

Государственное бюджетное профессиональное образовательное  
учреждение Самарской области  
«Тольяттинский социально-экономический колледж»

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ  
по выполнению практических занятий  
по дисциплине

*ОП.05 Основы Электротехники и микроэлектроники*

---

основной профессиональной образовательной программы подготовки  
*квалифицированных рабочих и служащих*

---

*15.01.37 Слесарь по контрольно-измерительным приборам и  
автоматике*

---

для студентов очной формы обучения

Тольятти 2024г.

Составлено в соответствии с требованиями ФГОС к результатам образовательной программы подготовки квалифицированных рабочих, служащих по профессии *15.01.37 Слесарь по контрольно-измерительным приборам и автоматике*

Составитель: Пасашков А.В.- преподаватель

## Введение

Задача - это проблема, решаемая с помощью логических умозаключений, математических действий на основе законов и методов электротехники. Решение задач относится к практическим методам обучения и, опираясь на активную мыслительную деятельность обучающегося, выполняет образовательную, воспитательную и развивающую функции. Физический смысл различных определений, правил, законов становится понятным обучающимся лишь после многократного применения их к конкретным частным примерам – задачам. Воспитательная функция задач заключается в формировании научного мировоззрения обучающихся. Решение задач воспитывает трудолюбие, самостоятельность в суждениях, интерес к учению, упорство в достижении поставленной цели. При решении задач развиваются логическое и творческое мышление.

Общая структура деятельности по решению задачи:



Решение задачи начинается с анализа условия. Обучающийся должен не только запомнить условие, но и осознать его, увидев физическое явление, о котором говорится в задаче. На этапе поиска решения обучающийся вспоминает законы, определения, описывающие рассматриваемое в задаче физическое явление, строит его математическую модель.

Основным методом поиска решения задачи является аналитико-синтетический способ. Аналитические рассуждения направлены от искомым задачи к её данным. Анализ требует разделения целого на части. При синтезе двигаются в рассуждениях от данных задачи к искомым. Синтез объединяет отдельные элементы в целое.

На этапе решения производятся преобразования записанных формул, осуществляется намеченный план решения. Здесь проявляется математическая подготовка обучающихся.

Проверка результата заключается в определении достоверности числового значения искомой величины или её размерности при отсутствии числовых данных.

Исследование решения является очень важным этапом, имеющим большие дидактические возможности, позволяющим глубже проанализировать физическое явление. Никакую задачу нельзя исчерпать до конца, поскольку всегда остаётся что-то, над чем можно поразмышлять, найти другое решение задачи.

## **1. Задачи, их значение и место в учебном процессе.**

**Задачей** называют определенную проблему, которая в общем случае решается с помощью логических умозаключений, математических действий и эксперимента на основе законов электротехники.

*В методической литературе под задачами обычно понимают целесообразно подобранные упражнения, основное назначение которых заключается в изучении физических явлений, формировании понятий, развитии логического мышления студентов и прививании им умений применять свои знания на практике.*

Решение задач является неотъемлемой составной частью учебного процесса потому, что позволяет формировать и обогащать физические понятия, развивает мышление обучающихся, их навыки применения знаний на практике. В процессе решения задач формируются трудолюбие, любознательность ума, самостоятельность в суждениях, воспитывается интерес к учебе, закаляется воля и характер, развивается умение анализировать явления, обобщать сведения о них и тому подобное. Решение задач является способом проверки и систематизации знаний, дает возможность рационально проводить повторение, расширять и углублять знания, способствует формированию мировоззрения, знакомит с достижениями науки, техники т.п.

Все это позволяет говорить о решении задач как методе обучения. Считают, что без решения задач курс электротехники не может быть усвоен.

***Задачи используются для:***

создания проблемных ситуаций; сообщения новых знаний; формирования практических умений и навыков;

проверки глубины и прочности усвоения знаний; повторения и закрепления материала;

развития творческих способностей обучающихся и др.

Решение задач является составной частью почти каждого урока. На комбинированных уроках их используют дважды: при опросе обучающихся и при закреплении выученного материала.

Для организации повторения подбирают комбинированные задачи. Задачи являются эффективным средством контроля знаний обучающихся.

## **2. Классификация задач.**

Задачи отличаются одна от другой многими признаками: по содержанию, по способу задания, дидактической целью и др. Классификация задач по определенным признакам позволяет рационально осуществлять их подбор и разработать методику

их решения. Существуют разные классификации задач. Ниже приведена одна из возможных классификаций.

**Классификация задач.**

***По содержанию:***

- конкретные,
- абстрактные,
- с межпредметным содержанием,
- технические,
- из определенных разделов курса электротехники.

***С дидактической целью:***

- тренировочные,
- творческие,
- исследовательские;
- контрольные.

***По способам представления условий:***

- текстовые,
- графические,
- экспериментальные,
- задачи-рисунки (или фотографии),
- в электронном виде.

***По степени сложности:***

- простые,
- средней сложности,
- складные,
- повышенной сложности,

***По требованиям:***

- на нахождение неизвестного,
- на доказательство,
- на конструирование,

***По способам решения:***

- экспериментальные,
- вычислительные;
- графические.

Рассмотренную классификацию задач нельзя считать достаточно полной, поскольку одна и та же задача может быть отнесена к разным группам, однако она довольно удобная в применении. В эту классификацию не вошли также *качественные задачи*.

**3. Методы, способы и приемы решения задач.**

В зависимости от того, какие логические операции применяются при решении задач, различают методы решения - аналитический, синтетический, и аналитико-синтетический.

Аналитический метод заключается в расчленении задачи на несколько более простых задач. Решение начинают с искомой величины. В результате анализа отыскивают закономерность, которая связывает искомую величину с заданными. Если в закономерность входят кроме искомой величины другие неизвестные, то ищут другие закономерности, что связывают их с известными в условии задачи. Расчетная формула получается как синтез отдельных закономерностей.

При синтетическом методе последовательно выявляют связи величин, какие даны в условии, с другими до тех пор, пока в уравнение не войдет только одна искомая неизвестная величина. Следовательно, в отличие от аналитического метода, где начинают с искомой величины, в синтетическом методе начинают с величин, заданных в условии задачи.

