

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

Контрольная работа содержит 6 задач. Номер варианта определяется последней цифрой шифра, за исключением задачи №2, где вариант определяется по двум последним цифрам шифра.

Задача 1. Статическая характеристика $R = f(\Theta)$ датчика температуры (термистора) изображена на рис. 1.1. (с. 32) настоящих методических указаний.

Требуется:

1. Изобразить графически статистическую характеристику датчика температуры $R_t = f(\Theta)$.

2. По зависимости $R_r = f(\Theta)$ в диапазоне согласно своему варианту (табл. 1.) определить все коэффициенты передачи, приняв в качестве номинальных средние значения диапазона.

3. Определить значения сопротивления датчика температура R_∞ при $\Theta \rightarrow \infty$, коэффициента B , характеризующего термочувствительность резистора.

4. Записать аналитическое выражение статической характеристики датчика $R_a = f(\Theta)$.

5. Для заданного диапазона (трех его точек) определить погрешности измерения, приняв за расчетные значения сопротивления термистора, определенные графически (R_r).

Таблица 1.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Диапазон температуры, °С	20...40	30...50	40...50	50...70	60...80	70...90	80...100	90...100	50...70	70...90

Задача 2. Дать определение, пояснить назначение, принцип действия, устройство, указать тип динамического звена, привести схему и примеры применения элементов САУ. Наименования элементов САУ приведены в таблице 2.

Таблица 2.

Вариант по двум последним цифрам шифра	Наименование элементов САУ	Литература
1	2	3
01; 26; 51; 76	Индуктивные и дифференциально-трансформаторные первичные измерительные преобразователи (ПИП) датчиков перемещений	Л-1, с. 51...55; 55...57 Л-10,
02; 27; 52; 77	Контактные и потенциометрические ПИП датчиков перемещений	Л-1, с. 51...55; 55...57
03; 28; 53; 78	Фотометрические ПИП датчиков перемещений. Датчики вращения с фотодиодами	Л-1, с. 51...55; 59...61
04; 29; 54; 79	Индукционные датчики вращения и датчики вращения с герконом. Датчики угла поворота	Л-1, с. 51...55; 61...63
05; 30; 55; 80	Датчики давления	Л-1, с. 51...55; 63...69 Л-10, с. 221...222
06; 31; 56; 81	Датчики веса	Л-1, с. 51...55; 69...71
07; 32; 57; 82	Датчики уровня жидкости	Л-1, с. 51...55; 71...73 Л-10, с. 222
08; 33; 58; 83	Датчики уровня сыпучих материалов	Л-1, с. 51...55; 73...75 Л-10, с. 222
09; 34; 59; 84	Датчики температуры контактные и дилатометрические	Л-1, с. 51...55; 75...78
10; 35; 60; 85	Датчики температуры манометрические	Л-1, с. 51...55; 78...79 Л-11, с. 37...39
11; 36; 61; 86	Датчики температуры термоэлектрические	Л-1, с. 51...55; 79...82 Л-10, с. 216...217
12; 37; 62; 87	Расходомеры с сужающим устройством и ротометрические расходомеры	Л-1, с. 51...55; 82...84 Л-10, с. 221 Л-11, с. 132...142
13; 38; 63; 88	Тахометрические, электромагнитные и ультразвуковые расходомеры	Л-1, с. 51...55; 84...86 Л-10, с. 221 Л-11, с. 186...197, 200...203
14; 39; 64; 89	Датчики влажности воздуха	Л-1, с. 51...55; 86...89 Л-10, с. 217...220
15; 40; 65; 90	Датчики относительной влажности твердых и сыпучих материалов	Л-1, с. 51...55; 89...90 Л-10, с. 220
16; 41; 66; 91	Датчики плотности жидких продуктов. Датчики концентрации растворов	Л-1, с. 51...55; 91
17; 42; 67; 92	Датчики концентрации водородных ионов (рН-метры)	Л-1, с. 51...55; 92...93 Л-11, с. 280

1	2	3
18; 43; 68; 93	Датчики состава газа	Л-1, с. 91...
19; 44; 69; 94	Электрические и электронные тахометры	Л-11, с. 336...340
20; 45; 70; 95	Датчики-реле контроля пламени	Л-11, с. 471...477
21; 46; 71; 96	Электрические исполнительные механизмы типа МЭО, МЭМ	Л-1, с. 125...126 Л-10, с. 222...223 Л-11, с. 716...725
22; 47; 72; 97	Электромагнитные исполнительные механизмы	Л-1, с. 125; 127...130
23; 48; 73; 98	Электронные регуляторы температуры типов ТМ и ТЭ	Л-1, с. 131...137 Л-11, с. 483, 487...488
24; 49; 74; 99	Электронные регуляторы температуры типа РТ	Л-1, с. 131...137 Л-10, с. 222 Л-11, с. 483, 488...489
25; 50; 75; 00	Программируемый микропроцессорный контроллер (ремиконт)	Л-11, с. 528...533

Задача 3. По заданной структурной формуле контактной схемы начертить соответствующую ей схему включения реле Р и, преобразовав ее, найти эквивалентную упрощенную. Начертить схему, соответствующую упрощенной формуле. Структурную формулу для своего варианта взять из таблицы 3.

Таблица 3.

Вариант	Структурная формула контактной схемы
1	$F = [(a + b) \cdot (a + c) \cdot (b + c) + a\bar{c}] \cdot P$
2	$F = (a\bar{b}c + a\bar{b}c + a\bar{b}c + a\bar{b}c) \cdot P$
3	$F = [a\bar{b} + c + (a + b)c + da] \cdot P$
4	$F = [(a + b + c)(a\bar{b} + a\bar{c}) + a\bar{b}] \cdot P$
5	$F = [(a + b + c + d)(\bar{a} + \bar{b} + c + d)] \cdot P$
6	$F = (a\bar{b}c + a\bar{b}c + a\bar{b}c + a\bar{b}c) \cdot P$
7	$F = [(a + bc)(b + \bar{c})] \cdot P$
8	$F = [(\bar{a} + b + c)bc + bd] \cdot P$
9	$F = [(\bar{a} + b + c)bc + bd] \cdot P$
0	$F = [(a\bar{b} + a\bar{b} + a\bar{b})bc + d(\bar{c} + b)] \cdot P$

Задача 4. Составить схему на логических элементах, эквивалентную по своему действию упрощенной контактной, полученной в задаче 3 согласно своему варианту для двух случаев: на логических элементах базиса «и», «или», «не» и базиса «и-не».

Для каждого случая составить таблицы истинности.

Задача 5. По заданному характеристическому уравнению определить устойчивость системы автоматического управления (САУ) по двум критериям: Гурвица и Михайлова. Характеристические уравнения САУ по вариантам представлены в таблице 5.

Таблица 5.

Вариант	Характеристическое уравнение САУ
1	$5p^3 + 2p^2 + 5p + 4 = 0$
2	$10p^3 + 2p^2 + 4p + 7 = 0$
3	$0,001p^3 + 0,25p^2 + 1,8p + 245 = 0$
4	$3p^4 + 7p^3 + 4p^2 + 2p + 1 = 0$
5	$2p^4 + 5p^3 + 10p^2 + p + 4 = 0$
6	$5p^3 + 2p^2 - 3p + 1 = 0$
7	$p^3 + p^2 + 2p + 1 = 0$
8	$3p^3 + 2p^2 + p + 1 = 0$
9	$4p^3 + 3p + 1 = 0$
0	$p^3 + 10p^2 + p + 2 = 0$

Задача 6. Для электрической схемы управления объектом заданная вероятность безотказной работы $P_3(t)$. Срок нормальной эксплуатации t (час). Коэффициент, учитывающий влияние окружающей среды для стационарных установок в сельском хозяйстве, $k = 10$. Требуется определить действительную вероятность безотказной работы. Данные для решения задачи для своего варианта даны в таблице 6.

Таблица 6.

Вариант	Наименование объекта	Номер рисунка	Заданная вероятность безотказной работы, $P_3(t)$	Срок нормальной эксплуатации, t час
0	Защита УВТЗ-1М	6.0	0,96	10000
1	Устройство РУД-05-УЗ	6.1	0,96	10000
2	Схема пуска АД	6.2	0,95	1500
3	Водонапорная башня	6.3	0,5	3000
4	Двухагрегатная насосная установка	6.4	0,5	3000
5	Станция управления «Климатика-1»	6.5	0,95	10000
6	Поточная линия приготовления корнеклубнеплодов	6.6	0,5	1500
7	Подача пиломатериала	6.7	0,7	3000
8	Бункер активного вентилирования	6.8	0,7	1500
9	Ультразвуковой генератор	6.9	0,96	10000

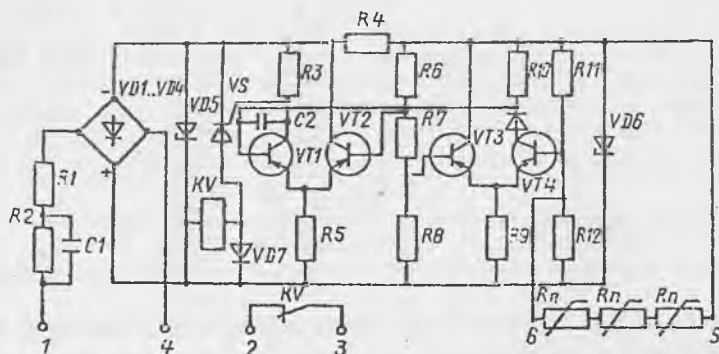


Рис. 6.0. Принципиальная электрическая схема универсальной встроенной температурной защиты УВТЗ-1М

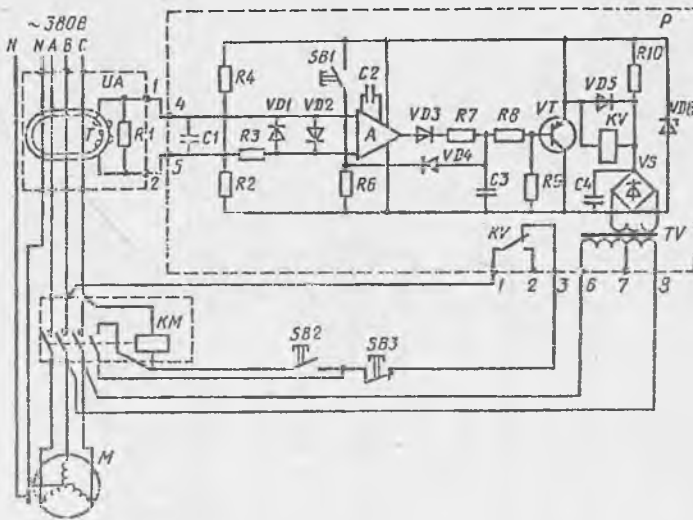


Рис.6.1. Электрическая принципиальная схема защитно-отключающего устройства РУД-05-У3 и его подключения:

UA—датчик тока; *T*—дифференциальный трансформатор; *P*—усилительный блок; *KM*—электромагнитный пускатель; *M*—электродвигатель.

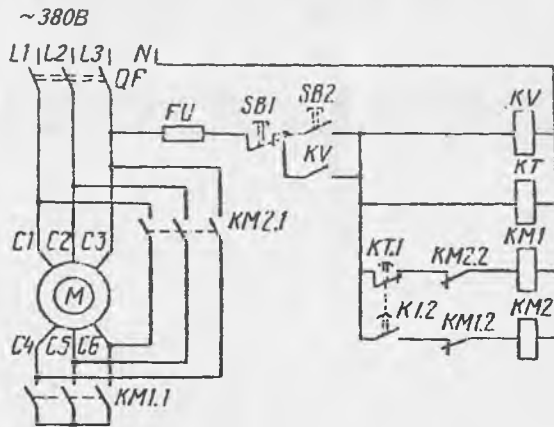


Рис.6.2. Электрическая принципиальная схема пуска электродвигателя с переключением со звезды на треугольник по принципу времени.

