

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ**  
Государственное образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
Томский политехнический университет

---

УТВЕРЖДАЮ

Зам. директора ЭЛТИ по МР

\_\_\_\_\_ А. Н. Дудкин

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2005 г.

**ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОНИКИ**

Варианты заданий и методические указания к выполнению индивидуального задания по курсу “Электротехника и электроника” для студентов неэлектротехнических специальностей

Томск 2005

УДК 621.3

Основы электроники: Варианты заданий и методические указания к выполнению индивидуальной работы по курсу “Электротехника и электроника” для студентов неэлектротехнических специальностей /Сост. Н.М. Малышенко, Л.А. Аристова; Том. политехн. ун-т. –Томск, 2006, - 20 с.

Рецензент профессор, докт. техн. наук \_\_\_\_\_ Ю.Н. Исаев

Методические указания рассмотрены и рекомендованы к изданию методическим семинаром кафедры “Теоретическая и общая электротехника” “ 6 ” октября 2005 г., протокол №21.

Зав. кафедрой ТОЭ, доцент, канд. техн. наук \_\_\_\_\_ Г.В. Носов

Одобрено учебно-методической комиссией ЭЛТИ  
Председатель учебно-методической комиссии  
Доцент канд. техн. наук \_\_\_\_\_

# 1. Основные понятия и формулы

Работа большинства электронных устройств основана на применении полупроводниковых приборов.

*Выпрямительные полупроводниковые диоды* используются в однофазных и трехфазных выпрямителях с однополупериодным и двухполупериодным выпрямлением напряжения.

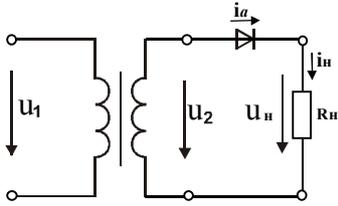


Рис. 1.1

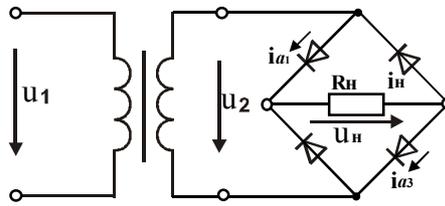


Рис. 1.2

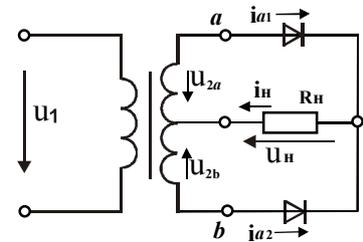


Рис. 1.3

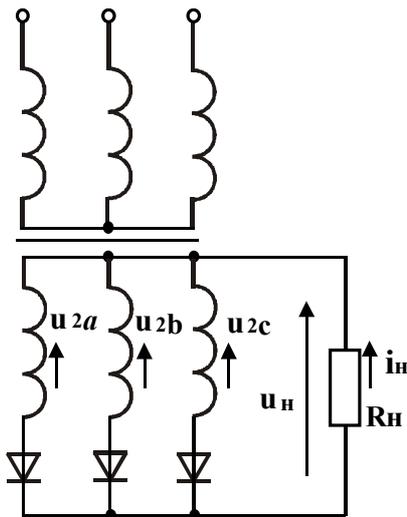


Рис. 1.4

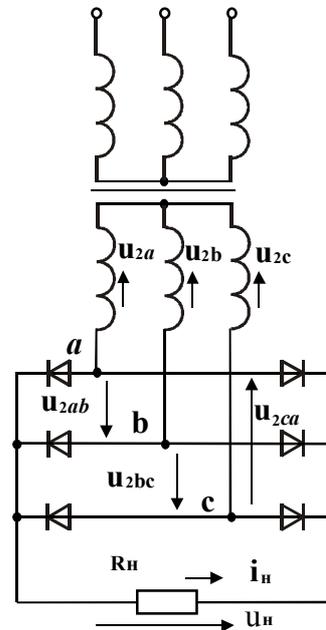


Рис. 1.5

Средние значения выпрямленных напряжения и тока в приемнике с сопротивлением  $R_n$  в схеме на рис. 1.1:

$$U_H = \frac{\sqrt{2}}{\pi} U_2 = \frac{U_{2m}}{\pi} \approx 0,45 U_2; \quad (1.1)$$

$$I_H = \frac{U_H}{R_H}, \quad (1.2)$$

где  $u_2 = U_{2m} \sin \omega t$  - мгновенное значение,  $U_2 = U_{2m} / \sqrt{2}$  - действующее значение переменного синусоидального напряжения,  $U_{2m}$  - амплитудное значение.

Ток  $I_{н.ср}$  является в данной схеме прямым током диода, т.е.  $I_{пр.ср} = I_{н.ср}$ ; максимальное обратное напряжение  $U_{обр.мах} = U_{2m}$ .

Для надежной работы выпрямителей диоды должны выбираться с выполнением условий:  $I_{пр.ср} \geq I_{н.ср}$  и  $U_{обр.мах} > \sqrt{2}U_2$  примерно с превышением на 30%.

В двухполупериодном мостовом выпрямителе (рис. 1.2) средние значения выпрямленных напряжения и тока:

$$U_{н.ср} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} U_2 = \frac{2}{\pi} U_{2m} \approx 0,9U_2; \quad (1.3)$$

$$I_{н.ср} = U_{н.ср} / R_H. \quad (1.4)$$

Максимальное обратное напряжение

$$U_{обр.мах} = U_{2m} = \sqrt{2}U_2 = \frac{\pi}{2} U_{н.ср}. \quad (1.5)$$

Средний прямой ток каждого диода

$$I_{пр.ср} = 0,5I_{н.ср}. \quad (1.6)$$

Максимальный прямой ток диода в данной схеме

$$I_{пр.мах} = \frac{U_{2m}}{R_H} = \frac{\pi U_{н.ср}}{2 R_H}. \quad (1.7)$$

В двухполупериодном выпрямителе с выводом средней точки вторичной обмотки трансформатора (рис. 1.3)  $U_{2a} = U_{2b} = U_2$ , расчет  $U_{н.ср}$  и  $I_{н.ср}$  в приемнике выполняется по формулам (1.3) и (1.4), максимальный прямой ток диода - формуле по (1.7).

Максимальное обратное напряжение диода

$$U_{обр.мах} = U_{ab} = 2U_2 = \pi U_{н.ср}. \quad (1.8)$$

В трехфазном выпрямителе с нейтральным выводом (рис.1.4) средние значения выпрямленных напряжения и тока определяются формулами

$$U_{н.ср} = \frac{3 \cdot \sqrt{6}}{2\pi} U_{2\Phi} \approx 1,17U_{2\Phi}. \quad (1.9)$$

$$I_{н.ср} = U_{н.ср} / R_H.$$

Средний и максимальный прямой токи диодов определяются выражениями:

$$I_{пр.ср} = \frac{I_{н.ср}}{3}; \quad I_{пр.мах} = \frac{U_{\Phi m}}{R_H} = \frac{U_{н.ср}}{0,827R_H} \approx 1,21I_{н.ср}, \quad (1.10)$$

где  $U_{\Phi m} = \frac{2\pi}{3\sqrt{3}} U_{н.ср}$  - амплитудное фазное напряжение источника.