В чистом виде аналитический и синтетический, как отдельные, методы почти не применяются. При решении задач используют, как правило, и анализ и синтез, то есть применяют аналитико-синтетический метод.

В зависимости от математического аппарата, применяемого при развязывании задач, выделяют такие способы решения вычислительных задач: арифметический, алгебраический, геометрический.

При арифметическом способе задачу решают по вопросам, то есть применяют математические действия или тождественные превращения над величинами без составления уравнений.

Алгебраический способ основывается на использовании формул для составления уравнений, из которых определяется искомая величина.

Вместо геометрического способа употребляют термин геометрический прием. Он заключается в применении при решении задач геометрических и тригонометрических свойств фигур.

#### **4. Методика решения задач.**

Решение задач разных типов имеет свою специфику, однако в педагогической практике выработалась определенная последовательность решения задач многих типов:

- чтение условия задачи и выяснение содержания новых терминов и выражений, повторение условия задачи обучающимися;
- краткая запись условия задачи, выполнение необходимых рисунков, схем, графиков (все физические величины должны быть выражены в единицах СИ);
- анализ условия задачи, в ходе которого выясняются ее физическая суть, то есть выясняются физические явления, процессы и состояния системы и

возобновляются в памяти обучающихся законы и формулы, которые нужны для решения задачи;

- составление плана решения задачи;
- выражение связей между искомым и данными величинами в виде формул;
- решение системы уравнений для получения конечной формулы для расчета;
- вычисление искомой величины;
- анализ полученных результатов;
- поиск и анализ других путей решения задачи.

При решении конкретных задач некоторые этапы общей схемы решения задач могут быть пропущены.

В последнее время для решения задач используют алгоритмические приемы и метод графов.

Методика решение качественных и экспериментальных задач имеет свою специфику.

## **5. Организационные формы решения задач на уроках.**

Организационные формы решения задач на уроках могут быть такие:

- Решение задач на доске преподавателем. Так делают тогда, когда нужно показать ход решения типичной задачи или решить сложную задачу. Преподаватель вовлекает обучающихся в анализ задачи с целью их активизации.

- Анализ задачи и отыскивания хода решения проводят коллективно, а затем один из обучающихся записывает решение задачи на доске, а другие в своих тетрадях. При развязывании сложной задачи возле доски может работать несколько обучающихся поочередно. Активность и самостоятельность обучающихся при такой организации работы невысокая, поэтому преподаватель должен постоянно обращаться к обучающимся с вопросами, а в конце нужно, чтобы они повторили ход рассуждений и решения задачи.

Обучающиеся после коллективного обсуждения хода решения задачи или и без него решают задачу самостоятельно. Активность и самостоятельность обучающихся достаточно высокие, но они решают задачи одновременно, что создает некоторые проблемы. Преподаватель следит за ходом решения задачи, консультирует обучающихся, обращает внимание на недостатки и ошибки, помогает их исправить.

## **6. Оценка решения задач по электротехнике.**

**Оценка «отлично» ставится в том случае, если обучающийся:**

- умеет правильно кратко записать условия задачи с указанием единиц измерений;

- умеет выразить все величины в единой системе единиц;
- умеет правильно выбрать формулу для решения задачи и преобразовать её, чтобы выразить неизвестную величину;
- умеет пользоваться справочниками и таблицами;
- умеет грамотно вычертить схемы, графики и диаграммы для решения задачи и показать на них все необходимые условные обозначения; умеет толково оценить полученный ответ.

**Оценка «хорошо» ставится в том случае, если:**

- решение задачи удовлетворяет основным требованиям к решению задачи;
- допущены неточности в оформлении решения задачи;
- недостаточно аккуратно выполнены схемы, графики и диаграммы;
- обучающийся испытывает затруднения при пользовании таблицами и справочниками;
- обучающийся умеет оценить полученный результат.

**Оценка «удовлетворительно» ставится в том случае, если обучающийся:**

- умеет применять полученные знания при решении простых задач с использованием готовых формул;
- умеет применять схемы, необходимые для решения задач;
- затрудняется при решении задач, требующих преобразования формул;
- допустил негрубые ошибки, не влияющие на конечный результат и ответ задачи.

**Оценка «неудовлетворительно» ставится в том случае, если обучающийся:**

- не умеет применять полученные знания при решении задачи;
- не умеет чертить простые схемы и графики;
- допускает грубые ошибки при выводе формул, вычерчивании схем и графиков;
- не владеет математическим аппаратом в объёме, необходимом для решения задач;
- не может оценить полученный результат.

**Примечание:**

в письменных контрольных работах учитывается также, какую часть работы выполнил обучающийся за отведённое время.



## ПРИЛОЖЕНИЕ

### Задача

#### **ДАНО:**

В однородном магнитном поле с индукцией  $B = 0,6$  Тл с частотой  $n = 1200$  об/мин вращается прямоугольная рамка площадью  $S = 25$  см<sup>2</sup>.

**НАЙТИ:** Максимальную амплитуду наведенной в рамке ЭДС и записать закон изменения ЭДС по времени при условии, что  $t = 0$  рамка параллельна линиям магнитной индукции.

**Р Е Ш Е Н И Е** Частота  
наведенной в рамке ЭДС  
 $f = pn/60 = 1200/60 = 20$  Гц.

Магнитный поток, пронизывающий рамку,  $\Phi = BS \cos \alpha = BS \sin \varphi = BS \sin \omega t$ . Мгновенное значение ЭДС, наведенной в рамке,

$$e = - \frac{d\Phi}{dt} = - \frac{d(BS \sin \omega t)}{dt} = - \omega BS \cos \omega t = - E_m \cos \omega t.$$

Тогда амплитудное значение ЭДС при  $\cos \tilde{\omega}t = 1$ , т.е.  $\varphi = 0^\circ$ ,

$$E_m = \tilde{\omega}BS = 2\pi \cdot 20 \cdot 0,6 \cdot 25 \cdot 10^{-4} = 0,188 \text{ В},$$

$$e = -0,188 \cos 125,6 t.$$

### Задача № 5.1

**Дано:** Фазовый сдвиг  $\varphi$  между напряжением на индуктивной катушке и током  $i = 7 \sin(628 t + 45^\circ)$  равен  $30^\circ$ , при этом активная мощность  $P = 160 \text{ Вт}$ .