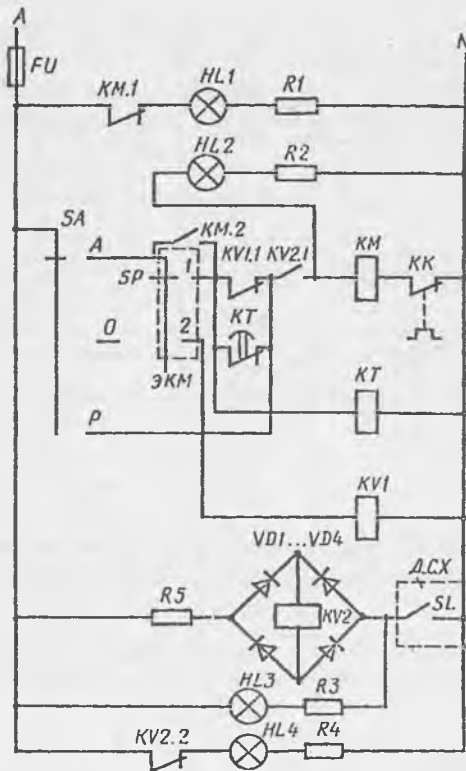


Рис. 6.3. Электрическая схема автоматизации погружного насоса по давлению при работе с водонапорной башней.

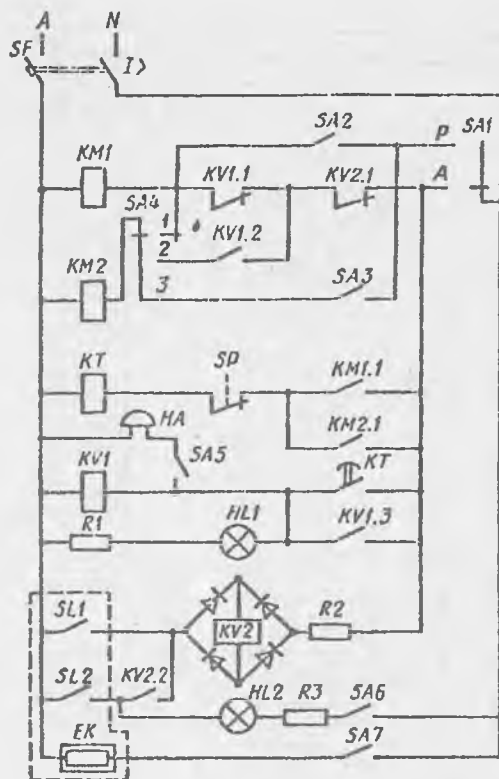


Рис. 6.4. Электрическая схема автоматизации двухагрегатной насосной установки.

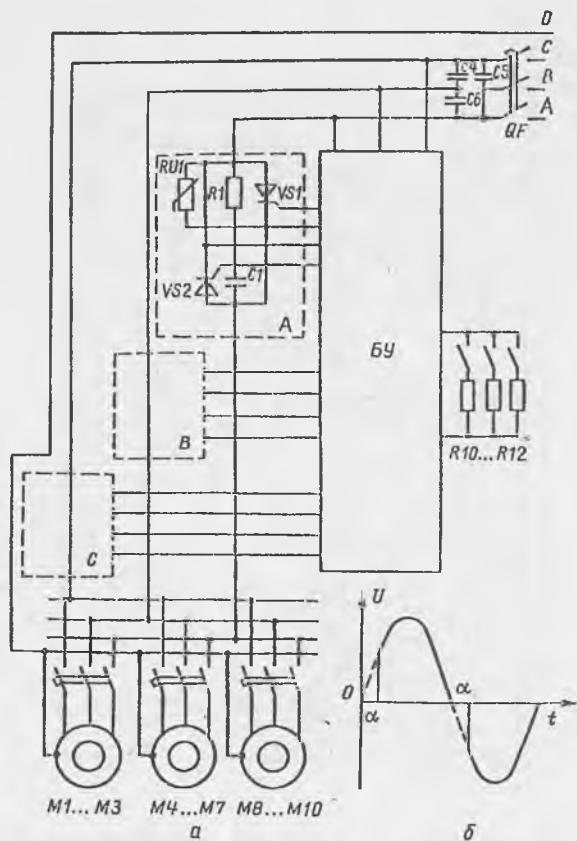


Рис.6.5. Электрическая схема станции управления «Климатика-1».

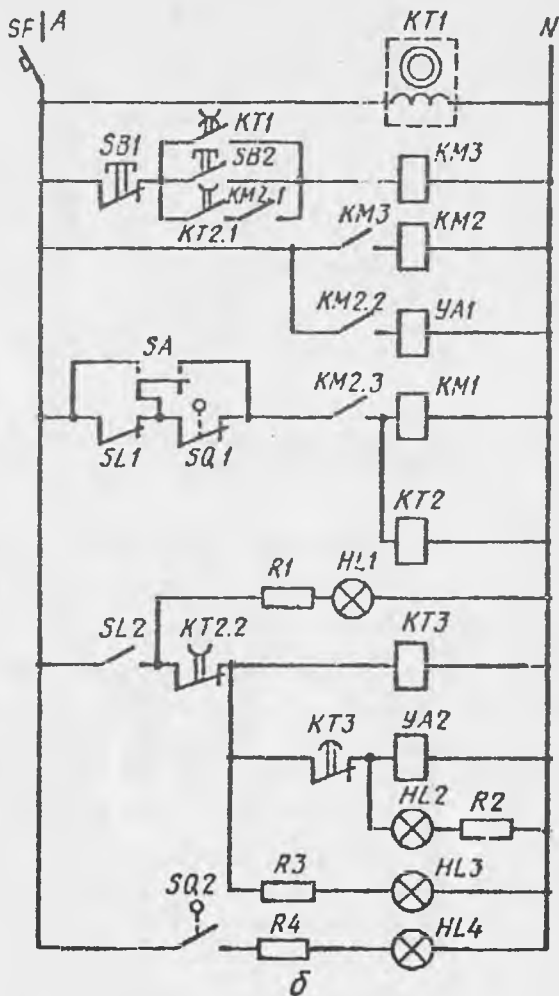


Рис. 6.6. Электрическая схема автоматизации приготовления клубнеплодов.

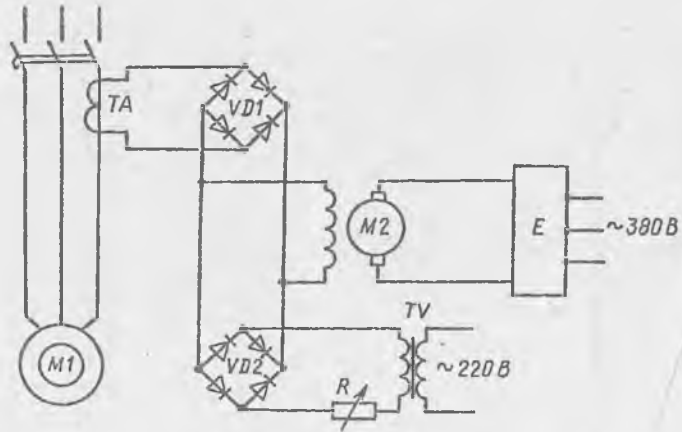


Рис.6.7. Электрическая схема автоматизированного управления подачей пилорамы.

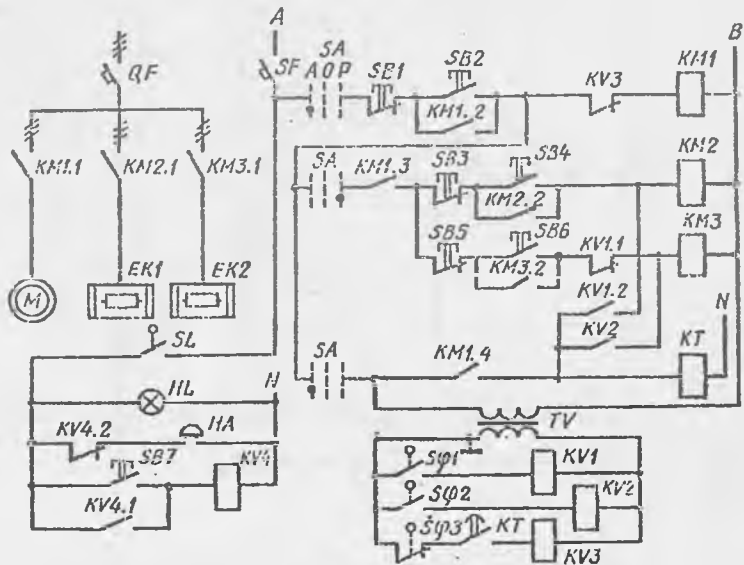


Рис.6.8. Принципиальная электрическая схема управления бункером активного вентиляции.

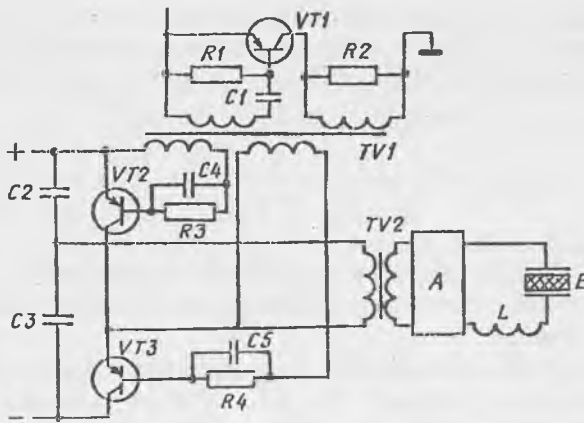


Рис.6.9. Принципиальная электрическая схема ультразвукового генератора на транзисторах.

Методические указания к выполнению контрольной работы

Задача 1 относится к рассмотрению статических характеристик элементов автоматики и определению их параметров.

Статическая характеристика элемента автоматики – это зависимость выходного сигнала y от входного x в установившемся режиме работы, т.е. $y=f(x)$. Статические характеристики могут быть представлены графически, аналитически или в виде таблиц.

Параметры статических характеристик:

1. Статический коэффициент передачи – это отношение выходной величины y к входной величине x . Он численно равен отношению их значений, например y_1 к x_1 или тангенсу угла наклона статической характеристики, т.е. $k_c = y_1/x_1 = \text{tga}$. (см. Л-1, с. 20, рис. 1.7.)

2. Динамический коэффициент передачи – это отношение дифференциала выходного сигнала dy к дифференциалу входного сигнала dx , он приблизительно равен отношению приращений Δy к Δx или тангенсу угла наклона на прямой, проходящей через точки графика с координатами y_1, x_1 и y_2, x_2 (см. рис. 1.7б, Л-1, с. 20), т.е.

$$K_d = \frac{dy}{dx} = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \text{tg}\beta.$$

3. Относительный коэффициент передачи – это отношение выходной величины к входной, представленное в относительных единицах измерения (см. рис. 1.7в, Л-1, с.20)

$$y^* = \frac{dy}{y_N} \approx \frac{\Delta y}{y_N}, \quad x^* = \frac{dx}{x_N} \approx \frac{\Delta x}{x_N};$$

$$K^* = \frac{y^*}{x^*} = \frac{dy x_N}{dx y_N} \approx \frac{\Delta y x_N}{\Delta x y_N},$$

где x_N, y_N – номинальные значения величин (параметров)

Нелинейные статические характеристики линеаризуют графически или аналитически.

При графической линеаризации нелинейную характеристику 1 заменяют на секущую 2 (см. рис. 1.7б, Л-1, с. 20) или касательную 2 (см. рис. 1.7в) к выбранной точке линеаризации (например, с параметрами x_N, y_N).

4. Абсолютная погрешность элемента – это отклонение полученного выходного параметра y_l от его расчетного (номинального) значения y_N (см. рис. 1.7г).

$$\delta_y = y_l - y_N$$

5. Относительная погрешность – это отношение δ_y к значению выходного сигнала y_l , выраженное в относительных единицах или процентах:

$$\lambda = \delta_y / y_l.$$

6. Приведенная погрешность – это отношение δ_y к нормирующему (максимальному) значению y_N или диапазону изменения выходного сигнала Δy_N , выраженное в относительных единицах или процентах:

$$\gamma = \delta_y / y_N, \quad \text{или} \quad \gamma = \delta_y / \Delta y_N,$$

Пример 1. Экспериментально были получены точки статической характеристики $R = f(\Theta)$ датчика температуры (термистора) с координатами, указанными в таблице 1.1.

Таблица 1.1.

Измеряемая величина	№ измерения				
	1	2	3	4	5
Температура теплоносителя, Θ , °С	20	40	60	80	100
Соппротивление датчика температуры, R_T , кОм	3,0	1,62	0,98	0,65	0,41

Требуется:

1. Изобразить графически статическую характеристику датчика температуры $R_T = f(\Theta)$.

2. В диапазоне $\Theta_2 = 60^\circ\text{C}$ и $\Theta_1 = 40^\circ\text{C}$ определить все коэффициенты передачи, приняв в качестве номинальных средние значения диапазона.

