

## **1. Общие указания к выполнению контрольных домашних заданий**

### *1.1. Цель выполнения контрольных домашних заданий*

Контрольные домашние задания (КДЗ) по дисциплине «Авиационные электрические машины» имеют целью закрепление знаний студентов по следующим разделам учебной дисциплины: авиационные трансформаторы и авиационные асинхронные машины (КДЗ 1); авиационные синхронные машины (КДЗ 2). В ходе самостоятельного выполнения КДЗ студенты приобретают практические навыки расчета параметров схем замещения электрических машин и трансформаторов, а также построения их векторных диаграмм.

### *1.2. Требования к оформлению контрольных домашних заданий*

Каждое из контрольных домашних заданий выполняется в отдельной тетради или на стандартных листах формата А4 (в этом случае листы должны быть обязательно сшиты).

Условие каждой задачи необходимо приводить полностью в том виде, как оно сформулировано в задании.

Электрические схемы, таблицы, графики следует выполнять в соответствии с требованиями стандартов ЕСКД с использованием чертежных инструментов (не от руки), допускается применение компьютерной графики. Рисунки и таблицы необходимо пронумеровать, а в тексте поместить ссылки на них.

В случае использования при расчетах компьютерных средств соответствующие распечатки должны быть выполнены на стандартных листах и вложены в работу.

Решение должно выполняться аккуратно с необходимыми пояснениями и промежуточными расчетами. Расчеты выполняются сначала в общем виде, а затем подставляются числовые значения и приводится окончательный результат с указанием единицы измерения.

В конце КДЗ помещается список использованных литературных источников.

Задания должны быть выполнены собственноручно, датированы и подписаны студентом. Выполненные КДЗ представляются на кафедру преподавателю для проверки. Все замечания, отмеченные преподавателем, устраняются студентом в установленные сроки, после чего он защищает КДЗ.

Студенты, не выполнившие КДЗ в назначенный срок, к экзамену по «Авиационным электрическим машинам» не допускаются.

### *1.3. Указания к выбору варианта КДЗ*

Вариант задания выбирается по двум последним цифрам номера зачетной книжки (шифра).

Контрольные домашние задания, вариант которых не соответствует указанным требованиям, на проверку не принимаются и должны быть выполнены вновь.

#### *1.4. Рекомендуемая литература*

1. Вольдек А.И., Попов В.В. Электрические машины. Введение в электромеханику. Машины постоянного тока и трансформаторы. - СПб.: Питер, 2008.
2. Вольдек А.И., Попов В.В. Электрические машины. Машины переменного тока. - СПб.: Питер, 2008.
3. Панасюк Г.И., Попов И.А., Привалов Г.В. Авиационные электрические машины. - М.: ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 1985.

## **2. Содержание контрольных домашних заданий**

### *КДЗ 1. Авиационные трансформаторы и авиационные асинхронные машины*

Задача 1. Рассчитать параметры и построить схемы замещения и векторные диаграммы *авиационного трансформатора* для режимов:

- холостого хода,
- короткого замыкания,
- номинальной нагрузки при  $\cos\varphi_2 = 0,8$  ( $\varphi_2 > 0$ ).

### Задача 2.

2.1. Рассчитать параметры и построить схему замещения *авиационного асинхронного двигателя* с вынесенным на зажимы машины намагничивающим контуром.

2.2. Рассчитать и построить механическую характеристику асинхронной машины для генераторного, двигательного и тормозного режимов.

2.3. Рассчитать номинальный, максимальный, пусковой и момент холостого хода асинхронного двигателя. Определить кратность пускового момента, перегрузочную способность двигателя.

2.4. Определить изменение пускового и максимального моментов при уменьшении питающего напряжения на 20%.

### *КДЗ 2. Авиационные синхронные электрические машины*

### Задача 3.

3.1. Построить векторную диаграмму Потье авиационного синхронного генератора для номинального тока нагрузки и номинального коэффициента мощности.

