

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ДИЗАЙНА»

Кафедра автоматизации производственных процессов

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

по дисциплине «Электротехника и электроника»
для студентов заочной формы обучения

Составители: Зайцев В.Е.,
Гренишин А.С.

Санкт-Петербург
2015

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА ПО ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ

В соответствии с вариантом, определяемым последней цифрой номера студенческого билета, решить две задачи.

Задача 1

Расчет цепи постоянного тока.

Для схемы на рис. 1 определить токи во всех ветвях и напряжения на всех сопротивлениях. Расчет выполнить двумя способами: методом эквивалентных сопротивлений и с помощью уравнений Кирхгофа [1, 2]. Проверить баланс мощности в схеме. Величины сопротивлений и напряжение источника питания приведены в таб.1. Вариант задания выбирается по последней цифре номера зачетной книжки.

Таб.1 Варианты задний

Номер варианта	E, В	R1, Ом	R2, Ом	R3, Ом	R4, Ом
0	5	5	4	5	6
1	8	6	6	6	4
2	10	7	5	4	8
3	6	3	3	8	8
4	7	6	7	3	3
5	14	2	4	8	7
6	3	8	9	5	5
7	12	2	3	8	8
8	7	9	7	5	4
9	9	4	3	7	9

Пример: исходная схема изображена на рис. 2.

Исходные данные:

$$R_1 = 3 \text{ Ом}, R_2 = 5 \text{ Ом}, R_3 = 8 \text{ Ом}, E = 12 \text{ В}$$

Расчет методом эквивалентных сопротивлений.

Сопротивления R_2 и R_3 включены параллельно, заменим их одним сопротивлением, определив его значение по формуле для параллельного соединения сопротивлений.

$$R_{2,3} = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} = \frac{5 \cdot 8}{5 + 8} = 3,08 \text{ Ом}$$

Преобразованная схема изображена на рис. 3.

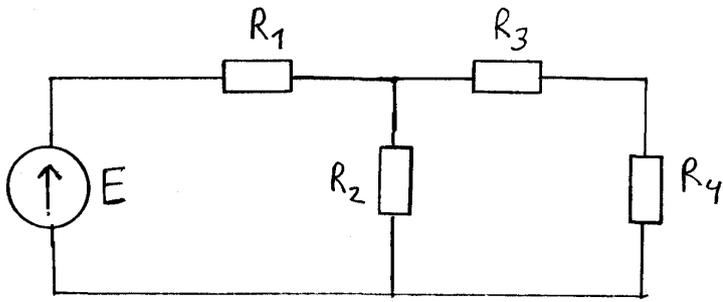
Сопротивления R_1 и $R_{2,3}$ включены последовательно, заменим их одним сопротивлением, определив его значение по формуле для последовательного соединения.

$$R_{1,2,3} = R = R_1 + R_{2,3} = 3 + 3,08 = 6,08 \text{ Ом}$$

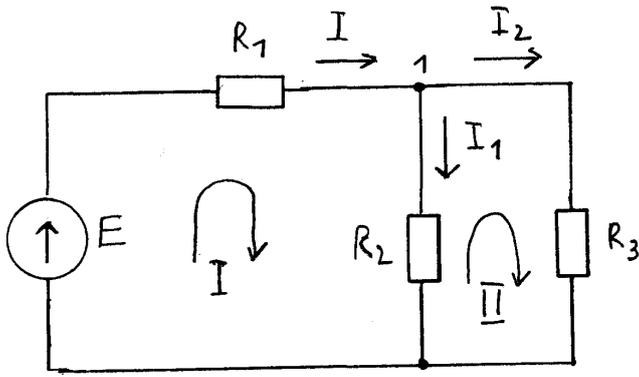
Преобразованная схема изображена на рис. 4.