3. Определить значения сопротивления датчика температуры R_∞ при $\Theta \rightarrow \infty$ и коэффициента B , характеризующего термочувствительность резистора.

4. Записать аналитическое выражение статической характеристики датчика $R = f(\Theta)$.

5. Для заданного диапазона определить погрешности измерения, приняв за расчетные значения сопротивления термистора, определенные графически (R_r) и аналитически (R_a).

Решение:

1. По данным таблицы 1 строим статическую характеристику $R_r = f(\Theta)$, приняв масштабы

$$m_\Theta = 1 \text{ град}/1 \text{ мм}$$

$$m_{R_r} = 1 \text{ кОм}/20 \text{ мм}$$

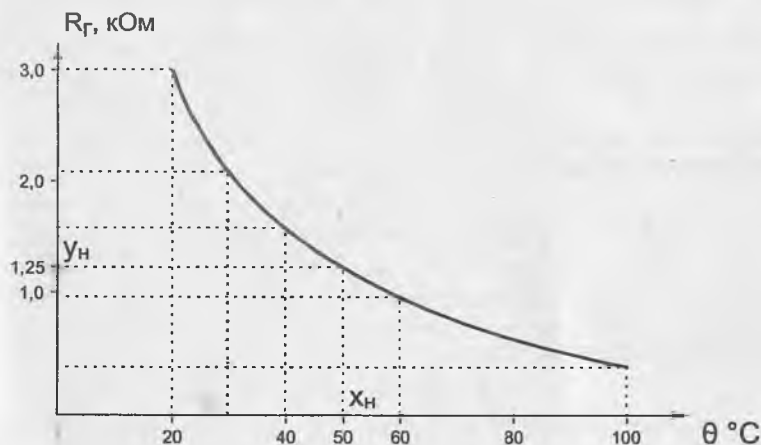


Рис. 1.1. Статическая характеристика датчика температуры.

2. В заданном диапазоне $\Theta_2 = 60^\circ\text{C}$ и $\Theta_1 = 40^\circ\text{C}$ определяем по статической характеристике $R_r = f(\Theta)$ значения R_{T_2} при $\Theta_2 = 60^\circ\text{C}$ и R_{T_1} при $\Theta_1 = 40^\circ\text{C}$

$$R_{T_2} = 0,98 \text{ кОм}, R_{T_1} = 1,62 \text{ кОм}.$$

Параметры статической характеристики:

Статический коэффициент передачи не имеет физического смысла, т.к. он присущ только для линейных характеристик, проходящих через начало координат.

Динамический коэффициент передачи

$$K_d \approx \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{R_{T2} - R_{T1}}{\Theta_2 - \Theta_1} = \frac{0,98 - 1,62}{60 - 40} = -3,2 \cdot 10^{-2} \text{ кОм}/^\circ\text{С}.$$

Относительный коэффициент передачи

$$K^* = \frac{\Delta y}{\Delta x} \frac{x_H}{y_H} = \frac{R_{T2} - R_{T1}}{\Theta_2 - \Theta_1} \cdot \frac{x_H}{y_H} = \frac{-0,64}{20} \cdot \frac{50}{1,3} = -1,23,$$

где $x_H = \frac{\Theta_1 + \Theta_2}{2} = \frac{40 + 60}{2} = 50$ °С – среднее значение температуры Θ_{cp} ,

$y_H = \frac{R_{T2} + R_{T1}}{2} = \frac{0,98 + 1,62}{2} = 1,3$ кОм – среднее значение сопротивления датчика $R_{T,cp}$

3. Для определения значения сопротивления датчика температуры R_∞ при $\Theta \rightarrow \infty$ и коэффициента В составим и решим систему уравнений

$$\begin{cases} R_{T1} = R_\infty \cdot e^{\frac{B}{\Theta_1 + 273}} \\ R_{T2} = R_\infty \cdot e^{\frac{B}{\Theta_2 + 273}} \end{cases}$$

Подставив известные значения R_T и Θ , имеем

$$\begin{cases} 1,62 = R_\infty \cdot e^{\frac{B}{40 + 273}} & (1) \\ 0,98 = R_\infty \cdot e^{\frac{B}{60 + 273}} & (2) \end{cases}$$

Поделив (1) на (2), получим:

$$1,65 = 1 \cdot e^{\frac{B}{313} - \frac{B}{333}} = e^{0,19 \cdot 10^{-3} B} \quad (3)$$

Прологарифмируем (3):

$$\ln 1,65 = 0,19 \cdot 10^{-3} B \cdot \ln e$$

$$0,502 = 0,19 \cdot 10^{-3} B \cdot 1$$

отсюда $B = 0,502 / 0,19 \cdot 10^{-3} = 2650$ °С,

$$\text{из (2) } R_\infty = \frac{R_{T2}}{e^{\frac{B}{\Theta_2 + 273}}} = \frac{0,98}{e^{\frac{2650}{333}}} = \frac{0,98}{e^{7,96}} = \frac{0,98}{2864} = 3,42 \cdot 10^{-4} \text{ кОм}.$$

4. Запишем аналитическое выражение статической характеристики датчика

$$R_a = f(\Theta) \text{ при } R_\infty = 3,42 \cdot 10^{-4} \text{ кОм, и } B = 2650^\circ\text{C}$$

$$R_a = R_\infty \cdot e^{\frac{B}{\Theta+273}} = 3,42 \cdot 10^{-4} \cdot e^{\frac{2650}{\Theta+273}}$$

5. Определим погрешности измерения:

5.1. абсолютная

$$\delta_y = y_1 - y_n = 1,62 - 1,25 = 0,37,$$

где $y_n = 1,25$; $x_n = 50^\circ\text{C}$ по статической характеристике датчика;

5.2. относительная

$$\lambda = \delta_y / y_1 = 0,37 / 1,62 = 0,23;$$

5.3. приведенная

$$\gamma = \delta_y / y_N = 0,37 / 3,0 = 0,123,$$

где y_N – нормирующее (максимальное) значение выходной величины.

Задача 2 относится к рассмотрению систем управления, назначения, принципа действия, устройства, схемы, примеров применения и динамических свойств элементов САУ.

Уравнения элементов САУ обуславливаются их физической природой и составляются на основании законов механики, электротехники, термо- и гидродинамики и т. п.

Для удобства исследования САУ установлены типовые возмущающее $\Delta x = f(t)$ и управляющее $\Delta x = g(t)$ воздействия.

Типовые воздействия на элементы автоматики различной физической природы позволяют описать переходные процессы одними и теми же дифференциальными уравнениями, что позволяет отразить типизацию элементов по виду этого уравнения.

Уравнения принято записывать в операторной форме, вводя оператор

$$p = \frac{d}{dt}.$$

Из уравнения в операторной форме находят передаточную функцию

$$W(p) = \frac{y(p)}{x(p)}.$$

По виду передаточной функции выделяют шесть простейших типовых позиционных звеньев:

1. Безынерционное (пропорциональное).

Его выходная величина $y(t)$, рис. 2.1а, изменяется прямо пропорционально входной величине $x(t = 1)$.

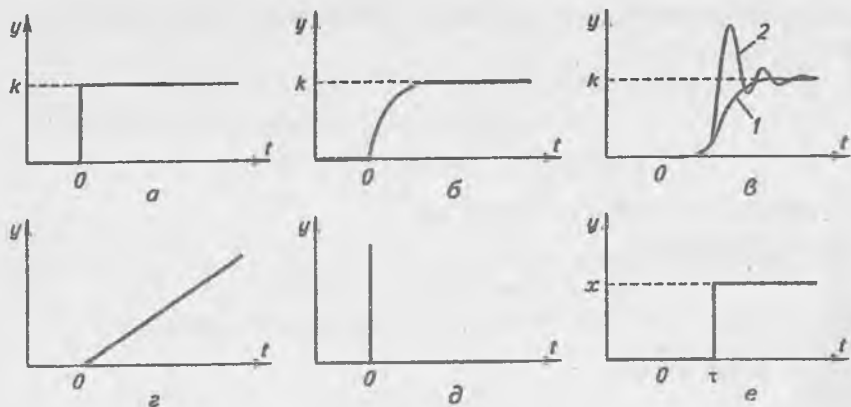


Рис. 2.1 Переходные характеристики типовых звеньев:

- a* – пропорционального; *б* – аperiodического первого порядка; *в* – аperiodического второго порядка (1) и колебательного (2); *г* – идеального интегрирующего; *д* – идеального дифференцирующего; *е* – звена транспортного запаздывания

Передаточная функция звена

$$W(p) = k,$$

где k – передаточный коэффициент звена.

Частотная характеристика $W(\omega) = k$;

Амплитудная – $k(\omega) = k$;

Фазовая – $\varphi(\omega) = 0$.

Примеры пропорциональных звеньев: манометрическая пружина, рычаг, зубчатый редуктор, усилитель постоянного тока, потенциометр и др.

2.1. Аperiodическое звено первого порядка (инерционное)

Его динамическая характеристика представлена на рис. 2.1б.

Передаточная функция – $W(p) = \frac{k}{Tp+1}$.

Частотные характеристики:

амплитудная – $K(\omega) = \frac{k}{\sqrt{1+T^2\omega^2}}$;

фазовая – $\varphi(\omega) = -\arctg \omega T$;

амплитудно-фазовая – $W(j\omega) = \frac{k}{Tj\omega+1}$.

Примеры инерционных звеньев: емкость с самовыравниванием, контактный теплообменник, термopара, контуры цепей RC и RL, электрический генератор, электродвигатели, магнитные и электромагнитные усилители и другие устройства, в которых переходной процесс завершается не мгновенно, а в течение определенного времени $t = (3...4)T$, где T – постоянная времени, характеризующая инерционность процесса.

2.2. Колебательное и апериодическое звено второго порядка

Их динамические характеристики представлены на рис. 2.1в зависимостями 1 (в апериодических звеньях второго порядка) и 2 (в колебательных звеньях).

$$\text{передаточная функция} - W(p) = \frac{k}{T_2^2 p^2 + T_1 p + 1}.$$

Частотные характеристики:

$$\text{амплитудная} - K(\omega) = \frac{k}{\sqrt{(1 - T_2^2 \omega^2)^2 + T_1^2 \omega^2}};$$

$$\text{фазовая} - \varphi(\omega) = - \arctg \frac{\omega T_1}{1 - \omega^2 T_2^2};$$

$$\text{амплитудно-фазовая} - W(j\omega) = \frac{k}{1 - T_2^2 \omega^2 + T_1 j\omega}.$$

Примеры колебательных звеньев: упругая механическая система; система, состоящая из двух сообщающихся сосудов; пневматический (мембранный) исполнительный механизм, электрический RLC-контур, двигатель постоянного тока с независимым возбуждением.

Примеры апериодических звеньев второго порядка: нагревательные и охладительные установки, отопительные печи, сушилки, теплицы, животноводческие помещения, птичники.

3. Идеальное дифференцирующее звено

Его динамическая характеристика представлена на рис. 2.1д. У этого звена выходная величина пропорциональна скорости изменения выходной величины, т.е. $y = T dx/dt$,

$$\text{передаточная функция} - W(p) = kp.$$

Характеристики:

$$\text{амплитудно-фазовая} - W(j\omega) = kj\omega;$$

$$\text{амплитудная} - k(\omega) = k\omega;$$

$$\text{фазовая} - \varphi(\omega) = \pi/2.$$

Примеры дифференцирующих звеньев: тахогенератор (т.к. вырабатываемое им напряжение пропорционально скорости вращения якоря, которая является производной по времени от угла поворота якоря); электрический конденсатор С (если за входную величину принять напряжение, подаваемое на конденсатор, а за выходную – ток в его цепи); индуктивность L (если за входную величину принять ток в цепи катушки, а за выходную – напряжение на ней),

4. Реальное дифференцирующее звено:

$$\text{передаточная функция } W(p) = \frac{kTp}{Tp + 1}.$$

Характеристики:

$$\text{амплитудно-фазовая} - W(j\omega) = \frac{kTj\omega}{Tj\omega + 1};$$

$$\text{амплитудная} - K(\omega) = \frac{T\omega}{\sqrt{1 + T^2\omega^2}};$$

$$\text{фазовая} - \varphi(\omega) = \arctg T\omega.$$

5. Интегрирующее звено

Его динамическая характеристика представлена на рис. 2.1г. У этого звена выходная величина пропорциональна интегралу по времени входной величине, т.е. скорость изменения выходной величины пропорциональна входной величине

$$T \frac{dy}{dx} = K \cdot x,$$

где T – постоянная времени звена:

K – коэффициент передачи,

$$\text{передаточная функция} - W(p) = \frac{1}{Tp}.$$

Частотные характеристики:

$$\text{амплитудно-фазовая} - W(j\omega) = \frac{1}{Tj\omega};$$

$$\text{амплитудная} - k(\omega) = 1/T\omega;$$

$$\text{фазовая} - \varphi(\omega) = -\pi/2.$$

Примеры интегрирующего звена: емкость без самовыравнивания; паровой котел; электрический конденсатор (если за входную величину принять ток в цепи, а за выходную – напряжение на конденсаторе).