3.2. Определить номинальный ток возбуждения, угол нагрузки и приращение напряжения генератора при сбросе нагрузки. Пояснить влияние степени насыщения магнитной цепи машины на эти величины.

## **3. Методические указания к выполнению контрольных домашних заданий**

### Методические указания к КДЗ 1

Исходные данные к Задаче 1 приведены в таблице приложения П.1.

### Порядок решения Задачи 1

1.1. Первичной обмоткой трансформатора (присоединенной к питающей сети) считается обмотка высшего напряжения (ВН), вторичной (к зажимам которой подключается нагрузка) - обмотка низшего напряжения (НН).

Для трехфазного трансформатора указанные в таблице П.1 номинальные первичное и вторичное напряжения - линейные. Группа соединений стандартная - (Y/Y -12).

1.2. Коэффициент трансформации можно считать приближенно равным отношению  $K \approx U_{1\text{НОМ}} / U_{2\text{НОМ}}$ .

1.3. При расчетах следует учитывать соотношения:

$$S_{1\text{НОМ}} = m \cdot U_1 \cdot I_1 = \sqrt{P_{1\text{НОМ}}^2 + Q_{1\text{НОМ}}^2},$$

$$S_{2\text{НОМ}} = m \cdot U_2 \cdot I_2 = \sqrt{P_{2\text{НОМ}}^2 + Q_{2\text{НОМ}}^2},$$

где  $m$  - число фаз;

$U_1, U_2$  - номинальные первичное и вторичное фазные напряжения;

$I_1, I_2$  - номинальные первичный и вторичный фазные токи;

$S_{1\text{НОМ}}, S_{2\text{НОМ}}, P_{1\text{НОМ}}, P_{2\text{НОМ}}, Q_{1\text{НОМ}}, Q_{2\text{НОМ}}$  - номинальные полные, активные и реактивные первичные и вторичные мощности соответственно.

Активные и реактивные мощности равны

$$P_{1\text{НОМ}} = P_{2\text{НОМ}} + P_0 + P_{\text{кн}},$$

где  $P_0$  и  $P_{\text{кн}}$  - потери холостого хода при номинальном питающем напряжении и номинальные потери короткого замыкания (из таблицы П.1).

$$P_{2\text{НОМ}} = S_{2\text{НОМ}} \cdot \cos \varphi_2;$$

$$Q_{1\text{НОМ}} = Q_{2\text{НОМ}}.$$

1.4. По данным опыта *холостого хода* необходимо:

- рассчитать сопротивления  $r_{10} = r_1 + r_m$  и  $x_{10} = x_1 + x_m$ ;

- определить  $\cos \varphi_0$ , активную  $I_{0a}$  и реактивную  $I_{0p}$  составляющие тока холостого хода  $I_0$ .

1.5. По данным опыта *короткого замыкания*:

- рассчитать сопротивления  $r_k = r_1 + r'_2$  и  $x_k = x_1 + x'_2$ ;

- принять  $r_1 = r'_2 = r_k / 2$  и  $x_1 = x'_2 = x_k / 2$ .

1.6. Определив параметры трансформатора ( $r_1, r'_2, x_1, x'_2, r_m, x_m$ ) по данным опытов холостого хода и короткого замыкания, построить схемы замещения для этих режимов и T-образную схему замещения трансформатора для режима номинальной нагрузки. Указать на схемах первичные и приведенные вторичные токи  $I_1$  и  $I'_2$ , напряжения  $U_1$  и  $U'_2$ , ЭДС  $E_1$  и  $E'_2$ , ток намагничивающего контура  $I_0$ .

1.7. Записать системы уравнений трансформатора в комплексной форме для указанных режимов и построить векторные диаграммы токов и напряжений, являющиеся графическим представлением этих систем уравнений для соответствующего режима работы.