Максимальное обратное напряжение на каждом закрытом диоде равно амплитудному значению линейного напряжения источника:

$$U_{обр.мах} = \sqrt{2} \cdot \sqrt{3} U_{2\Phi} = \frac{2\pi}{3} U_{н.ср} \approx 2,09 U_{н.ср}, \quad (1.11)$$

где  $U_{2\Phi} = U_{2a} = U_{2b} = U_{2c}$  - действующее значение фазного напряжения.

В трехфазном мостовом выпрямителе (рис. 1.5) среднее значение выпрямленного напряжения в приемнике

$$U_{н.ср} = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} U_{2л} = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} U_{2\Phi} \approx 2,34 U_{2\Phi}, \quad (1.12)$$

где  $U_{2л} = U_{2ab} = U_{2bc} = U_{2ca}$  - действующее значение линейного напряжения.

Максимальное обратное напряжение на каждом закрытом диоде равно амплитудному значению линейного напряжения

$$U_{обр.мах} = \sqrt{2} U_{2л} = \frac{\pi}{3} U_{н.ср} \approx 1,047 U_{н.ср}. \quad (1.13)$$

Максимальный прямой ток рассчитывается по формуле (1.10).

*Биполярные и полевые транзисторы* используются в различных схемах усилителей в качестве приборов, управляющих мощностью внутри усилителя.

Основными показателями усилителей являются:

- коэффициент усиления по напряжению (модуль)  $K_U = \frac{U_{ввых}}{U_{вх}}$  ;
- коэффициент усиления по току (модуль)  $K_I = \frac{I_{ввых}}{I_{вх}}$  ;
- коэффициент усиления по мощности  $K_P = \frac{P_{ввых}}{P_{вх}} = K_U K_I$ .

*Простейшим усилителем* является усилительный каскад с одним нелинейным управляемым элементом. Рассмотрим усилительный каскад с биполярным транзистором. Работа других схем будет во многом аналогична.

Включение биполярного транзистора в цепь может выполняться по схеме с общей базой (ОБ), с общим эмиттером (ОЭ), с общим коллектором (ОК). Лучшие коэффициенты усиления имеют усилители с включением транзистора по схеме с ОЭ. На рис. 1.6 показано включение биполярного транзистора типа *n-p-n* по схеме с общим эмиттером.

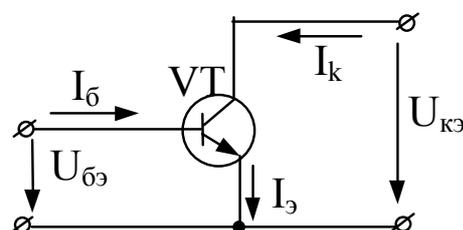


Рис. 11.6

Для расчета и анализа устройств с биполярными транзисторами используют вольт-амперные характеристики: входные  $I_{\text{б}} = f_1(U_{\text{бэ}})$ , снимаемые при  $U_{\text{кэ}} = \text{const}$ , выходные  $I_{\text{к}} = f_2(U_{\text{кэ}})$  при  $I_{\text{б}} = \text{const}$  и так называемые  $h$ -параметры.

Электрическое состояние транзистора в пределах линейной части вольт-амперных характеристик может быть описано уравнениями:

$$\begin{aligned} \Delta U_{\text{бэ}} &= h_{11\text{э}} \Delta I_{\text{б}} + h_{12\text{э}} \Delta U_{\text{кэ}}; \\ \Delta I_{\text{к}} &= h_{21\text{э}} \Delta I_{\text{б}} + h_{22\text{э}} \Delta U_{\text{кэ}}, \end{aligned} \quad (1.14)$$

где  $h_{11\text{э}} = \frac{\Delta U_{\text{бэ}}}{\Delta I_{\text{б}}}$  при  $U_{\text{кэ}} = \text{const} (\Delta U_{\text{кэ}} = 0)$  - входное сопротивление биполярного транзистора;  $h_{12\text{э}} = \frac{\Delta U_{\text{бэ}}}{\Delta U_{\text{кэ}}}$  при  $I_{\text{б}} = \text{const} (\Delta I_{\text{б}} = 0)$  - безразмерный коэффициент внутренней обратной связи по напряжению;  $h_{12\text{э}} = 0,002 \div 0,0002$  и в большинстве практических расчетов им можно пренебречь, т.е.  $h_{12\text{э}} \approx 0$ ;  $h_{21\text{э}} = \frac{\Delta I_{\text{к}}}{\Delta I_{\text{б}}}$  при  $U_{\text{кэ}} = \text{const} (\Delta U_{\text{кэ}} = 0)$  - коэффициент усиления по току;  $h_{22\text{э}} = \frac{\Delta I_{\text{к}}}{\Delta U_{\text{кэ}}}$  при  $I_{\text{б}} = \text{const} (\Delta I_{\text{б}} = 0)$  - выходная проводимость транзистора.

Типовые схемы однокаскадных усилителей с общим эмиттером приведены на рис. 1.7 и рис. 1.8.

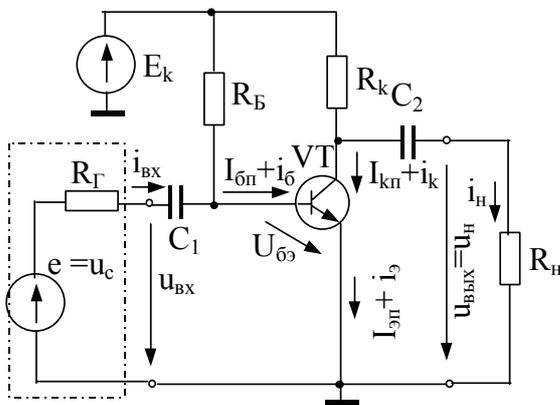


Рис. 1.7.

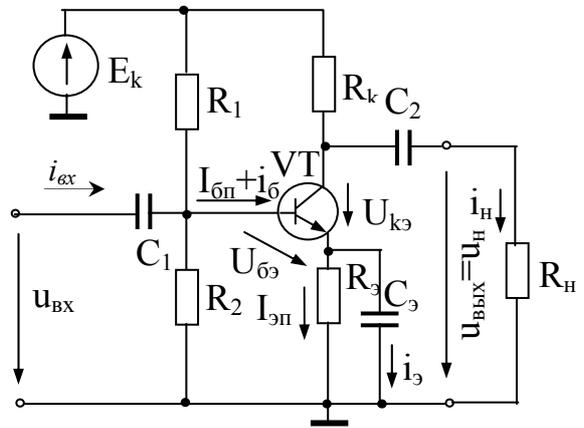


Рис. 1.8.