**Определить:** Полное, активное и реактивное сопротивление катушки, ее индуктивность, полную и реактивную мощности. Записать выражения для мгновенных значений напряжения на катушке, на ее активном и индуктивном сопротивлениях. Построить векторную диаграмму для момента времени  $t=0$ .

#### РЕШЕНИЕ

Действующее напряжение на

катушке

$$U = \frac{P}{I \cos \varphi} = \frac{160}{\left(\frac{7}{\sqrt{2}}\right) \cdot 0,866} = 37,2 \text{ В}.$$

Полное сопротивление нагрузки

$$Z = U/I = 37,2 / \left(\frac{7}{\sqrt{2}}\right) = 7,5 \text{ Ом}.$$

Индуктивное сопротивление катушки

$$X_L = Z \sin \varphi = 7,5 \cdot 0,5 = 3,75 \text{ Ом}.$$

Активное сопротивление катушки

$$R = \sqrt{Z^2 - X_L^2} = Z \cos \varphi = 7,5 \cdot 0,866 = 6,5 \text{ Ом}.$$

Индуктивность катушки

$$L = X_L / \omega = 3,75 / 628 = 6 \cdot 10^{-3} \text{ Гн} = 6 \text{ мГн}.$$

Полная мощность

$$S = UI = 37,2 \cdot \left(\frac{7}{\sqrt{2}}\right) = 185 \text{ ВА}.$$

**Реактивная мощность**

$$Q = 37,2 \quad 0,5 = 92,5 \text{ вар.}$$

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}, \text{ или } Q = UI \sin \varphi,$$

**Выражения для мгновенных значений напряжений:**

$$\left( \frac{7}{\sqrt{2}} \right)$$

**а) На катушке**

$$u = U_m \sin(628t \pm \psi_u)$$

$$U_m = U\sqrt{2} = 37,2 * \sqrt{2} = 52,5 \text{ В.}$$

$$\psi_u = \psi_i + \varphi = 45^\circ + 30^\circ = 75^\circ, \text{ тогда:}$$

$$u = 52,5 \sin(628t + 75^\circ);$$

**б) На активном сопротивлении катушки**

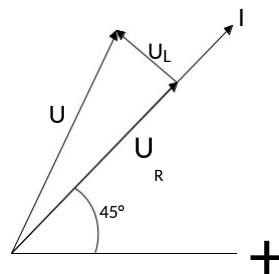
$$u_R = U_{Rm} \sin(628t + 45^\circ),$$

$$U_{Rm} = U_R \sqrt{2} = I_m R = 7 * 6,5 = 45,5 \text{ В, тогда:}$$

$$u_R = 45,5 \sin(628t + 45^\circ);$$

**в) На индуктивном сопротивлении катушки**

$$u_L = L \frac{di}{dt} = 6 * 10^{-3} * 628 * 7 \cos(628t + 45^\circ) = 26 \sin(628t + 135^\circ).$$



### Задача.

В трёхфазную сеть с действующим значением линейного напряжения  $U_{\text{л}}=380$  В и частотой  $f=50$  Гц подключена симметричная нагрузка, соединенная по схеме "звезда", с полным сопротивлением по фазе  $Z=90$  Ом и индуктивностью  $L=180$  мГн. Определить активную, реактивную, и полную мощности, действующее значение линейного тока. Построить векторную диаграмму токов и напряжений.

Решение:

Фазное напряжение

$$U_{\text{ф}}=U_{\text{л}}/\sqrt{3}=\frac{380}{\sqrt{3}}=220 \text{ (В)}$$

Фазный ток

$$I_{\text{ф}}=U_{\text{ф}}/Z=220/90=2,45 \text{ (А)}$$

Линейный ток

$$I_{\text{л}}=I_{\text{ф}}=2,45 \text{ (А)}$$

Реактивное сопротивление в фазе

$$X_L=\omega L=2 \times 3.14 \times 50 \times 0.18=56.5 \text{ (Ом)}$$

Активное сопротивление

$$R=\sqrt{Z^2-X_L^2}=\sqrt{90^2-56.5^2}=70 \text{ (Ом)}$$

Коэффициент мощности катушки

$$\cos\varphi=R/Z=70/90=0.778$$

Мощности, потребляемые нагрузкой:

Активная

$$P=3U_{\text{ф}}I_{\text{ф}}\cos\varphi=3 \times 220 \times 2.45 \times 0.778=1260 \text{ Вт}=1.25 \text{ (кВт)}. \text{ Или:}$$
$$P=\sqrt{3}U_{\text{л}}I_{\text{л}}\cos\varphi=1.73 \times 380 \times 2.45 \times 0.778=1260 \text{ (Вт)}=1.26 \text{ (кВт)}$$

Реактивная

$$Q=3U_{\text{ф}}I_{\text{ф}}\sin\varphi=3 \times 220 \times 2.45 \times 0.628=1010 \text{ (Вар)} \approx 1 \text{ (кВар)}. \text{ Или}$$
$$Q=\sqrt{3}U_{\text{л}}I_{\text{л}}\sin\varphi=1.73 \times 380 \times 2.45 \times 0.628=1010 \text{ (Вар)} \approx 1 \text{ (кВар)}$$

Полная

$$S=3U_{\text{ф}}I_{\text{ф}}=3 \times 220 \times 2.45=1620 \text{ (ВА)}=1.62 \text{ (кВА)}. \text{ Или}$$
$$S=\sqrt{3}U_{\text{л}}I_{\text{л}}=1.73 \times 380 \times 2.45=1620 \text{ (ВА)}=1.62 \text{ (кВА)}$$

Построить векторную диаграмму токов и напряжений (представлена на рис.1)

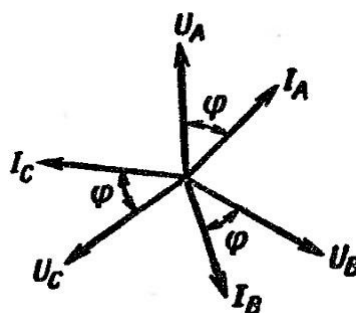


Рисунок 1- Диаграмма токов и напряжений

### Задача

**Дано:** К четырехпроводной трехфазной сети с действующим значением линейного напряжения 220 В подключена неравномерная активная нагрузка с потребляемой мощностью  $P_A=3$  кВт,  $P_B=1,8$  кВт,  $P_C=0,6$  кВт.

