ОУ.
30. Логические элементы: определения, обозначения; логические функции.
31. Проектирование комбинационных логических устройств.
32. Комбинационные логические схемы. Компаратор двоичных чисел. Исключающее ИЛИ.
33. Сумматор (двоичный одно- и многоразрядный).
34. Дешифратор.
35. ПЗУ.
36. Шифратор.
37. Мультиплексор.
38. АЛУ.
39. RS-триггеры.
40. D-триггеры.
41. T-триггеры.
42. JK-триггеры.
43. Регистры.
44. Параллельный регистр на D-триггерах.
45. Счетчики импульсов: определение, основные характеристики.
46. Суммирующий счетчик на T-триггерах.
47. Цифроаналоговый преобразователь.
48. Аналого-цифровой преобразователь.
49. Элемент памяти.
50. ОЗУ.
51. Микропроцессор: структурная схема и назначение ее элементов.

52. Однофазный однополупериодный выпрямитель.
53. Однофазный мостовой выпрямитель.
54. Однофазный двухполупериодный выпрямитель с нулевым выводом.
55. Сглаживающие фильтры: схемы и их параметры.
56. Работа выпрямителя на активно-индуктивную нагрузку.
57. Работа выпрямителя на активно-емкостную нагрузку.
58. Метод Терентьева для расчета выпрямителя, работающего на активно-емкостную нагрузку.
59. Классификация выпрямителей.
60. Внешние характеристики маломощного выпрямителя однофазного тока.
61. Активные сглаживающие фильтры.
62. Стабилизаторы постоянного напряжения.
63. Стабилизаторы постоянного тока.
64. Умножители напряжения.
65. Источники питания с многократным преобразованием энергии.
66. Трехфазный нулевой выпрямитель.
67. Трехфазный мостовой выпрямитель (схема Ларионова).
68. Многофазные однополупериодные схемы выпрямления.
69. Шестифазная схема выпрямления.
70. Двойной трехфазный выпрямитель с уравнительным реактором.
71. Двенадцатипульсные выпрямители: последовательное и параллельное включение мостовых схем.
72. Однофазный управляемый выпрямитель: работа на активную нагрузку.
73. Однофазный управляемый выпрямитель: работа на активно-индуктивную нагрузку в режиме прерывистого тока.
74. Однофазный управляемый выпрямитель: работа на активно-индуктивную нагрузку в режиме непрерывного тока.
75. Однофазный управляемый выпрямитель: работа с нулевым диодом.
76. Особенности выпрямителей мощных энергетических установок.
77. Регулировочная характеристика управляемых выпрямителей.
78. Коммутация тока в выпрямителях средней и большой мощности.

79. Однофазный ведомый сетью инвертор. Основные характеристики: регулировочные, входные, ограничительные.
80. Предел коммутации. «Опрокидывание» инвертора.
81. Высшие гармонические в кривой выпрямленного напряжения.
82. Высшие гармонические в кривой первичного тока выпрямителей.
83. Коэффициент мощности выпрямителя.
84. КПД выпрямителя.
85. Вентильные преобразователи с повышенным коэффициентом мощности.
86. Тиристорные преобразователи для электропривода постоянного тока. Совместное и раздельное управление.
87. Регулируемые преобразователи переменного напряжения: методы регулирования напряжения.
88. Регулируемые преобразователи переменного напряжения: работа на активно-индуктивную нагрузку. Регулировочные характеристики.
89. Особенности управляемого выпрямителя на повышенное напряжение.
90. Трехфазные регуляторы переменного напряжения.
91. Источники реактивной мощности.
92. Системы управления вентильными преобразователями.
93. Импульсные преобразователи постоянного напряжения: принципы построения. Преимущества и недостатки ИППН по сравнению с устройствами непрерывного регулирования.
94. Импульсные преобразователи постоянного напряжения: узлы коммутации тиристоров.
95. Импульсные преобразователи постоянного напряжения с параллельной коммутацией. Конверторный преобразователь.
96. Автономные инверторы: определение, принципы построения, классификация, области применения.
97. Автономные инверторы напряжения: однофазные и трехфазные.
98. Автономные инверторы тока: однофазные и трехфазные.
99. Автономные резонансные инверторы.
100. Преобразователи частоты.

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.

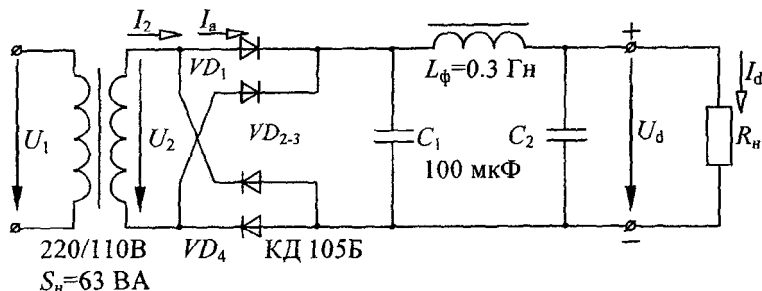


Рис. 5

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

Решение.

1. Выбор вентиля.

Ток нагрузки

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

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

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

Обратное максимальное напряжение на вентиле

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

Выбираем вентили КД105Б (см. прил. 3), для которых

$$I_{а\ доп} = 0,3\ А > I_a = 0,25\ А;$$

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

2. Определение параметров трансформатора.

Для однофазного мостового выпрямителя действующее значение вторичного напряжения

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

Откуда коэффициент трансформации

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

Расчетная мощность

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

Выбираем трансформатор

$$U_1/U_2 = 220/110\ В;$$

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

3. Определение параметров фильтра (см. прил. 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 C -фильтра и Γ -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. прил. 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

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

При $C_2 = 100 \text{ мкФ}$

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

Параметры фильтра $C_1 = C_2 = 100 \text{ мкФ}$, $L_\phi = 0,3 \text{ Гн}$ удовлетворяют условиям эффективной работы (см. прил. 2):

$$\frac{1}{m\omega C_\phi} \ll R_n \text{ и } m\omega L_\phi \gg R_n.$$

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 $I_1 = 5I_{БП}$.

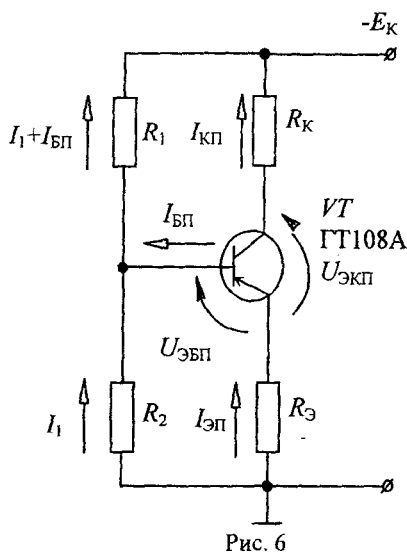


Рис. 6

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).

Уравнение статической линии нагрузки:

$$E_k = I_3 \cdot R_3 + U_{эк} + I_k \cdot R_k.$$

Учитывая, что $I_k \gg I_3$, $I_k \approx I_3$,

$$E_k = U_{эк} + I_k \cdot (R_k + R_3).$$

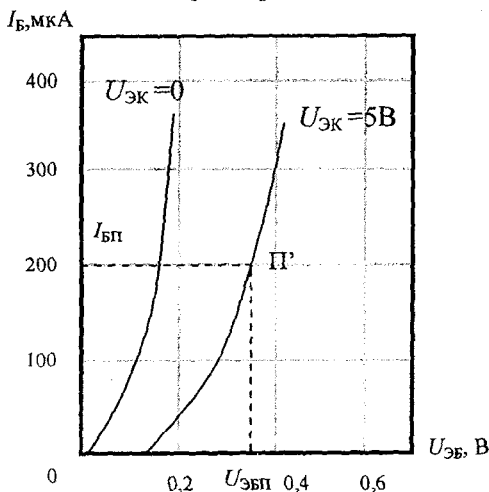
Откуда ток коллектора

$$I_k = \frac{E_k - U_{эк}}{R_k + R_3}.$$

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.