Определяем ток I

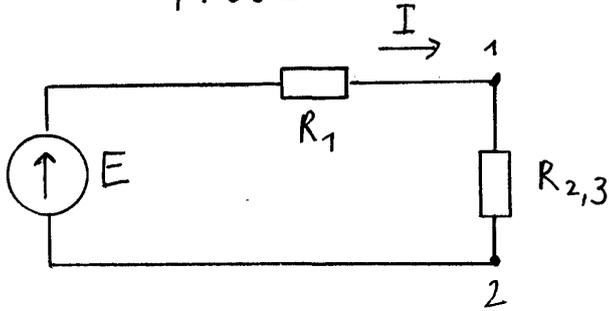
$$I = \frac{E}{R} = \frac{12}{6,08} = 1,97 \text{ А}$$



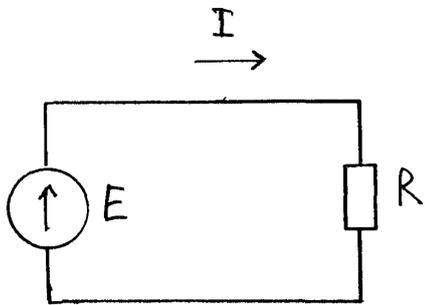
PNC.1



PNC.2



PNC.3



PNC.4

Напряжение между точками 1 и 2, которое также является напряжением на сопротивлениях R_2 и R_3 находим так:

$$U_{1,2} = I \cdot R_{2,3} = 1,97 \cdot 3,08 = 6,07 \text{ В}$$

Определяем токи I_1 и I_2

$$I_1 = \frac{U_{1,2}}{R_2} = \frac{6,07}{5} = 1,21 \text{ А}$$

$$I_2 = \frac{U_{1,2}}{R_3} = \frac{6,07}{8} = 0,76 \text{ А}$$

Напряжение на сопротивлении R_1

$$U_1 = I \cdot R_1 = 1,97 \cdot 3 = 5,91 \text{ В}$$

Расчет с помощью уравнений Кирхгофа.

Запишем контурные уравнения Кирхгофа для контуров I и II, и узловое уравнение для узла 1 рис.2.

$$I R_1 + I_1 R_2 = E \quad \text{для контура I}$$

$$I_2 R_3 - I_1 R_2 = 0 \quad \text{для контура II}$$

$$I - I_1 - I_2 = 0 \quad \text{для узла 1}$$

Подставив числовые значения получим:

$$I \cdot 3 + I_1 \cdot 5 = 12$$

$$I_2 \cdot 8 - I_1 \cdot 5 = 0$$

$$I - I_1 - I_2 = 0$$

Решив систему находим:

$$I = 1,97 \text{ А}$$

$$I_1 = 1,21 \text{ А}$$

$$I_2 = 0,76 \text{ А}$$

Результаты расчетов совпадают

Баланс мощности цепи

Мощность, потребляемая от источника питания

$$P = E \cdot I = 12 \cdot 1,97 = 23,64 \text{ Вт}$$

Мощности, выделяющиеся на сопротивлениях

$$P_1 = I^2 \cdot R_1 = 1,97^2 \cdot 3 = 11,64 \text{ Вт}$$

$$P_2 = I_1^2 \cdot R_2 = 1,21^2 \cdot 5 = 7,32 \text{ Вт}$$

$$P_3 = I_3^2 \cdot R_3 = 0,76^2 \cdot 8 = 4,62 \text{ Вт}$$

Суммарная мощность, выделяющаяся на всех сопротивлениях

$$P' = P_1 + P_2 + P_3 = 11,64 + 7,32 + 4,62 = 23,58 \text{ Вт}$$

Мощности $P \approx P'$ т.е. баланс мощностей соблюдается

Задача 2.

Расчет цепи переменного тока методом комплексных чисел [1, 2].

Для схемы на рис. 5 определить комплексные токи во всех ветвях и напряжения на всех элементах схемы, их действующие значения, записать выражения для мгновенных значений найденных токов и напряжений. Проверить баланс мощностей в схеме. Схема питается от источника синусоидального напряжения $e = \sqrt{2}E \sin(\omega \cdot t)$. Величины сопротивлений, индуктивностей, емкостей, частоты f и действующее напряжение E источника питания приведены в таб.2 Вариант задания выбирается по последней цифре номера зачетной книжки.

