Министерство цифрового развития,
связи и массовых коммуникаций
Федеральное государственное
образовательное бюджетное учреждение
высшего профессионального образования
«Сибирский государственный университет
телекоммуникаций и информатики»
(СибГУТИ)

Л.Г. Рогулина

Электротехника, электроника и схемотехника

Учебно-методические указания по выполнению контрольной работы Часть 1

Новосибирск
2023

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РАЗДЕЛАМ КУРСА

Цепи постоянного тока и методы их расчета

Одним из важных вопросов этого раздела является расчет распределения токов в разветвленных цепях с несколькими источниками питания, который проводится различными методами. Наибольшее внимание следует уделить методам непосредственного применения законов Кирхгофаи контурных токов. Пусть цепь, которую нужно рассчитать, содержит *m*ветвей и *n* узлов. Так как по каждой ветви протекает ток, то число неизвестных токов равно числу ветвей, и для определения их необходимо *m* уравнений.

Последовательность расчета

а) Обозначают токи во всех ветвях (I_1 , I_2,... I_m), произвольно выбирая их направления, которые указывают стрелками;

б) составляют по первому закону Кирхгофа уравнения для (n−1) узлов;

в) недостающие $m - (n-1)$ уравнения получают по второму закону Кирхгофа, для чего выбирают в схеме $m - (n-1)$ независимых контуров. Выбирают произвольно направление обхода этих контуров (по движению часовой стрелки или против него) и обозначают их на схеме;

г) для выбранных контуров и направлений их обхода составляют уравнения по второму закону Кирхгофа.

В результате получается система из *m* уравнений. Решение этой системы позволяет определить не только численные значения токов, но и их действительные направления. Если решение привело к отрицательному знаку для какого-либо тока, то его действительное направление противоположно первоначально выбранному. В качестве примера рассмотрим цепь, схема которой изображена на рисунке.1.

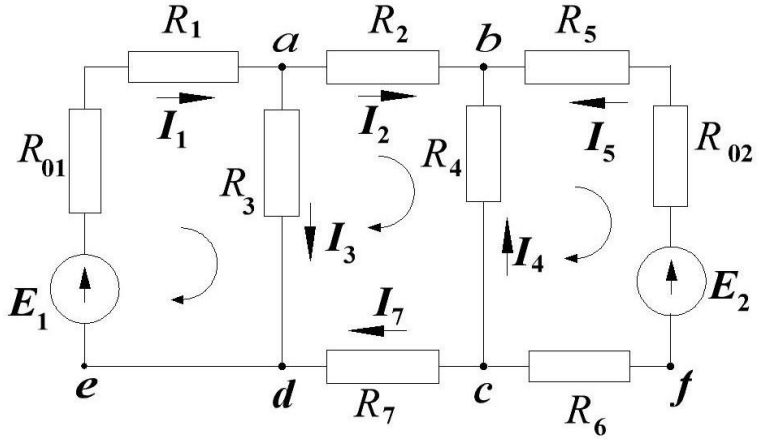


Рисунок 1 − Разветвленная цепь постоянного тока

Схема содержит 6 ветвей и 4 узла (m =6, n=4). На схеме показаны направления токов всех ветвей. По первому закону Кирхгофа составляем три уравнения для узлов *a, b, c*:
узел *a* : $I_1 - I_2 - I_3 = 0$; узел *b* : $I_2 + I_4 + I_5 = 0$; узел *c* : $-I_5 - I_4 - I_7 = 0$.

По второму закону Кирхгофа составляем 3 уравнения для контуров *adea* , *abcda* , *bfcb* (направления обхода принимаем по часовой стрелке):

контур *adea*	$E_1 = I_1(R_{01} + R_1) + I_3R_3$;
контур *abcda*	$0 = I_2R_2 - I_4R_4 + I_7R_7 - I_3R_3$;
контур *bfcb*	$-E_2 = -I_5(R_{02} + R_5 + R_6) + I_4R_4$.

Таким образом, при расчете цепи по методу непосредственного применения закона Кирхгофа необходимо решить систему из шести уравнений, что является трудоемкой операцией. При расчете сложных цепей с большим числом узлом целесообразно использовать метод контурных токов, позволяющий уменьшить число решаемых уравнений, на число уравнений записанных по первому закону Кирхгофа. При решении методом контурных токов число уравнений по второму закону Кирхгофа равно числу независимых контуров. В нашем случае (рис. 2) таких контуров – три : *adea* , *abcda* и *bfcb*.

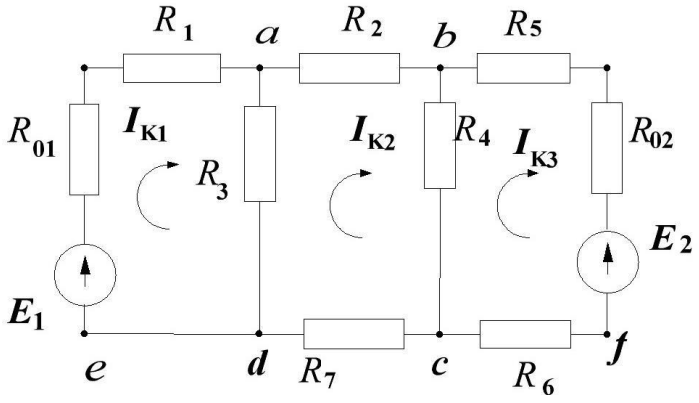


Рисунок 2 – Схема для расчета токов в ветвях методом контурных токов

Последовательность расчета

а) Вводя понятие «контурный ток», произвольно задаются направлениями этих токов в контурах I_{K1}; I_{K2}, I_{K3}. Удобнее все токи направлять в одном направлении, например, по часовой стрелке;

б) для каждого контура составляют уравнения по второму закону Кирхгофа.Обход контура принимается совпадающим с направлением контурного тока:

контур *adea*	$E_1 = I_{K1}(R_{01} + R_1 + R_3) - I_{K2}R_3$;
контур *abcda*	$0 = I_{K2}(R_2 + R_4 + R_7 + R_3) - I_{K1}R_3 - I_{K3}R_4$;
контур *bfcb*	$-E_2 = I_{K3}(R_5 + R_{02} + R_6 + R_4) - I_{K2}R_4$;

в) совместное решение записанных уравнений позволяет определить контурные токи;

г) токи во внешних ветвях схемы равны по величине соответствующим контурным токам; токи во внутренних ветвях схемы определяются как сумма или разность соответствующих контурных токов.

Для рассматриваемого примера:

$I_1 = I_{К1}$; $I_2 = I_{К2}$; $I_3 = I_{К1} - I_{К2}$; $I_4 = I_{К3} - I_{К2}$; $I_5 = I_3 - I_{К3}$; $I_7 = I_{К2}$.

Электрические цепи синусоидального тока

При расчете цепей синусоидального тока приходится совершать математические операции, которые удобно производить над комплексными действующими значениями токов и напряжений, рассматривая их как векторы. Величины векторов при этом равны действующим значениям тока и напряжения, а начальная фаза определяет положение вектора относительно положительной горизонтальной оси координат. При положительной начальной фазе вектор повернут на соответствующий угол против движения часовой стрелки, а при отрицательной - по направлению движения часовой стрелки. Совокупность векторов, изображающих синусоидальные ЭДС, напряжения и токи одной частоты, называют векторной диаграммой.

При резонансе напряжение и ток на зажимах цепи всегда совпадают по фазе. Настройка цепи на резонанс зависит от схемы соединений емкости и индуктивности. Для последовательного соединения условием резонанса является равенство индуктивного и емкостного сопротивлений: $X_L = X_C$. Для цепи, содержащей параллельный контур, в одной из ветвей, которого находится индуктивность, а в другой – емкость, условием резонанса является равенство реактивных проводимостей: $B_L = B_C$.

Трехфазные цепи переменного тока

При изучении трехфазных цепей особое внимание необходимо обратить на преимущества, которые дает трехфазная система по сравнению с однофазной. Рассматривая схемы соединения приемников энергии, необходимо уяснить связь между фазными и линейными напряжениями в схеме соединения звездой, а также между фазными и линейными токами в схеме соединения треугольником.

Расчет трехфазной цепи в симметричном режиме сводится к расчету одной фазы и производится аналогично расчету обычной цепи однофазного тока. В качестве примера рассмотрим схему, показанную на рисунке 3.

В четырехпроводную трехфазную сеть с заданным линейным напряжением $U_Л$=220 В включен приемник, активные и индуктивные сопротивления фаз которого соответственно равны: Ra=3 Ом, Xa=4 Ом, R_B=4 Ом, X_B=3 Ом, R_C=6 Ом, X_C=8 Ом.