Входные характеристики



ГТ108А, ГТ108В

Германиевые сплавные *p-n-p* транзисторы предназначены для работы в схемах усиления и генерирования.

Корпус металлический, масса не более 0,5 г.

$$U_{кэ м} = 10 \text{ В,}$$

$$I_{к м} = 50 \text{ мА,}$$

$$P_{к м} = 75 \text{ мВт,}$$

$$T_{к м} = 55 \text{ }^\circ\text{С.}$$

Выходные характеристики

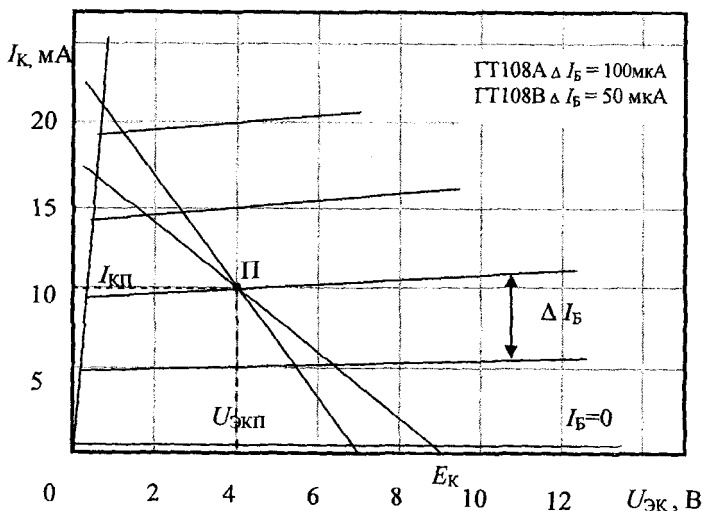


Рис. 7

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

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

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:

$$I_{эп} \cdot R_3 + U_{эбп} - I_1 \cdot R_2 = 0;$$

$$R_2 = \frac{I_{эп} \cdot R_3 + U_{эбп}}{I_1}.$$

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

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

Аналогично для контура $R_2-R_1-E_K$:

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

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

2. Динамический режим.

По выходным характеристикам транзистора в точке покоя П определяем

$$h_{21} = \left. \frac{\Delta I_K}{\Delta I_6} \right|_{U_{\text{ЭК}}=4\text{В}} = \frac{15 - 5}{0,3 - 0,1} = 50;$$

$$h_{22} = \left. \frac{\Delta U_{\text{ЭК}}}{\Delta U_{\text{ЭБП}}} \right|_{I_6=0,2\text{мА}} = \frac{10,5 - 10}{10 - 4} = 83 \cdot 10^{-3} \text{ мСм.}$$

По входной характеристике

$$h_{11} = \left. \frac{\Delta U_{\text{ЭБ}}}{\Delta I_6} \right|_{U_{\text{ЭК}}=5\text{В}} = \frac{0,41 - 0,3}{0,3 - 0,1} = 0,55 \text{ кОм.}$$

В динамическом режиме источник питания E_K закорочен, а токи протекают только за счет $u_{\text{вк}} = U_{\text{вк м}} \sin \omega t$. Емкость конденсаторов выбирается так, чтобы на минимальной рабочей частоте их сопро-

тивление было значительно меньше активных сопротивлений схемы и конденсаторы можно считать закороченными. Тогда, заменив транзистор эквивалентной схемой с h -параметрами, получим схему замещения усилителя (рис. 8).

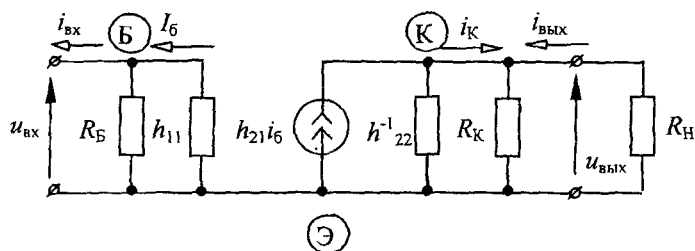


Рис. 8

В этой схеме

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

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

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

Входное сопротивление каскада

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

Выходное сопротивление каскада

$$R_{вых} = R_К = 450 \text{ Ом}.$$

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

$$u_{\text{вх}} = i_6 \cdot h_{11};$$

$$u_{\text{вых}} = -h_{21} \cdot i_6 \cdot \frac{R_k \cdot R_H}{R_k + R_H};$$

$$K_u = \frac{u_{\text{вых}}}{u_{\text{вх}}} = -\frac{h_{21}}{h_{11}} \cdot \frac{R_k \cdot R_H}{R_k + R_H} = -\frac{50}{0,55} \cdot \frac{0,45 \cdot 1}{0,45 + 1} = -28,2.$$

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

Коэффициент усиления тока

$$i_{\text{вх}} = \frac{u_{\text{вх}}}{R_{\text{вх}}};$$

$$i_{\text{вых}} = \frac{u_{\text{вых}}}{R_H};$$

$$K_i = \frac{i_{\text{вых}}}{i_{\text{вх}}} = \frac{u_{\text{вых}}}{u_{\text{вх}}} \cdot \frac{R_{\text{вх}}}{R_H} = K_u \cdot \frac{R_{\text{вх}}}{R_H} = -28,2 \cdot \frac{0,32}{1,0} = -9.$$

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:

$$u_{\text{эк}} = -i_k \cdot \frac{R_k \cdot R_H}{R_k + R_H} = -i_k \cdot \frac{0,45 \cdot 1}{0,45 + 1} = -0,31 \cdot i_k.$$

При $i_k = 0$ каскад работает в статическом режиме и динамическая линия нагрузки должна проходить через точку покоя П. При

изменении коллекторного тока $\Delta I_k = 5$ мА напряжение $U_{эк}$ изменится на $-1,55$ В, т.е. вторая точка динамической линии нагрузки имеет координаты

$$I_k = I_{кп} + \Delta I_k = 10 + 5 = 15 \text{ мА}$$

и

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

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

$$U_{\text{вых м}} = U_{эк} - U_{экп} = 6,9 - 4 = 2,9 \text{ В.}$$

Максимальная выходная мощность

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

Пример 3.

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

Сопротивление нагрузки

$$R_n = \frac{U_{\text{вых м}}^2}{2 \cdot P_n} = \frac{9^2}{2 \cdot 30} = 1,35 \text{ кОм.}$$

Амплитуда тока нагрузки

$$I_{\text{вых м}} = \frac{U_{\text{вых м}}}{R_n} = \frac{9}{1,35} = 6,7 \text{ мА.}$$

2. Выбор точки покоя.

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

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

$$U_{\text{кзп}} \geq U_{\text{вых м}} + \Delta U,$$

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

Чем больше выбран $I_{\text{кп}}$, тем больше мощность, потребляемая от источника питания, и, следовательно, ниже КПД каскада. При малом $I_{\text{кп}}$ могут возникнуть нелинейные искажения выходного сигнала.

Принимаем $I_{\text{кп}} = 12 \text{ мА}$, $U_{\text{кзп}} = 10 \text{ В}$.

3. Выбор транзистора.