Резисторы  $R_{\text{к}}$  и  $R_{\text{б}}$  в схеме на рис. 1.7 и  $R_{\text{к}}, R_1, R_2$  в схеме на рис. 1.8 обеспечивают необходимые значения постоянных напряжений на коллекторном и эмиттерном переходах ( $U_{\text{бэ}}, U_{\text{кэ}}$ ) при питании всех цепей транзистора от одного общего источника питания  $E_{\text{к}}$ .

Участок схемы на рис. 1.8, состоящий из параллельно соединенных резистора  $R_{\text{э}}$  и конденсатора  $C_{\text{э}}$  служит для осуществления температурной

стабилизации транзистора от воздействия постоянных токов при одновременном устранении отрицательного влияния на входное напряжение переменных токов. Конденсаторы  $C_1$  и  $C_2$  большой емкости являются разделительными, назначение их отделять переменный сигнал от постоянных напряжений и токов, действующих внутри схемы усилителя.

Анализ работы и расчет усилительного каскада выполняют с использованием наложения режима покоя при действии только источника питания с ЭДС  $E_k(I_{бп}, I_{кп}, I_{эп})$  и режима с переменными составляющими токов базы  $i_b$ , коллектора  $i_k$  и нагрузки  $i_n$  при действии другого источника ЭДС  $e$  с внутренним сопротивлением  $R_r$ , ток которого  $i_r$  является входным током  $i_{вх}$  усилителя.

На Рис. 1.9 показана схема замещения усилительного каскада, изображенного на Рис. 1.7 для переменных составляющих токов низких и средних частот, на которой схема замещения транзистора показана внутри пунктирного контура, а усилительного каскада внутри контура ограниченного сплошной линией, при этом принято  $\frac{1}{\omega C_1} \approx 0$ ,  $\frac{1}{\omega C_2} \approx 0$ .

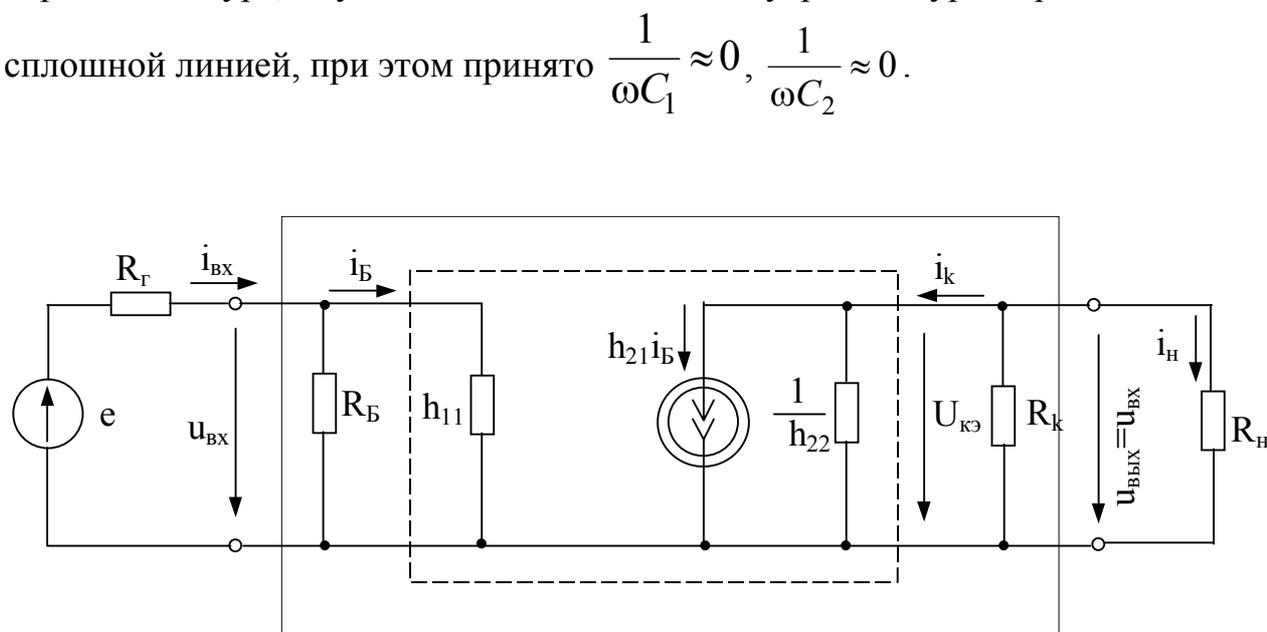


Рис. 1.9

Входное напряжение усилителя:

$$u_{вх} = R_{вх} i_{вх} = \frac{R_б h_{11}}{R_б + h_{11}} i_{вх}, \quad (1.15)$$

где  $R_{вх}$  - входное сопротивление усилителя, определяется как эквивалентное сопротивление параллельно соединенных  $R_б$  и  $h_{11}$ ,

$$R_{вх} = \frac{R_б \cdot h_{11}}{R_б + h_{11}} \quad (1.16)$$

при  $R_{\sigma} \gg h_{11}$ , можно приближенно считать  $R_{\text{ВХ}} \approx h_{11}$ ;  $i_{\text{ВХ}}$  - входной ток, если пренебречь током через резистор  $R_{\sigma}$ , то можно считать  $i_{\text{ВХ}} \approx i_{\sigma}$ .

Входное напряжение усилителя можно также определить с учетом параметров источника ЭДС переменного сигнала:

$$u_{\text{ВХ}} = \frac{e R_{\text{ВХ}}}{R_{\Gamma} + R_{\text{ВХ}}} = \frac{e h_{11}}{R_{\Gamma} + h_{11}}. \quad (1.17)$$

Выходное сопротивление усилителя определяется как эквивалентное параллельно соединенных резистора  $R_{\text{К}}$  и выходного сопротивления транзистора  $1/h_{22}$ :

$$R_{\text{ВЫХ}} = \frac{R_{\text{К}} \cdot 1/h_{22}}{R_{\text{К}} + 1/h_{22}} = \frac{R_{\text{К}}}{1 + h_{22} R_{\text{К}}}. \quad (1.18)$$

При  $h_{22} \ll R_{\text{К}}$ , можно принять  $R_{\text{ВЫХ}} \approx R_{\text{К}}$ .