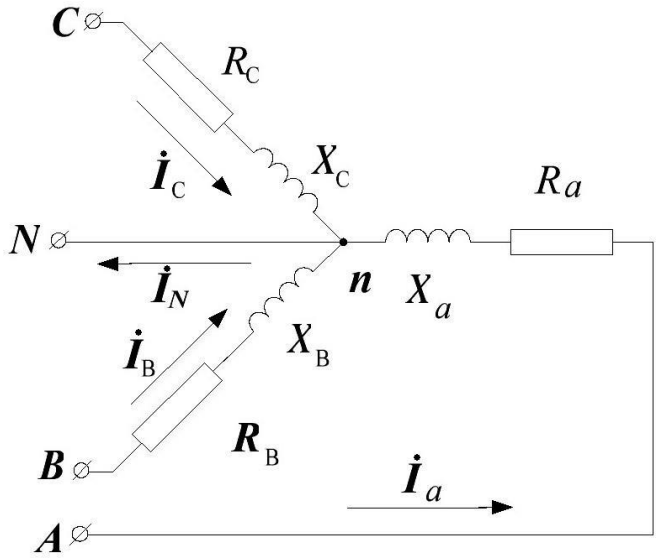


Рисунок 3 − Трехфазная цепь, при соединении приемников электрической энергии звездой с нулевым проводом

Принимаем начальную фазу напряжения $\dot{U}a$ за нуль. В этом случае:

$$\dot{U}a = U_л / \sqrt{3} = 127 \text{ В}, \ \dot{U}_B = 127\, e^{-j120} \text{ В}, \dot{U}c = 127\, e^{j120} \text{ В}.$$

Находим линейные токи:

$$\dot{I}a = \frac{\dot{U}a}{\underline{Z}a} = \frac{127}{3 + j4} = \frac{127}{5e^{j53°}} = 25{,}4e^{-j53°}\text{A};$$

$$\dot{I}_B = \frac{\dot{U}_B}{\underline{Z}_B} = \frac{127e^{-j120°}}{4 + j3} = \frac{127e^{-j120°}}{5e^{j37°}} = 25{,}4e^{-j157°}\text{ A};$$

$$\dot{I}c = \frac{\dot{U}c}{\underline{Z}c} = \frac{127\, e^{-j120°}}{8 + j5} = \frac{127e^{-j120°}}{10e^{j37°}} = 12{,}7e^{-j83°}\text{ A}.$$

Ток в нейтральном проводе определяется как геометрическая сумма линейных токов:

$$\dot{I}_N = \dot{I}a + \dot{I}_B + \dot{I}c = 25{,}4e^{-j53°} + 25{,}4e^{-j157°} + 12{,}5e^{-j83°} =$$
$$= 25{,}4 \cdot 0{,}587 - j25{,}4 \cdot 0{,}798 - 25{,}4 \cdot 0{,}913 - j25{,}4 \cdot 0{,}39 + 12{,}7 \cdot 0{,}104 +$$
$$+ j12{,}7 \cdot 0{,}992 = -6{,}97 - j17{,}57 = 18{,}9e^{-j112°}\text{ A}$$

Векторная диаграмма показана на рисунке 4.

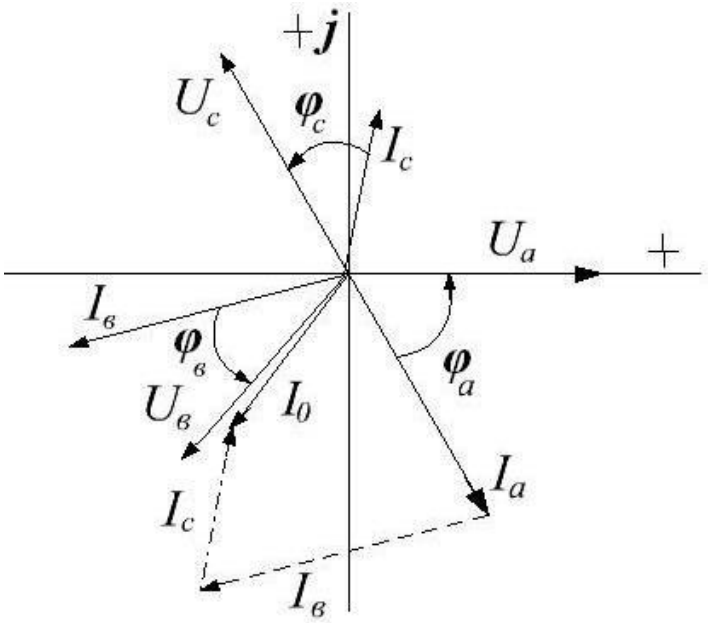


Рисунок 4 − Векторная диаграмма для схемы, изображенной на рисунке 3

Трансформаторы

Рассматривая физические процессы, возникающие в трансформаторе, необходимо обратить внимание на то, что при изменении нагрузки трансформатора от холостого хода до номинального режима магнитный поток может считаться практически постоянным и равным магнитному потоку в режиме холостого хода. Это в свою очередь определяет постоянство потерь в стали, которые определяются из режима холостого хода.

При рассмотрении режима короткого замыкания получается, что магнитный поток в сердечнике трансформатора настолько мал, что им можно пренебречь. При этом режиме потери в стали трансформатора практически равны нулю, а потери в меди (в обмотках трансформатора) равны потерям при номинальной нагрузке. Величины токов, напряжений и мощностей, получаемых из опытов холостого хода и короткого замыкания, позволяют определить основные параметры трансформатора.

В паспорте трехфазных трансформаторов приводятся номинальная мощность, номинальные напряжения (линейные напряжения), номинальные токи (линейные токи), мощность потерь.

Последовательность расчета трансформаторов Т – образной схемы замещения, внешней характеристики и зависимости коэффициента полезного действия (КПД) от коэффициента загрузки (β).

Для трехфазного трансформатора мощностью S=180кВА , соединение обмоток которого $^{Y}/_{Y}$ – 0, известно; номинальное напряжение на зажимах первичной обмотки $U_{1н}$ = 10000 В; напряжение холостого хода на зажимах вторичной обмотки U_{20} = 525 В; напряжение короткого замыкания $U_К$%= 5,0%, мощность короткого замыкания $P_К$ = 4100 Вт , мощность холостого хода

P_0=1200 Вт, ток холостого хода I_0 = 0,07 $I_{1Н}$.

Определить сопротивления обмоток трансформатора и сопротивления намагничивающего контура. Построить:

1) зависимость напряжения вторичной обмотки U_2 от коэффициента загрузки β ($U_2 = f(\beta)$ – внешняя характеристика),

2) зависимость коэффициента полезного действия η от коэффициента загрузки β.

Составить Т-образную схему замещения трансформатора.

Решение

Определяем номинальный ток первичной обмотки:

$$I_{1Н} = \frac{S_Н}{\sqrt{3}U_{1Н}} = \frac{180 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 10000} = 10{,}39А$$

Определяем ток холостого хода и cos φ_0:

$$\cos\varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3} \cdot U_{1Н} \cdot I_0} = \frac{1200}{\sqrt{3} \cdot 10000 \cdot 0{,}73} = 0{,}095.$$

Сопротивления короткого замыкания:

$$Z_K = \frac{U_К\%}{100 \cdot I_{1Н}} = \frac{5 \cdot 10000}{100 \cdot \sqrt{3} \cdot 10{,}39} = 27{,}78 \text{ Ом},$$

$$R_K = \frac{P_К}{3 \cdot I^2_{1Н}} = \frac{4100}{3 \cdot 10{,}39^2} = 12{,}66 \text{ Ом},$$

$$X_К = \sqrt{Z_К{}^2 - R_К{}^2} = \sqrt{27{,}78^2 - 12{,}66^2} = 24{,}73 \text{ Ом}.$$

Сопротивления первичной обмотки и приведенных к первичной обмотке сопротивления вторичной обмотки:

$$R_1 = R'_2 = \frac{R_K}{2} = \frac{12{,}66}{2} = 6{,}33 \text{ Ом},$$

$$X_1 = X'_2 = \frac{X_K}{2} = \frac{24{,}73}{2} = 12{,}36 \text{ Ом},$$

сопротивления вторичной обмотки:

$$R_2 = R'_2 / к^2 = 6{,}33 / 19^2 = 0{,}017 \text{ Ом},$$

$$X_2 = X'_2 / к^2 = 12{,}36 / 19^2 = 0{,}034 \text{ Ом},$$

где к = $U_{1Н} / U_{20}$ = 10000 / 525 = 19 (коэффициент трансформации).

Сопротивления контура намагничивания:

$$Z_0 = \frac{U_{1н}}{\sqrt{3} \cdot I_0} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 0{,}73} = 7908 \text{ Ом},$$

$$R_0 = \frac{P_0}{3 \cdot I^2_0} = \frac{1200}{3 \cdot 0{,}73^2} = 750 \text{ Ом},$$

$$X_0 = \sqrt{Z_0{}^2 - R_0{}^2} = \sqrt{7908^2 - 750^2} = 7872 \text{ Ом}.$$

Для построения внешней характеристики $U_2 = f(\beta)$ определяем потерю напряжения во вторичной обмотке трансформатора:

$$\Delta U_{2\%} = \beta \, (U_{a\%} \cdot \cos \varphi_2 + U_{p\%} \cdot \sin \varphi_2) \, ,$$

где $\cos \varphi_2$ – коэффициент мощности нагрузки.

$U_{a\%}, U_{p\%}$ – активное и реактивное относительные падения напряжений:

$$U_{a\%} = U_{К\%} \cos \varphi_К = 5 \cdot 12{,}66/27{,}78 = 2{,}27 \% \, ;$$

$$U_{p\%} = U_{К\%} \sin \varphi_К = 5 \cdot 24{,}73/27{,}78 = 4{,}45 \% \, ,$$

где $\cos \varphi_К = R_К \, Z_К$; $\sin \varphi_К = X_К / Z_К$.