6. Запоздывающее звено

Его динамическая характеристика представлена на рис. 2.1е. Это звено, в котором выходная величина воспроизводит без искажения входную величину, но с отставанием по времени τ , называемого временем транспортного запаздывания,

$$\text{передаточная функция} - W(p) = k \cdot e^{-p\tau}.$$

Частотные характеристики:

$$\text{амплитудно-фазовая} - W(j\omega) = k \cdot e^{-j\omega\tau};$$

$$\text{амплитудная} - k(\omega) = k;$$

$$\text{фазовая} - \varphi(\omega) = -\omega\tau.$$

Примеры звена запаздывания: транспортеры, трубопроводы и др.

Задача 3 относится к разделу анализа и синтеза релейно-контактных схем. В основу аналитической формы записи релейных схем положены следующие обозначения:

A, B, ... X, Y ... – воспринимающие, промежуточные и исполнительные элементы (обычно их рабочие обмотки);

a, b, ... x, y, ... – замыкающие контакты;

$\bar{a}, \bar{b}, \dots \bar{x}, \bar{y}, \dots$ – размыкающие контакты;

a + b – параллельные соединения контактов;

a · b – последовательное соединение контактов;

1 – постоянно замкнутая цепь;

0 – постоянно разомкнутая цепь;

f – структурная формула контактов;

F – структурная формула всей схемы.

При анализе и упрощении структурных формул одноконтурных релейных устройств пользуются следствиями законов алгебры логики, основные из которых таковы:

$$a \cdot 1 = a,$$

$$a \cdot 0 = 0,$$

$$a \cdot a \cdot a = a,$$

$$a + a \cdot b = a(1 + b) = a,$$

$$a + \bar{a} \cdot b = a + b,$$

$$a + \bar{a} = 1,$$

$$a + 1 = 1,$$

$$a + 0 = a,$$

$$a + a + a = a,$$

$$a \cdot (a + b) = a,$$

$$\bar{a} + a \cdot \bar{b} = \bar{a} + \bar{b},$$

$$\bar{a} \bar{a} = 0; \quad \bar{a} + a \cdot b = \bar{a} + b,$$

В дополнение к приведенным следствиям пользуются следующими теоремами.

Теорема 1. Если имеется схема соединения параллельно с замыкающим контактом x , то все контакты \bar{x} , имеющиеся в схеме, можно заменить нулями, а контакты \bar{x} – единицами.

$$F = x + f(x, \bar{x}, y, \dots, W) = x + f(0, 1, y, \dots, W).$$

Если схема соединена параллельно с размыкающим контактом \bar{x} , то все контакты x , имеющиеся в схеме, можно заменить нулями, а контакты x – единицами.

$$F = \bar{x} + f(x, \bar{x}, y, \dots, W) = \bar{x} + f(1, 0, y, \dots, W).$$

Пример 3.1. Упростить структурную формулу

$$F = x + a[(x c + a) b + \bar{x} a b(c + b)].$$

Решение. 1. Применяем теорему 1:

$$F = x + a [(0 \cdot c + a) b + 1 \cdot a \cdot b(c + b)].$$

2. Производим дальнейшие упрощения.

Так как $0 \cdot c = 0$, $1 \cdot ab = ab$, то

$$F = x + a [a b + a b(c + b)].$$

Вынесем за скобки общий множитель ab :

$$F = x + a a b [1 + (c + b)].$$

Но $1 + (c + b) = 1$, $a a b = a b$. Поэтому

$$F = x + a b.$$

В результате упрощения получили схему, состоящую из трех контактов вместо одиннадцати.

Как видно, исходная схема имела «лишние» контакты и «лишний» релейный элемент c , который не влиял на работу схемы. Вычертив схемы, соответствующие исходной и упрощенной структуре, легко убедиться, что исполнительный элемент F получит питания только при условии замыкания контакта x или одновременного замыкания контактов a и b .

Теорема 2. Если какая-нибудь схема включена последовательно с замыкающим контактом x , то все контакты \bar{x} , имеющиеся в схеме, можно заменить единицами, а контакты \bar{x} – нулями.

$$F = x \cdot f(x, \bar{x}, y, \dots, W) = x \cdot f(1, 0, y, \dots, W).$$

Если схема соединена последовательно с контактом \bar{x} , то все контакты x , имеющиеся в схеме, можно заменить нулями, а контакты x – единицами.

$$F = \bar{x} \cdot f(x, \bar{x}, y, \dots, W) = \bar{x} \cdot f(1, 0, y, \dots, W).$$

Пример 3.2. Упростить структурную формулу

$$F = \bar{x} \cdot [(xc + a)b + \bar{x}a(a + b)].$$

Решение. 1. Применяем теорему 2.

$$\begin{aligned} F &= \bar{x} \cdot [(xc + a)b + \bar{x}a(a + b)] = \\ &= \bar{x} \cdot [(0 \cdot c + a)b + 1 \cdot a(a + b)] = \\ &= \bar{x} \cdot [ab + a(a + b)] = \bar{x}a(b + a + b); \\ F &= \bar{x}a \end{aligned}$$

Таким образом, схема способна выполнять те же функции при наличии двух контактов.

Для решения задачи 3 полезно разобрать примеры 11, 12 и 13, приведенные в Л-4, с. 22...24; Л-1, пример 4, с. 107.

Задача 4 рассматривает построение систем автоматизации с применением бесконтактных логических элементов путем перевода релейных (контактных) схем на бесконтактные.

Для решения этой задачи внимательно проработайте учебный материал в Л-1 на с. 101...113; Л-4, с. 129...137; 145...146 и разберите примеры на с. 146...148.

Пример 4.1. Требуется преобразовать релейную контактную схему в бесконтактную. В задаче 2 получена структурная формула:

$$F = \bar{a}b + c,$$

ей соответствует контактная схема.

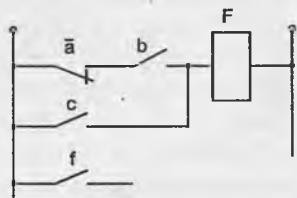


Рис. 4.1.

Выделим сигналы:

Входные: \bar{a} , b , c ; выходные – f ;

Промежуточных нет.

Этой структурной схеме соответствует бесконтактная схема из двух логических элементов: «запрет» и одного элемента ИЛИ, соответствующего сложению.

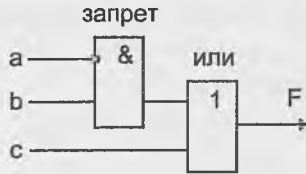


Рис. 4.2

Возможен и второй вариант выполнения схемы из трех логических элементов: НЕ, соответствующего черточке над элементом а; одного И, соответствующего умножению; одного элемента ИЛИ, соответствующего сложению:

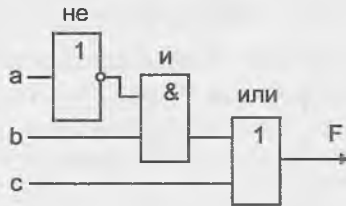


Рис. 4.3

Задача 5 относится к исследованию устойчивости линейных систем автоматического управления (САУ) по алгебраическим и частотным критериям. Алгебраические критерии применяют для исследования систем, процессы в которых описываются уравнениями не выше пятого – шестого порядка, а частотные критерии (графоаналитические) – для исследования систем, характеризующихся уравнениями любого порядка. Из алгебраических критериев наибольшее практическое применение получили критерии Рауса и Гурвица.

Критерий Гурвица представляет собой последовательность математических операций, осуществляемых при решении задачи, и является простым методом анализа характеристического уравнения системы.

$$G(p) = a_0 \cdot p^n + a_1 \cdot p^{n-1} + \dots + a_{n-1} \cdot p + a_n = 0$$

В практических расчетах устойчивость систем определяют по критерию устойчивости Гурвица.

Для устойчивых систем характеристические уравнения первого и второго порядка должны иметь положительные коэффициенты:

$$a_0 > 0; a_1 > 0 \text{ и } a_2 > 0.$$

Применительно к уравнениям более высоких порядков, кроме положительных значений коэффициентов $a_0 > 0$; $a_1 > 0$; ... $a_{n-1} > 0$ и $a_n > 0$, необходимо соблюдение следующих соотношений:

для уравнения $G(p) = a_0 p^3 + a_1 p^2 + a_2 p + a_3 = 0$
условие устойчивости

$$\Delta_2 = a_1 \cdot a_2 - a_0 \cdot a_3 > 0;$$

для уравнения $G(p) = a_0 p^4 + a_1 p^3 + a_2 p^2 + a_3 p + a_4 = 0$
условие устойчивости

$$\Delta_3 = a_3 (a_1 \cdot a_2 - a_0 \cdot a_3) - a_4 \cdot a_1^2 > 0.$$

Пример 5.1. Определить по критерию Гурвица, устойчива ли система с характеристическим уравнением

$$a_0 p^3 + a_1 p^2 + a_2 p + a_3 = 0,$$

коэффициенты которого

$$a_0 = 1; a_1 = 1,48; a_2 = 4,6; a_3 = 4.$$

Решение:

1. При заданных коэффициентах уравнение имеет вид:

$$p^3 + 1,48p^2 + 4,6p + 4 = 0.$$

Коэффициенты данного уравнения

$$a_0 = 1 > 0; a_1 = 1,48 > 0; a_2 = 4,6 > 0; a_3 = 4 > 0.$$

2. Вычисляя определители, получим:

$$\Delta_1 = a_1 = 1,48 > 0$$

$$\Delta_2 = a_1 \cdot a_2 - a_0 \cdot a_3 = 1,48 \cdot 4,6 - 1 \cdot 4 = 6,8 - 4 = 2,8 > 0.$$

3. Так как все коэффициенты и определители положительны, то данная система устойчива.

Пример 5.2. Определить по критерию Гурвица, устойчива ли система с характеристическим уравнением

$$p^4 + 16p^3 + 32p^2 + 10p + 5 = 0.$$

Решение:

1. Коэффициенты данного уравнения

$$a_0 = 1 > 0; a_1 = 16 > 0; a_2 = 32 > 0; a_3 = 10 > 0; a_4 = 5 > 0 - \text{положительны.}$$

2. Вычисляя определители, получим:

$$\Delta_1 = a_1 = 16 > 0$$

$$\Delta_2 = a_1 \cdot a_2 - a_0 \cdot a_3 = 16 \cdot 32 - 1 \cdot 10 = 512 - 10 = 502 > 0.$$

$$\Delta_3 = a_3(a_1 \cdot a_2 - a_0 \cdot a_3) - a_4 \cdot a_1^2 = 10 \cdot 502 - 5 \cdot 16^2 = 5020 - 1280 = 3740 > 0.$$

3. Так как все коэффициенты и определители положительны, то данная система устойчива.

Критерий Михайлова относится к графоаналитическим. Характеристическое уравнение любой степени можно представить в виде комплексного полинома

$$W(j\omega) = p(\omega) + jQ(\omega),$$

где $W(j\omega)$ – вектор, амплитуда и фаза которого являются функциями частоты ω . По критерию Михайлова для устойчивости системы необходимо и достаточно, чтобы при изменении угловой частоты ω от 0 до ∞ годограф, описываемый концом вектора $W(j\omega)$ на плоскости комплексного переменного, начинался на вещественной положительной полуоси $p(\omega)$ и, вращаясь только против часовой стрелки, нигде не обращаясь в нуль, проходил последовательно число квадрантов, которое равно степени n характеристического уравнения, повернувшись на угол $n \frac{\pi}{2}$ (см. Л-1, с. 210, рис. 80а).

При немонотонном изменении годографа система неустойчива (см. Л-4, рис. 80б).

Система находится в нейтральном состоянии, если годограф при некотором значении ω проходит через начало координат.