**Определить:** действующее значение тока в нейтральном проводе.

**Решение:**

**Напряжение в каждой фазе:**

$$U_{\phi}=U_{\text{л}}/\sqrt{3}=220/\sqrt{3}=127 \text{ В.}$$

**Токи в фазах:**

$$I_A=P_A/U_{\phi}=3000/127=23,4 \text{ А,}$$

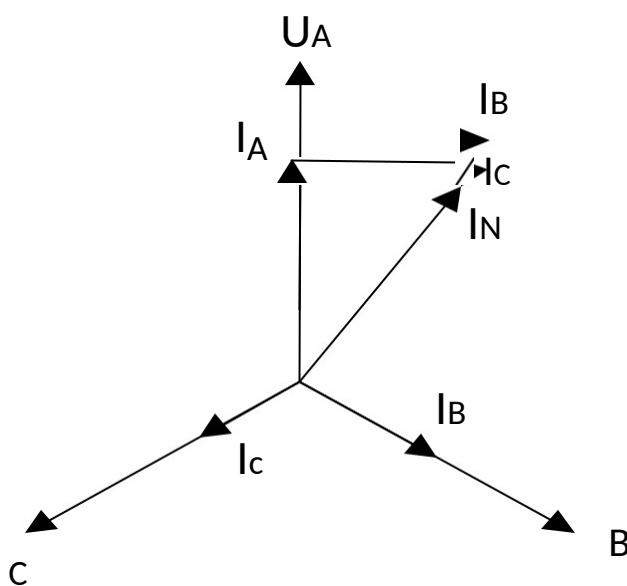
$$I_B=P_B/U_{\phi}=1800/127=14,2 \text{ А,}$$

$$I_C=P_C/U_{\phi}=600/127=4,7 \text{ А.}$$

**Ток в нейтральном проводе, определяем из векторной диаграммы, как сумму векторов фазных токов:**

$$\dot{I}_N = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C,$$

$$\dot{I}_N = 16 \text{ А.}$$



### Задача №

**Дано:** К трехфазному генератору, обмотки которого соединены по схеме “звезда”, подключена равномерная нагрузка, соединенная по той же схеме, через линию, обладающую активным сопротивлением  $R = 2 \text{ Ом}$  и индуктивностью  $L = 16 \text{ мГн}$ . Полное сопротивление нагрузки в каждой фазе  $Z_H = 80 \text{ Ом}$  (конденсатор емкостью  $C = 53 \text{ мкФ}$  с последовательно включенным резистором).

**Определить:** Действующее значение напряжения в нагрузке, если линейное напряжение генератора  $U_n = 380 \text{ В}$  при частоте  $f = 50 \text{ Гц}$ . Построить векторную диаграмму токов и напряжений.

#### Р ЕШЕНИЕ:

**Фазное напряжение генератора:**

$$U_{\phi} = U_n / \sqrt{3} = 380 / \sqrt{3} = 220 \text{ В.}$$

**Активное сопротивление нагрузки:**

$$R_H = \sqrt{Z_H^2 - X_C^2} = \sqrt{80^2 - \left(\frac{10^6}{2\pi \cdot 50 \cdot 53}\right)^2} = 16,7 \text{ Ом.}$$

**Реактивное сопротивление нагрузки и линии:**

$$X_H = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 53 \cdot 10^{-6}} = -60 \text{ Ом,}$$

$$X_L = 2\pi f L = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 16 \cdot 10^{-3} = 5 \text{ Ом}$$

**Ток в линии:**

$$I_L = \frac{U_\phi}{\sqrt{(R_H + R_L)^2 + (X_H + X_L)^2}} = \frac{220}{\sqrt{(16,7+2)^2 + (-60+5)^2}} = 3,8 \text{ A.}$$

Для построения векторной диаграммы, определяем угол сдвига по фазе между напряжением на зажимах генератора и током

$$\Phi = \arctg \frac{X'_H - X_L}{R_L - R_H} = \arctg \frac{-55}{18,7} = \arctg(-2,94); \phi = -71_0^\circ \quad \text{В ЛИНИИ:}$$

**Найдем падение напряжения на активном и индуктивном сопротивлениях линии соответственно:**

$$\Delta U_{RL} = I_L R_L = 3,8 * 2 = 7,6 \text{ В,}$$

$$\Delta U_{XL} = I_L X_L = 3,8 * 5 = 19 \text{ В.}$$

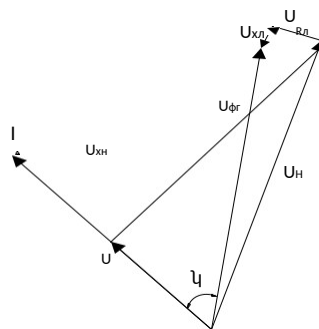
**Падение напряжения на нагрузке:**

$$U_H = \sqrt{U_{RH}^2 + U_{XH}^2},$$

$$U_{RH} = I_L R_H = 3,8 * 16,7 = 63,6 \text{ В,}$$

$$U_{XH} = I_H X_H = 3,8 * 60 = 228 \text{ В,}$$

$$U_H = \sqrt{(63,6)^2 + 228^2} = 236 \text{ В.}$$



### Задача

Асинхронный трехфазный двигатель с короткозамкнутым ротором марки

АО2-82-6 имеет следующие паспортные данные: напряжение  $U=220/380$  В, номинальная мощность  $P_2 = 40$  кВт, частота вращения  $n_2 = 980$  об/мин, к.п.д.  $\eta = 91,5 \%$ , коэффициент мощности  $\cos\varphi=0,91$ , кратность пускового тока  $K_1=5$ , кратность пускового момента  $K_M=1,1$ , перегрузочная способность двигателя  $\lambda=1,8$ . Определить число пар полюсов, номинальное скольжение, номинальные максимальный и пусковой вращающие моменты, номинальный и пусковой токи двигателя при соединении обмотки статора в треугольник и звезду. Возможен ли пуск нагруженного двигателя, если подводимое напряжение на 10% ниже номинального и пуск производится путем переключения обмоток статора со звезды на треугольник от сети с напряжением  $U=220$  В?