#### Примечание 1:

а) для трехфазного трансформатора схема замещения и векторные диаграммы строятся для одной фазы;

б) перед построением векторных диаграмм необходимо выбрать масштабы токов

$$m_I = \quad \text{А/мм} \text{ и напряжений } m_U = \quad \text{В/мм.}$$

Исходные данные к Задаче 2 приведены в таблицах П.2 и П.3.

Порядок решения Задачи 2

2.1. Расчет параметров трехфазного асинхронного двигателя проводится для одной фазы и может быть выполнен по данным опытов холостого хода и короткого замыкания аналогично расчету параметров схемы замещения трансформатора.

2.2. Активные сопротивления обмотки статора машины необходимо привести к указанным в таблице П.3 температурам ( $t_{\text{раб}}$ ), при которых проводились соответствующие опыты:

$$R_{1t} = R_1 \cdot (1 + \alpha \cdot (t_{\text{раб}} - t_{\text{окр}})),$$

где  $R_1$  - сопротивление фазы обмотки статора при температуре окружающей среды  $t_{\text{окр}} = 20^\circ\text{C}$ ;

$\alpha = 0,0038 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  - температурный коэффициент меди.

2.3. Соединение обмотки статора – Y.

2.4. Потери холостого хода асинхронного двигателя определяются выражением

$$P_0 = \Delta P_{\text{эл1}} + P'_0,$$

где  $\Delta P_{\text{эл1}} = 3 \cdot I_0^2 \cdot R_{1\text{т0}}$  - электрические потери в обмотке статора при холостом ходе;

$P'_0 = \Delta P_{\text{мг}} + \Delta P_{\text{мех}}$  - составляющая потерь холостого хода, равная сумме магнитных и механических потерь.

$P'_0$  необходимо разделить на магнитные и механические потери, приняв

$$\Delta P_{\text{мех}} \approx (0,4 \dots 0,5) \cdot P'_0.$$

2.5. Параметры уточненной Г-образной схемы замещения с вынесенным на зажимы сети намагничивающим контуром рассчитываются введением поправочного коэффициента  $\sigma_1 = 1 + X_1 / X_m$ .

2.6. Начертить схему замещения.

2.7. Для расчета механической характеристики асинхронной машины используется соотношение

$$M = \pm \frac{m_1 \cdot p \cdot U_1^2 \cdot R_2' / s}{2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot ((R_1 + \sigma_1 \cdot R_2' / s)^2 + (X_1 + \sigma_1 \cdot X_2')^2)},$$

где  $m_1 = 3$  - число фаз обмотки статора;

$p$  - число пар полюсов машины;

$U_1$  - номинальное напряжение фазы обмотки статора;

$f_1$  - частота сети;

$s = (n_1 - n_2) / n_1$  - скольжение;

$n_1 = 2 \cdot \pi \cdot f_1 / p$  - частота вращения магнитного поля.

Знак «+» соответствует двигательному режиму работы асинхронной машины, знак «-» - генераторному.

Механическую характеристику (16 - 20 точек, включая 0) рассчитать в пределах изменения скольжения  $-2 < s < +2$ .

2.8. Номинальный, пусковой и максимальный моменты определяются из приведенного выше соотношения для значений  $s = s_{ном}$ ,  $s = 1$ ,  $s = s_{кр}$ .

Критическое скольжение для двигательного режима можно определить из выражения:  $s_{кр} \approx R'_2 / X_k$ .

2.9. Кратность пускового момента  $K_{п} = M_{п} / M_{ном}$ ,  
перегрузочная способность  $K_{м} = M_{max} / M_{ном}$ .

2.10. Для определения изменения электромагнитного момента асинхронного двигателя при уменьшении питающего напряжения следует учитывать его пропорциональность величине  $(U_1)^2$ .

### Методические указания к КДЗ 2

Исходные данные к Задаче 3 приведены в таблице П.4.