Пример 5.3. Определить по критерию Михайлова, устойчива ли система с характеристическим уравнением

$$p^3 + 1,48 p^2 + 4,6 p + 4 = 0.$$

Решение:

1. Для построения годографа Михайлова определяем вещественную и мнимую части функции

$$W(j\omega) = R(\omega) + jQ(\omega)$$

путем замены в характеристическом уравнении p на $j\omega$ и разделения его на вещественную и мнимую части:

$$1 \cdot (j\omega)^3 + 1,48 \cdot (j\omega)^2 + 4,6 \cdot (j\omega) + 4 = 0.$$

Известно, что $j = \sqrt{-1}$; $j^2 = -1$; $j^3 = -j$, тогда уравнение примет вид

$$-j\omega^3 - 1,48\omega^2 + 4,6j\omega + 4 = 0$$

$$\text{и } R(\omega) = -1,48\omega^2 + 4$$

$$Q(\omega) = -\omega^3 + 4,6\omega.$$

Задаваясь различными значениями ω , находим соответствующие им $P(\omega)$ и $Q(\omega)$ и их значения оформляем таблично.

ω	0	1,6	4	2,1	6	7	10	∞
$P(\omega)$	4	0	-19,7	-2,5	-49,3	-66,5	-144	$-\infty$
$Q(\omega)$	0	3,1	-45,6	0	-188,4	-311	-954	$-\infty$

При $\omega = 0$ $P(\omega) = 4$; $Q(\omega) = 0$
 $P(\omega) = 0$ $\omega = 1,64$; $Q(\omega) = 3,1$
 $Q(\omega) = 0$ $\omega = 2,1$; $R(\omega) = -2,52$
 $\omega = 4$ $P(\omega) = -19,7$; $Q(\omega) = -45,6$
 $\omega = 7$ $P(\omega) = -68,5$; $Q(\omega) = -311$
 $\omega = 10$ $P(\omega) = -144$; $Q(\omega) = -954$
 $\omega = \infty \odot$ $P(\omega) = -\infty \odot$; $Q(\omega) = -\infty \odot$

По значениям $P(\omega)$ и $Q(\omega)$ строим годограф Михайлова .

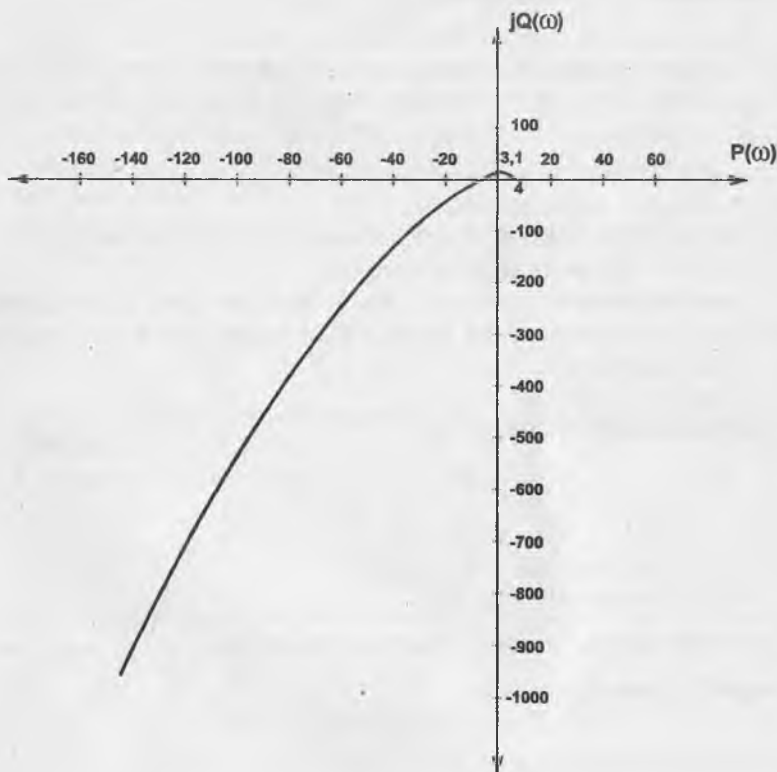


Рис. 5. К примеру 5.3

Заметно, что годограф повернулся против часовой стрелки на угол $\varphi = 3\frac{\pi}{2}$. Построенная кривая отвечает всем условиям критерия Михайлова и, следовательно, данная система устойчива.

Задача 6 относится к расчету надежности систем автоматики. Надежность определяют как свойство объекта выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах.

К количественным показателям надежности относятся: вероятность безотказной работы, интенсивность отказов, наработка на отказ, средний срок службы, среднее время восстановления, средний срок сохраняемости, коэффициент готовности объекта и другие.

Вероятность безотказной работы:

$$P(t) = N(t)/N_n,$$

где $N(t)$ – число изделий, безотказно проработавших до конца наработки,
 N_n – начальное число изделий или

$$P(t) = e^{-k \cdot \lambda t},$$

где k – коэффициент, учитывающий влияние окружающей среды:

$k = 1$ – для нормальных условий,

$k = 10 \dots 15$ – для стационарных установок в сельском хозяйстве,

$k = 25 \dots 30$ – для мобильных установок;

λ – интенсивность отказов (один в час), которая указывается в технической документации на изделие или принимается по таблицам показателей надежности;

t – время эксплуатации.

Средняя наработка на отказ

$$T_{cp} = \sum_{i=1}^n \frac{t_i}{n}; \quad T_{cp} = \frac{1}{\lambda},$$

где t_i – наработка до отказа i -го изделия;

n – число отказавших изделий.

Применительно к восстанавливаемым изделиям:

Параметр потока отказов

$$\omega = \Delta N / N_n \cdot \Delta t,$$

где ΔN – число отказавших изделий за время Δt ;

N_n – число изделий в партии;

Δt – интервал времени испытания.

Наработка на отказ

$$T_0 = \sum_{i=1}^n \Delta t_i / n \quad ,$$

где n – число отказов изделия за время испытаний (наблюдений);
 Δt_i – время исправной работы изделия между i -1 и i -м отказами.
Среднее время восстановления

$$T_b = \sum_{i=1}^m \tau_i / m \quad ,$$

где m – число изделий, подвергавшихся восстановлению;
 τ_i – длительность восстановления i -го изделия.

Коэффициент готовности

$$K_r = T_0 / (T_0 + T_b).$$

Вероятность безотказной работы автоматической системы зависит от надежности входящих в нее элементов системы, структурной схемы их соединения и степени резервирования.

С точки зрения надежности структурные схемы соединения элементов подразделяются на схемы: с последовательным, параллельным и смешанным соединением.

При последовательном соединении элементов вероятность безотказной системы

$$P(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t) = e^{-\sum_{i=1}^n k \lambda_i t} \quad ,$$

где $P_i(t)$, λ_i – вероятность безотказной работы и интенсивность отказов i -го элемента.

При параллельном соединении m элементов:

$$P(t) = 1 - \prod_{j=1}^m [1 - P_j(t)] \quad ,$$

При смешанном соединении n последовательных и m параллельных элементов:

$$P(t) = \prod_{i=1}^n \left\{ 1 - \prod_{j=1}^m [1 - P_j(t)] \right\} \quad ,$$

Пример 6.1

Для принципиальной электрической схемы управления конвейерами (рис. 6) заданная вероятность безотказной работы $P_3(t) = 0,96$. Срок нормальной эксплуатации $t = 10000$ час. Коэффициент, учитывающий влияние окружающей среды, $k = 1$ (условия нормальные).

Требуется рассчитать действительную вероятность безотказной работы.

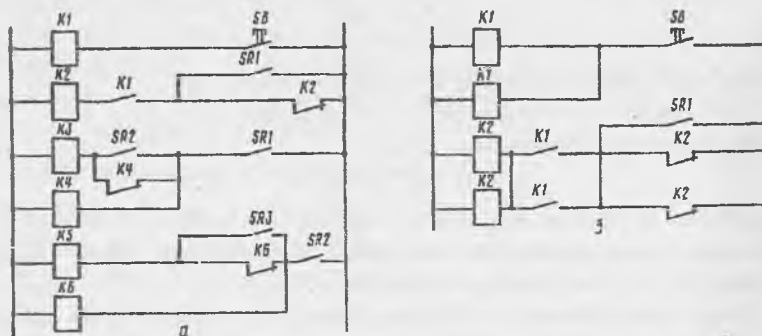


Рис. 6. Принципиальная электрическая схема управления конвейерами:
а – исходная; б – после резервирования ее узла

Решение:

1. Из схемы видно, что САУ с последовательным соединением элементов по надежности.
2. В соответствии с принципиальной схемой управления все элементы разобьем на три группы по числу разнотипных элементов (электро-механическое реле, механические контакты, кнопка «Пуск»).
3. Для каждого типа элементов по таблице 6.1. находим интенсивность отказов и заносим их в таблицу 6.2.

Таблица 6.1

Значение интенсивности отказов для некоторых изделий

Наименование изделий	$\lambda, 10^{-6} 1/ч$		
	верхний предел	среднее значение	нижний предел
1	2	3	4
Тепловые выключатели	0,400	0,1375	0,045
Диоды, ограничивающие перенапряжение	0,437	0,200	0,080
Держатели плавких предохранителей	0,100	0,020	0,008
Плавкие предохранители	0,820	0,500	0,300
Диоды:			
германиевые	0,380	0,300	0,230
селеновые	0,600	0,200	0,110
кремниевые	0,250	0,200	0,150
карбидно-кремниевые	0,550	0,020	0,009
Соединение пайкой	1,050	0,004	0,0001
Лампы накаливания	8,000	0,625	0,100
Контакты (замыкающие, размыкающие)	0,400	0,250	0,120
Серводвигатели	0,350	0,230	0,110
Потенциометры:			
сплавные	15,700	7,000	4,400
проволочные	2,050	1,400	0,137
Реле:			
общего назначения	0,480	0,250	0,110
мощные	4,100	0,300	0,150
с задержкой времени	0,784	0,390	0,156
тепловые	1,000	0,400	0,120
времени, электронные	1,800	1,200	0,250
электромеханические	1,570	0,500	0,750
Сопротивления:			
постоянные	0,888	0,030	0,005
большой мощности	0,065	0,028	0,009
прецизионные	—	0,004	—
проволочные	0,126	0,068	0,038
Ламповое штырьковое соединение	0,009	0,005	0,00021
Микровыключатели	0,500	0,250	0,090
Выключатели:			
кнопочные	0,110	0,063	0,043
поворотные, пакетные	0,660	0,175	0,118
конечные	0,261	0,161	0,114
Транзисторы:			
кремниевые	1,440	0,500	0,100
германиевые	—	0,300	—

Продолжение таблицы 6.1

1	2	3	4
Керамические конденсаторы	–	0,100	–
Интегральные схемы –ИС гибридные до 30 элементов	–	0,100	–
Триггер на полупроводниковых приборах	–	53,00	–
Триггер на интегральных схемах	–	0,10	–
Полусумматор на полупроводниковых приборах	–	39,0	–
Полусумматор на интегральных схемах	–	0,85	–
Специализированная ЭВМ, содержащая до 13 000 ИС	–	40,0	–
Манометры с трубчатой пружиной с электрическим, пневматическим сигналом МПД	–	100,0	–
Сильфонные и мембранные дифманометры ДММ-К	–	47,0	–
Регуляторы давления РД-8	–	26,0	–
Расходомеры гидравлического сопротивления РЭВ	–	250,0	–
Индукционные расходомеры ИР	–	110,0	–
Электрические регуляторы уровня ЭИУ	–	42,0	–
Анализаторы газов МГК-6	–	150,0	–
Измеритель влажности «Роса»	–	1460	–
Логометры, милливольтметры ЛСШПр-01-18, МСШПр-02-18	–	380,0	–
Уравновешенные мосты КСМ	–	105,0	–
Потенциометры КСП	–	105,0	–
Регулирующие электрические приборы	–	60,0	–
КЭП	–	80,0	–
Приборы системы:			
ЭАУ	–	220,0	–
УСЭППА	–	5,0	–
«Старт»	–	45,0	–
Исполнительные механизмы и устройства:			
КДУ	–	220,0	–
МИМ	–	110,0	–
Тензодатчики	–	10,0	–

Таблица 6.2

Наименование разнотипных элементов, входящих в принципиальную схему	Число однотипных элементов, n	Интенсивность отказа элементов i -го типа λ_i , (1/час)	Результирующая интенсивность λ_p , (1/час)
1. Электромеханическое реле	6	$0,5 \cdot 10^{-6}$	$3 \cdot 10^{-6}$
2. Механический контакт	9	$0,25 \cdot 10^{-6}$	$2,25 \cdot 10^{-6}$
3. Кнопка «Пуск»	1	$0,063 \cdot 10^{-6}$	$0,063 \cdot 10^{-6}$

4. Определяем результирующую интенсивность отказов всех элементов рассматриваемой схемы:

$$\lambda_{p1} = n_1 \cdot \lambda_1 = 6 \cdot 0,5 \cdot 10^{-6} = 3 \cdot 10^{-6} \text{ 1/час;}$$

$$\lambda_{p2} = n_2 \cdot \lambda_2 = 9 \cdot 0,25 \cdot 10^{-6} = 2,25 \cdot 10^{-6} \text{ 1/час;}$$

$$\lambda_{p3} = n_3 \cdot \lambda_3 = 1 \cdot 0,063 \cdot 10^{-6} = 0,063 \cdot 10^{-6} \text{ 1/час;}$$

$$\lambda_p = \sum_{i=1}^3 n_i \lambda_{pi} = 3 \cdot 10^{-6} + 2,25 \cdot 10^{-6} + 0,063 \cdot 10^{-6} = 5,313 \cdot 10^{-6} \text{ 1/час}$$

5. Определяем результирующую (действительную) вероятность безотказной работы элементов схемы

$$P_{\text{рез}}(t) = e^{-k \cdot \lambda_p \cdot t} = e^{-1 \cdot 5,313 \cdot 10^{-6} \cdot 10000} = 0,951.$$

Видно, что результирующая надежность системы получилась меньше ее заданного значения ($0,951 < 0,960$).