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

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

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

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

Выбираем транзистор КТ315В (см. прил. 4), у которого

$$U_{\text{кз доп}} = 40 \text{ В};$$

$$I_{к доп} = 100 \text{ мА};$$

$$P_{к доп} = 150 \text{ мВт.}$$

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 $U_{бэп} = 1,0 \text{ В}$.

4. Статический режим.

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

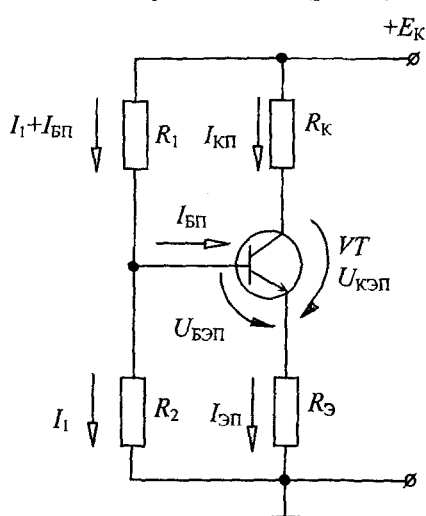


Рис. 9

Уравнение статической линии нагрузки

$$E_{к} = I_{к} R_{к} + U_{кэ} + I_{э} R_{э}.$$

Так как $I_{э} = I_{к} + I_{б}$ и $I_{к} \gg I_{б}$, то $I_{э} \approx I_{к}$;

$$E_{к} = I_{к} \cdot (R_{к} + R_{э}) + U_{кэ}.$$

Рекомендуется принимать $R_{э} = (0,1 \dots 0,2) R_{к}$.

Тогда

$$E_{к} = 1,1 I_{к} R_{к} + U_{кэ}.$$

В режиме покоя $I_{к} = I_{кп}$, $U_{кэ} = U_{кэп}$.

Сопротивления

$$R_{к} = \frac{E_{к} - U_{кэп}}{1,1 \cdot I_{кп}} = \frac{36 - 10}{1,1 \cdot 12} = 1,97 \text{ кОм};$$

$$R_{э} = 0,2 \text{ кОм.}$$

Чтобы в динамическом режиме не менялись существенно условия работы конденсатора, ток делителя рекомендуется выбирать в 5...10 раз больше $I_{6п}$. Примем $I_1 = 5I_{6п}$.

$$I_{6п} = \frac{I_{кп}}{h_{21}} = \frac{12}{50} = 0,24 \text{ мА};$$

$$I_1 = 5 \cdot I_{6п} = 5 \cdot 0,24 = 1,2 \text{ мА}.$$

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 :

$$E_k = (I_1 + I_{6п}) \cdot R_1 + I_1 \cdot R_2;$$

$$R_1 = \frac{E_k - I_1 \cdot R_2}{I_1 + I_{6п}} = \frac{36 - 1,2 \cdot 2,8}{1,2 + 0,24} = 22,7 \text{ кОм}.$$

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, подобный 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

$$u_{\text{кз}} = -i_{\text{к}} \frac{R_{\text{к}} \cdot R_{\text{н}}}{R_{\text{к}} + R_{\text{н}}}.$$

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

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

По заданию $U_{\text{вых м}} = 9 \text{ В}$. Поэтому сигнал искажаться не будет. Если бы $U_{\text{вых м}}$ получилась меньше заданной, 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)

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

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.

6. 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 – $U_{\text{вых м}} = 9,6 \text{ В}, U_{\text{вх м}} = U_{\text{вых м}} / K_u = 9,6 / 286 = 33,6 \text{ мВ}$.

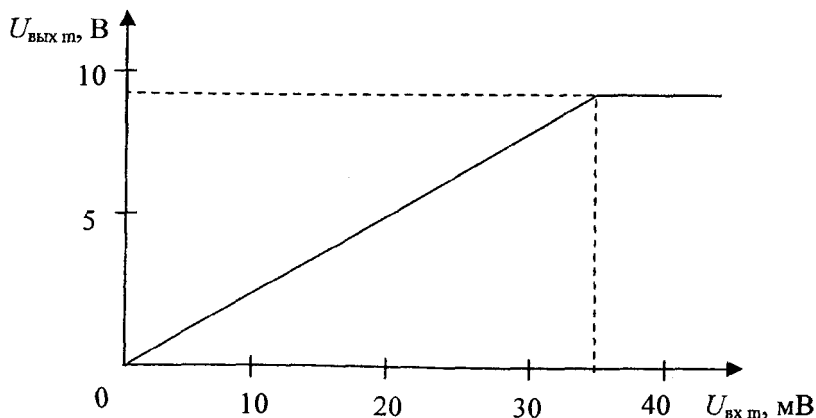


Рис. 10

Пример 4.

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

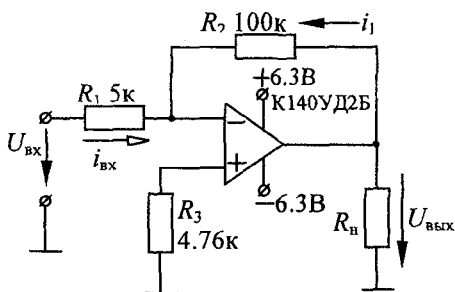
Рассчитать сопротивления резисторов схемы для получения заданного коэффициента усиления, определить входное и выходное сопротивления усилителя с обратной связью и максимальную амплитуду входного синусоидального сигнала, при которой не будет заметных искажений выходного сигнала. Сопротивлением нагрузки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

Решение.

Схема инвертирующего усилителя на ОУ приведена на рис. 11.

Параметры ОУ приведены в прил. 6.

1. 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 $U_{вх\ min}$.

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

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

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

2. Входное сопротивление инвертирующего усилителя на ОУ с обратной связью

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

Выходное сопротивление

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

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

$$U_{\text{вх м}} = \frac{U_{\text{вых м}}}{K'_u} = \frac{3}{20} = 0,15 \text{ В.}$$

Пример 5.

Параллельный сумматор для реализации операций $U_{\text{вых}} = 10U_1 + U_2 - 2U_3 - 5U_4$ выполнен на ОУ К140УД8А, который имеет следующие основные параметры: напряжения источников питания $E_{\text{п}} = \pm 15 \text{ В}$, максимальное выходное напряжение $U_{\text{вых м}} = \pm 10 \text{ В}$, коэффициент усиления $K'_u = 50000$. Сопротивление 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. Число неинвертирующих входов соответствует числу положительных, а число инвертирующих – числу отрицательных членов функции.

1. Выходное напряжение параллельного сумматора

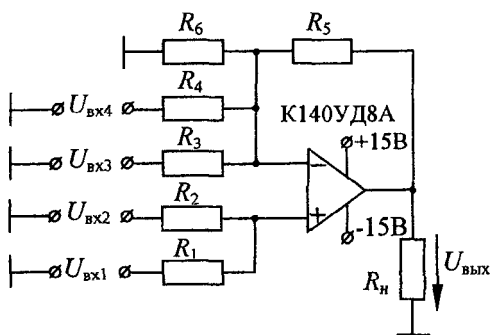


Рис. 12

$$U_{\text{вых}} = \sum K_{\text{ин}} \cdot U_{\text{ин}} - \sum K_{\text{ин}} \cdot U_{\text{ин}},$$

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 раз-

ностный 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

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

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

$$R_{\text{и}} = \frac{R_6 \cdot R_{\text{и}}}{R_6 + R_{\text{и}}};$$

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

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)

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

3. При единичном входном напряжении 100 мВ $U_{\text{ВХ1}} = U_{\text{ВХ2}} = U_{\text{ВХ3}} = U_{\text{ВХ4}} = 100 \text{ мВ}$. Доля выходного напряжения за счет первого входа $U_{\text{ВЫХ1}} = K_1 U_{\text{ВХ1}} = 10 \cdot 100 = 1000 \text{ мВ}$. Для других входов $U_{\text{ВЫХ2}} = K_2 U_{\text{ВХ2}} = 1 \cdot 100 = 100 \text{ мВ}$, $U_{\text{ВЫХ3}} = -K_3 U_{\text{ВХ3}} = -2 \cdot 100 = -200 \text{ мВ}$, $U_{\text{ВЫХ4}} = -K_4 U_{\text{ВХ4}} = -5 \cdot 100 = -500 \text{ мВ}$. 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 (табл. 20) должна состоять из 512 наборов. Только для одного заданного набора функция равна 1. Поэтому нет смысла приводить все наборы. Ограничимся для примера только пятью.