Характеристика холостого хода *явнополюсного авиационного синхронного генератора* задана табл. 1.

Таблица 1

$E_*$ , о.е.	0	0,29	0,58	0,82	1,00	1,15	1,25	1,27	1,32	1,41	1,45	1,50
$I_{в*}$ , о.е.	0	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,50	3,00	3,50

### Порядок решения задачи 3

3.1. В теории синхронных электрических машин принято использовать значения величин и параметров в относительных единицах (о.е.), получаемых делением величины на ее базисное значение  $U_{*, о.е.} = U / U_B$ ,  $I_{*, о.е.} = I / I_B$ .

3.2. По данным табл. 1 построить характеристику холостого хода синхронного генератора.

Используя соотношение ОКЗ  $= I_{ко*} = 1/x_{d*} = 1/(x_{ad*} + x_{oa*})$ , определить ненасыщенное значение индуктивного сопротивления продольной реакции якоря  $x_{ad*\infty}$ .

3.3. Несмотря на то, что теоретически векторная диаграмма Потье верна только для неявнополюсных синхронных машин, на практике исследование с ее помощью явнополюсных синхронных машин дает достаточно точные результаты.

3.4. Для учета насыщения магнитной цепи машины векторную диаграмму Потье необходимо совместить с характеристикой холостого хода машины, выбрав соответствующие масштабы напряжения и тока (или МДС) возбуждения.

Примечание 2. Для трехфазного синхронного генератора векторная диаграмма строится для одной фазы.

### 3.5. Порядок построения векторной диаграммы :

- по заданным  $U_* = 1$ ,  $I_* = 1$  и  $\cos$  строят векторы  $\dot{U}_*$  и  $\dot{I}_*$ , направляя вектор напряжения по оси ординат характеристики холостого хода;
- в соответствии с выражением  $\dot{E}_{\delta*} = \dot{U}_* + \dot{I}_* \cdot r_{a*} + j \dot{I}_* \cdot x_{\sigma a*}$  с учетом известных сопротивлений  $x_{\sigma a*}$  и  $r_{a*}$  строят ЭДС воздушного зазора  $\dot{E}_{\delta*}$ . Угол между векторами  $\dot{U}_*$  и  $\dot{E}_{\delta*}$  равен  $\gamma$ ;
- ЭДС воздушного зазора  $E_{\delta*}$  индуцируется результирующим магнитным потоком воздушного зазора и определяет поэтому степень насыщения магнитной цепи машины в заданном режиме работы. Величину  $E_{\delta*}$  сносят на ось ординат и по характеристике холостого хода определяют соответствующую ей МДС возбуждения  $F_{в\delta*}$ ;
- вектор  $(-F_{в\delta*})$  направляют по оси абсцисс характеристики холостого хода;
- при построении диаграммы Потье реакция якоря синхронной машины не раскладывается на составляющие по осям  $d$  и  $q$ , поэтому полную МДС реакции якоря принимаем равной МДС реакции якоря по продольной оси и приводим к масштабу МДС возбуждения в соответствии с выражением

$$F'_a = F'_{ad} = K_{ad} \cdot F_a.$$

В относительных единицах, учитывая, что при  $I_* = 1$  о.е. МДС якоря также будет  $F_{a*} = 1$  о.е., получим  $F'_{a*} = F'_{ad*} = K_{ad} \cdot 1 = K_{ad}$ .