Для повышения надежности рассматриваемой схемы целесообразно применить метод нагруженного резервирования для узла, состоящего из двух магнитных пускателей k_1 и k_2 .

Таблица 3

Вариант	Тип транзистора	Схема включения	Параметры транзистора				$R_{н},$ кОм	$R_{г},$ кОм
			$h_{11},$ Ом	$h_{12},$ Ом	$h_{21},$ Ом	$h_{22},$ Ом		
1	П416	ОБ	15,8	$30,62 \cdot 10^{-3}$	-0,975	$3,76 \cdot 10^{-6}$	8	10
2	П416	ОЭ	650	$32 \cdot 10^{-3}$	40	$1,5 \cdot 10^{-4}$	3,5	15
3	П416	ОК	632	1	-40	$2,44 \cdot 10^{-4}$	1,5	25
4	П14	ОБ	31	$3,2 \cdot 10^{-4}$	-0,96	$0,8 \cdot 10^{-6}$	10	15
5	П14	ОЭ	775	$3 \cdot 10^{-4}$	24	$20 \cdot 10^{-6}$	2,5	20
6	П14	ОК	775	1	-25	$20 \cdot 10^{-6}$	1,25	30
7	ГТ332А	ОБ	5,79	$0,202 \cdot 10^{-3}$	-0,9825	$1,1 \cdot 10^{-6}$	10,5	10
8	ГТ332А	ОЭ	330	$1,6 \cdot 10^{-4}$	56	$6,25 \cdot 10^{-6}$	5,5	15
9	ГТ332А	ОК	331	1	-57	$1,1 \cdot 10^{-6}$	2	25
0	П416	ОБ	15,8	$-30,62 \cdot 10^{-3}$	-0,975	$3,76 \cdot 10^{-6}$	12	5

Примечание. Схема включения транзистора
 ОБ – с общей базой
 ОЭ – с общим эмиттером
 ОК – с общим коллектором

Задача 4. Опишите принцип действия схемы, выбранной из приведенных на рис. 4.1...4.10. согласно вашему варианту по последней цифре шифра, и ответьте на поставленные вопросы.

Задание к задаче 4.1.

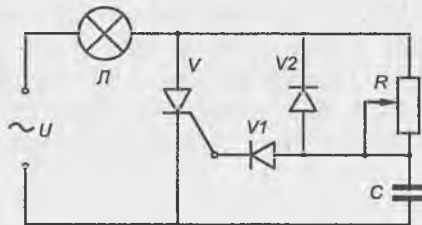


Рис. 4.1. Схема фазовращателя

1. Как изменятся выходные параметры, если увеличить сопротивление R ?

2. Опишите принцип действия тиристора.

Задание к задаче 4.2.

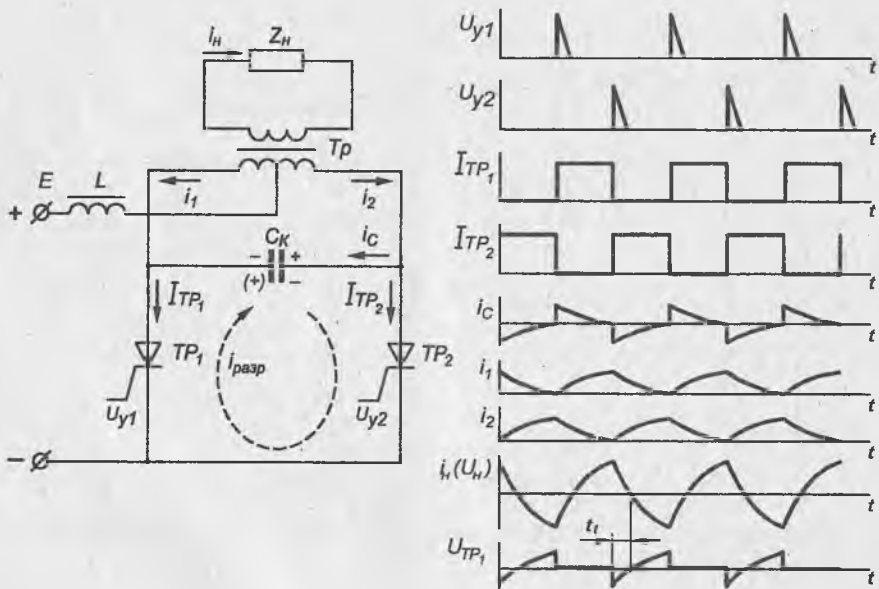


Рис. 4.2. Схема инвертора тока

1. Как изменится форма выходного напряжения при увеличении C_k ?
2. Опишите принцип действия тиристора.

Задание к задаче 4.3.

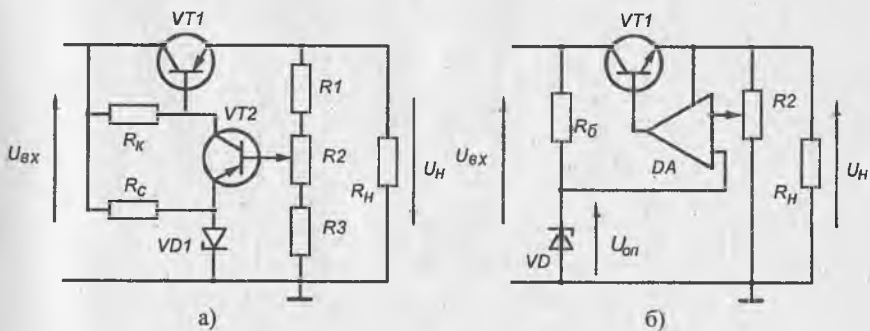


Рис. 4.3. Схемы стабилизаторов напряжения

1. Определите, чем отличаются схемы, изображенные на рис. 4.3.
2. Опишите устройство и принцип действия биполярного транзистора.

Задание к задаче 4.4.

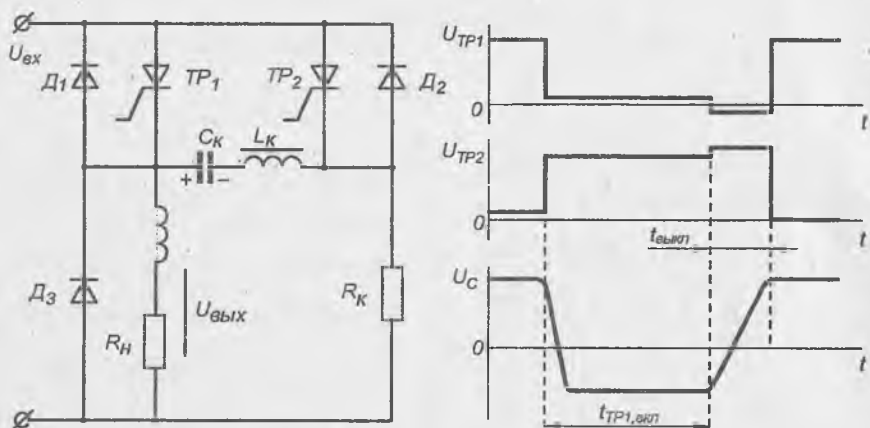


Рис. 4.4. Схема широтно-импульсного преобразователя

Опишите устройство и принцип действия полупроводниковых приборов данной схемы.

Задание к задаче 4.5.

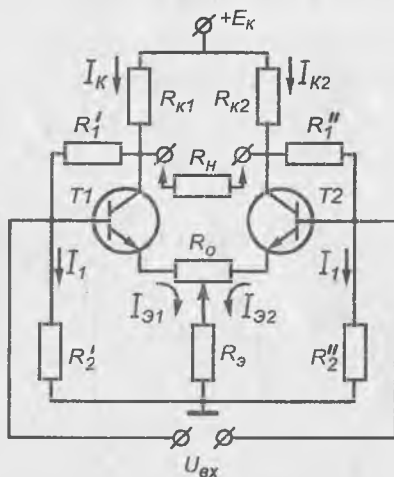


Рис. 4.5. Схема двухтактного усилителя постоянного тока

Опишите устройство и принцип действия полевого транзистора с изолированным затвором.

Задание к задаче 4.6.

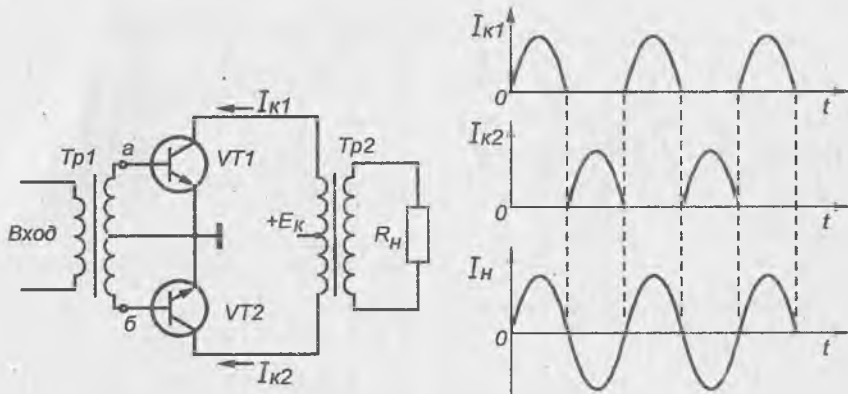


Рис. 4.6. Схема двухтактного усилителя мощности

1. Какие достоинства и недостатки имеет эта схема?
2. Опишите устройство и принцип действия фотодиода.

Задание к задаче 4.7.

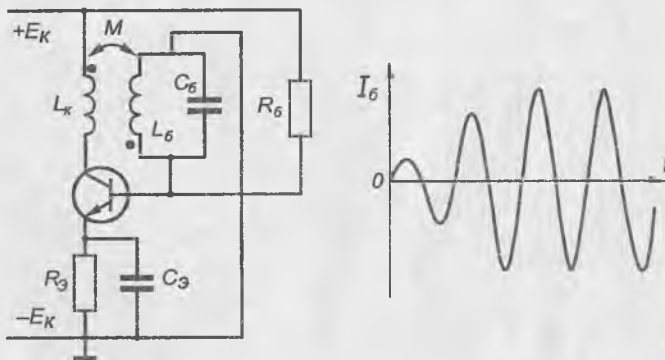


Рис. 4.7. Схема LC – автогенератора

1. В каком режиме находится колебательный контур?
2. Опишите устройство и принцип действия биполярного транзистора.

Задание к задаче 4.8.

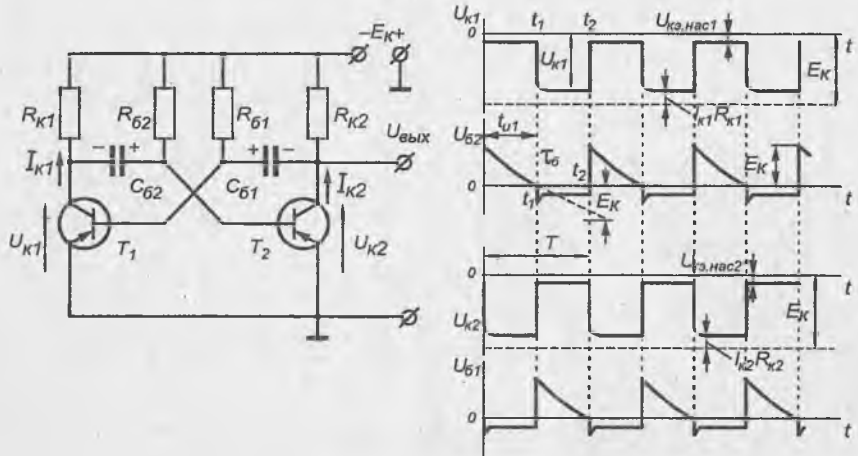


Рис. 4.8. Схема мультивибратора

1. Какие параметры схемы изменятся, если увеличить C_{61} и C_{62} одинаково?
2. Опишите устройство и принцип действия светодиода.