Выходное напряжение усилителя:

$$u_{\text{ВЫХ}} = R_{\text{ВЫХ}} \cdot h_{21} \cdot i_{\sigma} = \frac{h_{21} \cdot R_{\text{К}}}{1 + h_{22} \cdot R_{\text{К}}} \cdot i_{\sigma} \quad (1.19)$$

Коэффициент усиления по напряжению (модуль) ненагруженного усилительного каскада при  $R_{\text{Н}} \gg R_{\text{К}}$  каскада при

$$K_{U_x} = \frac{u_{\text{ВЫХ}}}{u_{\text{ВХ}}} = \frac{h_{21} R_{\text{К}}}{h_{11} (1 + h_{22} \cdot R_{\text{К}})}. \quad (1.20)$$

Коэффициент усиления по току:

$$K_I = \frac{i_{\text{ВЫХ}}}{i_{\text{ВХ}}} = \frac{h_{21} \cdot R_{\sigma}}{(1 + h_{22} R_{\text{К}})(R_{\sigma} + h_{11})}, \quad (1.21)$$

$$i_{\text{ВЫХ}} = \frac{u_{\text{ВЫХ}}}{R_{\text{ВЫХ}}} = \frac{u_{\text{ВЫХ}} (1 - h_{22} R_{\text{К}})}{R_{\text{К}}} \approx \frac{u_{\text{ВЫХ}}}{R_{\text{Н}}} - \text{ВЫХОДНОЙ ТОК};$$

$$i_{\text{ВХ}} = \frac{u_{\text{ВХ}}}{R_{\text{ВХ}}} = \frac{u_{\text{ВХ}} (R_{\sigma} + h_{11})}{R_{\sigma} \cdot h_{11}} - \text{ВХОДНОЙ ТОК УСИЛИТЕЛЯ.}$$

Коэффициент усиления по мощности:

$$K_P = K_U K_I \quad (1.22)$$

*Логические элементы* вместе с запоминающими устройствами составляют основу устройств цифровой (дискретной) обработки информации вычислительных машин, цифровых измерительных приборов и устройств.

Цифровую информацию обычно представляют в двоичной форме, в которой сигналы принимают только два значения: «0» (логический ноль) и «1» (логическая единица), соответствующие двум состояниям электронного ключа.

Логические преобразования двоичных сигналов включают три элементарные операции:

1) логическое сложение (логическое **ИЛИ**), обозначаемое знаками «+» или « $\vee$ »:

$$F = X_1 + X_2 + \dots + X_n \text{ или } F = X_1 \vee X_2 \dots ; \quad (1.23)$$

2) логическое умножение (логическое **И**), обозначаемое знаками « $\bullet$ », « $\wedge$ » или написанием переменных рядом без знаков разделения:

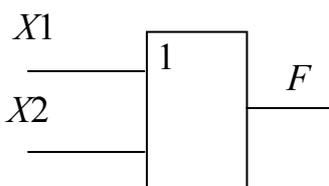
$$F = X_1 X_2 \dots X_n \text{ или } F = X_1 \wedge X_2 \dots ; \quad (1.24)$$

3) логическое отрицание (логическое **НЕ**), обозначаемое чертой над переменной:

$$F = \overline{X}. \quad (1.25)$$

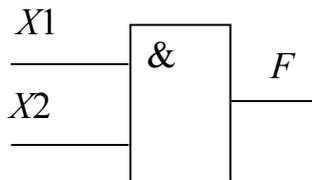
Зависимость логического выходного сигнала  $F$  от совокупности логических значений входных сигналов  $X$  принято представлять *таблицей истинности*. Условные обозначения логических элементов элементарных операций и таблицы истинности приведены на рис.1.10, операции **ИЛИ** и **И** показаны для двух входных величин.

Операция **ИЛИ**



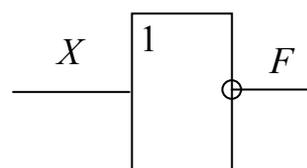
$X_1$	$X_2$	$F$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Операция **И**



$X_1$	$X_2$	$F$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Операция **НЕ**



$X$	$F$
0	1
1	0

Рис. 1.10

На практике часто применяют комбинированные элементы, реализующие две (и более) логические операции. К таким относятся элементы: **ИЛИ-НЕ**, выполняющие операцию

$$F = \overline{X_1 + X_2 + \dots + X_n}, \quad (1.26)$$

**И-НЕ**, выполняющий операцию  $F = \overline{X_1 X_2 \dots X_n}$ . (1.27)

Логические операции **ИЛИ-НЕ** и **И-НЕ** можно получить, производя инвертирование после операций **ИЛИ** и **И**.

Самостоятельное значение имеет логическая операция **ЗАПРЕТ**, которая символически записывается в виде  $F = X_1 \overline{X_2}$ . (1.28)

Логический элемент **ЗАПРЕТ** имеет в простейшем случае два входа: разрешающий (вход  $X_1$ ) и запрещающий (вход  $X_2$ ). Выходной сигнал повторяет сигнал на разрешающем входе  $X_1$ , если  $X_2=0$ . При  $X_2=1$  на выходе возникает сигнал «0» независимо от значения  $X_1$ .

Условные обозначения комбинированных логических элементов и их таблицы истинности показаны на рис.1.11, для простоты условные обозначения логических элементов и соответствующие таблицы истинности составлены для двух входных величин.

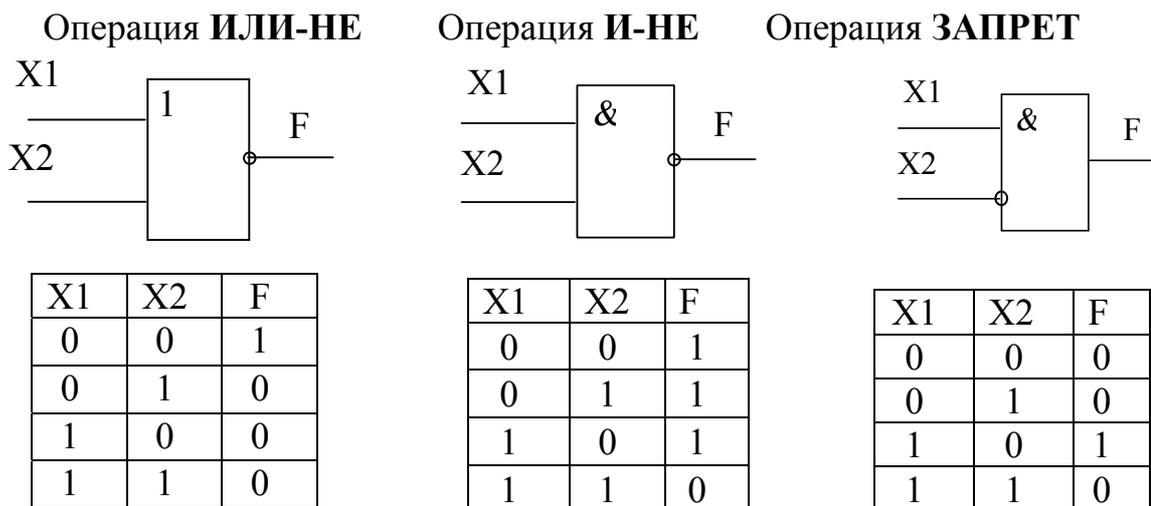


Рис. 1.11

## 2. Задания к индивидуальной работе по теме “Основы электроники”

### Задание 2.1.

1. Описать физические принципы работы полупроводникового диода. Привести понятия электронно-дырочного  $p-n$ -перехода, запирающего слоя, потенциального барьера, вентильных свойств диода. Показать примерный вид вольт-амперной характеристики выпрямительного диода.