### Решение

Для определения числа пар полюсов можно воспользоваться маркировкой двигателя, частотой вращения магнитного поля или ротора.

Если известна маркировка, то последнее число в марке двигателя означает количество полюсов. В данном двигателе шесть полюсов; следовательно, три пары. При известной частоте вращения магнитного поля число пар полюсов определяем по формуле

$$p=60 f/n_i$$



По этой же формуле определяем число пар полюсов, если задана частота вращения ротора, но в этом случае получаемый результат округляем до ближайшего целого числа. Например, для заданных условий:

$$p=60 f/n_2=3000/980=3,06;$$

отбросив сотые доли, получаем число пар полюсов двигателя-3.

Частота вращения магнитного поля:

$$n_1=60 f/p=3000/3=1000 \text{ об/мин.}$$

Номинальное значение скольжения:

$$S_{\text{ном}} = \frac{n_1 - n_2}{n_1} * 100\% = \frac{1000 - 980}{1000} = 2\%.$$

Мощность, потребляемая двигателем,  $P_1=P_2/$

$\eta=40000/0,915=43715$  Вт. Номинальный  
вращающий момент двигателя

$$M_{\text{ном}}=9,55 P_2/n_2=9,55*40000/980=389,8 \text{ Н*м.}$$

Максимальный момент:

$$M_{\text{max}}= \lambda M_{\text{ном}}=1,8*389,8=701,6 \text{ Н*м.}$$

Пусковой момент:

$$M_{\text{п}}=K_M M_{\text{ном}}=1,1 * 389,8=428,7 \text{ Н*м.}$$

Для определения фазных, линейных и пусковых токов (фазными токами являются токи в обмотках статора, линейными – токи в подводящих проводах) нужно учесть, что если двигатель рассчитан на работу от сети переменного тока с напряжением 220/380 В, то это значит, что каждая фаза обмотки статора рассчитана на напряжение 220 В. Обмотку необходимо включить по схеме «треугольник», если в сети линейное напряжение  $U=220$  В, и по схеме «звезда», если в сети линейное напряжение  $U=380$  В.

Определим фазный, линейный и пусковой токи при линейном напряжении  $U=220$  В и соединении обмотки статора по схеме «треугольник».

Фазный ток в обмотке статора:

$$I_{\phi} = \frac{P_1}{3 U_{\phi} \cos \phi} = \frac{43715,8}{3 * 220 * 0,91} = 72,8 \text{ А,}$$

Линейный ток:

$$I_{\phi} = \sqrt{3} I_{\phi} = 1,73 * 72,8 = 125,9 \text{ A},$$

Пусковой ток:

$$I_{\pi} = K_I I_{\phi} = 5 * 125,9 = 629,5 \text{ A}.$$

Найдем значения фазных, линейных и пусковых токов, если обмотки статора включены по схеме «звезда» и подключены к сети с линейным напряжением  $U=380 \text{ В}$ .

Значение фазного тока найдем из формулы мощностей для линейных значений токов и напряжения:

$$P_I = \sqrt{3} U_{\phi} I_{\phi} \cos \varphi.$$

При соединении обмоток в звезду линейный ток равен фазному значению:

$$I_{\phi} = I_{\phi} = \frac{P_I}{\sqrt{3} U_{\phi} \cos \varphi} = \frac{43715,8}{\sqrt{3} * 380 * 0,91} = 73 \text{ A},$$

Пусковой ток:

$$I_{\pi} = K_I I_{\phi} = 5 * 73 = 365 \text{ A}.$$

Из сопоставленных фазных, линейных и пусковых токов при различных соединениях обмоток можно заметить, что фазные токи оказались практически одинаковыми, а линейные и пусковые – различными.

Для определения возможности пуска в ход двигателя, находящегося под номинальной нагрузкой и пониженным напряжением, необходимо определить пусковой вращающий момент при пониженном напряжении.

В соответствии с формулой  $M = CU^2$  вращающий момент двигателя пропорционален квадрату подводимого напряжения. При понижении напряжения на 10% вращающий момент  $M = CU_{ном}^2 = C (0,9 U_{ном})^2 = 0,81$

$$M_{ном} = 0,81 * 389,8 = 315,74 \text{ Н*м. Соответственно пусковой момент:}$$

$$M_{\pi} = K_M M' = 1,1 * 315,74 = 347,3 \text{ Н*м},$$

что меньше тормозного момента на валу на  $42,5 \text{ Н*м}$ , т.е. пуск невозможен.

Для понижения пусковых токов часто пуск асинхронных двигателей осуществляют при пониженном напряжении. Двигатели, работающие при соединении обмоток статора по схеме «треугольник», пускают без нагрузки путем переключения обмоток со звезды на треугольник. Определим пусковой момент двигателя при данном виде пуска.

В момент пуска обмотки находятся под напряжением  $U_{\phi} = U_{\text{л}} / \sqrt{3} = 220 / 1,73 = 127$  В, что составляет 57,7%  $U_{\text{ном}}$ , пусковой момент при переключении  $M_{\text{п}} = CU^2 = C (0,577U_{\text{ном}})^2 = 0,33CU_{\text{ном}}^2 = 0,33M_{\text{ном}} = 128,6$  Н\*м, т.е. в три раза меньше номинального значения

### Задача

Насос, работающий в продолжительном режиме, имеет следующие паспортные данные: производительность  $Q = 0,5$  м<sup>3</sup>/с, напор  $H = 8,2$  м; частота вращения  $n = 950$  об/мин; к.п.д.  $\eta = 0,6$  и удельная масса жидкости  $\gamma = 1000$  Н/м<sup>3</sup>. Выбрать электродвигатель переменного тока.