Таб.2 Варианты заданий

Номер варианта	E, В	f, Гц	R1, Ом	R2, Ом	C, мкФ	L, мГн
0	150	55	12	22	40	55
1	300	80	20	25	15	15
2	230	60	15	19	20	24
3	80	40	30	206	28	19
4	130	45	8	18	22	30
5	150	80	40	43	15	51
6	110	65	50	46	25	25
7	200	75	11	31	18	20
8	320	40	18	16	50	32
9	90	70	25	15	26	18

Краткие теоретические сведения.

Для расчета цепей переменного тока наиболее эффективным является метод комплексных чисел.

Согласно этому методу рассматриваются символические изображения синусоидального напряжения и тока.

$$u = U\sqrt{2} \sin(\omega \cdot t + \varphi_u) \Rightarrow U\sqrt{2} e^{j(\omega \cdot t + \varphi_u)} = U\sqrt{2} e^{j \cdot \omega \cdot t} \cdot e^{j \cdot \varphi_u}$$

$$i = I\sqrt{2} \sin(\omega \cdot t + \varphi_i) \Rightarrow I\sqrt{2} e^{j(\omega \cdot t + \varphi_i)} = I\sqrt{2} e^{j \cdot \omega \cdot t} \cdot e^{j \cdot \varphi_i}$$

Величины

$$\dot{U} = U e^{j\varphi_u}$$

$$\dot{I} = I e^{j\varphi_i}$$

называются соответственно комплексным напряжением и током

Для комплексных токов и напряжений справедлив закон Ома в комплексной форме:

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}}{Z}$$

где, Z комплексное сопротивление цепи

$$Z = R + j\omega L - j\frac{1}{\omega C} = R + jX_L - jX_C = R + jX$$

где, R активное сопротивление

$$X_L = \omega L \quad \text{индуктивное сопротивление}$$

$$X_C = \frac{1}{\omega C} \quad \text{емкостное сопротивление}$$

$$X = X_L - X_C \quad \text{реактивное сопротивление} \quad \text{рис. 6.}$$

При расчете цепей с комплексными сопротивлениями оперируют, также как и при расчете цепей постоянного тока, с учетом правил действия с комплексными числами.

Основные свойства комплексных чисел

$$a + jb = A e^{j\varphi} = A(\cos \varphi + j \sin \varphi)$$

$$\text{где, } A = \sqrt{a^2 + b^2}; \quad \varphi = \operatorname{arctg} \frac{b}{a}$$

Данные формулы позволяют осуществлять переход от алгебраической формы комплексного числа к показательной форме и наоборот. Из приведенных формул следуют полезные соотношения:

$$j = e^{j90^\circ}; \quad -j = e^{-j90^\circ}$$

Складывать и вычитать комплексные числа удобней в алгебраической форме, а умножать и делить в показательной.

$$j^2 = -1$$

$$(a + jb) \pm (c + jm) = a \pm c + j(b \pm m)$$

$$(a + jb) \cdot (c + jm) = (ac - bm) + j(am + bc)$$

или в показательной форме:

$$(a + jb) \cdot (c + jm) = A_1 e^{j\varphi_1} A_2 e^{j\varphi_2} = A_1 A_2 e^{j(\varphi_1 + \varphi_2)}$$

$$\frac{a + jb}{c + jm} = \frac{(a + jb)(c - jm)}{(c + jm)(c - jm)} = \frac{(a + jb)(c - jm)}{c^2 + m^2}$$

или в показательной форме:

$$\frac{a + jb}{c + jm} = \frac{A_1 e^{j\varphi_1}}{A_2 e^{j\varphi_2}} = \frac{A_1}{A_2} e^{j(\varphi_1 - \varphi_2)}$$

где,

$$A_1 = \sqrt{a^2 + b^2}; \quad A_2 = \sqrt{c^2 + m^2}$$

$$\varphi_1 = \operatorname{arctg} \frac{b}{a}; \quad \varphi_2 = \operatorname{arctg} \frac{m}{c}$$

Пример. Рассчитать цепь на рис. 7

Исходные данные:

$$f = 50 \text{ Гц}; \quad L = 50 \text{ мГн}; \quad C = 30 \text{ мкФ}; \quad R = 10 \text{ Ом}; \quad E = 100 \text{ В}.$$