Напряжение на зажимах вторичной обмотки трансформатора определяется по формуле:

$$U_2 = {}^{U_{20}}/_{100} \, (100 - \Delta U_{2\%}) \, .$$

Задаваясь различными значениями β, определяем падения напряжения на обмотке трансформатора $\Delta U_{2\%}$ и напряжения на зажимах вторичной обмотки.

Построение зависимости $\eta = f(\beta)$ производится по формуле:

$$\eta = \frac{\beta \cdot S_Н \cdot \cos \varphi_2}{\beta \cdot S_Н \cdot \cos \varphi_2 + P_0 + P_К \cdot \beta^2} \, .$$

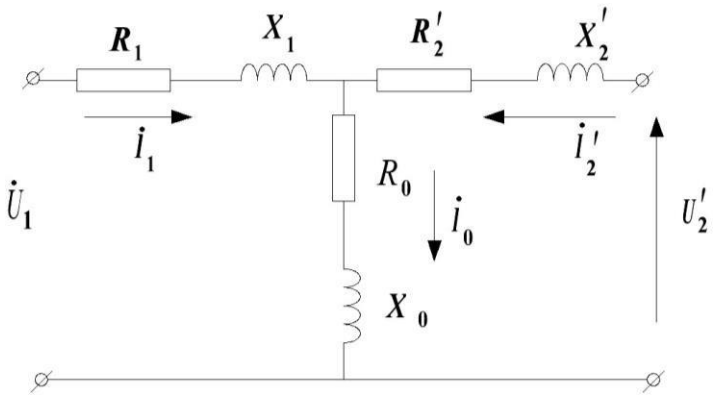
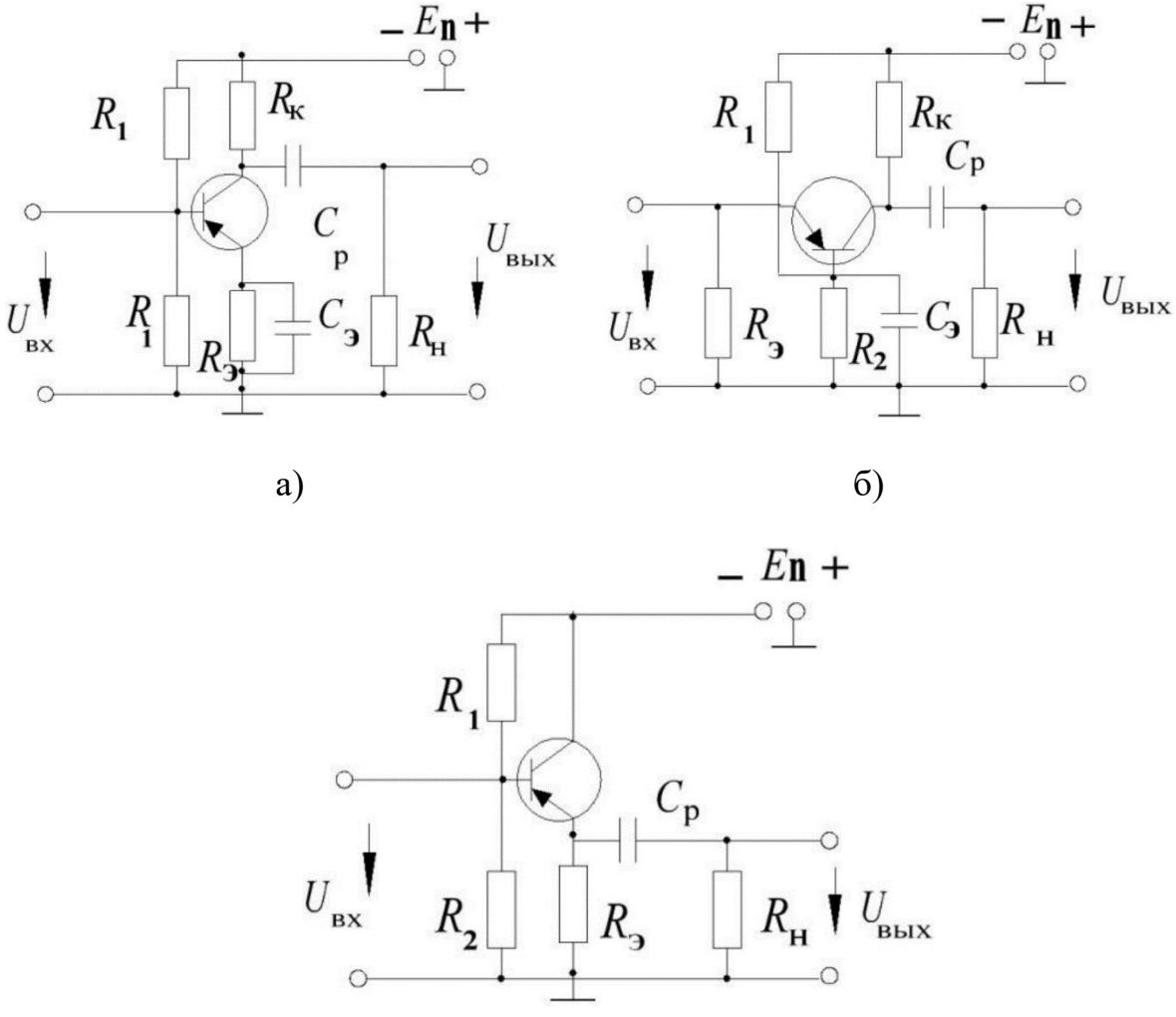


Рисунок 5 – Схема замещения трансформатора

Усилители переменного тока на транзисторах являются одним из самых распространенных полупроводниковых устройств. Усилители подразделяются на усилители тока, предварительные (напряжения) и усилители мощности. Предварительные транзисторные усилители состоят из одного или нескольких каскадов.

Для каскадов предварительного усиления наибольшее применение получили схемы с реостатно-емкостной связью. В зависимости от способа включения транзистора различаются три схемы каскадов:

с общим эмиттером - ОЭ (рис. 6 а);
с общей базой - ОБ (рис. 6 б);
с общим коллектором - ОК (рис. 6 в).



а) б)

в)

Рисунок 6 – Усилительные каскад с ОЭ (а), ОБ (б), ОК (в)

Наиболее распространенным является каскад с ОЭ, так как он обеспечивает усиление тока (коэффициент усиления по току (10 ÷ 200) и

напряжения (коэффициент усиления по напряжению 30 ÷ 1000).

Расчет усилительного каскада можно провести по входным и выходным характеристикам транзистора. На выходных характеристиках строится линия нагрузки, вдоль которой изменяются значения коллекторных токов при изменении значений токов базы. Точка покоя выбирается на нагрузочной прямой в зависимости от режима работы каскада.

Для получения минимальных нелинейных искажений в каскадах напряжения выбирается режим работы класса А. Класс А характеризуется тем, что при подаче входного сигнала рабочая точка не выходит за пределы тех участков входной и выходной характеристик транзистора, где существует пропорциональность между изменениями коллекторного и базового токов.

Температурная стабилизация режима покоя осуществляется введением отрицательной обратной связи по постоянному току на сопротивлении $R_Э$. Для того, чтобы включение $R_Э$ не снижало коэффициентовусиления по напряжению и току для усиливаемых сигналов переменного тока, резистор $R_Э$ шунтируют конденсатором $C_Э$ достаточно большой емкости.

Пример расчета усилителя

В задании рассчитывается каскад транзисторного усилителя напряжения низкой частоты с реостатно-емкостной связью. Транзистор включен по схеме с общим эмиттером (рис.6а). Исходными данными для расчета являются:

- амплитуды напряжения на выходе каскада $U_{\text{вых m}}$;
- сопротивление нагрузки $R_\text{Н}$;
- нижняя граничная частота $f_\text{Н}$;
- напряжение источника питания $E_\text{П}$;
- режим работы – А.

В задании требуется определить:

- тип транзистора;
- коэффициент усиления каскада по напряжению КU ;
- сопротивление коллекторной нагрузки $R_\text{К}$;
- сопротивление $R_Э$ и емкость $C_Э$ в цепи эмиттера;
- сопротивления делителя напряжения R_1 и R_2 ;
- емкость разделительного конденсатора $C_\text{Р}$.

Порядок выполнения задания

1. *Выбор типа транзистора.* Для выбора типа транзистора определяются:

а) наибольшее допустимое напряжение между коллектором иэмиттером

$$U_{\text{КЭ }доп} \geq (1{,}1 \div 1{,}3)\, E_\text{П};$$

б) наибольший допустимый ток коллектора

$$I_{К\,доп} > 2\,I_{кm},$$

где $I_{кm}$ – амплитуда переменной составляющей тока коллектора.

$$I_{кm} = (5 \div 10)\,U_{вых\,m} / R_{Н}.$$

По рассчитанным $U_{КЭ\,доп}$ и $I_{К\,доп}$ выбирается тип транзистора (табл. 1).