Таблица 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

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

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

где F_i, m_i – значение 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:

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

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

$$\text{ЗИ-НЕ} \quad F_1 = \overline{X_1 \cdot X_2 \cdot X_3},$$

$$\text{ЗИЛИ-НЕ} \quad F_2 = \overline{X_1 + X_2 + X_3}.$$

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. Применяя закон ассоциативности (прил. 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. прил. 7), получим

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

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.

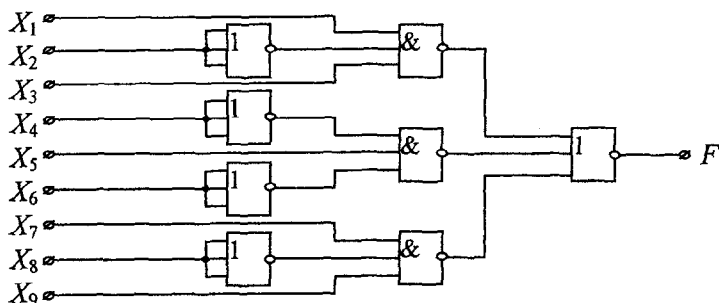


Рис. 13

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:

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

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

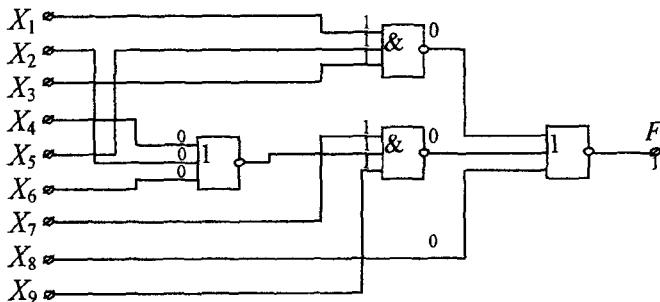


Рис. 14

В схеме использовано только 4 логических элемента (2 элемента ЗИ-НЕ и 2 элемента ЗИЛИ-НЕ). Такая схема более экономична и обладает большим быстродействием. Поэтому при проектировании всегда стараются оптимизировать схему. Для проверки работы схемы на входах $X_1 \dots X_3$ указаны значения переменных и значение функции. Легко проверить, что при любом другом наборе $F = 0$.

Пример 7.

Разработать комбинационное устройство с 4 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).

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

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

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

Последнее выражение соответствует элементу «Запрет X_2 » (прил. 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. прил. 7) и позволяет получить более простое выражение логической функции.

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

Рис. 15. Карта Карно

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

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

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 разрабатываемого дешифратора на индикатор с ОК приведена в таблице истинности (табл. 22), заполненной на основании состояний индикатора (рис. 16). Два входных сигнала обеспечивают 4 возможных состояния знакового индикатора.

Таблица 22

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

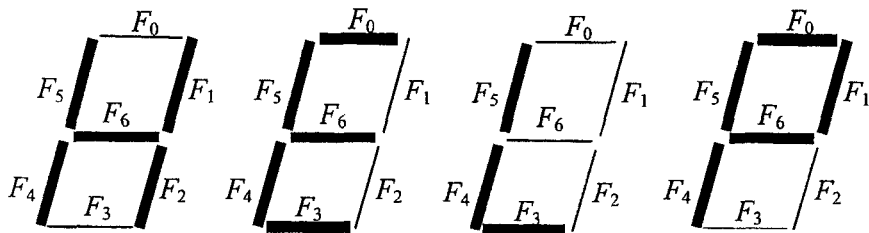


Рис. 16. Состояния индикатора

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

$$F_0 = \overline{X_1} \cdot X_0 + X_1 \cdot X_0 = X_0 \cdot (\overline{X_1} + X_1) = X_0;$$

$$F_1 = \overline{X_1} \cdot \overline{X_0} + X_1 \cdot X_0 = X_1 \sim X_0;$$

$$F_2 = \overline{X_1} \cdot \overline{X_0} = \overline{X_1 + X_0};$$

$$F_3 = X_1 \cdot \overline{X_0} + \overline{X_1} \cdot X_0 = X_1 \oplus X_0;$$

$$F_4 = F_5 = \overline{X_1} \cdot \overline{X_0} + \overline{X_1} \cdot X_0 + X_1 \cdot \overline{X_0} + X_1 \cdot X_0 = 1;$$

$$F_6 = \overline{X_1} \cdot \overline{X_0} + \overline{X_1} \cdot X_0 + X_1 \cdot X_0 = \overline{X_1} \cdot (\overline{X_0} + X_0) + X_0 \cdot (\overline{X_1} + X_1) = \overline{X_1} + X_0.$$

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

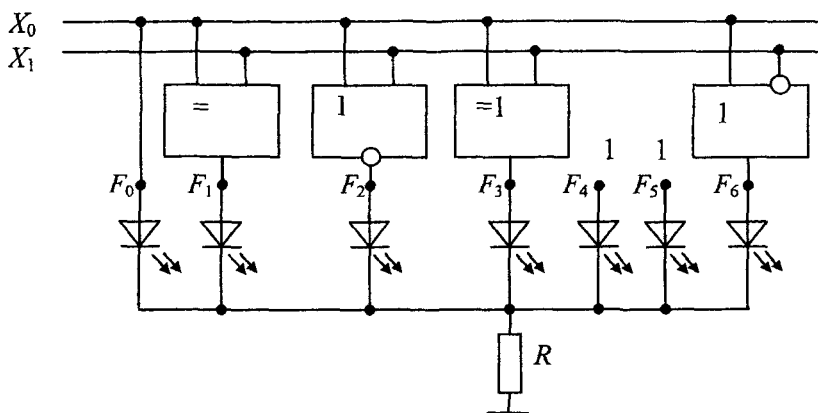


Рис. 17. Схема дешифратора с индикатором

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 число 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 C всех триггеров. Проектирование таких счетчиков базируется на словарном методе (табл. 23).

Таблица 23

Словарь переходов триггеров

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

Примечание: 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 $m = 3$ триггеров. При $2^m - K_c = 1$ состояние будет избыточным. Используя таблицу состояний счетчика (табл. 24), находим функции переходов F_Q для каждого разряда, карты которых даны на рис. 18, а.