Круговая частота

$$\omega = 2\pi f = 2\pi \cdot 50 = 314,1 \text{ 1/с}$$

Вычисляем комплексные сопротивления элементов схемы (рис. 7а)

$$Z_1 = jX_L = j\omega L = j314,1 \cdot 50 \cdot 10^{-3} = j15,70 \text{ Ом}$$

$$Z_2 = -jX_C = -j \frac{1}{\omega C} = -j \frac{1}{314,1 \cdot 30 \cdot 10^{-6}} = -j106,12 \text{ Ом}$$

$$Z_3 = R = 10 \text{ Ом}$$

Расчет выполняем методом эквивалентных сопротивлений.

Сопротивление R и конденсатор C включены параллельно, их результирующее сопротивление

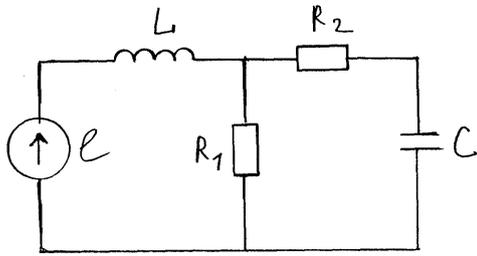


рис.5

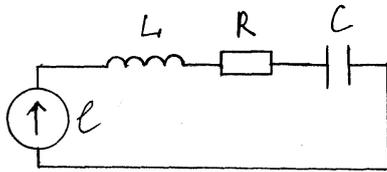


рис.6

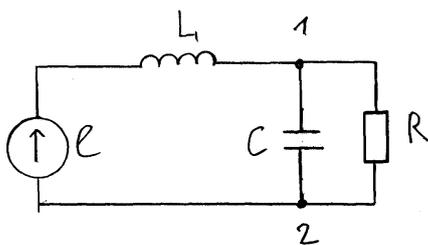


рис.7

$$Z_{2,3} = \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} = \frac{-j106,12 \cdot 10}{-j106,12 + 10} = \frac{1061,2 e^{-j90^\circ}}{106,59 e^{-j84,6^\circ}} = 9,95 e^{-j5,4^\circ} = 9,91 - j0,94 \text{ Ом}$$

Преобразованная схема изображена на рис.8

Индуктивность L и $Z_{2,3}$ включены последовательно, результирующее сопротивление будет:

$$Z_{1,2,3} = Z = Z_1 + Z_{2,3} = j15,7 + 9,91 - j0,94 = 9,91 + j14,76 = 17,78 e^{j56,12^\circ} \text{ Ом}$$

Преобразованная схема изображена на рис.9

Определяем ток \dot{I}

Поскольку начальная фаза источника питания равняется нулю, то

$$\dot{E} = E$$

$$\dot{I} = \frac{E}{Z} = \frac{100}{17,78 e^{j56,12^\circ}} = 5,62 e^{-j56,12^\circ} \text{ А}$$