#### Решение

Мощность, развиваемая насосом,

$$= 6833,3 \text{ Вт.}$$

Мощность двигателя при продолжительном режиме должна быть равна или немного больше мощности производственного механизма. В соответствии с условиями задачи выбираем двигатель марки АО2-52-6 мощностью 7,5 кВт и частотой вращения  $n = 970$  об/мин.

**12.1.** Механический цех, отстоящий от заводской трансформаторной подстанции на 150 м, обеспечивается энергией переменного тока напряжением 400/230 В. Цех имеет три группы электродвигателей.

*Первая* группа, состоящая из 10 двигателей мощностью по 7,5 кВт с  $\cos \varphi_2 = 0,89$ , КПД  $\eta_1 = 0,87$ , удалена от ввода на 10 м; *вторая* — из 6 двигателей мощностью по 4 кВт с  $\cos \varphi_2 = 0,8$  и КПД  $\eta = 0,83$ , удалена от ввода на 25 м; *третья* — из 12 двигателей мощностью по 5,5 кВт с  $\cos \varphi_2 = 0,72$  и КПД  $\eta = 0,85$ , удалена от ввода на 35 м. Допустимая потеря напряжения в линии 4% от  $U_{\text{ном}}$ , плотность тока  $J = 2,5 \text{ А/мм}^2$ . Произвести расчет распределительной сети.

**Решение.** Определяем допустимую потерю напряжения в линии от трансформаторной подстанции до нагрузки:

$$\Delta U = \frac{\Delta U \% U_1}{100} = \frac{4 \cdot 230}{100} = 9,2 \text{ В.}$$

Напряжение на зажимах наиболее удаленной группы электродвигателей  $U_2 = U_1 - \Delta U = 230 - 9,2 = 220,8 \text{ В.}$

Определяем активную мощность отдельных групп двигателей с учетом коэффициента спроса:

$$P_1 = \sum K_c P_{1r} = n_1 K_c P_{21} = 10 \cdot 0,65 \cdot 7500 = 48\,750 \text{ Вт},$$

$$P_2 = \sum K_c P_{2r} = n_2 K_c P_{22} = 6 \cdot 0,65 \cdot 4000 = 15\,600 \text{ Вт},$$

$$P_3 = \sum K_c P_{3r} = n_3 K_c P_{23} = 12 \cdot 0,6 \cdot 5500 = 39\,000 \text{ Вт}.$$

Находим активные составляющие токов при номинальном напряжении:

$$I_{1a} = \frac{n_1 P_1}{\sqrt{3} U_{\text{ном}} \cos \varphi \eta} = \frac{48\,750}{1,73 \cdot 220 \cdot 0,89 \cdot 0,87} = 165 \text{ А},$$

$$I_{2a} = \frac{n_2 P_2}{\sqrt{3} U_{\text{ном}} \cos \varphi \eta} = \frac{15\,600}{1,73 \cdot 220 \cdot 0,8 \cdot 0,83} = 61,7 \text{ А},$$

$$I_{3a} = \frac{n_3 P_3}{\sqrt{3} U_{\text{ном}} \cos \varphi \eta} = \frac{39\,000}{1,73 \cdot 220 \cdot 0,72 \cdot 0,85} = 170 \text{ А}.$$

Определяем реактивные составляющие токов:

$$I_{1p} = I_{1a} \sin \varphi = 165 \cdot 0,45 = 74 \text{ А},$$

$$I_{2p} = I_{2a} \sin \varphi = 61,7 \cdot 0,6 = 37 \text{ А},$$

$$I_{3p} = I_{3a} \sin \varphi = 170 \cdot 0,7 = 119 \text{ В}.$$

Общий ток на участке от ТП до ввода в цех

$$I = \sqrt{I_a^2 + I_p^2} = \sqrt{(165 + 61,7 + 170)^2 + (74 + 37 + 119)^2} = 458 \text{ А}.$$

Находим сечения проводов линии по заданной потере напряжения:

$$S_U = \frac{\sqrt{3} P}{\gamma \Delta U} = \frac{1,73 \cdot 458 \cdot 150}{57 \cdot 9,2} = 220 \text{ мм}^2.$$

Выбираем провод сечением  $240 \text{ мм}^2$ . Проверяем сечение проводов линии по допустимому нагреву:

$$S_I = I/J = 458/2,5 = 183 \text{ мм}^2.$$

Сравнивая полученный результат с сечением проводов линии по допустимой потере напряжения, устанавливаем, что расчетное сечение линии превышает в 1,3 раза сечение линии по нагреву.

Определяем ток срабатывания автомата, защищающего линию от коротких замыканий и от продолжительной перегрузки.

Токи расцепителя:

мгновенного

$$I_{уст} \geq K_B I = 1,7 \cdot 458 = 778 \text{ А};$$

теплового

$$I_{\text{ном расц}} \geq \alpha I = 1 \cdot 458 \text{ А} = 458 \text{ А}.$$

Для защиты линии выбираем автомат комбинированного действия типа АВМ10С с временем срабатывания 0,06 с и током  $I = 800 \text{ А}$ .

Определяем сопротивление линии «фаза — нуль»:

$$R = \rho 2l/S = 0,017 \cdot 2 \cdot 150/240 = 0,021 \text{ Ом}.$$

Ток короткого замыкания линии

$$I_k = U/R = 230/0,021 = 10\,952 \text{ А}.$$

Сравнивая значение полученного тока с уставкой максимального тока (800 А), делаем вывод, что ток короткого замыкания превышает уставку в 13 раз, поэтому предохранительное устройство сработает надежно.

Рассчитываем линию на термическую устойчивость к токам короткого замыкания:

$$S_{\text{min}} = I_k \sqrt{t/K} = 10\,952 \sqrt{0,06/140} = 226 \text{ мм}^2,$$

где  $t$  — время срабатывания расцепителя;  $K$  — коэффициент, равный для меди 140, для алюминия — 95.