Таблица 1

Тип транзистора	Коэффициент усиления по току β	Максимально допустимые параметры		
		$I_{К\,доп}$, мА	$U_{КЭ\,доп}$,В	рассеиваемая мощность коллектора $P_к$,мВт
1	2	3	4	5
МП 20 А	105	45	20	150
МП 20 Б	125			
МП 20 В	60			
МП 20 Г	105			
МП 20 Д	125			
МП 21 В	60		30	
МП 21 Г	60		30	
МП 21Д	125		35	
МП 21Е	105		35	
МП 35	13	20	15	150
МП 36 А	15		15	
МП 37, МП 37 А	15		15	
МП 37 Б	25		30	
МП 38	25		15	
МП 38 А	45		15	
МП 39	12	20	15	150
МП 39 Б	20			
МП 40	20			
МП 40 А	20			
МП 41	30			
МП 41 А	50			
МП 42	20	45	15	200
МП 42 А	30			
МП 42 Б	45			

Окончание таблицы 1

Тип транзистора	Коэффициент усиления по току β	Максимально допустимые параметры		
		$I_{К\ доп}$, мА	$U_{КЭ\ доп}$,В	рассеиваемая мощность коллектора $P_к$,мВт
1	2	3	4	5
ГТ 108 А	20	50	18	75
ГТ 108 Б	35			
ГТ 108 В	60			
ГТ 108 Г	110			
МП 114	9	10	60	150
МП 115	9		30	150
МП 116	15		15	150

Для выбранного типа транзистора выписать значение коэффициента усиления по току и привести семейство входных и выходных характеристик для схемы с ОЭ.

2. *Построение нагрузочной прямой.* Для этого на семействе выходных характеристик $I_К = f(U_{КЭ})$ при $I_Б\ const$ проводится нагрузочная прямая (рис. 7).

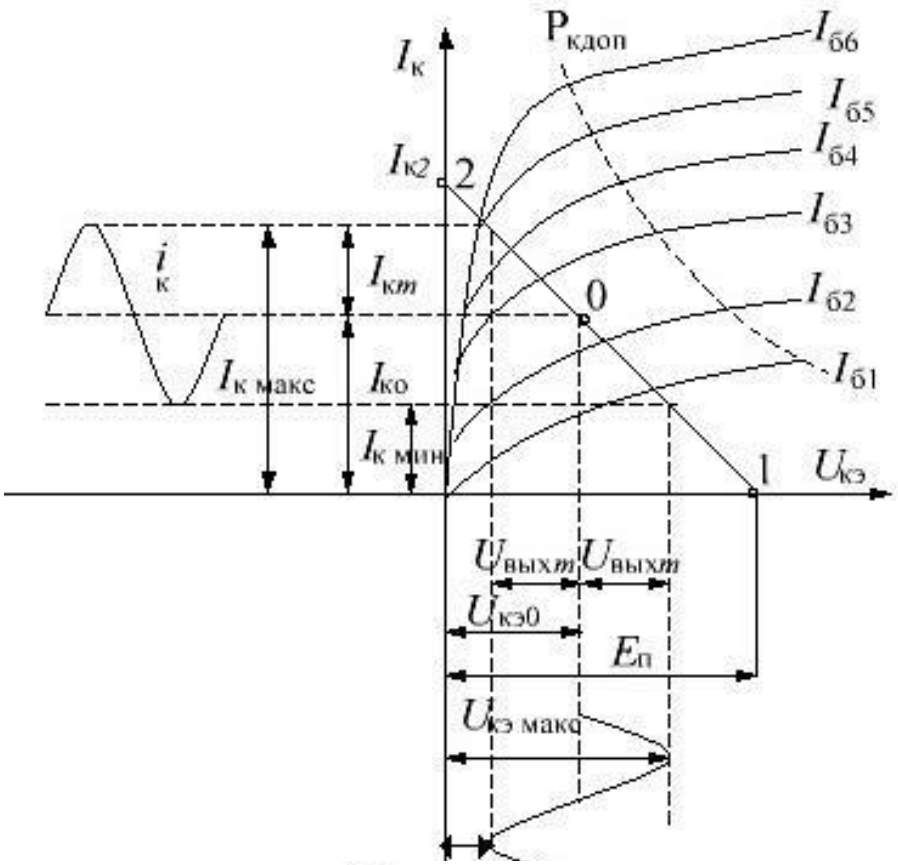
Нагрузочная прямая строится по двум точкам: точка «1» – определяется величиной напряжения питания $Е_П$, точка «О» – точка покоя (рабочая), положение которой определяется заданным режимом работы усилителя. В данной схеме координатами точка «О» будет ток покоя $I_{КО}$ = (1,05 ÷ 1,2) $I_{К}m$ и напряжение покоя $U_{КЭО}$ = $U_{вых}\ m$ + $U_{КЭ\ ост}$. Для маломощных транзисторов $U_{КЭ\ ост}$ = (0,5 ÷ 1)В.

По нагрузочной прямой графически определяется минимальное, максимальное и амплитудное значения тока коллектора ($I_{К\ мин}$, $I_{К\ макс}$ и $I_{К}\ m$), соответствующие коллекторным напряжениям, необходимым для получения на выходе $U_{вых}\ m$.

Далее определяются амплитудные значения входного тока $I_{Б}m$ и входного напряжения $U_{Б}m$, необходимые для обеспечения заданного значения $U_{вых}\ m$. Амплитудные значения тока $I_{Б}m$, максимальное $I_{Б\ макс}$ и минимальное $I_{Б\ мин}$ определяются делением соответствующих значений коллекторных токов ($I_{К}m$, $I_{К\ макс}$, $I_{К\ мин}$) на коэффициент усиления по току β выбранного транзистора:

$$I_{Б}m = I_{К}m/\beta$$
$$I_{Б\ макс} = I_{К\ макс}/\beta$$
$$I_{Б\ мин} = I_{К\ мин}/\beta.$$

а)



б)

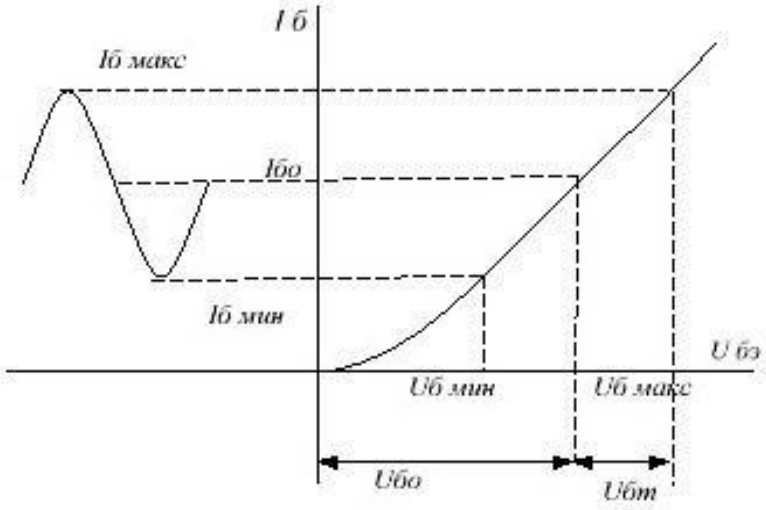


Рисунок 7 – Выходные (а) и входные (б) характеристики транзистора

По входной характеристике транзистора $I_б = f(U_б)$ для $U_к$=−5 В (рис. 7 б) и найденным значениям $I_б$ макс, $I_б$ мин и $I_{бm}$ определяются $U_б$ макс , $U_б$ мин и $U_{бm}$.

3. *Коэффициент усиления каскада по напряжению*

$$K_U = U_{вых\ m} / U_{бm}$$

4. *Определение величин сопротивлений* $R_к$, $R_э$ *и емкости* $C_э$.

По выходным характеристикам определяем ток $I_{к2}$, соответствующий точке пересечения нагрузочной прямой с осью тока коллектора (точка 2). Тогда общее сопротивление в цепи эмиттер-коллектор:

$$R_{об} = E_п / I_{к2}.$$

Сопротивление

$$R_к = R_{об} / (1{,}15 \div 1{,}25) \text{ и } \qquad R_э = R_{об} - R_к.$$

Емкость

$$C_э \geq \frac{10}{2\pi f_н R_э}.$$

5. *Определение сопротивлений делителя напряжения* R_1 и R_2:

$$R_1 = \frac{E_п - U_{бо} - I_{ко} R_э}{I_д + I_{бо}};$$

$$R_2 = \frac{U_{бо} + I_{ко} R_э}{I_д},$$

где $I_д = (2 \div 5) \cdot I_{бо}$ – ток делителя; $I_{бо}, U_{бо}$ – ток и напряжение определяемые по входной характеристике в точке покоя (рис.7).

6. *Определение емкости разделительного конденсатора* $C_р$:

$$C_р = 1/2\pi f_н (R_к + R_н)\sqrt{M_н^2 - 1},$$

где $M_н = 1{,}41$ − допустимый коэффициент частотных напряжений в области низких частот.

Усилители постоянного тока и операционные усилители

Усилители постоянного тока (УПТ) предназначены для усиления сигналов, медленно изменяющихся во времени, т.е. сигналов, частота которых приближается к нулю. В таких усилителях связь источника сигнала с входом усилителя и межкаскадные связи не могут быть осуществлены посредством конденсаторов и трансформаторов, поскольку это привело бы к снижению до нуля коэффициента усиления при $f = 0$. Поэтому в УПТ осуществляется непосредственная связь источника входного сигнала с входной цепью усилителя, и аналогичная связь между каскадами, что приводит к тому, что выходное напряжение определяется не только усиленным полезным сигналом, но и ложным сигналом, создаваемым за счет изменения во

времени параметров режимов работы каскадов. Самопроизвольное изменение выходного напряжения УПТ при неизменном напряжении входного сигнала называется дрейфом нуля усилителя. Радикальным средством уменьшения дрейфа нуля является применение балансных каскадов.