Действующее значение тока $I = 5,62 \text{ А}$

Мгновенное значение тока $i = 5,62 \sin(314,1 \cdot t - 56,12^\circ) \text{ А}$

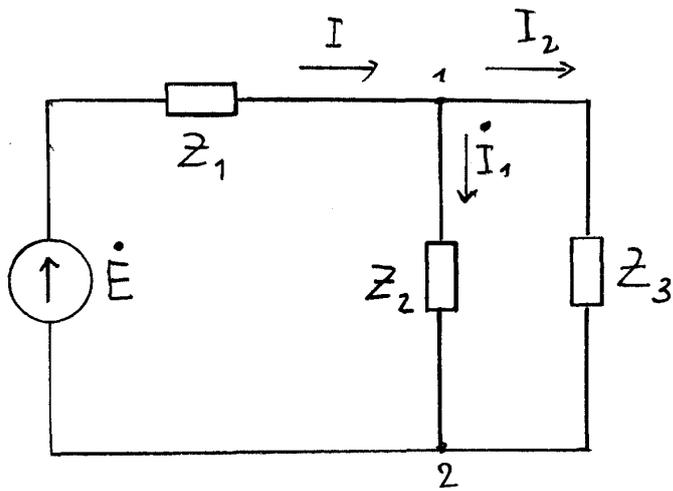


Рис. 7а

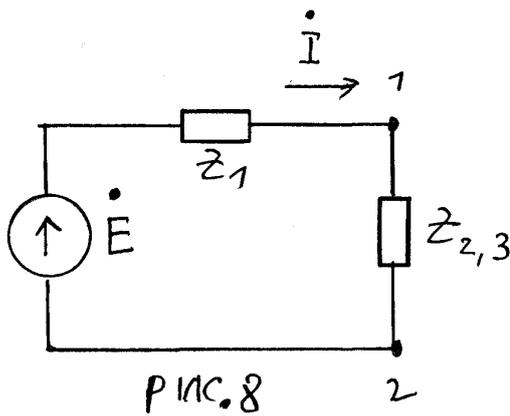


Рис. 8

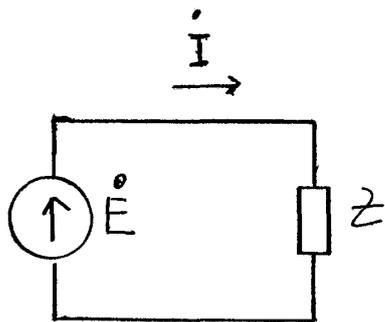


Рис. 9

Напряжение между точками 1 и 2

$$\dot{U}_{1,2} = I Z_{2,3} = 5,62 e^{-j56,12^\circ} 9,95 e^{-j5,4^\circ} = 55,92 e^{-j61,52^\circ} \text{ В}$$

Действующее значение напряжения $U_{1,2} = 55,92 \text{ В}$

Мгновенное значение напряжения $u_{1,2} = 55,92 \sin(314,1 \cdot t - 61,52^\circ) \text{ В}$

Определяем токи \dot{I}_1 и \dot{I}_2

$$\dot{I}_1 = \frac{U_{1,2}}{Z_2} = \frac{55,92 e^{-j61,52^\circ}}{-j106,12} = \frac{55,92 e^{-j61,52^\circ}}{106,12 e^{-j90^\circ}} = 0,53 e^{j28,48^\circ} \text{ А}$$

Действующее значение тока $I_1 = 0,53 \text{ А}$

Мгновенное значение тока $i_1 = 0,53 \sin(314,1 \cdot t + 28,48^\circ) \text{ А}$

$$\dot{I}_2 = \frac{U_{1,2}}{Z_3} = \frac{55,92 e^{-j61,52^\circ}}{10} = 5,59 e^{-j61,52^\circ} \text{ А}$$

Действующее значение тока $I_2 = 5,59 \text{ А}$

Мгновенное значение тока $i_2 = 5,59 \sin(314,1 \cdot t - 61,52^\circ) \text{ А}$

Напряжение на индуктивности

$$\dot{U}_1 = \dot{I} Z_1 = 5,62 e^{-j56,12^\circ} \cdot j15,7 = 88,23 e^{j33,9^\circ} \text{ В}$$

Действующее значение напряжения $U_1 = 88,23 \text{ В}$

Мгновенное значение напряжения $u_1 = 88,23 \sin(314,1 \cdot t + 33,9^\circ) \text{ В}$

Баланс мощностей

Мощности, потребляемые от источника питания

Полная мощность

$$S = U \cdot I = 100 \cdot 5,62 = 562 \text{ ВА}$$

Активная и реактивная мощности

$$P = U \cdot I \cos \varphi = 100 \cdot 5,62 \cos(56,12) = 313,3 \text{ Вт}$$

$$Q = U \cdot I \sin \varphi = 100 \cdot 5,62 \sin(56,12) = 466,58 \text{ Вар}$$

здесь, φ угол сдвига фаз между E и I $\varphi = \varphi_U - \varphi_I = 0 - (-56,12) = 56,12$ (Начальная фаза напряжения источника питания $\varphi_U = 0$)

Мощности, потребляемые элементами схемы

$$P' = I_2^2 R = 5,59^2 \cdot 10 = 312,5 \text{ Вт}$$

$$Q' = I^2 X_L - I_1^2 X_C = 5,62^2 \cdot 15,7 - 0,53^2 \cdot 106,12 = 466,01 \text{ Вар}$$

$$P \approx P'; \quad Q \approx Q'$$

Баланс мощностей выполняется

Библиографический список

1. Касаткин А.С. Немцов М.В. Электротехника. М., 2000г
2. Борисов Ю.М. и др. Электротехника. М.: Энергоатомиздат, 1985.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА ПО ЭЛЕКТРОНИКЕ

В соответствии с вариантом, определяемым последней цифрой номера студенческого билета, решить две задачи.