Таблица 24

Состояние счетчика с $K_c = 7$

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_{Q_2}	F_{Q_1}	F_{Q_0}
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

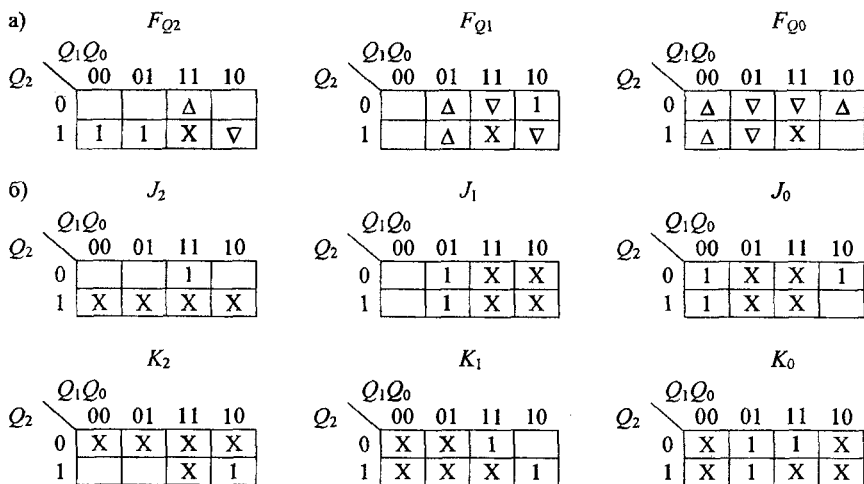


Рис. 18. Карты Карно:

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

$$J_2 = Q_1 \cdot Q_0;$$

$$J_1 = Q_0;$$

$$J_0 = \overline{Q_1} + \overline{Q_2};$$

$$K_2 = Q_1;$$

$$K_1 = Q_0 + Q_2;$$

$$K_0 = 1.$$

Схема счетчика показана на рис. 19.

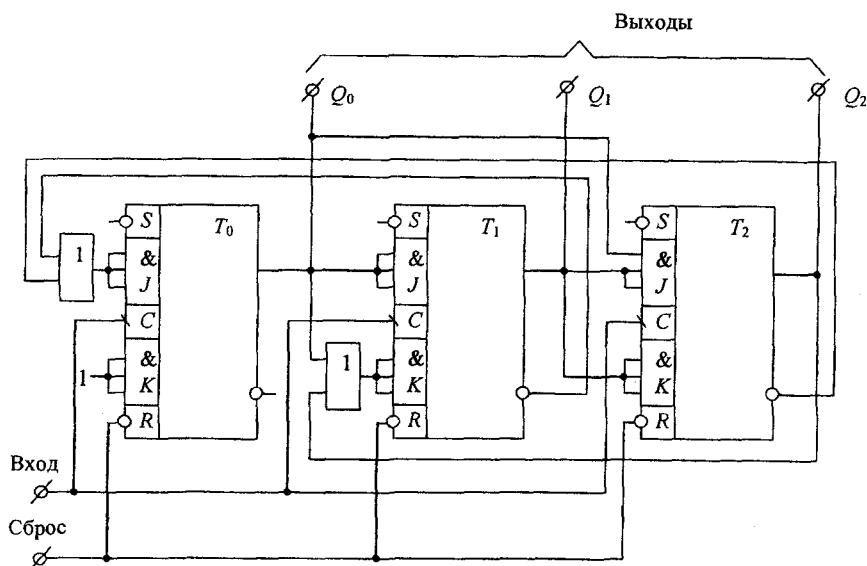


Рис. 19

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

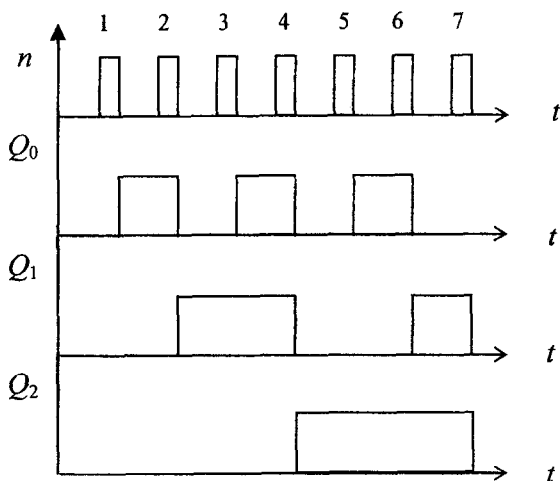


Рис. 20

Пример 10.

Составить схему суммирующего кольцевого счетчика с модулем счета $K_c = 9$ на основе триггеров К155ТМ2. 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 $K_c < 2 \cdot 5 = 10$.

Таблица состояния триггеров имеет следующий вид (табл. 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 табл. 25, 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 К155ТМ2 представляют собой D -триггеры со 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 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 оно 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 работы счетчика строим временные диаграммы (рис. 22).

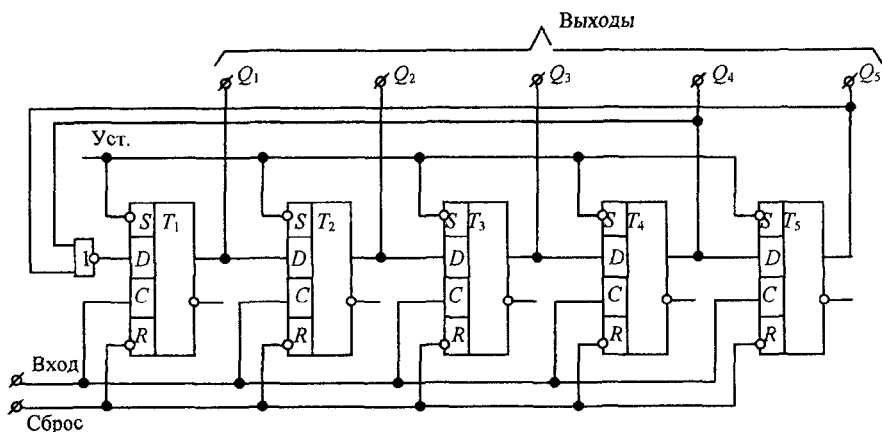


Рис. 21

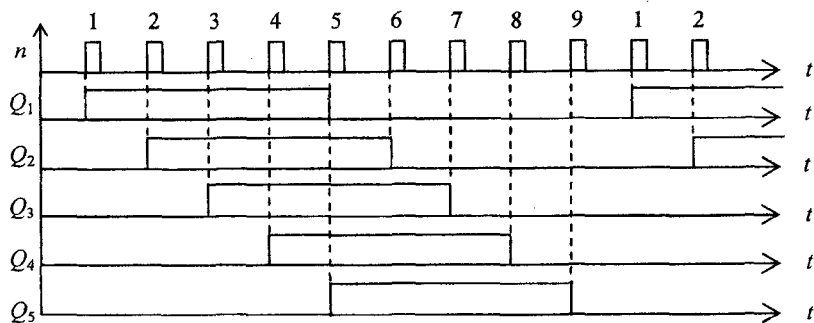


Рис. 22

Подачей низкого уровня на объединенные входы \bar{R} переводят все триггеры в состояние $Q = 0$. Так как $Q_4 = 0$ и $Q_5 = 0$, 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.

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 $m = 5$ $K_c < 2^5 = 32$.

Таблица состояний триггеров имеет следующий вид (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					$n + 1$				
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
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

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
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 табл. 26, 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.

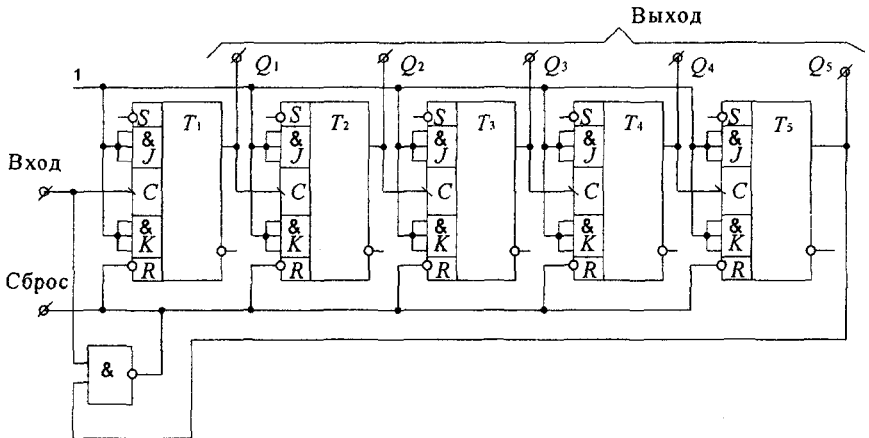


Рис. 23

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.