2. Нарисовать блок-схему возможных узлов выпрямителя, описать назначение каждого из них. Как классифицируют выпрямители в зависимости от схемы вентильной группы?

3. Однофазный мостовой выпрямитель (рис. 2.1) подключен с помощью трансформатора к сети с действующим значением напряжения  $U_1$ . Нагрузкой для выпрямителя является резистор с сопротивлением  $R_n$ , среднее значение выпрямленного тока в котором  $I_n$ . Описать принцип работы выпрямителя. Определить коэффициент трансформации трансформатора  $n$ ; средний  $I_{np-cp}$  и максимальный  $I_{np-max}$  токи каждого диода при прямом

включения; максимальное обратное напряжение  $U_{обр-мах}$ ; выбрать из табли-

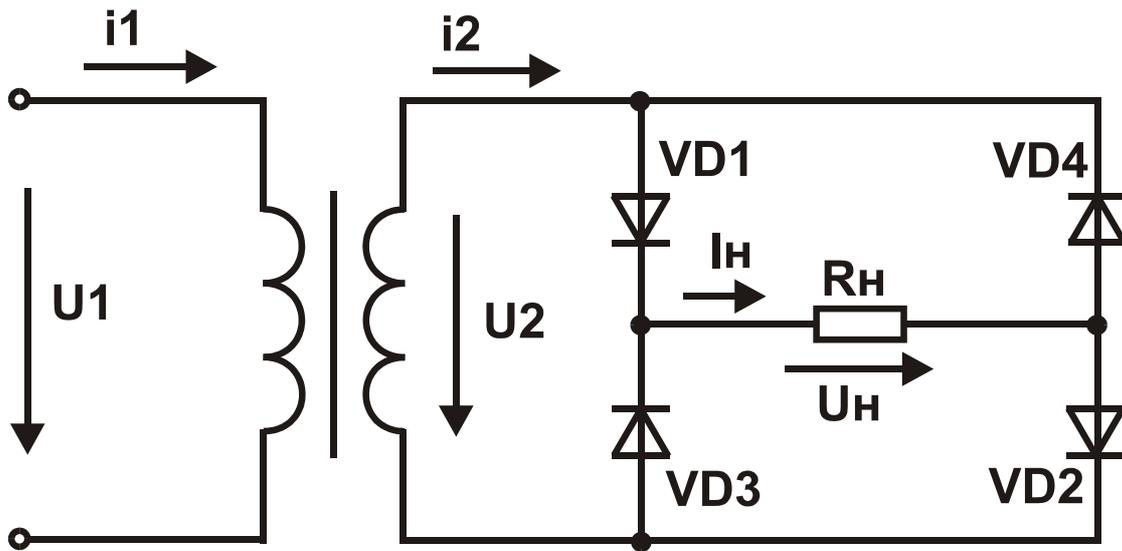


Рис. 2.1

цы «Справочные данные диодов» или из справочника [8] тип диода. Рассчитать мощность, выделяемую в резисторе  $R_H$ . Построить графики изменения напряжений  $u_2(t)$  и  $u_H(t)$

*Указание. 1.* Диоды считать идеальными с  $R_D = 0$  при прямом включении и  $R_D = \infty$  при обратном включении.

*2.* Если  $U_{2m} > U_{обр-мах}$  при среднем значении выпрямленного тока  $I_{нр-ср}$ , то можно включить последовательно два или несколько однотипных диодов.

Справочные данные диодов					
Тип диода	Параметры диода		Тип диода	Параметры диода	
	$U_{обр-мах}$ , В	$I_{нр-мах}$ , А		$U_{обр-мах}$ , В	$I_{нр-мах}$ , А
Д7Ж	150	0,2	Д226	300	0,25
Д202	100	0,4	Д226А	200	0,25
Д203	200	0,4	Д226Е	150	0,25
Д204	300	0,4	Д245Б	300	2
Д205	400	0,4	Д247	500	5
Д206	100	0,1	Д302	200	1
Д207	200	0,1	Д303	150	3
Д209	400	0,1	Д304	100	10

Данные к заданию 2.1							
Вар-т	$U_1$ , В	$I_H$ , А	$R_H$ , Ом	Вар-т	$U_1$ , В	$I_H$ , А	$R_H$ , Ом
1	220	0,2	500	51	127	0,3	300
2	380	0,6	200	52	127	1,8	70
3	110	0,25	700	53	220	0,3	200

4	127	2	55	54	380	0,8	150
5	220	0,5	180	55	220	0,2	1200
6	50	0,6	150	56	220	0,18	350
7	220	0,15	400	57	127	0,12	850
8	100	1,6	75	58	100	0,2	120
9	127	0,2	520	59	380	0,17	650
10	220	3,0	50	60	220	0,48	60
11	120	2,2	85	61	150	1,3	74
12	150	1,3	120	62	127	0,85	110
13	80	0,2	340	63	230	0,6	185
14	100	0,8	200	64	127	0,3	270
15	220	1,5	200	65	110	0,75	130
16	127	3,2	90	66	210	0,45	210
17	50	2,5	120	67	130	0,37	150
18	380	0,8	220	68	220	5	10
19	220	1,0	150	69	220	1,1	35
20	220	0,25	310	70	380	0,8	115
21	220	1,5	80	71	220	0,3	240
22	100	0,3	300	72	110	0,25	320
23	150	0,2	440	73	200	1,0	95
24	380	0,15	350	74	110	0,44	120
25	200	1,3	60	75	230	0,25	250
26	220	0,2	400	76	375	3,2	25
27	127	0,5	110	77	150	1,5	40
28	380	1,8	100	78	220	0,4	200
29	380	2,8	70	79	220	0,5	150
30	150	1,2	95	80	127	0,8	55
31	300	0,2	300	81	380	4,2	45
32	220	1,1	85	82	110	0,2	120
33	150	1,3	45	83	130	1,1	45
34	200	0,8	90	84	180	0,7	75
35	180	0,25	345	85	220	0,6	90
36	100	1,0	44	86	230	0,9	110
37	380	2,0	78	87	200	1,0	85
38	220	0,9	105	88	220	0,7	100
39	127	0,3	210	89	380	1,5	98
40	300	1,25	80	90	310	0,25	120
41	110	0,4	140	91	180	0,8	95
42	200	0,7	65	92	375	0,7	140
43	380	0,6	105	93	220	1,1	95
44	220	1,1	83	94	110	0,35	110
45	150	0,8	60	95	230	0,6	105
46	200	1,3	55	96	450	3,5	55
47	127	1,0	48	97	660	4,0	40
48	380	2,4	70	98	380	2,0	65
49	220	0,4	240	99	220	1,5	70
50	150	0,35	100	100	220	0,8	80