Произведем расчет линии от места ввода ее в цех до третьей группы электродвигателей.

Активная мощность третьей группы двигателей при коэффициенте спроса  $K_c = 0,6$

$$P_1 = \sum K_c P_{1г} = n_1 K_c P_{21} = 10 \cdot 0,65 \cdot 7500 = 48\,750 \text{ Вт}.$$

Реактивная мощность

$$Q = P_1 \operatorname{tg} \varphi = 48\,750 \cdot 0,5 = 24\,375 \text{ вар}.$$

Полная мощность группы двигателей

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{48\,750^2 + 24\,375^2} = 54\,500 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

Ток в проводах, подводящих энергию к двигателям,

$$I_{1г} = \frac{S}{\sqrt{3} U_{\text{ном}} \eta} = \frac{53\,480}{1,73 \cdot 220 \cdot 0,87} = 164 \text{ А}.$$

Определяем сечение проводов по допустимому нагреву:

$$S = I_{1г}/J = 164/2,5 = 65,8 \text{ мм}^2.$$

Выбираем провод сечением  $70 \text{ мм}^2$ . Для защиты линии от ввода до группы двигателей выбираем

автоматический выключатель типа АЗ130 с комбинированным расцепителем на ток 200 А.

Определяем номинальный ток одного двигателя:

$$I_{\text{ном}} = \frac{P_2}{\sqrt{3} U_{\text{ном}} \cos \varphi \eta} = \frac{7500}{1,73 \cdot 220 \cdot 0,89 \cdot 0,87} = 25 \text{ А.}$$

Пусковой ток двигателя

$$I_{\text{п}} = K_I I_{\text{ном}} = 6 \cdot 25 = 150 \text{ А,}$$

где  $K_I$  — кратность пускового тока.

Выбор плавкого предохранителя для защиты двигателя от короткого замыкания производят с учетом номинального тока двигателя, работающего в определенном режиме, и пускового тока двигателя.

Определяем ток двигателя при повторно-кратковременном режиме:

$$I_{\text{ном в}} \geq \alpha I_{\text{ном}} = 1,25 \cdot 25 = 31,25 \text{ А.}$$

Пусковой ток двигателя при нормальных условиях пуска

$$I_{\text{ном в}} \geq I_{\text{п}} / \beta = 150 / 2,5 = 60 \text{ А.}$$

На основании полученных данных выбираем предохранитель типа НПР-100 на номинальный ток плавкой вставки  $I = 60 \text{ А}$ . Если для защиты использовать автомат с максимальным электромагнитным расцепителем, то уставку выбирают по формуле на ток

$$I_{\text{уст эм}} \geq 1,8 I_{\text{п}} = 1,8 \cdot 150 = 270 \text{ А.}$$

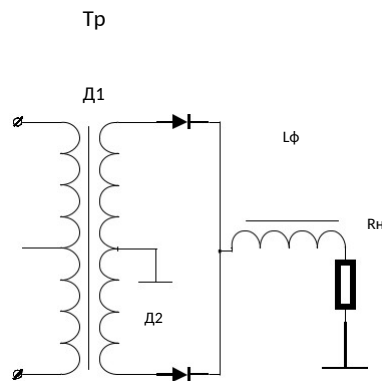
Коэффициент 1,8 вводят для исключения ложных срабатываний.

Для пуска, остановки и реверсирования двигателей выбираем магнитные пускатели типа ПМЕ-214 с номинальным током теплового реле  $I = 25 \text{ А}$  и номинальным напряжением  $U = 220 \text{ В}$ .

Расчет для первой и второй групп электродвигателей производят аналогично тому, как это делалось для третьей группы.

### Задача

**Дано:** Для схемы двухполупериодного выпрямителя с индуктивным сглаживающим фильтром. **Определить:** Коэффициент сглаживания  $q$ , если известно, что амплитуда напряжения вторичной обмотки трансформатора  $U'_{2m} = 300$  В, выпрямленный ток, проходящий через нагрузку,  $I_0 = 200$  мА, частота сети  $f_c = 50$  Гц, индуктивность дросселя  $L_\phi = 10$  Гн.



### Р ЕШЕНИЕ

**Выпрямленное напряжение на нагрузке**

$$U_0 = 2 U'_{2m} / \pi = 2 * 300 / 3,14 = 191 \text{ В.}$$

**Сопротивление нагрузки**

$$R_H = U_0 / I_0 = 191 / (200 * 10^{-3}) = 955 \text{ Ом.}$$

**Коэффициент сглаживания**

$$q = r_{\text{п. вх}} / r_{\text{п. вых}} = X_{L\phi} / R_H = 2\pi f_{\text{п}} L_\phi / R_H = 2 * 3,14 * 2 * 50 * 10 / 955 = 6,6.$$



18.1. На нижней граничной частоте двухкаскадного усилителя коэффициент частотных искажений второго каскада  $M_{н2}=1,3$  при общем коэффициенте частотных искажений  $M_{н}=1,41$ . На средних частотах усиление усилителя  $K_0=200$  и усиление второго