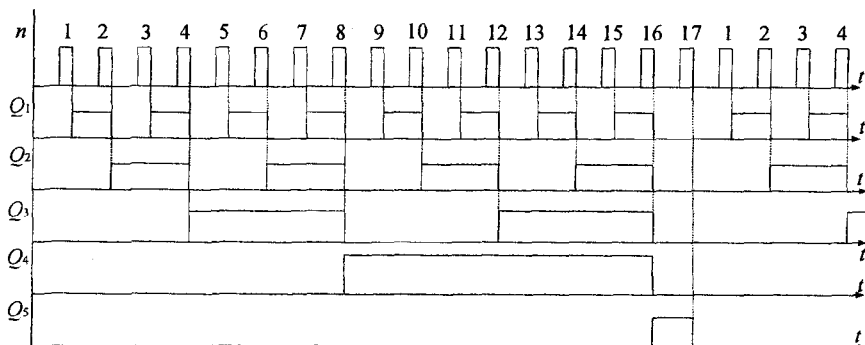


Рис. 24

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.* Промышленная электроника: учебник для вузов / Г.Н. Горбачев, Е.Е. Чаплыгин. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 320 с.
2. *Забродин, Ю.С.* Промышленная электроника: учебник для вузов / Ю.С. Забродин. – 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. *Опадчий, Ю.Ф.* Аналоговая и цифровая электроника (Полный курс): учебник для вузов / Ю.Ф. Опадчий, О.П. Глудкин, А.И. Гуров. – М.: Горячая линия – Телеком, 2005. – 768 с.
5. *Гусев, В.Г.* Электроника и микропроцессорная техника: учебник для вузов / В.Г. Гусев, Ю.М. Гусев. – М.: Высшая школа, 2005. – 790 с.
6. *Прянишников, В.А.* Электроника: полный курс лекций / В.А. Прянишников. – СПб.: КОРОНА принт, 2004. – 415 с.
7. *Титце, У.* Полупроводниковая схемотехника / У. Титце, К. Шенк; пер. с нем. – М.: Мир, 1982. – 512 с.
8. *Галкин, В.И.* Полупроводниковые приборы: справочник / В.И. Галкин, А.Л. Булычев, В.А. Прохоренко. – Минск: Беларусь, 1987. – 285 с.
9. Цифровые интегральные микросхемы: справочник / М.И. Богданович [и др.]. – Минск: Беларусь, 1991. – 493 с.
10. Аналоговые интегральные микросхемы: справочник / А.Л. Булычев [и др.]. – Минск: Беларусь, 1993.

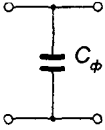
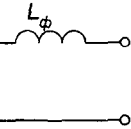
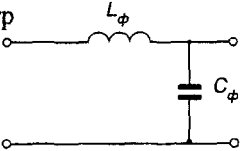
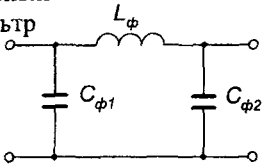
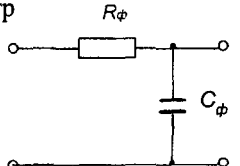
ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Предельные параметры некоторых выпрямительных диодов
и столбов

Тип	Средний выпрям- ленный ток, А	Допустимое обрат- ное 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
Емкостный 	$S_C = m\omega R_n C_\phi$	$\frac{1}{m\omega C_\phi} \ll R_n$
Индуктивный 	$S_L = \frac{m\omega L_\phi}{R_n}$	$m\omega L_\phi \gg R_n$
Г-образный LC-фильтр 	$S_\Gamma = S_L \cdot S_C = m^2 \omega^2 C_\phi L_\phi$	$m\omega L_\phi \geq (5 \dots 10) \cdot R_n$ $\frac{1}{m\omega C_\phi} \leq (0,1 \dots 0,2) \cdot R_n$
П-образный LC-фильтр 	$S_\Pi = S_{C1} \cdot S_\Gamma$	$C_{\phi 2} = (1 \dots 2) C_{\phi 1}$ $S_\Gamma = \frac{S_\Pi}{S_{C1}}$
Г-образный RC-фильтр 	$S_{RC} = m\omega C_\phi \frac{R_n R_\phi}{R_n + R_\phi}$	$\frac{U_n}{U_d} = \frac{R_n}{R_n + R_\phi} = 0,5 \dots 0,9$ $\frac{1}{m\omega C_\phi} \ll R_\phi$

Примечание:

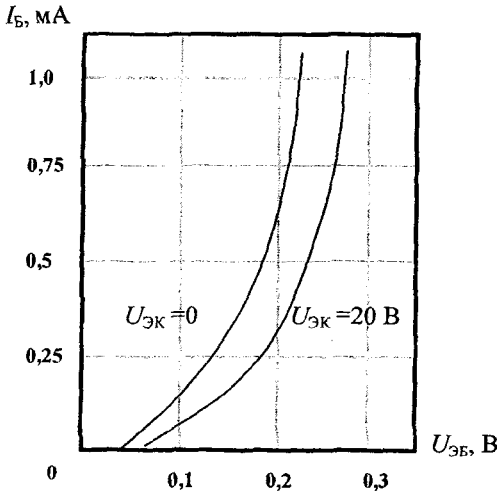
m – число пульсаций выпрямленного напряжения;

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

R_n – сопротивление нагрузки.

Входные и выходные характеристики транзисторов

МП25, МП25А, МП25Б

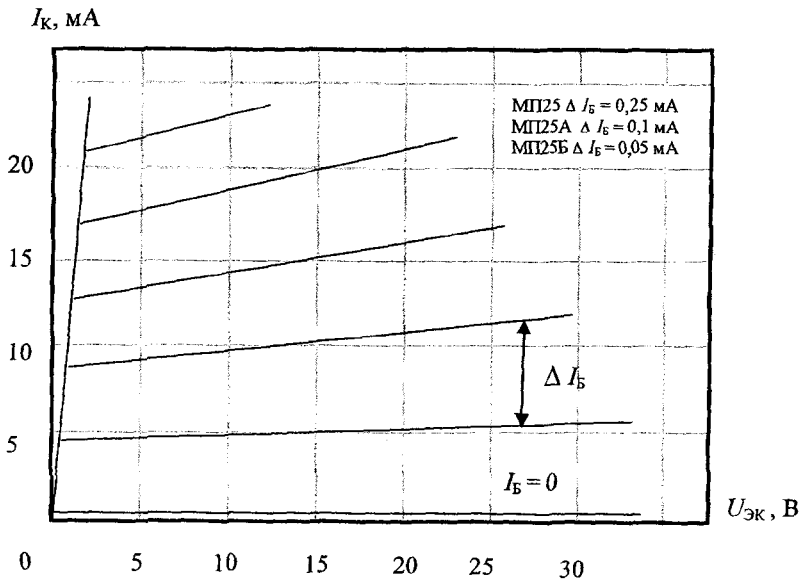


Германиевые высоковольтные *p-n-p* транзисторы предназначены для работы в усилителях и генераторах.

Корпус металлический, масса не более 2 г.