**Задание 2.2.**

1. Описать устройство и физические принципы работы плоскостных биполярных транзисторов, показать их условные обозначения.
2. Нарисовать схемы включения транзисторов типа *p-n-p*. Показать примерный вид семейств статических входных и выходных вольт-амперных характеристик для схемы с ОЭ.
3. Привести формулы, связывающие основные физические величины и *h*-параметры транзисторов, описать их физический смысл.
4. Нарисовать схему замещения усилительного каскада для усилителя, изображенного на рис. 2.2.
5. Для указанного на рис. 2.2 усилительного каскада с общим эмиттером определить коэффициенты усиления по напряжению, току и мощности, выходное напряжение, входное и выходное сопротивления по заданным величинам  $U_{\text{вх}}, R_k, R_{\delta}, h_{11}, h_{21}, h_{22}$ .

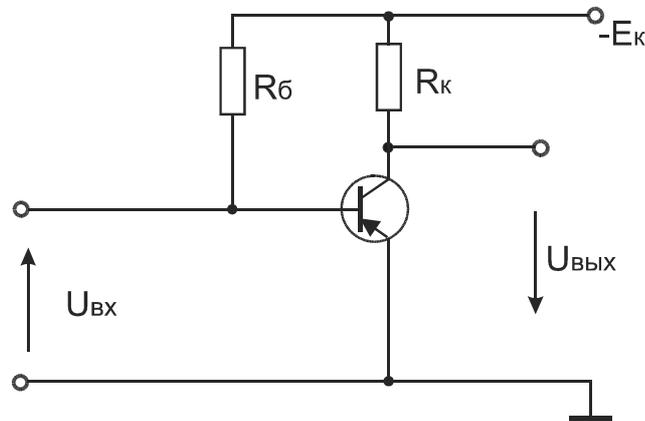


Рис. 2.2

Данные к заданию 2.2						
Вариант	$h_{11},$ Ом	$h_{21}$	$h_{22},$ Ом <sup>-1</sup>	$R_k,$ кОм	$R_{\delta},$ кОм	$U_{\text{вх}},$ мВ
1	700	40	$4 \times 10^{-6}$	3,8	65	2
2	1100	85	$6 \times 10^{-6}$	4.2	100	3.8
3	550	200	$7 \times 10^{-6}$	3.2	60	6
4	640	55	$12 \times 10^{-6}$	5	40	14
5	980	80	$8 \times 10^{-6}$	4.8	75	0.8
6	860	120	$5 \times 10^{-6}$	10	93	1.2
7	1000	90	$9 \times 10^{-6}$	8	72	3
8	540	100	$4 \times 10^{-6}$	3.6	56	2.4
9	950	60	$11 \times 10^{-6}$	5.4	50	28

10	880	110	$7 \times 10^{-6}$	4.2	86	12
11	660	75	$6 \times 10^{-6}$	6.4	78	5.6
12	1200	125	$5 \times 10^{-6}$	8.5	106	24
13	750	45	$4 \times 10^{-6}$	12	70	11
14	920	60	$9 \times 10^{-6}$	4.4	106	24
15	800	85	$7 \times 10^{-6}$	5.6	70	15
16	860	130	$8 \times 10^{-6}$	7.5	57	6
17	1050	50	$5 \times 10^{-6}$	4.6	77	50
18	580	35	$4 \times 10^{-6}$	3.7	94	60
19	900	95	$6 \times 10^{-6}$	2.8	68	14
20	840	105	$9 \times 10^{-6}$	10	60	5
21	500	85	$5 \times 10^{-6}$	2,2	75	2,1
22	680	120	$6 \times 10^{-6}$	3,6	90	3,6
23	950	100	$9 \times 10^{-6}$	8,4	65	5
24	1100	65	$4 \times 10^{-6}$	4,5	45	12
25	750	90	$7 \times 10^{-6}$	5,0	70	1,5
26	540	45	$12 \times 10^{-6}$	3,3	68	2,4
27	670	35	$8 \times 10^{-6}$	2,4	58	3
28	860	96	$14 \times 10^{-6}$	8,5	95	12
29	1200	130	$7 \times 10^{-6}$	3,2	72	8
30	700	63	$4 \times 10^{-6}$	1,5	62	4
31	980	88	$7 \times 10^{-6}$	4,8	70	15
32	860	74	$4 \times 10^{-6}$	3,8	65	10
33	580	97	$6 \times 10^{-6}$	9,6	72	2,5
34	890	110	$9 \times 10^{-6}$	10,0	85	4
35	790	125	$5 \times 10^{-6}$	9,0	58	3,2
36	1100	76	$8 \times 10^{-6}$	5,4	90	8
37	640	80	$6 \times 10^{-6}$	4,4	73	11
38	580	38	$4 \times 10^{-6}$	6,8	62	7
39	880	95	$4 \times 10^{-6}$	9,5	80	15
40	940	88	$5 \times 10^{-6}$	4,8	74	5,4
41	750	43	$5,5 \times 10^{-6}$	3,7	70	3
42	1050	80	$4,5 \times 10^{-6}$	4,0	90	3,2
43	600	53	$11 \times 10^{-6}$	4,5	45	8
44	730	48	$7 \times 10^{-6}$	7,8	67	5