- прибавляя к вектору  $(-F_{в\delta*})$  вектор  $F'_{a*}$  под углом  $(90^\circ + \varphi + \gamma)$ , получают вектор МДС возбуждения  $(-F_{вн*})$ , который сносят на ось абсцисс и получают величину  $F_{вн*}$  (ток возбуждения  $I_{вн*}$ );
- по характеристике холостого хода определяют значение ЭДС холостого хода  $E_{0*}$ , соответствующее току возбуждения  $I_{вн*}$  (или  $F_{вн*}$ , так как в относительных единицах  $I_{вн*} = F_{вн*}$ ), и повышение напряжения при сбросе нагрузки  $\Delta U_* = E_{0*} - U_*$ ;
- значение ЭДС  $E_{н*}$  для тока  $I_{вн*}$  с учетом степени насыщения машины определяют по спрямленной насыщенной характеристике холостого хода, проходящей через точку с координатами  $[F_{в\delta*}, E_{\delta*}]$ ;
- для построения вектора  $\dot{E}_{н*}$  к концу  $\dot{E}_{\delta*}$  прибавляют вектор  $j \dot{I}_* \cdot x_{ad*}$ . При этом следует использовать насыщенное значение индуктивного сопротивления продольной реакции якоря

$$x_{ad*} = x_{ad*\infty} / k_{\mu d},$$

где  $k_{\mu d} = E_{\delta*\infty} / E_{\delta*}$  - коэффициент насыщения по продольной оси.

Величины  $E_{\delta^* \infty}$  и  $E_{\delta^*}$  определяются из векторной диаграммы. Результирующий вектор  $\dot{E}_{H^*}$  правильно построенной векторной диаграммы опережает вектор суммарной МДС ( $-F_{BH^*}$ ) на  $90^\circ$ , длина вектора  $E_{H^*}$  (его модуль) совпадает с величиной, определенной по характеристике холостого хода.

Угол, на который вектор  $\dot{E}_{H^*}$  опережает вектор  $\dot{U}_*$ , называется углом нагрузки  $\theta$ .

3.6. На полученной векторной диаграмме Потье необходимо провести дополнительные построения, используя ненасыщенное значение индуктивного сопротивления продольной реакции якоря  $x_{ad^* \infty}$ . Целью этих построений является определение влияния степени насыщения магнитной цепи машины на ток возбуждения и угол нагрузки генератора.

#### 4. Примеры выполнения заданий

КДЗ 1. Задача 1. Технические данные трансформатора:

номинальная мощность  $S_{2НОМ} = 600$  ВА,

частота  $f_1 = 400$  Гц,

число фаз  $m = 3$ ,

группа соединений -12,

номинальное высшее напряжение  $U_{1НОМ} = 200$  В,

номинальное низшее напряжение  $U_{2НОМ} = 36$  В,

номинальное напряжение короткого замыкания  $U_{кн}\% = 6,2\%$ ,

ток холостого хода  $I_0\% = 8\%$ ,

потери холостого хода  $P_0 = 30$  Вт,

номинальные потери короткого замыкания  $P_{кн} = 36$  Вт.

1.1. Для трехфазного трансформатора линейные напряжения

$$U_{1л} = U_{1НОМ} = 200 \text{ В}; \quad U_{2л} = U_{2НОМ} = 36 \text{ В}.$$

Тогда фазные напряжения будут равны:

$$U_1 = U_{1НОМ} / \sqrt{3} = 200 / 1,73 = 115,5 \text{ В}; \quad U_2 = U_{2НОМ} / \sqrt{3} = 36 / 1,73 = 21 \text{ В}.$$

1.2. Коэффициент трансформации  $K = U_{1л} / U_{2л} = 200 / 36 = 5,55$ .

1.3. Рассчитаем номинальные активные и реактивные первичные и вторичные мощности и полную мощность первичной обмотки:

$$P_{2НОМ} = S_{2НОМ} \cdot \cos \varphi_2 = 600 \cdot 0,8 = 480 \text{ Вт};$$

$$Q_{2НОМ} = \sqrt{S_{2НОМ}^2 - P_{2НОМ}^2} = \sqrt{600^2 - 480^2} = 360 \text{ вар};$$

$$P_{1НОМ} = P_{2НОМ} + P_0 + P_{кн} = 480 + 30 + 36 = 546 \text{ Вт};$$

$$Q_{1НОМ} = Q_{2НОМ} = 360 \text{ вар};$$

$$S_{1НОМ} = \sqrt{P_{1НОМ}^2 + Q_{1НОМ}^2} = \sqrt{546^2 + 360^2} = 654 \text{ ВА}.$$