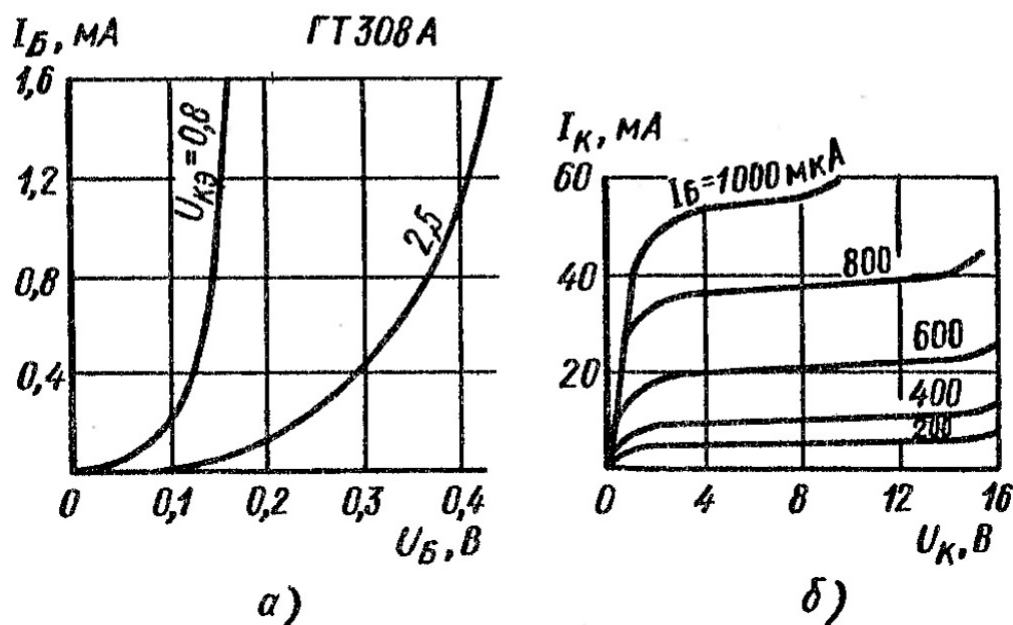


Рис. 18.5

каскада  $K_{02}=10$ . Определить напряжение на выходе первого каскада на нижней граничной частоте, если входное напряжение усилителя для всех частот одинаково:  $U_{вх}=50$  мВ.

**Решение.** Напряжение на выходе первого каскада на средних частотах

$$U_{вых} = U_{вх} K_{01} = U_{вх} K_0 / K_{02} = 50 \cdot 10^{-3} \cdot 200 / 10 = 1 \text{ В.}$$

На нижней граничной частоте напряжение на выходе первого каскада

$$U_{выхн1} = U_{вых1} / M_{н1} = \frac{U_{вых1}}{M_{н1} / M_{н2}} = \frac{1}{1,41 / 1,3} = 0,92 \text{ В.}$$

Задача 18.1. Усилитель на транзисторе ГТ308А собран по схеме рис. 18.3. Пользуясь входными выходными характеристикам транзистора ГТ308А (рис. 18.5 а,б), определить положение рабочей точки А, если известно, что  $R_k=240 \text{ Ом}$ ,  $R_1=3 \text{ кОм}$ ,  $R_2=100 \text{ Ом}$ ,  $E_k=10 \text{ В}$ .

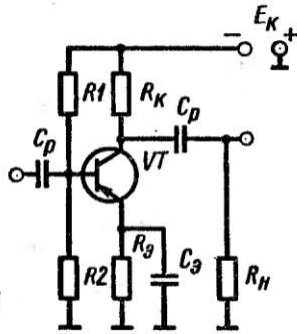


Рис. 18.3

*Решение:* Определяем напряжение смещения базы:

$$U_{бэ} = E_k R_2 / (R_1 + R_2) = 10 \times 100 / (3000 + 100) = 0,32 \text{ В}.$$

По входной характеристике транзистора при напряжении  $U_k=2,5 \text{ В}$  находим ток базы в рабочей точке;  $I_{б0}=0,6 \text{ мА}$ . На выходных характеристиках транзистора строим нагрузочную прямую по точкам  $I_k=0$  при  $U_k=E_k=10 \text{ В}$ ,  $I_k = E_k / R_k = 10 / 240 = 42 \text{ мА}$  при  $E_k=0$ . Рабочая точка А является пересечения нагрузочной прямой с входной характеристикой для  $I_{б0}=600 \text{ мкА}$ . В рабочей точке А  $I_{k0}=21 \text{ мА}$ ,  $U_k=4,4 \text{ В}$ .

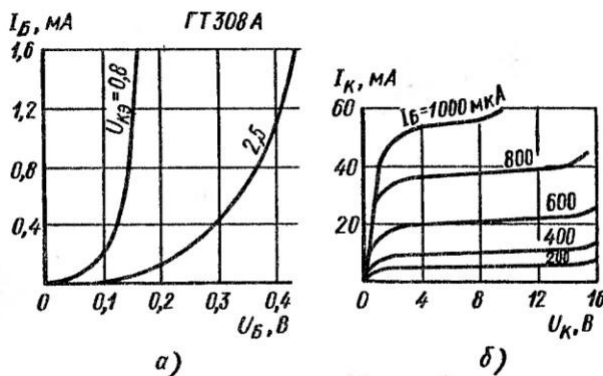


Рис. 18.5

**19.1.** В схеме автогенератора гармонических колебаний с емкостной обратной связью (рис. 19.5) частота генерируемых колебаний  $f_0 = 2$  МГц. Определить индуктивность контура  $L_K$ , если известно, что  $C1 = 430$  пФ,  $C2 = 1000$  пФ.

**Решение.** Согласно (19.1), частота колебаний автогенератора

$f_0 = 1/(2\pi \sqrt{L_K C_{\text{общ}}})$ ,  
где  $C_{\text{общ}} = C1C2/(C1 + C2) = 430 \times 1000/(430 + 1000) = 300$  пФ. Индуктивность контура

$$L_K = 1/(4\pi^2 f_0^2 C_{\text{общ}}) = \\ = 1/[4 \cdot 3,14^2 (2 \cdot 10^6)^2 \cdot 300 \times 10^{-12}] = 21 \text{ мкГн.}$$

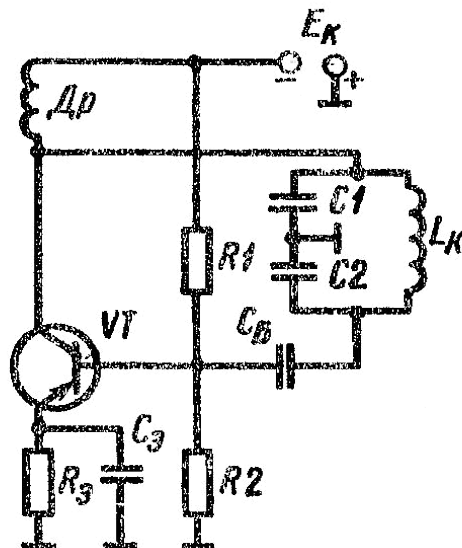


Рис. 19.5