45	820	98	$6 \times 10^{-6}$	9,3	75	2,5
46	610	84	$4 \times 10^{-6}$	8,0	58	11
47	870	100	$3,8 \times 10^{-6}$	4,1	84	7
48	980	75	$7,5 \times 10^{-6}$	5,3	78	8,5
49	770	55	$5,5 \times 10^{-6}$	8,2	64	12
50	930	78	$6 \times 10^{-6}$	6,2	73	9
51	150	25	$12 \times 10^{-6}$	4,0	62	3,0
52	500	48	$7 \times 10^{-6}$	4,5	83	6,5
53	190	68	$10 \times 10^{-6}$	11	65	8,7
54	430	90	$8 \times 10^{-6}$	2,1	62	9,5
55	670	146	$7 \times 10^{-6}$	4,8	75	14,1
56	980	180	$8 \times 10^{-6}$	3,5	73	22,4
57	160	30	$15 \times 10^{-6}$	3,8	75	2,0
58	550	50	$6 \times 10^{-6}$	6,2	80	5,8
59	210	70	$11 \times 10^{-6}$	2,8	71	7,4
60	470	95	$8,5 \times 10^{-6}$	4,8	73	10,0
61	680	150	$6,4 \times 10^{-6}$	10,2	77	16,8
62	170	33	$21 \times 10^{-6}$	3,2	75	1,0
63	600	52	$9 \times 10^{-6}$	8,4	102	12,2
64	220	72	$12 \times 10^{-6}$	3,3	85	9,0
65	480	98	$2 \times 10^{-6}$	4,1	67	22,0
66	720	152	$13 \times 10^{-6}$	8,1	60	6,2
67	200	35	$11 \times 10^{-6}$	5,1	57	5,0
68	650	54	$5 \times 10^{-6}$	11	75	14,1
69	230	74	$13 \times 10^{-6}$	8,4	70	11,0
70	520	100	$4,2 \times 10^{-6}$	9,6	68	20,5
71	740	155	$11 \times 10^{-6}$	4,2	85	5,0
72	250	38	$10 \times 10^{-6}$	4,5	72	8,0
73	700	56	$12 \times 10^{-6}$	4,8	105	15,0
74	240	76	$8 \times 10^{-6}$	5,2	43	6,0
75	530	110	$7,3 \times 10^{-6}$	10,0	84	8,7
76	760	160	$10,5 \times 10^{-6}$	5,2	78	25,0
77	300	40	$15 \times 10^{-6}$	9,8	91	2,4
78	750	58	$5 \times 10^{-6}$	5,6	74	3,6
79	320	78	$7 \times 10^{-6}$	5,1	65	18,0

80	570	115	$8,4 \times 10^{-6}$	9,1	63	9,0
81	780	165	$9,8 \times 10^{-6}$	8,0	70	18,5
82	350	42	$13 \times 10^{-6}$	8,5	83	10,2
83	800	68	$8 \times 10^{-6}$	7,7	58	4,8
84	340	80	$6 \times 10^{-6}$	3,5	71	14,5
85	580	110	$6,5 \times 10^{-6}$	5,5	88	11,2
86	820	168	$9,0 \times 10^{-6}$	6,2	81	20,0
87	400	45	$14 \times 10^{-6}$	3,8	57	12,4
88	850	62	$3 \times 10^{-6}$	4,8	82	10,5
89	370	82	$5 \times 10^{-6}$	2,6	60	12,2
90	610	120	$5,2 \times 10^{-6}$	4,5	75	15,6
91	870	170	$8,5 \times 10^{-6}$	7,4	92	9,5
92	450	47	$8 \times 10^{-6}$	5,5	48	3,4
93	900	64	$4 \times 10^{-6}$	3,9	93	16,0
94	380	84	$5,5 \times 10^{-6}$	8,7	90	5,5
95	630	135	$9,5 \times 10^{-6}$	7,0	63	17,2
96	920	172	$6 \times 10^{-6}$	5,3	70	7,0
97	180	66	$2 \times 10^{-6}$	3,2	58	13,0
98	420	86	$4 \times 10^{-6}$	3,4	75	7,0
99	640	140	$5,7 \times 10^{-6}$	9,0	81	12,5
100	950	175	$10 \times 10^{-6}$	10,3	67	14,2

### 3. Примеры решения задач

#### Пример 3.1

Выбрать тип полупроводникового диода для однофазного мостового выпрямителя, изображенного на рис. 1.2. Определить напряжение  $U_2$  и коэффициент трансформации  $n$  трансформатора, если выпрямленный ток в приемнике с  $R_H = 500$  Ом составил  $I_{H,ср} = 0,25$  А, напряжение питающей сети  $U_1 = 127$  В. Принять прямое сопротивление диода  $R_{пр} = 0$ .

#### Решение

1. Выпрямленное среднее значение напряжения на нагрузке  

$$U_{H,ср} = R_H I_{H,ср} = 500 \cdot 0,25 = 125 \text{ В.}$$
2. Действующее значение напряжения на вторичной обмотке трансформатора

$$U_2 = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} U_{н.ср} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} 125 = 139,2\text{В.}$$

3. Коэффициент трансформации трансформатора

$$n = \frac{U_1}{U_2} = \frac{127}{139,2} = 0,9.$$

4. Значение максимального обратного напряжения диода

$$U_{обр.макс} = U_{2m} = \sqrt{2} \cdot U_2 = \frac{\pi}{2} U_{н.ср} = 196,25\text{В.}$$

5. Средний прямой ток каждого диода

$$I_{пр.ср.} = 0,5 I_{н.ср} = 0,5 \cdot 0,25 = 0,125\text{А.}$$

6. Максимальный прямой ток диода

$$I_{прмакс} = \frac{U_{2m}}{R_H} = \frac{196,25}{500} = 0,393\text{А.}$$

7. По справочнику [8] на основании выполненных расчетов выбираем диод Д229А с параметрами:

$$U_{обр.макс} = 200\text{В}, \quad I_{прмакс} = 0,4\text{А}.$$

### Пример 3.2

Определить коэффициенты усиления по напряжению  $K_U$ , по току  $K_I$ , по мощности  $K_P$ , а также выходное напряжение  $U_{вых}$ , входное и выходное сопротивления усилительного каскада, выполненного на биполярном транзисторе П 416 по схеме с общим эмиттером. Схема усилительного каскада представлена на рис. 1.7. Параметры транзистора:

$h_{11} = 650\text{Ом}$ ;  $h_{12} = 32 \cdot 10^{-3}$ ;  $h_{21} = 40$ ;  $h_{22} = 1,5 \cdot 10^{-4}\text{См}$ , сопротивления резисторов:  $R_{б} = 5\text{кОм}$ ;  $R_{к} = 3\text{кОм}$ ; входное напряжение  $U_{вх} = 0,1\text{В}$ . Сопротивление нагрузки принять равным  $R_H = \infty$ .

### Решение

1. Входное сопротивление усилительного каскада

$$R_{вх} = \frac{R_{б}}{R_{б} + h_{11}} = \frac{5 \cdot 10^3 \cdot 650}{5000 + 650} = 575,2\text{Ом.}$$

2. Выходное сопротивление усилителя

$$R_{вых} = \frac{R_{к}}{1 + h_{22} R_{к}} = \frac{3 \cdot 10^3}{1 + 1,5 \cdot 10^{-4} \cdot 3 \cdot 10^3} = 2,07\text{кОм.}$$

3. Коэффициент усиления по напряжению

$$K_U = \frac{h_{21} R_{к}}{h_{11} (1 + h_{22} R_{к})} = \frac{40 \cdot 3 \cdot 10^3}{650 (1 + 1,5 \cdot 10^{-4} \cdot 3 \cdot 10^3)} = 127,3.$$

4. Коэффициент усиления по току

$$K_I = \frac{h_{21}R_6}{(1+h_{22}R_K)(R_6+h_{11})} = \frac{40 \cdot 5 \cdot 10^3}{(1+1,5 \cdot 10^{-4} \cdot 3 \cdot 10^3)(5 \cdot 10^3 + 650)} = 24,4.$$

5. Коэффициент усиления по мощности

$$K_P = K_U K_I = 127,3 \cdot 24,4 = 3107$$

6. Выходное напряжение

$$U_{\text{ВЫХ}} = K_U U_{\text{ВХ}} = 127,3 \cdot 0,1 = 12,73 \text{ В.}$$

### Задача 11.2.3

В схеме, приведенной на рис. 11.12, определить логические величины на выходах  $Y_1, Y_2, Y_3$ , если значения входных величин заданы равными  $X_1 = 0; X_2 = 1; X_3 = 0; X_4 = 0; X_5 = 1$ .