Фазные первичный и вторичный токи:

$$I_1 = S_{1НОМ} / (\sqrt{3} \cdot U_{1НОМ}) = 654 / (\sqrt{3} \cdot 200) = 1,9 \text{ А};$$

$$I_2 = S_{2НОМ} / (\sqrt{3} \cdot U_{2НОМ}) = 600 / (\sqrt{3} \cdot 36) = 9,6 \text{ А.}$$

Ток холостого хода  $I_0 = 0,08 \cdot I_1 = 0,08 \cdot 1,9 = 0,15 \text{ А.}$

Напряжение короткого замыкания  $U_{кн} = 0,062 \cdot U_1 = 0,062 \cdot 115,5 = 7,15 \text{ В.}$

1.4. По данным опыта *холостого хода* рассчитаем сопротивления:

$$z_{I0} = U_1 / I_0 = 115,5 / 0,15 = 770 \text{ Ом;}$$

$$r_{10} = r_1 + r_m = P_0 / 3 \cdot I_0^2 = 30 / 3 \cdot 0,15^2 = 444 \text{ Ом;}$$

$$x_{10} = x_1 + x_m = \sqrt{z_{10}^2 - r_{10}^2} = \sqrt{770^2 - 444^2} = 629 \text{ Ом.}$$

Коэффициент мощности  $\cos \varphi_0 = P_0 / 3 \cdot I_0 \cdot U_1 = 30 / 3 \cdot 0,15 \cdot 115,5 = 0,577.$

Активная и реактивная составляющие тока холостого хода  $I_0$ :

$$I_{0a} = I_0 \cdot \cos \varphi_0 = 0,15 \cdot 0,577 = 0,087 \text{ А;}$$

$$I_{0p} = I_0 \cdot \sin \varphi_0 = 0,15 \cdot 0,817 = 0,123 \text{ А.}$$

1.5. По данным опыта *короткого замыкания* рассчитаем сопротивления:

$$z_k = U_{кн} / I_1 = 7,15 / 1,9 = 3,77 \text{ Ом;}$$

$$r_k = r_1 + r_2' = P_{кн} / 3 \cdot I_1^2 = 36 / 3 \cdot 1,9^2 = 3,24 \text{ Ом;}$$

$$x_k = x_1 + x_2' = \sqrt{z_k^2 - r_k^2} = \sqrt{3,77^2 - 3,24^2} = 1,92 \text{ Ом;}$$

$$r_1^1 = r_2' = r_k / 2 = 3,24 / 2 = 1,62 \text{ Ом;}$$

$$x_1^1 = x_2' = x_k / 2 = 1,92 / 2 = 0,96 \text{ Ом;}$$

$$r_m = r_{10} - r_1 = 444 - 1,62 = 442,4 \text{ Ом;}$$

$$x_m = x_{10} - x_1 = 629 - 0,96 = 628 \text{ Ом.}$$

1.6. Рассчитанные сопротивления являются параметрами схем замещения трансформатора, приведенных на рис. 1, 3, 5.

В режиме *холостого хода* работа трансформатора описывается системой уравнений в комплексной форме, которой соответствует схема замещения (рис. 1)