$U_{ЭК м}, В: 40,$
при $P_H < 100$ мВт – 60,

$I_{К м}, МА – 300,$
 $P_{К м}, мВт – 200,$
 $T_m, °C – +70.$



Параметры некоторых транзисторов

Транзистор	$U_{кз доп}$, В	$I_{к доп}$, мА	$P_{к доп}$, мВт	h_{11} , кОм	h_{21}	h_{22} , ккСм
<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
ГТ 15Б	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.

Основные параметры выпрямителей (при работе на активную нагрузку)

Число фаз	Выпрямитель	Трансформатор			Вентили		Нагрузка			
		$U_{2\phi}/U_d$	$I_{2\phi}/I_d$	$I_{1\phi} m/I_d$	S_T/P_d	U_B/U_d	I_B/I_d	$U_d/U_{2\phi}$	q_1	m
Одно-фазный	Однотолупериодный	2,22	1,57	1,21	3,09	3,14	1	0,45	1,57	1
	Нулевой (со средней точкой)	1,11	0,785	1,11	1,48	3,14	0,5	0,9	0,667	2
Трех-фазный	Мостовой	1,11	1,11	1,11	1,23	1,57	0,5	0,9	0,667	2
	Нулевой (со средней точкой)	0,855	0,577	0,476	1,35	2,09	0,333	1,17	0,25	3
	Мостовой (Y/Y, Δ/Y)	0,427	0,817	0,817	1,045	1,045	0,333	2,34	0,057	6
	Мостовой (Δ/Δ, Y/Δ)	0,74	0,47	0,47	1,045	1,045	0,333	1,35	0,057	6
	Шестифазный нулевой	0,74	0,41	0,58	1,55	2,09	0,167	1,35	0,057	6
	Двойной с уравнительным реактором	0,855	0,29	0,405	1,26	2,09	0,167	1,17	0,057	6

Примечания:

$U_{2\phi}$ — действующее значение напряжения вторичной обмотки (фазного для трехфазных схем);

U_d — расчетное среднее значение выпрямленного напряжения; $U_d = N_B U_{np} + U_{н}$;

N_B — число последовательно включенных диодов;

U_{np} — прямое падение напряжения на диоде;

$U_{н}$ — среднее значение напряжения на нагрузке;

$I_{2\phi}$ — действующее значение тока вторичной обмотки (фазного);

I_d — расчетное среднее значение тока через нагрузку;

$I_{1\phi}$ — действующее значение тока первичной обмотки (фазного);

n — коэффициент трансформации: $n = U_{1\phi}/U_{2\phi}$;

S_T — расчетная мощность трансформатора;

P_d — расчетная мощность нагрузки; $P_d = U_d I_d$;

U_B — максимальное обратное напряжение на диоде;

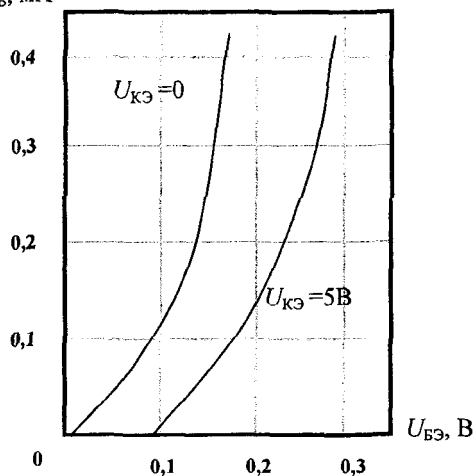
I_B — среднее значение тока диода;

q_1 — коэффициент пульсаций выходного напряжения (отношение амплитуды основной гармоники к U_d);

m — число пульсаций выходного напряжения за период (отношение частоты основной гармоники пульсаций к частоте сети).

ГТ122А, ГТ122Б, ГТ122В, ГТ122Г

I_B, mA



Германиевые *n-p-n* транзисторы предназначены для усиления и генерирования низкочастотных колебаний.

Корпус металлический, масса не более 2 г.

$U_{кэ м}, \text{В}$:

ГТ122А – 35;

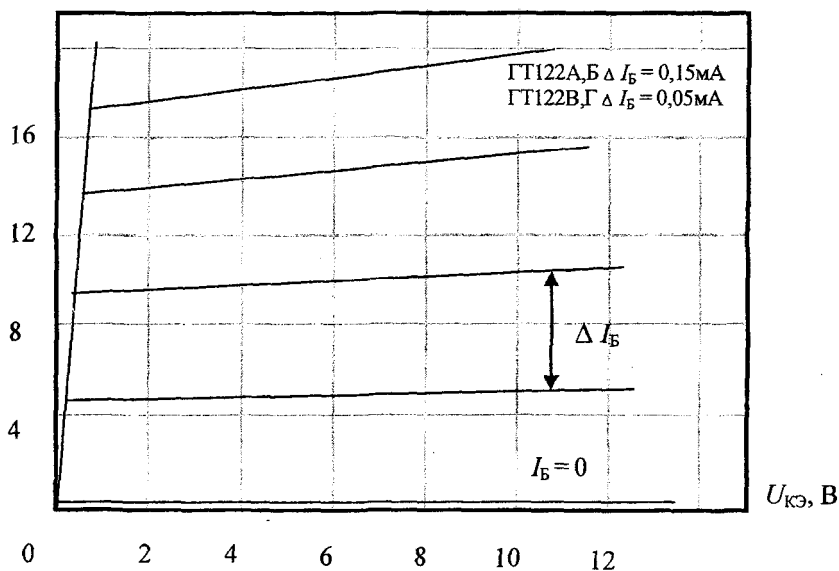
ГТ122Б-Г – 20;

$I_{к м}, \text{mA}$ – 20;

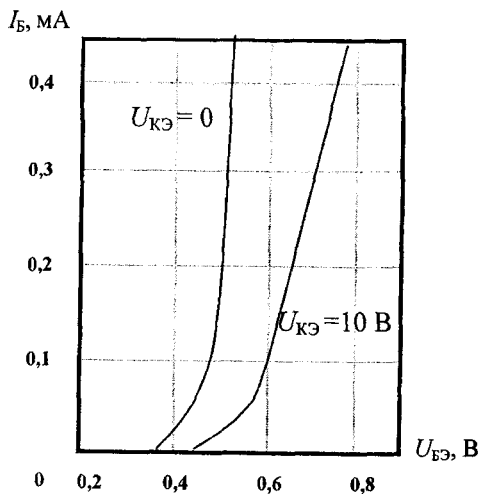
$P_{к м}, \text{мВт}$ – 150;

$T_m, \text{°C}$ – +70.

I_K, mA



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.

$U_{KЭ м}$, В:

КТ315А – 25;

КТ315Б – 20;

КТ315В – 40;

КТ315Г – 35;

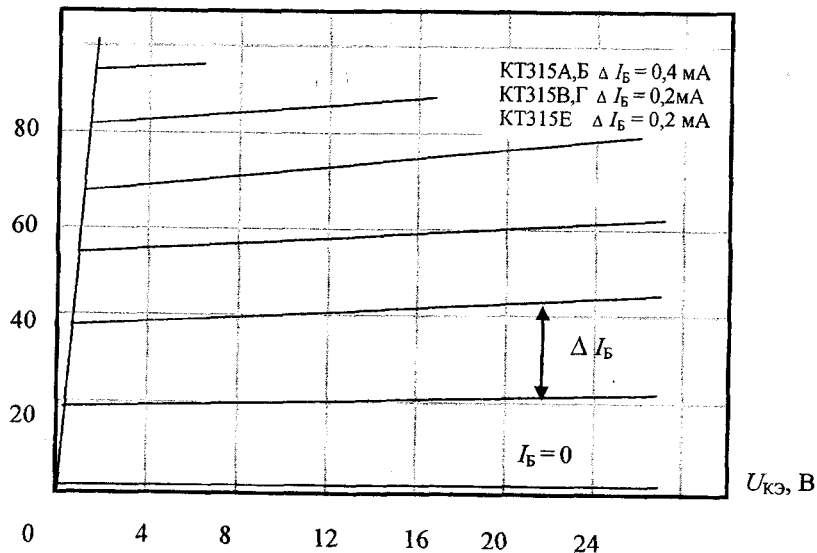
КТ315Е – 35;