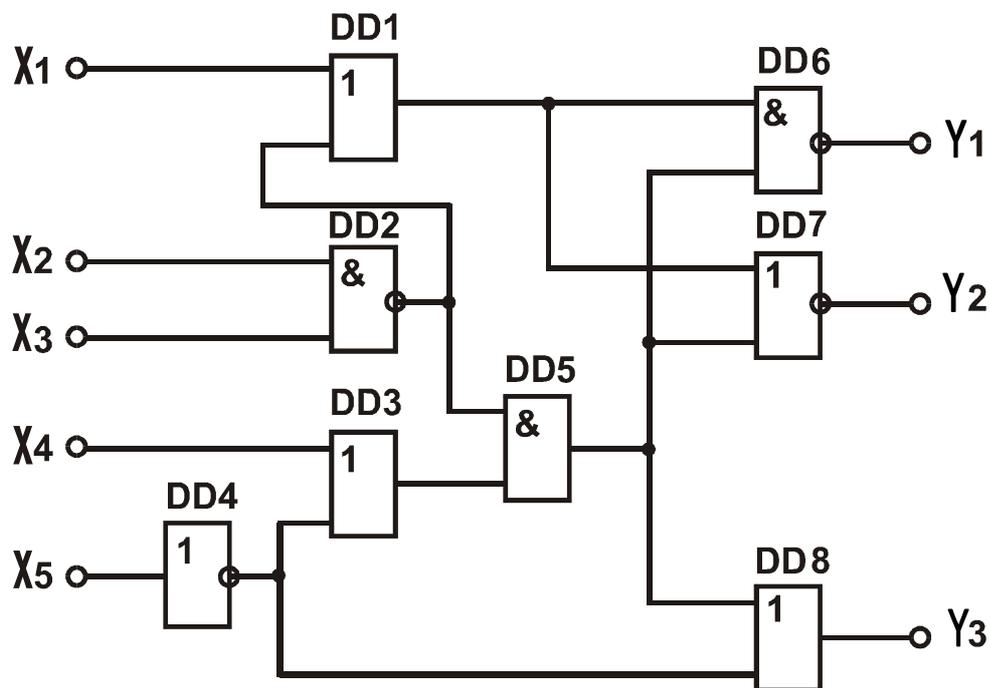


Рис. 11.12

### Решение

Схема, изображенная на рис. 11.12, включает 3 логических элемента **ИЛИ** ( $DD1$ ,  $DD3$  и  $DD8$ ); один логический элемент **И** ( $DD5$ ); один элемент логической операции **НЕ** ( $DD4$ ); один элемент **ИЛИ-НЕ** ( $DD7$ ), два элемента **И-НЕ** ( $DD2$  и  $DD6$ ).

Введем обозначение  $F_k$  для логической величины на выходе  $k$ -о логического элемента ( $k = \overline{1, 5}$  - принятый номер для обозначения логического элемента).

Приведенные на рис. 11.10 – 11.11 таблицы истинности позволяют определить по заданным входным величинам  $X_1 \div X_5$  выходные логические величины  $F_1 \div F_5$  и  $Y_1; Y_2; Y_3$ . Результаты решения приведены ниже в таблице результатов решений.

Результаты решений				
Номер элемента	Логическая операция	Входные величины		Выходные величины
<i>DD1</i>	<b>ИЛИ</b>	$X_1=0$	$F_2=1$	$F_1=1$
<i>DD2</i>	<b>И-НЕ</b>	$X_2=1$	$X_3=0$	$F_2=1$
<i>DD3</i>	<b>ИЛИ</b>	$X_4=0$	$F_4=0$	$F_3=0$
<i>DD4</i>	<b>НЕ</b>	$X_5=1$		$F_4=0$
<i>DD5</i>	<b>И</b>	$F_2=1$	$F_3=0$	$F_5=0$
<i>DD6</i>	<b>И-НЕ</b>	$F_1=1$	$F_5=0$	$Y_1=1$
<i>DD7</i>	<b>ИЛИ-НЕ</b>	$F_1=1$	$F_5=0$	$Y_2=0$
<i>DD8</i>	<b>ИЛИ</b>	$F_4=0$	$F_5=0$	$Y_3=0$

На основании выполненного решения по входным величинам  $X_1 \div X_5$  заданной схемы получены выходные логические величины  $Y_1=1; Y_2=0; Y_3=0$ .

## Список литературы

### Основная

1. Электротехника и электроника: В трех книгах, кн. 3: Электрические измерения и основы электроники. /Под ред. В.Г. Герасимова. М.: Энергоатомиздат, 1998.
2. Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника. М.: Высшая школа, 2000.
3. Основы промышленной электроники. /Под ред. В.Г. Герасимова. М.: Высшая школа, 1987.
4. Сборник задач по электротехнике и основам электроники. / Под ред. В.Г. Герасимова. М.: Высшая школа, 1987.
5. Рекус Г.Г., Белоусов А. И. Сборник задач и упражнений по электротехнике и основам электроники. М.: Высшая школа, 2001.

### Дополнительная

6. Жеребцов И.П. Основы электроники. Л.: Энергоатомиздат, 1989.
7. Забродин Ю.С. Промышленная электроника. М.: Высшая школа, 1982.
8. Федотов В.И. Основы электроники. М.: Высшая школа, 1990.
9. Полупроводниковые приборы. Диоды выпрямительные, стабилитроны, тиристоры.: Справочник/ Под ред. А. В. Голомедова. М.: КубК-а, 1994.
10. Диоды: Справочник. /О.П. Григорьев и др. М: Радио и связь, 1990.

## ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОНИКИ

Варианты задания, методические указания к выполнению индивидуального задания.

Составители: Нина Михайловна Малышенко  
Людмила Ивановна Аристова

Подписано к печати:

Формат 60×84/16. Бумага ксероксная.

Печать RISO. Усл. печ. л.                      Уч.-изд. л.

Тираж              экз. Заказ                      . Цена свободная.

Издательство ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.