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + \dot{I}_0 \cdot (r_1 + jx_1)$$

$$\dot{I}_0 = \dot{I}_{0p} + \dot{I}_{0a}$$

$$\dot{E}_1 = -\dot{I}_0 \cdot (r_m + jx_m)$$

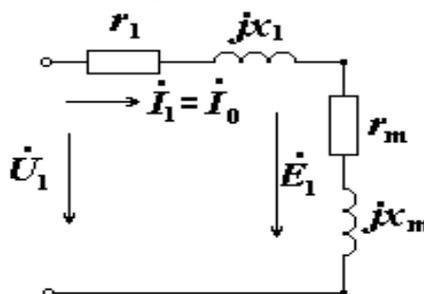


Рис.1. Схема замещения фазы трансформатора в режиме холостого хода

1.7. Для построения векторной диаграммы, представляющей собой изображение в виде векторов уравнений приведенной выше системы, необходимо рассчитать модули (длины) этих векторов:

$$E_1 = I_0 \cdot \sqrt{r_m^2 + x_m^2} = 0,15 \cdot \sqrt{442,4^2 + 628^2} = 0,15 \cdot 768 = 115 \text{ В,}$$

$$I_0 \cdot r_1 = 0,15 \cdot 1,62 = 0,24 \text{ В,} \quad I_0 \cdot x_1 = 0,15 \cdot 0,96 = 0,14 \text{ В.}$$

Перед построением векторной диаграммы необходимо выбрать масштабы для напряжений ( $m_U$ , В/мм) и токов ( $m_I$ , А/мм).

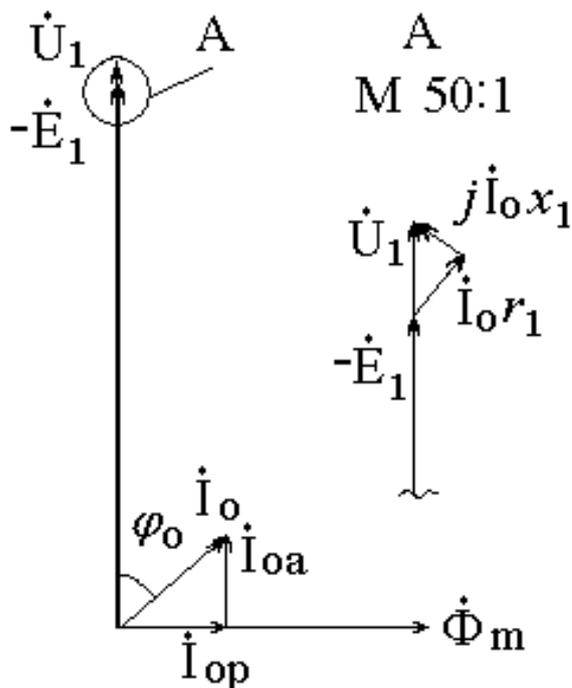


Рис. 2. Векторная диаграмма фазы трансформатора в режиме холостого хода

Однако из-за того, что падения напряжения на активном сопротивлении  $I_0 \cdot r_1$  и индуктивном сопротивлении рассеяния  $I_0 \cdot x_1$  первичной обмотки значительно меньше, чем ЭДС и напряжение  $E_1$  и  $U_1$ , не представляется возможным построить соответствующие векторы в одном масштабе.

Из векторной диаграммы на рис. 2 видно, что  $U_1 \approx E_1$ , а для построения векторов  $\dot{I}_0 \cdot r_1$  и  $j\dot{I}_0 \cdot x_1$  необходимо сделать выноску и изобразить их в увеличенном масштабе.

Порядок построения векторной диаграммы подробно описан в рекомендованной литературе.

Опыт *короткого замыкания* трансформатора проводится при пониженном напряжении, при котором по обмоткам трансформатора протекают токи, не превышающие номинальные. Током намагничивающего контура  $I_0$  при этом можно пренебречь. Работа трансформатора в режиме короткого замыкания описывается уравнением

$$\dot{U}_{1K} = \dot{I}_{1K} \cdot (r_1 + jx_1) + (-\dot{I}'_{2K}) \cdot (r'_2 + jx'_2) .$$