Операционные усилители (ОУ) относятся к усилителям постоянного тока с большим коэффициентом усиления. Однако, без дополнительных внешних элементов (резисторов, конденсаторов) во входной цепи и цепи обратной связи ОУ используются крайне редко. Устройства на базе ОУ могут выполнять следующие операции: инвертирование, дифференцирование, интегрирование входного сигнала, суммирование нескольких входных сигналов.

Выпрямительные устройства

Основными элементами выпрямителя являются трансформатор и диоды, с помощью которых обеспечивается одностороннее протекание тока в цепи нагрузки, в результате чего переменное напряжение преобразуется в пульсирующее. Для сглаживания пульсаций выпрямленного напряжения к выходу выпрямителя подключают электрический сглаживающий фильтр.

В зависимости от числа фаз питающего источника переменного напряжения различают схемы однофазного и трехфазного питания. В зависимости от числа пульсаций за период питающего напряжения в кривой выпрямленного напряжения различают три схемы: с однократными пульсациями (однополупериодный выпрямитель); с двухкратными пульсациями (однофазные схемы с нулевым выводом и мостовая); с трехкратными пульсациями (трехфазная схема с нулевым выходом); с шестикратными пульсациями (трехфазная мостовая).

Основными величинами, характеризующими эксплуатационные свойства выпрямителя, являются: среднее значение выпрямленного напряжения U_d и тока I_d, КПД η, коэффициент пульсаций, представляющий собой отношение амплитуды первой гармоники выпрямленного напряжения $U_{(1)m}$ к его среднему значению U_d:

$$K_{n1} = \frac{U(1)m}{U_d}.$$

В зависимости от схемы выпрямителя коэффициент пульсации составляет: 1,57 - для однополупериодной схемы; 0,67 - для однофазной мостовой схемы; 0,057 - для трехфазной мостовой.

Для выпрямителей средней и большой мощности применяются трехфазные мостовые схемы (рис. 8). Трехфазная мостовая схема содержит трехфазный трансформатор, 6 диодов и нагрузку R_H. Диоды объединены в две группы: анодную (2,4,6) и катодную (1,3,5). В каждый момент времени в схеме работают два диода: один из катодной группы, другой из анодной группы. Из катодной группы ток пропускает диод с наиболее высоким потенциалом анода,

из анодной группы – с наиболее низким потенциалом катода.

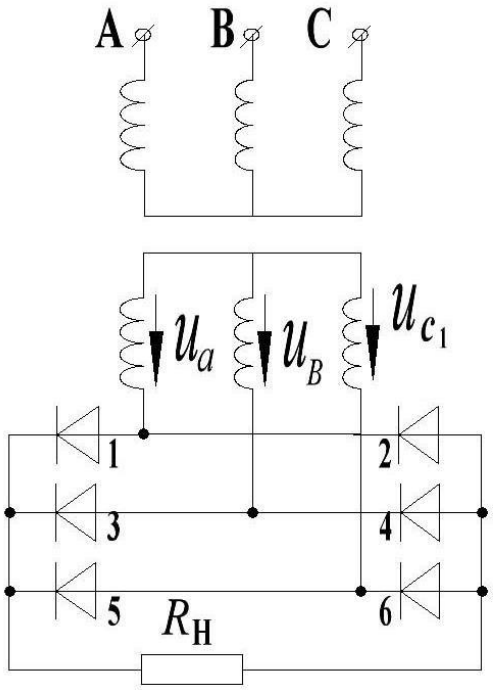


Рисунок 8 – Трехфазный мостовой выпрямитель

На рисунке 9 изображены временные диаграммы фазных напряжений вторичной обмотки трансформатора u_a, u_b, $u_c = f(t)$ и график выпрямленного напряжения $u_{\text{Н}} = f(t)$, который состоит из участков линейных напряжений вторичных обмоток трансформатора.

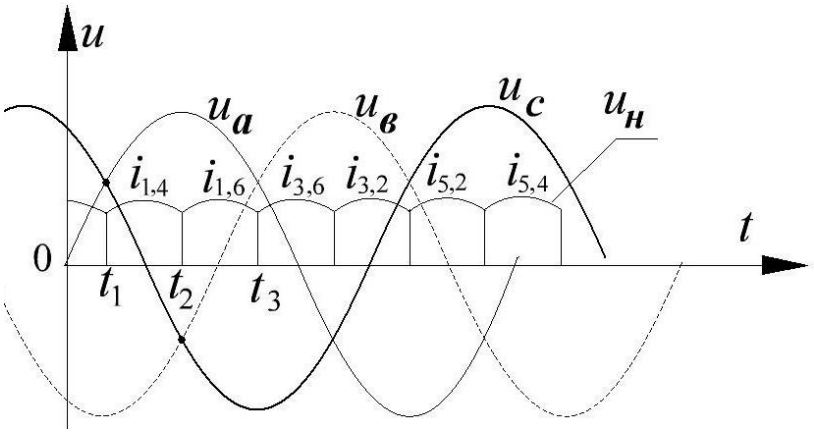


Рисунок 9 – Временная диаграмма напряжений и токов

Например, в интервал времени $t_1 \div t_2$ (рис. 9) ток возникает в цепи диод $Д1$ – нагрузочный резистор $R_{\text{Н}}$ – диод $Д4$, так как к этим диодам приложено линейное напряжение u_{ab}, которое в этот интервал времени больше других линейных напряжений. В интервале времени $t_2 \div t_3$ открыты диоды $Д_1$, $Д_6$, так как к ним приложено наибольшее в это время линейное напряжение u_{ac}, и т.д.

нетрудно видеть, что во все интервалы времени токи в нагрузочном резисторе $R_{\text{Н}}$ имеют одно и то же направление.

Пример расчета трехфазного мостового выпрямителя

Исходные данные:

- среднее значение выпрямленного напряжения $U_{\text{Н}}(U_d)$;
- среднее значение выпрямленного тока $I_{\text{Н}}$ (I_d);
- действующее значение первичного напряжения U_1;
- частота питающего напряжения 50 Гц.

Изобразить схему выпрямителя и график временных диаграмм токов и напряжений при работе выпрямителя на активную нагрузку.

Определить: тип диодов, мощность трансформатора.

Для выбора диодов определяется среднее значение выпрямленного тока, протекающего через диод, $I_{\text{Д}}$ = 0,33 $I_{\text{Н}}$ и максимальное значение обратного напряжения на вентиле $U_{\text{обр макс}}$= 1,045 $U_{\text{Н}}$

По $I_{\text{Д}}$ и $U_{\text{обр макс}}$ выбирается диод из таблицы 2. Если обратное напряжение выбранного диода меньше расчетного $U_{\text{обр макс}}$, то следует выбирать несколько последовательно включенных диодов так, чтобы сумма их обратных напряжений была больше $U_{\text{обр макс}}$.

Таблица 2

Тип диода	Средний выпрямленный ток, А	Обратное напряжение (амплитудное значение), В
Д 226 Б	0,3	300
Д 226 В		200
Д 226 Г		150
Д 226 Д		70
Д 229 В	0,4	100
Д 229 Д		200
Д 229 Д		300
Д 229 Е		400
Д 229 Ж	0,7	100
Д 229 И		200
Д 229 К		300
Д 229 Л		400
Д 242	10	100
Д 242 А	10	
Д 242 Б	5	

Окончание таблицы 2

Тип диода	Средний выпрямленный ток, А	Обратное напряжение (амплитудное значение), В
Д 243	10	200
Д 243 А	10	
Д 243 Б	5	
Д 245	10	300
Д 245 А	10	
Д 245 Б	5	
Д 246	10	400
Д 246 А	10	
Д 246 Б	5	
Д 247	10	500
Д 247 Б	5	
Д 248 Б	5	600

Расчет мощности трансформатора

Действующее значение ЭДС вторичной обмотки трансформатора

$$E_2 = 0{,}427\ U_{\text{Н}}.$$

Коэффициент трансформации трансформатора

$$n = \frac{E_2}{U_1}.$$

Действующее значение тока вторичной обмотки трансформатора

$$I_2 = 0{,}317\ I_{\text{Н}}\ .$$

Действующее значение тока первичной обмотки трансформатора

$$I_1 = 0{,}317n\ I_{\text{Н}}.$$

Расчетная мощность трансформатора

$$S_{\text{Т}} = 1{,}05\ U_{\text{Н}}\ \cdot\ I_{\text{Н}}(\text{ВА}).$$

ЗАДАНИЯ К КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ 1

Номер варианта задания выбирается по двум последним цифрам индивидуального шифра. Контрольная работа, выполненная не по своему варианту, не засчитывается.

Задача 1. Для электрической схемы в соответствие с номером последней цифры индивидуального шифра, изображенных на рисунке 10, по заданным в таблице 3 сопротивлениям и ЭДС (вариант соответствует предпоследней цифре шифра):

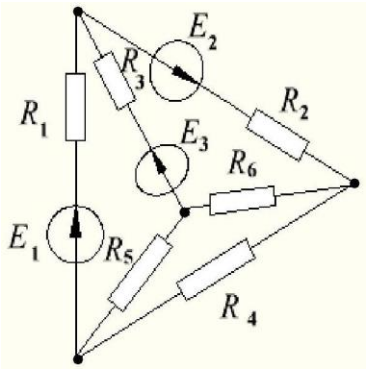
1) составить систему уравнений, необходимых для определения токовпо первому и второму законам Кирхгофа;

2) найти все токи, пользуясь методом контурных токов.