$I_{K м}$, мА – 100;

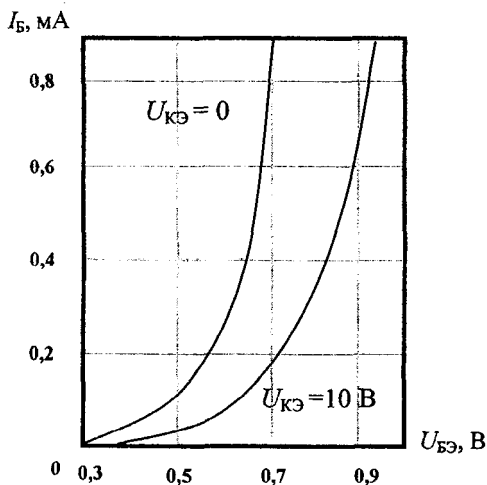
$P_{K м}$, мВт – 150;

T_m , °С – +100.

I_K , мА



КТ301А, КТ301Б, КТ301В, КТ301Ж



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

Корпус металлический, масса не более 0,5 г.

$U_{KЭ м}, \text{ В}$:

КТ301А, КТ301Ж – 20;

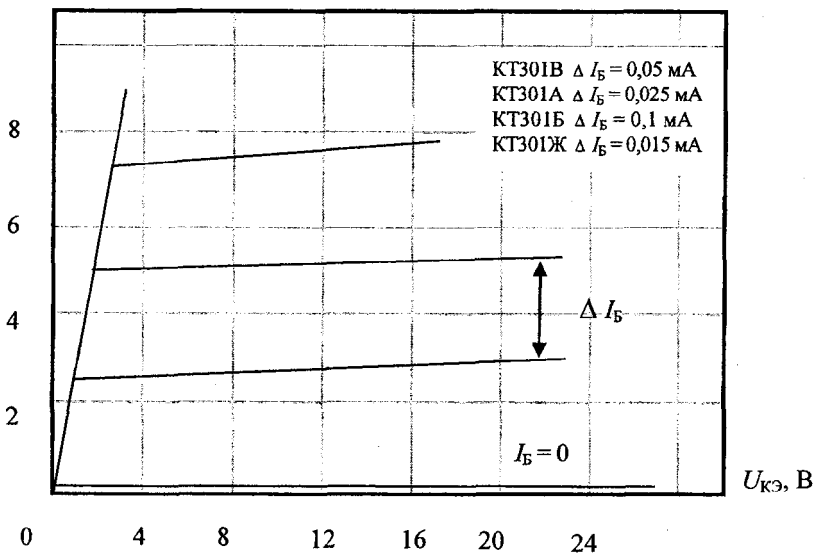
КТ301Б, КТ301В – 30;

$I_{K м}, \text{ mA} - 10$;

$P_{K м}, \text{ мВт} - 150$;

$T_{м}, \text{ }^\circ\text{C} - +85$.

$I_K, \text{ mA}$



Некоторые параметры операционных усилителей серии 140

Тип ОУ	Напряжение источников питания, В	Коэффициент усиления	Максимальное выходное напряжение, В	Входное сопротивление, МОм	Выходное сопротивление, кОм	Входной ток, мкА	Разность входных токов, мкА
K140УД1А	±6,3	2500	±3,5	0,6	0,7	5	1,5
K140УД1Б	±12,6	6000	±8,0	0,4	0,7	8	1,5
K140УД2А	±12,6	35000	±10,0	0,3	1,0	0,7	0,2
K140УД2Б	±6,3	3000	±3,0	0,3	1,0	0,7	0,2
K140УД6	±15,0	30000	±11,0	1,0	0,1	0,1	0,02
K140УД7	±15,0	30000	±10,5	0,4	0,1	0,4	0,2
K140УД8А	±15,0	50000	±10,0	1000	0,2	0,2	0,02

Аксиомы и законы алгебры логики

Аксиомы (тождества)	$1 + x = 1$	$0 \cdot x = 0$
	$0 + x = x$	$1 \cdot x = x$
	$x + x = x$	$x \cdot x = x$
	$x + \bar{x} = 1$	$x \cdot \bar{x} = 0$
	$\overline{\bar{x}} = x$	$x_1 + \bar{x}_1 \cdot x_2 = x_1 + x_2$
Операция склеивания	$x_1 \cdot x_2 + x_1 \cdot \bar{x}_2 = x_1$	
Законы коммутативности	$x_1 + x_2 = x_2 + x_1$	$x_1 \cdot x_2 = x_2 \cdot x_1$
Законы ассоциативности	$x_1 + x_2 + x_3 = x_1 + (x_2 + x_3)$ $x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 = x_1 \cdot (x_2 \cdot x_3)$	
Законы дистрибутивности	$x_1 \cdot (x_2 + x_3) = (x_1 \cdot x_2) + (x_1 \cdot x_3)$ $x_1 + (x_2 \cdot x_3) = (x_1 + x_2) \cdot (x_1 + x_3)$	
Законы дуальности (теоремы де Моргана)	$\overline{x_1 + x_2} = \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2$	$\overline{x_1 \cdot x_2} = \bar{x}_1 + \bar{x}_2$
Законы поглощения	$x_1 + x_1 \cdot x_2 = x_1$	$x_1 \cdot (x_1 + x_2) = x_1$

Реализация логических элементов

Тип элемента	Условное изображение	Таблица истинности				Вариант реализации (на элементах 2И-НЕ)
		x_1	0	0	1	
Элемент НЕ (инвертор)		x	0	1		
		\bar{x}	1	0		
Элемент И (конъюнктор)		$x_1 \cdot x_2$	0	0	0	1
Элемент ИЛИ (дизъюнктор)		$x_1 + x_2$	0	1	1	1
Элемент И-НЕ (элемент Шеффера)		$\overline{x_1 \cdot x_2}$	1	1	1	0
Элемент ИЛИ-НЕ (элемент Пирса)		$\overline{x_1 + x_2}$	1	0	0	0
Запрет x_2		$x_1 \cdot \bar{x}_2$	0	0	1	0
Импликация от x_2 к x_1		$\overline{x_1 + x_2}$	1	0	1	1
Исключающее ИЛИ (неравнозначность, сложение по модулю 2)		$x_1 \oplus x_2$	0	1	1	0
Равнозначность (эквивалентность)		$x_1 \sim x_2$	1	0	0	1

Содержание

Задания к контрольным работам.	3
Типовые расчеты к задачам.	23
Литература.	58
ПРИЛОЖЕНИЯ.	59

Учебное издание

БЛАДЬКО Юрий Витальевич
ЖУКОВСКАЯ Татьяна Евгеньевна

ЭЛЕКТРОНИКА

Методическое пособие
к выполнению контрольных работ по дисциплинам
«Электроника», «Электротехника и электроника»,
«Электроника и микропроцессорная техника»,
«Электроника и информационно-измерительная техника»

Редактор Н.В. Артюшевская
Компьютерная верстка Н.А. Школьниковой

Подписано в печать 16.10.2008.

Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная.

Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 4,13. Уч.-изд. л. 3,23. Тираж 300. Заказ 753.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Белорусский национальный технический университет.

ЛИ № 02330/0131627 от 01.04.2004.

Проспект Независимости, 65. 220013, Минск.