Задача 1

По данным приведенным в табл. 1 выполнить упрощенный расчет выпрямителя сетевого блока питания (см.рис.1). В результате проведенных расчетов осуществить выбор диодов выпрямителя, конденсатора сглаживающего фильтра и трансформатора.

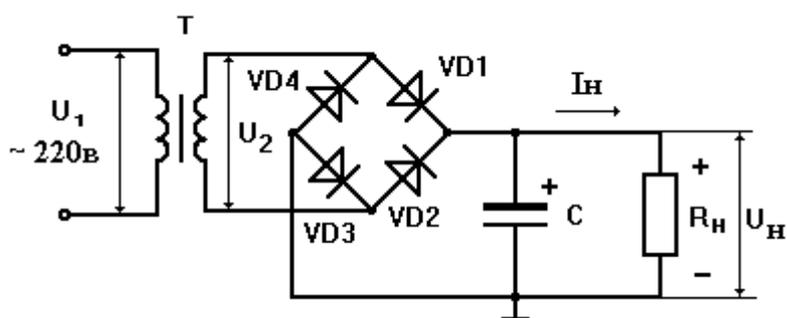


Рис.1. Схема сетевого блока питания

Т а б л и ц а 1

Номер варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$U_H, В$	3	5	6	9	12	15	24	30	36	40
$I_H, А$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0

Величина напряжения на вторичной обмотке трансформатора

$$U_2 = k_1 \cdot U_H,$$

где k_1 – коэффициент, численное значение которого зависит от тока I_H (см.табл.2).

Коэффициент	Ток нагрузки I_n , А					
	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
κ_1	0.8	1.0	1.2	1.4	1.5	1.7
κ_2	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8	1.8

Максимальный ток диода

$$I_{\text{макс.}} = 0.5 \cdot \kappa_2 \cdot I_n \quad (\kappa_2 \text{ в табл.2}).$$

Обратное напряжение на диоде

$$U_{\text{обр}} = 1.5 U_n.$$

Величина емкости сглаживающего фильтра

$$C = I_n / 2f \cdot U_n \cdot K_n, \quad (\Phi)$$

где $f=50\text{Гц}$, K_n – коэффициент пульсаций, значение которого предлагается выбрать равным 0.01.

Ток во вторичной обмотке $I_2 = 1.5 \cdot I_n$, мощность трансформатора $P_{\text{тр}} = 1.25 \cdot U_2 \cdot I_2$.

Площадь сечения магнитопровода трансформатора $S(\text{см}^2)$

$$S = 1.3 \sqrt{P_{\text{тр}}}$$

Число витков в первичной w_1 и вторичной w_2 обмотках

$$w_1 = 50U_1 / S, \quad w_2 = 55U_2 / S.$$

Диаметр провода первичной d_1 и вторичной d_2 обмоток (мм^2)

$$d_1 = 0.02 \sqrt{I_1}, \quad d_2 = 0.02 \sqrt{I_2},$$

где I_1 и I_2 – ток обмоток в мА.

Задача 2

Рассчитать однокаскадный низкочастотный усилитель переменного тока на биполярном транзисторе (см.рис.2) согласно данным, представленным в таблице 3. Определить амплитуду напряжения $U_{\text{мвых}}$ на нагрузке. Результаты расчетов проверить методом математического моделирования электронных схем с использованием программы Micro-Cap 9.0, с которой можно ознакомиться в компьютерном классе на кафедре АПП.