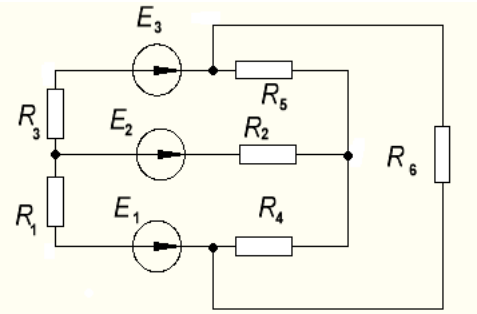
Таблица 3

Вариант	***E*1, В**	***E*2, В**	***E*3, В**	***R*1, Ом**	***R*2, Ом**	***R*3, Ом**	***R*4, Ом**	***R*5, Ом**	***R*6, Ом**
0	22	24	10	2,2	1,0	9,2	4,0	10,0	6,0
1	55	18	4	8,8	4,0	3,8	2,0	4,0	4,0
2	36	10	25	4,0	8,4	3,5	1,0	2,0	7,0
3	16	5	32	9,0	3,6	2,8	4,0	1,0	5,0
4	14	25	28	5,9	3,2	8,0	2,0	2,0	6,0
5	5	16	30	6,4	4,0	3,7	2,0	5,0	3,0
6	10	6	24	4,3	5,3	6,0	6,0	3,0	1.0
7	6	20	4	4,0	6,8	5,2	4,0	3,0	3,0
8	21	4	10	5,0	7,2	2,6	8,0	1,0	1,0
9	4	9	18	3,5	10,0	4,7	8,0	10,0	2,0

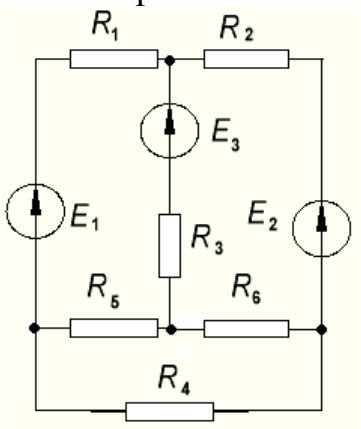
вариант – 0



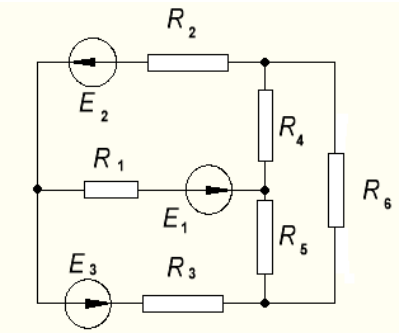
вариант- 1



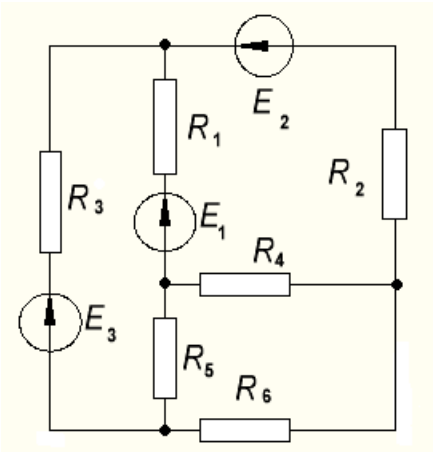
вариант-2



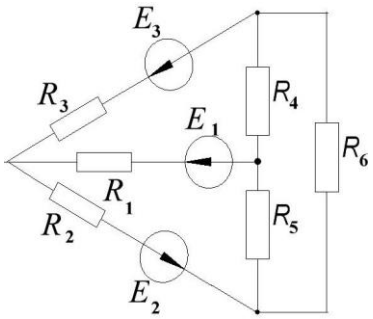
вариант – 3



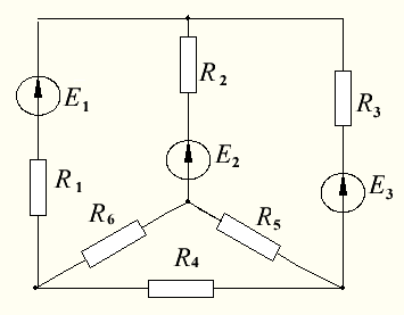
вариант – 4



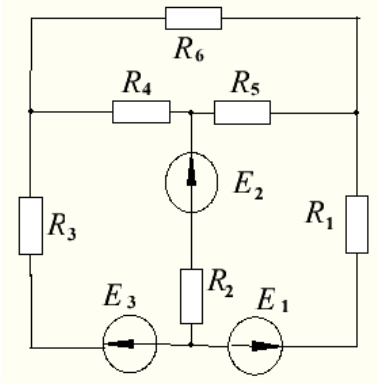
вариант – 5



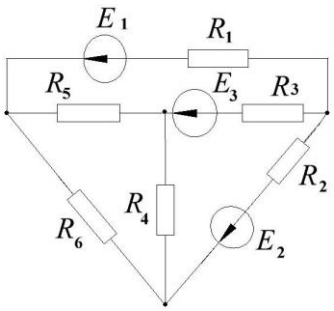
вариант – 6



вариант – 7



вариант – 8



вариант – 9

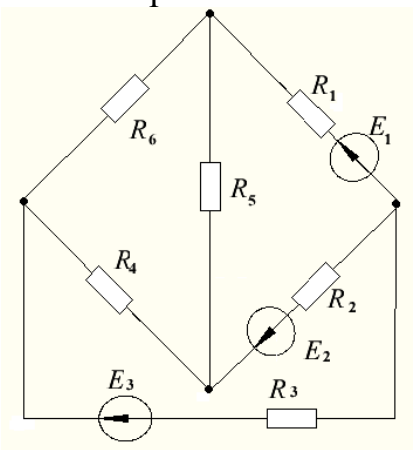


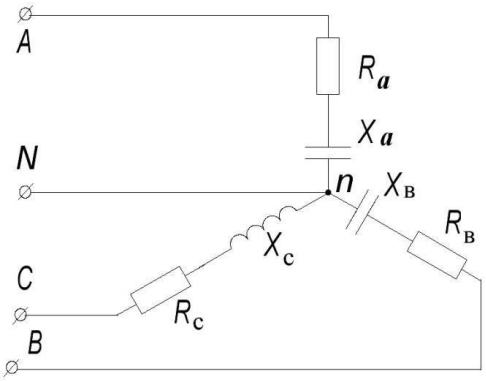
Рисунок 10 – Схемы вариантов заданий

Задача 2. Для электрической схемы в соответствие с номером последней цифры индивидуального шифра, изображенной на рисунке 11, по заданным в таблице 4 (вариант соответствует предпоследней цифре шифра) параметрам и линейному напряжению определить фазные токи, активную мощность всей цепи и каждой фазы отдельно, построить векторную диаграмму и графически определить ток в нейтральном проводе.

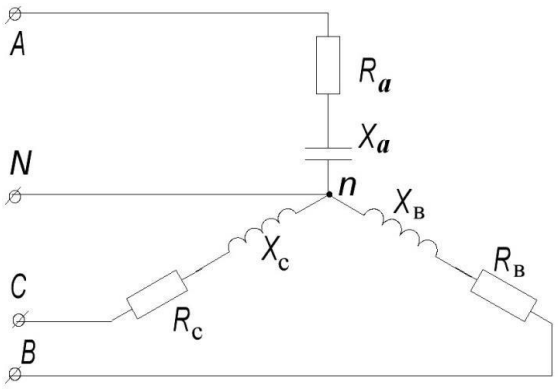
Таблица 4

Вариант	U_A В	***Ra*, Ом**	***Xa*, Ом**	***R*в Ом**	**Хв Ом**	**Rc Ом**	**Хс Ом**
0	200	4	-3	3	-4	6	8
1	380	6	-8	4	-3	8	6
2	660	8	-6	3	-3	4	3
3	220	1,5	2	8	6	3	4
4	300	3	4	4,5	6	4	3
5	660	9	12	8	6	1,5	2
6	220	1,5	-2	2	1,5	3	4
7	380	4	-3	3	4	6	4,5
8	660	4,5	-6	12	9	8	6
9	380	10	-	-	5	-	-20

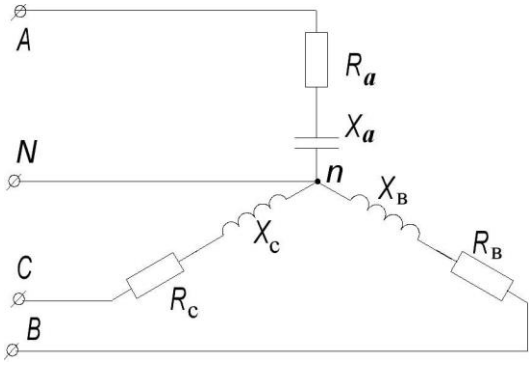
вариант – 0, 1 и 2



вариант – 3, 4 и 5



вариант – 6, 7



вариант – 8, 9

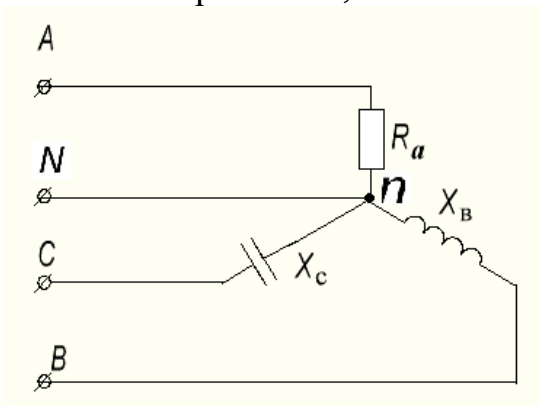


Рисунок 11 – Схемы для расчета трехфазных цепей

Задача 3. Для трехфазного трансформатора в соответствие с номером последней цифры индивидуального шифра, номинальные данные которого приведены в табл.5, определить коэффициент мощности в режиме холостого

хода, сопротивления первичной и вторичной обмоток R_1, X_1, R_2, X_2 и сопротивление намагничивающего контура Z_0 , R_0 , X_0 . Построить внешнюю характеристику трансформатора $U_2 = f(\beta)$ и зависимость КПД от коэффициента загрузки $\eta = f(\beta)$ при cos φ_2 =0,75. Начертить эквивалентную схему трансформатора. Схема соединения обмотки трансформатора - Y⁄Y - 0.