Задание к задаче 4.9.

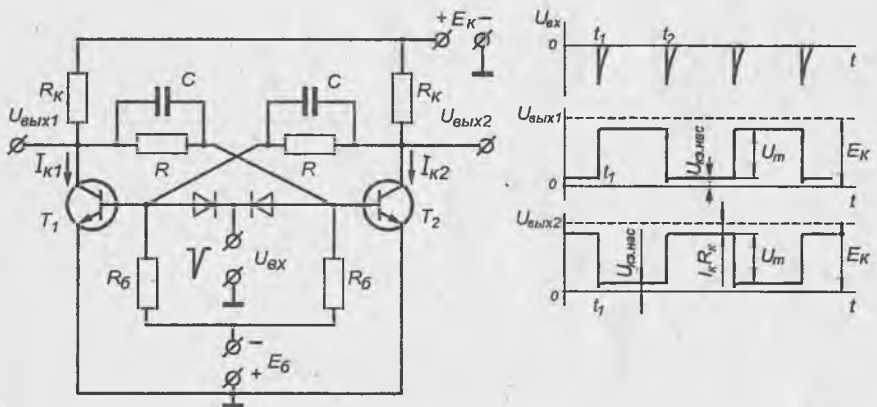


Рис. 4.9. Схема симметричного триггера

1. Какой изменится параметр при изменении одного сопротивления R ?
2. Опишите устройство и принцип действия оптоэлектронной пары. Где они применяются?

Задание к задаче 4.10.

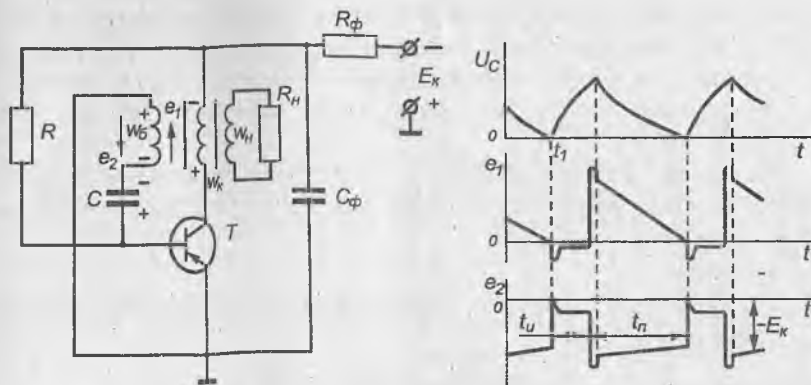


Рис. 4.10. Схема блокинг-генератора

1. Какой изменится параметр и как, если уменьшить величину емкости C ?
2. Опишите формирование полупроводниковых ИМС на примере транзистора.

Методические указания к выполнению контрольной работы

Задача 1 относится к расчету выпрямителей переменного тока, собранных на полупроводниковых выпрямительных диодах.

Наибольшее применение нашла однофазная двухполупериодная мостовая схема выпрямителя, приведенная на рис. 14.4а (Л-1, с.207).

Основными параметрами при выборе диодов являются допустимый ток $I_{\text{доп}}$, на который рассчитан диод, и величина обратного напряжения $U_{\text{обр}}$, которое выдерживает диод в непроводящий период, т.е. при обратном включении.

Для мостовой схемы выпрямления допустимый ток диода $I_{\text{доп}} \geq I_0$. Амплитудное значение напряжения на вторичной обмотке трансформатора

$$U_{m2} = \sqrt{2} \cdot U_2,$$

где $U_2 = U_0/0,9$ – действующее значение напряжения на вторичной обмотке трансформатора.

Значение максимального обратного напряжения вентиля в данной мостовой схеме $U_{\text{обр.мах}} = U_{m2}/2$;

$$U_{\text{доп}} \geq U_{\text{обр.мах}}.$$

Пример 1. Определить действующее U_2 и амплитудное U_{2m} значения напряжения на вторичной обмотке трансформатора, его коэффициент трансформации K , постоянную составляющую выпрямленного тока I_o ; выбрать полупроводниковые вентили для двухполупериодного выпрямителя, выполненного по мостовой схеме (см. Л-1, с. 207, рис. 14.4а).

Выпрямленное напряжение на нагрузочном резисторе $U_o=350$ В, сопротивление нагрузочного резистора $R_H = 1400$ Ом, напряжение питающей сети $U_1 = 127$ В.

Решение:

1. Действующее значение напряжения на вторичной обмотке трансформатора

$$U_2 = U_o/0,9 = 350/0,9 \approx 390 \text{ В.}$$

2. Коэффициент трансформации трансформатора

$$K = U_1/U_2 = 127/390 = 0,333.$$

3. Амплитудное значение напряжения на вторичной обмотке трансформатора

$$U_{m2} = \sqrt{2} \cdot U_2 = 1,41 \cdot 390 \approx 550 \text{ В.}$$

4. Значение максимального обратного напряжения вентилей в данной мостовой схеме

$$U_{обр.маx} = U_{m2}/2 = 550/2 = 275 \text{ В.}$$

5. Постоянная составляющая выпрямленного тока

$$I_o = U_o/R_H = 350/1400 = 0,25 \text{ А.}$$

6. Амплитудное значение выпрямленного тока

$$I_{2m} = \frac{\pi \cdot I_o}{2} = \frac{3,14 \cdot 0,25}{2} = 0,393 \text{ А}$$

или

$$I_{2m} = \frac{U_{m2}}{R_H} = \frac{550}{1400} = 0,393 \text{ А.}$$

7. Мощность, выделяемая в сопротивлении нагрузочного резистора

$$P = U_o \cdot I_o = 350 \cdot 0,25 = 87,5 \text{ Вт}$$

$$\text{или } P = I_o^2 \cdot R_H = 0,25^2 \cdot 1400 = 87,5 \text{ Вт.}$$

8. По приложению 1, исходя из расчетного значения тока I_0 и $U_{обр. max}$, выбираем вентили Д205 с номинальными (допускаемыми) данными

$$I_{доп} = 0,4 \text{ А}, U_{обр. max доп} = 400 \text{ В.}$$

Задача 2 относится к определению h – параметров транзистора, которые устанавливают связь между малыми изменениями токов и напряжений, выражают функциональную зависимость между входным напряжением и током и выходным напряжением. Основные h – параметры транзистора для схемы включения с общим эмиттером определяются с помощью характеристических треугольников, построенных на семействе входных и выходных характеристик (см. рис. 2.1 и 2.2). Параметры, найденные по характеристическому треугольнику, являются малосигнальными, т. к. они справедливы только для прямолинейных участков характеристик.

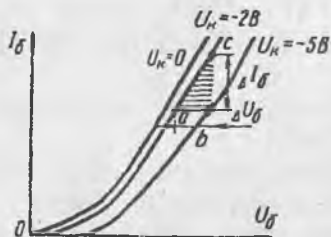


Рис. 2.1

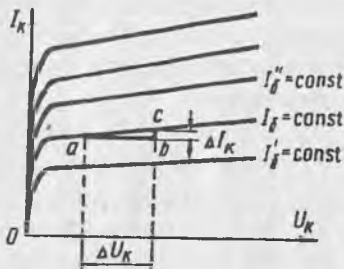


Рис. 2.2

Из характеристического треугольника определяют входное сопротивление транзистора $R_{вх} = h_{11} = \Delta U_B / \Delta I_B$, при $U_K = \text{const}$ и коэффициент обратной связи $h_{12} = \Delta U_B / \Delta U_K$, при $I_B = \text{const}$.

Из семейства статических выходных характеристик определяют коэффициенты усиления по току $K_i = h_{21} = \Delta I_K / \Delta I_B$, при $U_K = \text{const}$ и выходную проводимость транзистора $h_{22} = \Delta I_K / \Delta U_K$ при $I_B = \text{const}$.

Параметры транзисторов зависят от схемы включения. Приближенные формулы для перерасчета h – параметров транзистора при включении его по данной схеме, если известны h – параметры, соответствующие другой схеме его включения, приводятся к следующему виду.

Схема включения транзистора:

$$\text{С общим эмиттером (ОЭ): } h_{113} = \frac{h_{118}}{1 + h_{218}};$$

$$h_{12э} = \frac{h_{11б} \cdot h_{22б}}{1 + h_{21б}} - h_{12б}; \quad h_{21э} = -\frac{h_{21б}}{1 + h_{21б}}; \quad h_{22э} = \frac{h_{22б}}{1 + h_{21б}};$$

с общей базой (ОБ): $h_{11б} = \frac{h_{11э}}{1 + h_{21э}};$

$$h_{12б} = \frac{h_{11э} \cdot h_{22э}}{1 + h_{21э}} - h_{12э}; \quad h_{21б} = -\frac{h_{21э}}{1 + h_{21э}}; \quad h_{22б} = \frac{h_{22э}}{1 + h_{21э}};$$

с общим коллектором (ОК): $h_{11к} = \frac{h_{11б}}{1 + h_{21б}} = h_{11э};$

$$h_{12к} = 1; \quad h_{21к} = -\frac{1}{1 + h_{21б}} = -(h_{21э} + 1); \quad h_{22к} = \frac{h_{22б}}{1 + h_{21б}} = h_{22э}.$$

Пример 2. Для транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером, определить коэффициент усиления $h_{21э}$ по его входной характеристике (см. приложение 2, рис. 17) и выходным характеристикам (см. рис. 18), если $U_{бэ} = 0,4$ В; $U_{кэ} = 25$ В. Подсчитать также коэффициент передачи по току $h_{21б}$ и мощность P_k на коллекторе.

Решение:

1. По входной характеристике (рис. 17) определяем при $U_{бэ} = 0,4$ В, ток базы $I_б = 500$ мкА.
2. По выходным характеристикам (рис. 18) для $U_{кэ} = 25$ В и $I_б = 500$ мкА определяем ток коллектора: $I_k = 36$ мА.
3. На выходных характеристиках строим отрезок АВ, из которого находим:

$$\Delta I_k = АВ = I_{к1} - I_{к2} = 36 - 28 = 8 \text{ мА};$$

$$\Delta I_б = АВ = I_{б1} - I_{б2} = 500 - 400 = 100 \text{ мкА} = 0,1 \text{ мА}.$$

4. Определяем коэффициент усиления:

$$h_{21э} = \Delta I_k / \Delta I_б = 8 / 0,1 = 80.$$

5. Определяем коэффициент передачи по току:

$$h_{21б} = h_{21э} / (h_{21э} + 1) = 80 / (80 + 1) = 0,98.$$

6. Определяем мощность на коллекторе

$$P_k = U_{кэ} \cdot I_k = 25 \cdot 36 = 900 \text{ мВт} = 0,9 \text{ Вт}.$$

Задача 3 относится к расчету основных параметров одиночного усилительного каскада низкой частоты при известных значениях сопротивлений нагрузки R_n и генератора сигналов R_r и известных значениях h – параметров транзистора. В избранной схеме включения в

соответствующей рабочей точке основные параметры одиночного каскада рассчитываются по следующим формулам.

Коэффициенты усиления:

По току $K_i = i_{\text{вых}}/i_{\text{вх}} = h_{21}/(1 + h_{22} \cdot R_n)$;

по напряжению $K_u = U_{\text{вых}}/U_{\text{вх}} = \frac{h_{21} \cdot R_n}{h_{11}(1 + h_{22} \cdot R_n) - h_{12} \cdot h_{21} \cdot R_n}$;

по мощности $K_p = K_i \cdot K_u$.

Сопротивления:

входное

$$R_{\text{вх}} = \frac{h_{11} \cdot \left(h_{22} + \frac{1}{R_n} \right) - h_{22} \cdot h_{21}}{h_{22} + \frac{1}{R_n}};$$

выходное

$$R_{\text{вых}} = \frac{h_{11} + R_r}{h_{22}(h_{11} + R_r) - h_{12} \cdot h_{21}}.$$

Схемы однокаскадных усилителей с подключением транзистора с общей базой (ОБ), общим эмиттером (ОЭ), общим коллектором (ОК) представлены на рис. 5.16. (Л-1, с. 56).