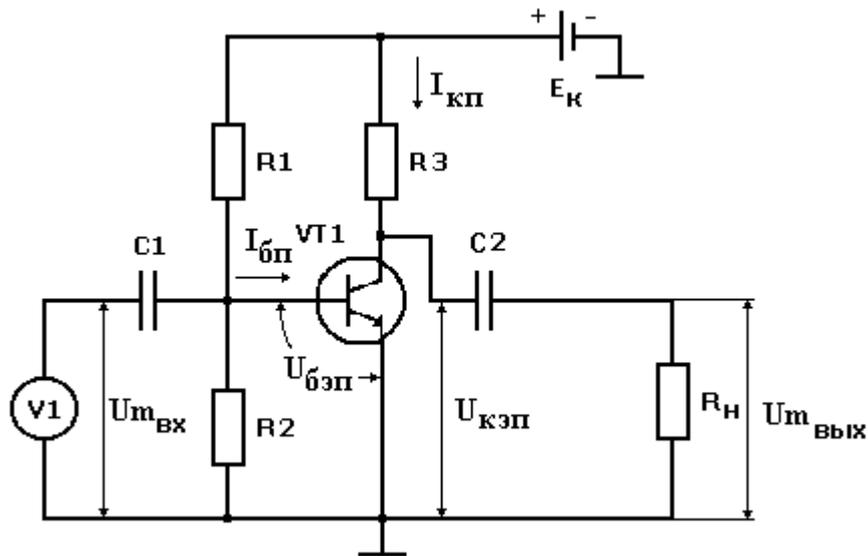


Рис.2 Принципиальная электрическая схема усилителя

Т а б л и ц а 3

Номер варианта	$U_{мвх}$	$U_{бэп}$	E_K	R_H	$h_{11э}$	$h_{21э}$	$I_{кп}$
	мВ	В	В	кОм	кОм	-	мА
0	1	0.7	9	0.5	6.0	170	1
1	2	-//-	10	0.5	6.0	170	1
2	3	-//-	12	1.0	5.0	175	2
3	4	-//-	15	1.0	5.0	175	2
4	5	-//-	18	2.0	3.0	175	3
5	6	-//-	20	2.0	3.0	175	3
6	7	-//-	22	3.0	2.0	180	4
7	8	-//-	24	3.0	2.0	180	4
8	9	-//-	28	4.0	1.5	180	5
9	10	-//-	36	4.0	1.5	180	5

Напряжение в точке покоя $U_{кэп}$:

$$U_{кэп} \approx 0.4 E_K.$$

Ток базы покоя $I_{бп}$:

$$I_{бп} = I_{кп} / h_{21э}.$$

Сопротивление резистора R_3 в цепи коллектора транзистора :

$$R_3 \approx \frac{E_K - U_{кэп}}{I_{кп}}.$$

Сопротивления резисторов делителя R_1 , R_2 и общее сопротивление делителя R_D :

$$R_1 = \frac{E_K - U_{бэп}}{I_D + I_{бп}}, \quad R_2 = \frac{U_{бэп}}{I_D}, \quad R_D = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2},$$

где $I_D \approx (5 \div 10) I_{бп}$, принимаем $I_D = 10 I_{бп}$.

Коэффициент усиления по напряжению:

$$K_U = \frac{h_{21Э} \cdot R_H}{R_{ВХ}}$$

где $R_H = R_H \cdot R_3 / (R_H + R_3)$, $R_{ВХ} = R_d \cdot R_{ВХ} / (R_d + R_{ВХ})$, $R_{ВХ} \approx h_{11}$ 9

Поскольку $K_u = U_{m \text{ Вых}} / U_{m \text{ ВХ}}$, то $U_{m \text{ Вых}} = K_u \cdot U_{m \text{ ВХ}}$

Библиографический список

1. Горюнов, Н. Н. Полупроводниковые приборы: Транзисторы: справочник / Н. Н. Горюнов. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 904 с.
2. Быстров, Ю. А. Электроника: справочная книга / Ю. А. Быстров. – СПб.: Энергоатомиздат, 1996. – 544 с.
3. Разевиг, В. Д. Схемотехническое моделирование с помощью Micro-Cap 7 / В.Д. Разевиг. – М.: Горячая Линия –Телеком, 2003. – 273 с.