Таблица 5

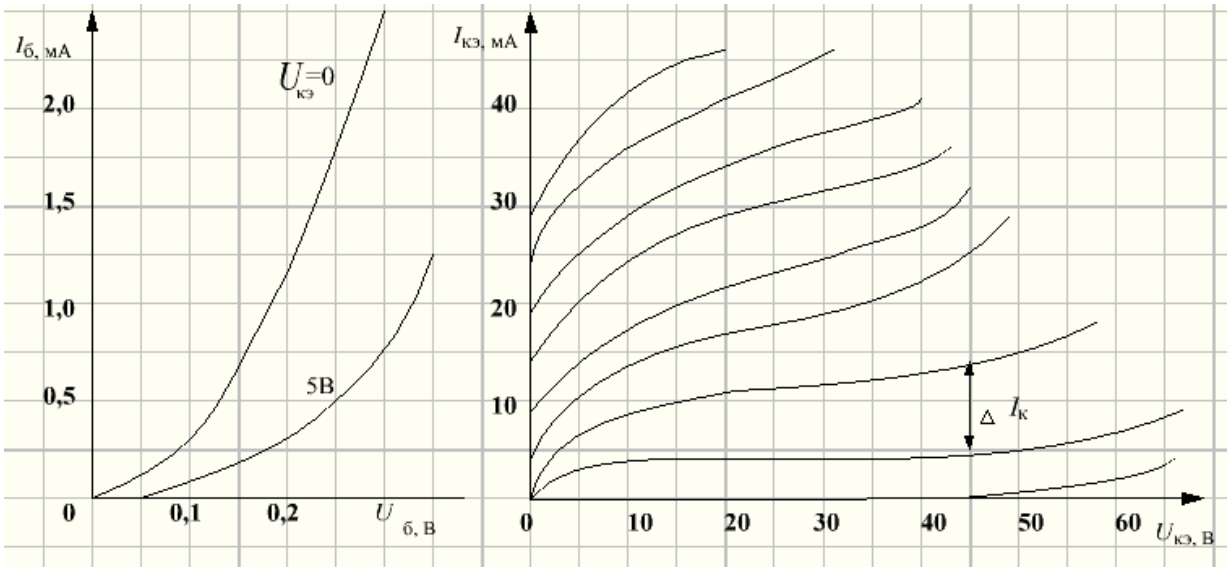
Вариант	**S, кВА**	$U_{1н}$**, В**	U_{20}**, В**	$U_к$**, %**	$P_к$**, Вт**	P_0**, Вт**	I_0**, %**
0	10	6300	400	5,0	335	105	10,0
1	30	10000	400	5,0	850	300	9,0
2	50	10000	400	5,0	1350	440	8,0
3	75	10000	230	5,0	1850	590	7,5
4	100	10000	525	5,0	2400	730	7,5
5	240	10000	525	5,0	5100	1600	7,0
6	420	10000	230	5,0	700	2100	6,5
7	25	5000	230	4,5	600	125	3,0
8	25	10000	230	4,7	690	125	3,0
9	40	10000	230	4,5	680	180	3,0

Задача 4. Рассчитать каскад транзисторного усилителя напряжения, принципиальная схема которого изображена на рисунке 6 а. Исходные данные приведены в таблице 8 в соответствие с номером последней цифры индивидуального шифра. Семейство входных и выходных характеристик транзисторов показано на рисунке 12 (вариант соответствует предпоследней цифре шифра).

Таблица 8

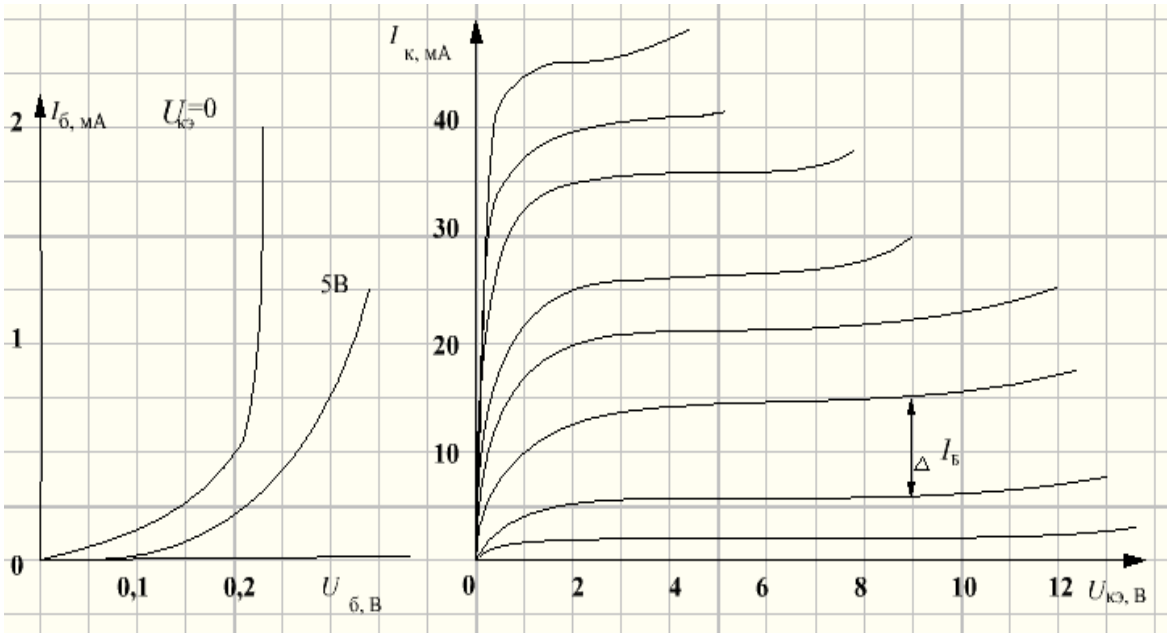
Вариант	U**вых m, В**	$R_н$**, Ом**	$f_н$**, Гц**	$E_п$**, В**
0	4	6000	150	15
1	3	5500	120	12
2	8	5000	90	30
3	2	3500	200	10
4	3	1500	180	12
5	7	3000	130	25
6	5	3500	100	16
7	10	10000	170	40
8	4	5000	90	20
9	5	6500	140	20

Вариант – 0 и 1



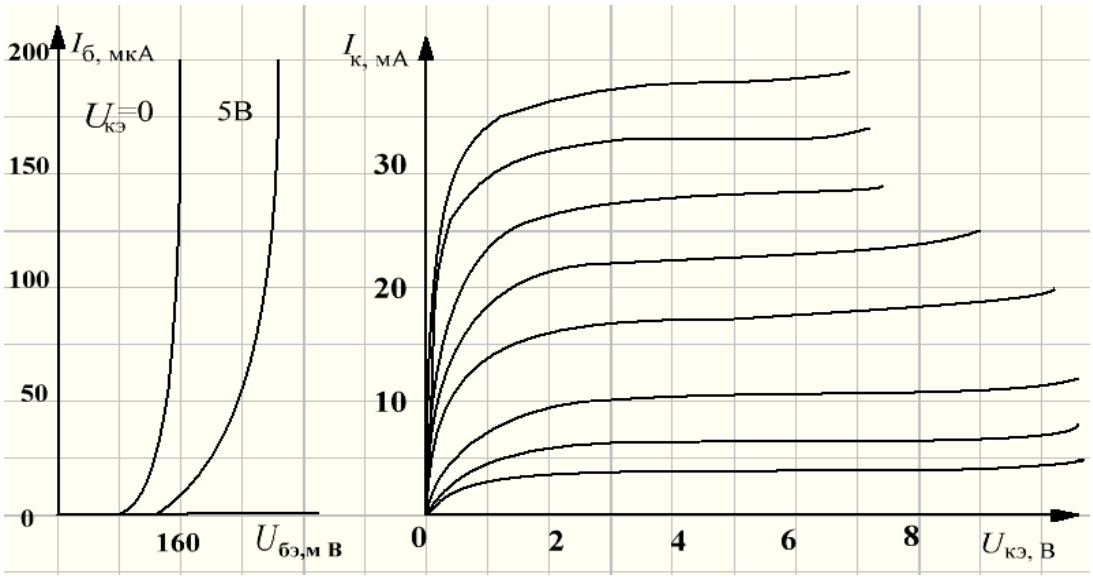
МП 20А, МП 20Г, МП 21Е - $\Delta I_б$= 50 мкА МП 20Б, МП 20Д, МП 21Д - $\Delta I_б$ = 40 мкАМП 20В, МП 21Д - $\Delta I_б$ = 100 мкА