Пример. Определить коэффициенты усиления по току K_i , напряжению K_u , и мощности K_p , а также входное $R_{\text{вх}}$ и выходное $R_{\text{вых}}$ сопротивления однокаскадного усилителя, выполненного на транзисторе по схеме с общим эмиттером.

В рабочей точке транзистор имеет входное сопротивление $h_{11} = 1,1 \text{ кОм}$, выходную проводимость $h_{22} = 18,5 \cdot 10^{-6} \text{ см}$, коэффициент усиления по току $h_{21} = 32$, коэффициент обратной связи по напряжению $h_{12} = 2,8 \cdot 10^{-4}$, нагрузочное сопротивление $R_n = 2 \text{ кОм}$, сопротивление генератора сигналов $R_r = 10 \text{ кОм}$.

Решение:

1. Коэффициент усиления по току:

$$K_i = \frac{h_{21}}{1 + h_{22} \cdot R_n} = \frac{32}{1 + 18,5 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^3} = 31.$$

2. Коэффициент усиления по напряжению:

$$K_u = \frac{h_{21} \cdot R_H}{h_{11}(1 + h_{22} \cdot R_H) - h_{12} \cdot h_{21} \cdot R_H} =$$

$$= \frac{32 \cdot 2 \cdot 10^3}{1,1 \cdot 10^3 (1 + 18,5 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^3) - 2,8 \cdot 10^{-4} \cdot 32 \cdot 2 \cdot 10^3} = 57.$$

3. Коэффициент усиления по мощности:

$$K_p = K_i \cdot K_u = 31 \cdot 57 = 1770.$$

4. Входное сопротивление усилителя:

$$R_{вх} = \frac{h_{11} \left(h_{22} + \frac{1}{R_H} \right) - h_{12} \cdot h_{21}}{h_{22} + \frac{1}{R_H}} =$$

$$= \frac{1,1 \cdot 10^3 \left(18,5 \cdot 10^{-6} + \frac{1}{2} \cdot 10^3 \right) - 2,8 \cdot 10^{-4} \cdot 32}{18,5 \cdot 10^{-6} + \frac{1}{2} \cdot 10^3} = 1080 \text{ Ом.}$$

5. Выходное сопротивление усилителя:

$$R_{вых} = \frac{h_{11} + R_r}{h_{22} (h_{11} + R_r) - h_{12} \cdot h_{21}} =$$

$$= \frac{1,1 \cdot 10^3 + 10 \cdot 10^3}{18,5 \cdot 10^{-6} (1,1 \cdot 10^3 + 10 \cdot 10^3) - 2,8 \cdot 10^{-4} \cdot 32} = 56 \cdot 10^3 \text{ Ом} = 56 \text{ кОм.}$$

Технические данные полупроводниковых диодов

Тип диода	$I_{\text{доп}}, \text{A}$	$U_{\text{обр}}, \text{В}$	Тип диода	$I_{\text{доп}}, \text{A}$	$U_{\text{обр}}, \text{В}$
Д7Г	0,3	200	Д231	10	300
Д205	0,4	400	Д231Б	5	300
Д207	0,1	200	Д232	10	400
Д209	0,1	400	Д232Б	5	400
Д210	0,1	500	Д233	10	500
Д211	0,1	600	Д233Б	5	500
Д214	5	100	Д234Б	5	600
Д214А	10	100	Д242	5	100
Д214Б	2	100	Д242А	10	100
Д215	2	200	Д242Б	2	100
Д215А	10	200	Д243	5	200
Д215Б	2	200	Д243А	10	200
Д217	0,1	800	Д243Б	2	200
Д218	0,1	1000	Д244	5	50
Д221	0,4	400	Д244А	10	50
Д222	0,4	600	Д244Б	2	50
Д224	5	50	Д302	1	200
Д224А	10	50	Д303	3	150
Д224Б	2	50	Д304	3	100
Д226	0,3	400	Д305	6	50
Д226А	0,3	300	Д202А	3	50
			Д202Н	1	500

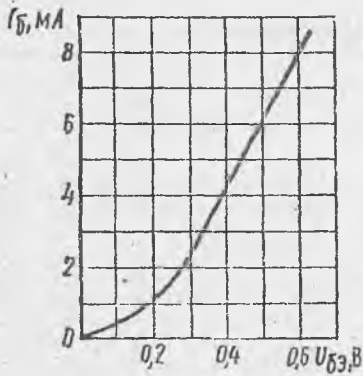


Рис. 1

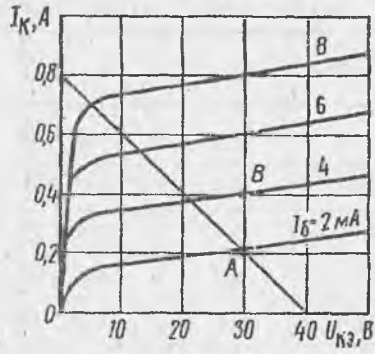


Рис. 2

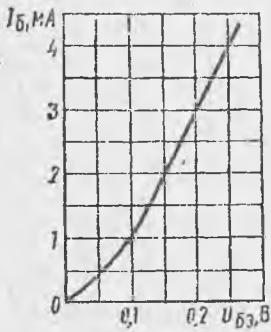


Рис. 3

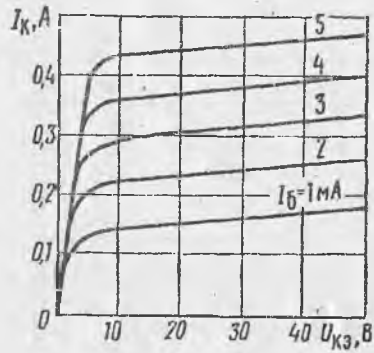


Рис. 4

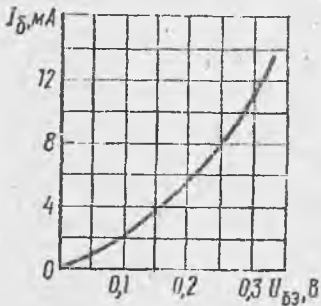


Рис. 5

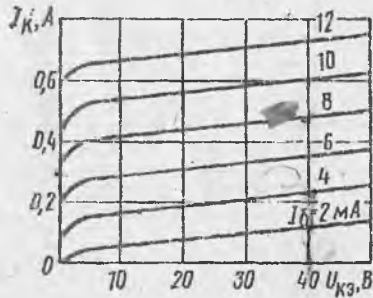


Рис. 6

Приложение 2
(продолжение)

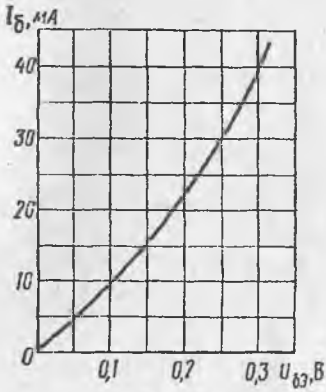


Рис. 7

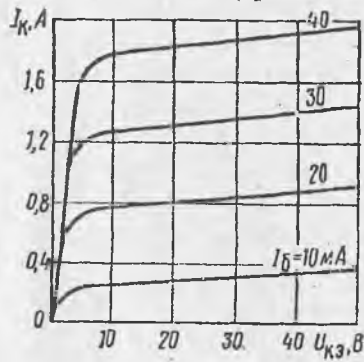


Рис. 8

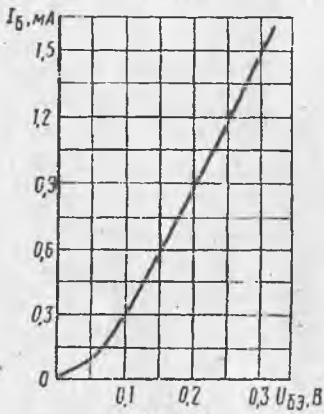


Рис. 9

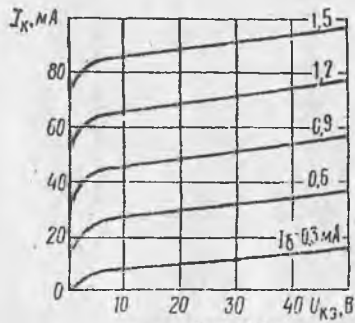


Рис. 10

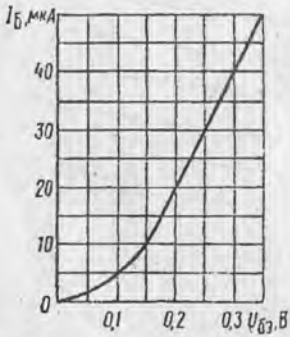


Рис. 11

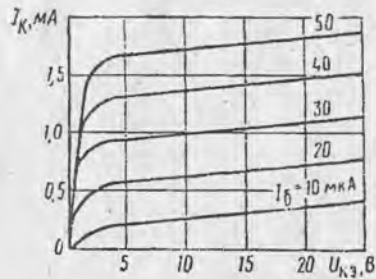


Рис. 12

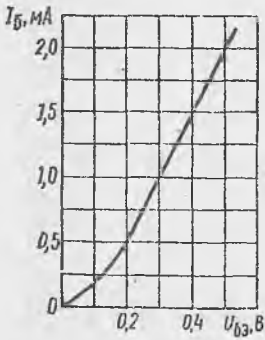


Рис. 13

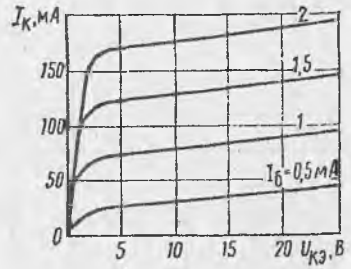


Рис. 14

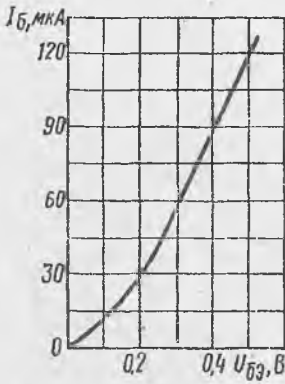


Рис. 15

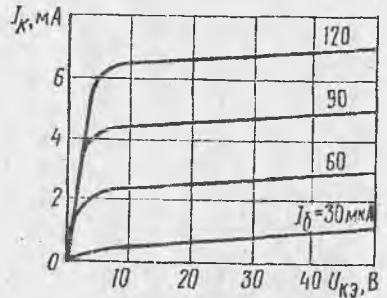


Рис. 16

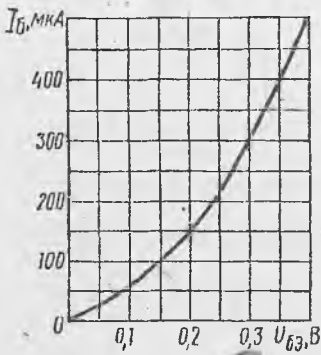


Рис. 17

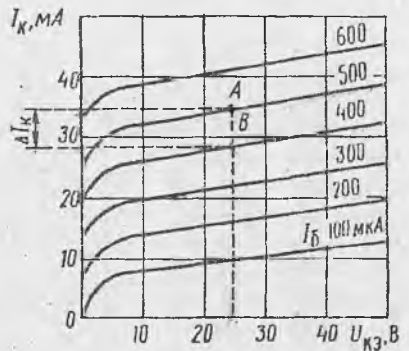


Рис. 18

Приложение 2
(продолжение)

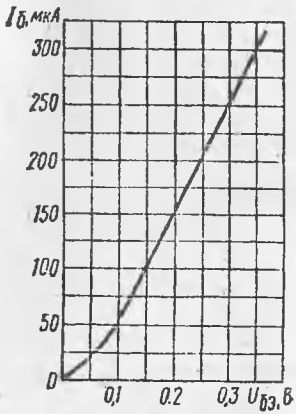


Рис. 19

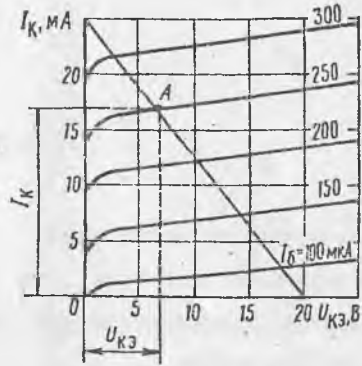


Рис. 20