Вариант – 2 и 3



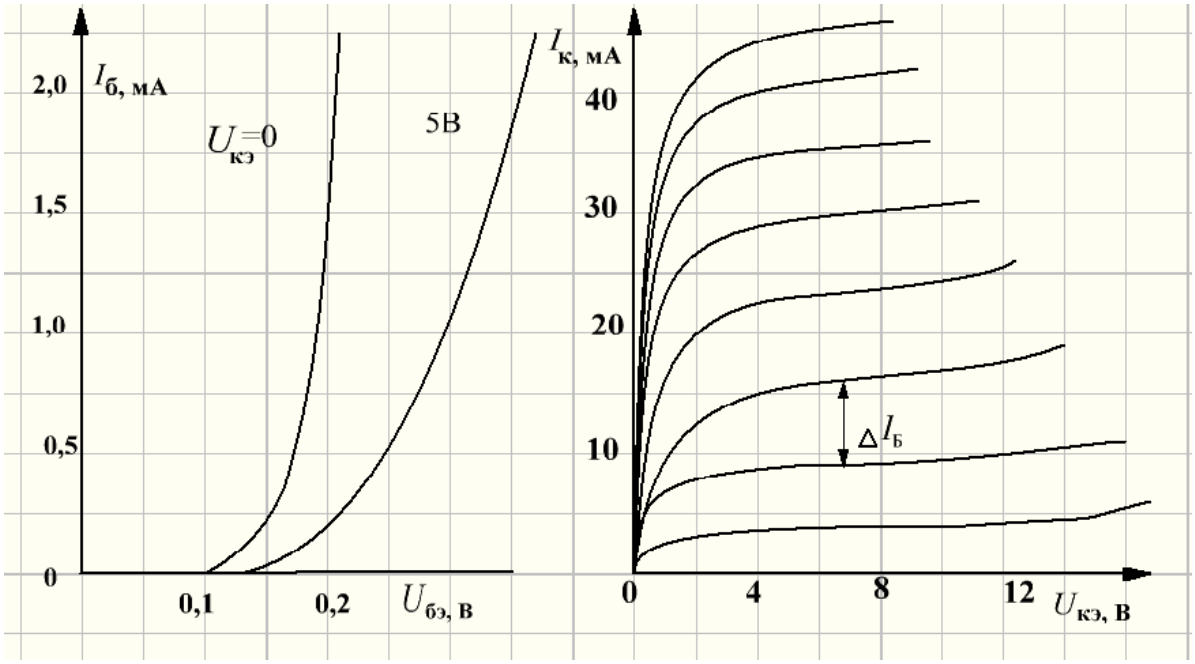
МП 39 - $\Delta I_б$ = 400 мкА; МП 39Б, МП 40А, МП 41 - $\Delta I_б$ = 200 мкА; МП 41А - $\Delta I_б$= 100 мкА

Вариант – 4 и 5



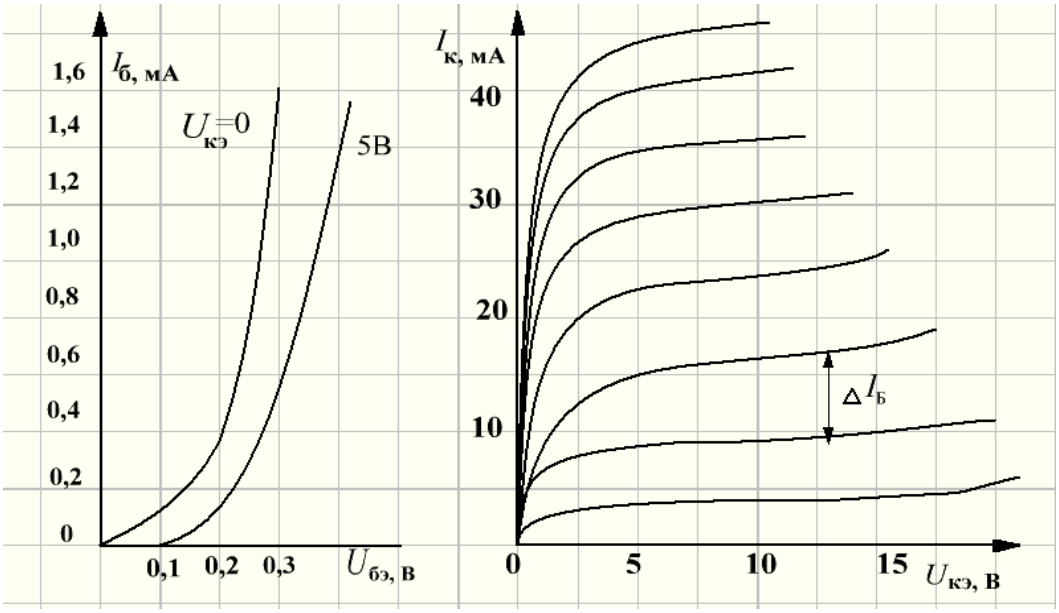
ГТ 108А, ГТ 108Б - $\Delta I_б$ = 100 мкА;ГТ 108В, ГТ 108Г - $\Delta I_б$ = 50 мкА

Вариант – 6 и 7



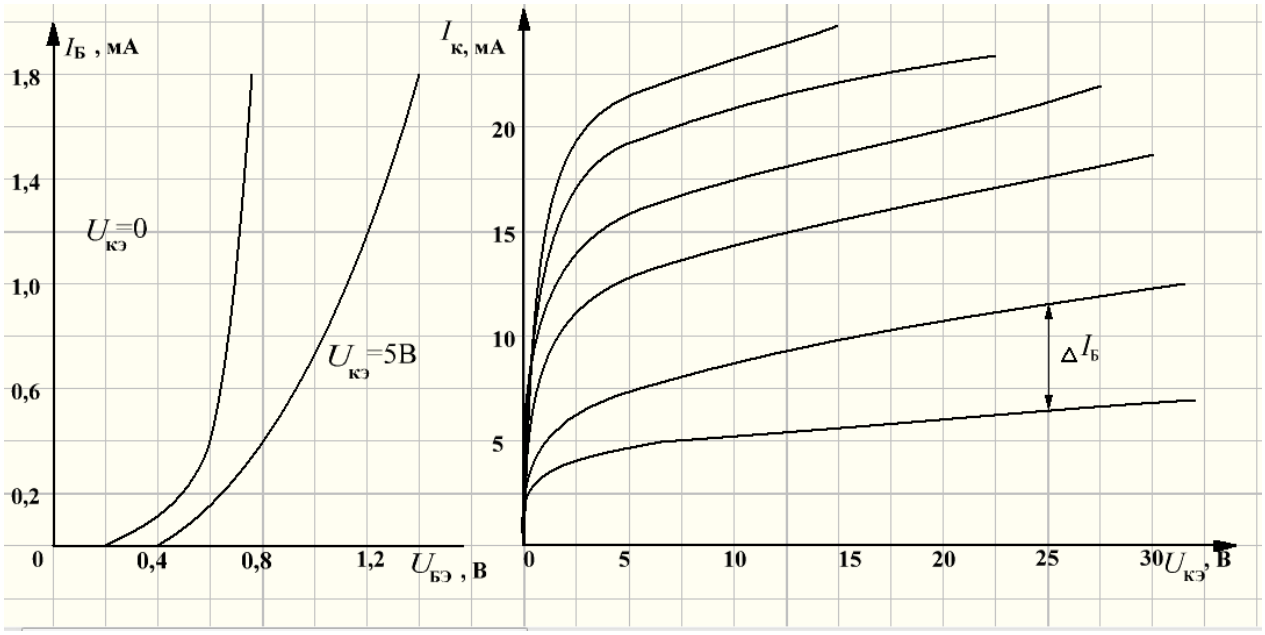
МП 42, МП 42А - $\Delta I_б$ = 150 мкА; МП 42Б - $\Delta I_б$ = 100 мкА

Вариант – 8



МП 35, МП 36А, МП 37В, МП 38 - $\Delta I_б$ = 200 мкА; МП 37, МП 37А - $\Delta I_б$ = 300 мкА, МП 38А - $\Delta I_б$ = 50 мкА

Вариант – 9



МП 114, МП 115 - $\Delta I_б$= 0,3 мА;МП 116 - $\Delta I_б$ = 0,25 мА

Рисунок 12 – Семейство входных и выходных характеристик транзисторов

Задача 5. Рассчитать трехфазный мостовой выпрямитель, схема которого показана на рис.8. Исходные данные для расчета указаны в таблице 9 в соответствие с предпоследним номером индивидуального шифра .

Таблица 9

Вариант	$U_{\text{н}}$**, В**	$I_{\text{н}}$**, А**	U_{1}**, В**	f**, Гц**
0	160	0,8	380	50
1	250	1	380	50
2	80	2	220	50
3	70	20	220	50
4	150	12	380	50
5	240	0,75	380	50
6	80	1,1	220	50
7	270	1,8	380	50
8	200	82,2	380	50
9	220	8	380	50