Так как  $\dot{I}_{1K} = -\dot{I}'_{2K} = \dot{I}_K$ , то

$$\dot{U}_{1K} = \dot{I}_K \cdot (r_1 + r'_2) + j\dot{I}_K \cdot (x_1 + x'_2) = \dot{I}_K \cdot r_K + j\dot{I}_K \cdot x_K .$$

Если опыт короткого замыкания проводится при напряжении  $U_{1K} = U_{кн}$ , тогда

$$\dot{U}_{кн} = \dot{U}_{ка} + \dot{U}_{кр} ,$$

$$\text{где } U_{ка} = I_K \cdot r_K = U_{кн} \cdot \cos \varphi_K = 1,9 \cdot 3,24 = 7,16 \cdot 0,88 = 6,32 \text{ В,}$$

$$U_{кр} = I_K \cdot x_K = U_{кн} \cdot \sin \varphi_K = 1,9 \cdot 1,92 = 7,16 \cdot 0,47 = 3,37 \text{ В.}$$

Ниже приведены схема замещения и векторная диаграмма трансформатора в режиме короткого замыкания.

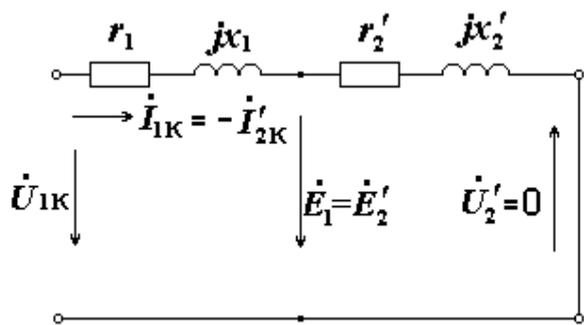


Рис. 3. Схема замещения фазы трансформатора в режиме короткого замыкания

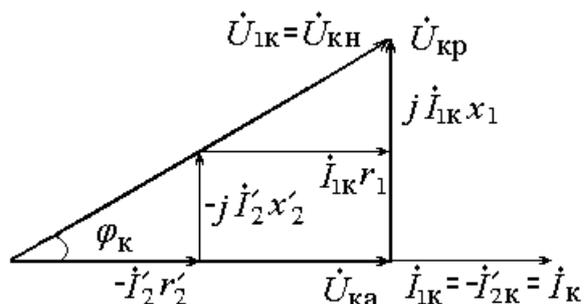


Рис. 4. Векторная диаграмма для режима короткого замыкания

Примечание 3. Векторные диаграммы для режимов холостого хода и короткого замыкания построены в разных масштабах, так как  $U_{кн} \ll U_{ном}$ .

Система уравнений приведенного трансформатора в режиме нагрузки имеет вид:

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + \dot{I}_1 \cdot (r_1 + jx_1)$$

$$\dot{E}_2' = \dot{U}_2' + \dot{I}_2' \cdot (r_2' + jx_2')$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + (-\dot{I}_2')$$

$$\dot{E}_1 = \dot{E}_2'$$

Этой системе уравнений соответствует Т-образная схема замещения

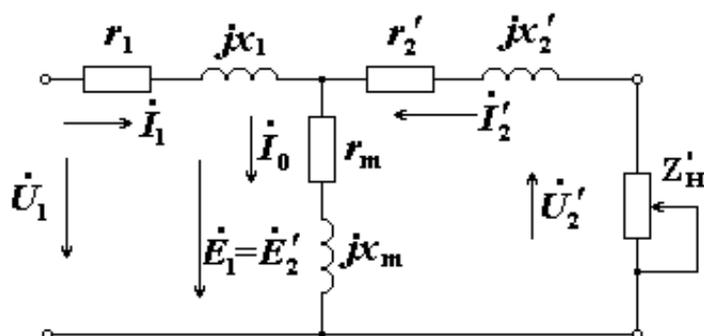


Рис. 5. Схема замещения приведенного трансформатора для режима нагрузки

Перед построением векторной диаграммы в режиме номинальной активно-индуктивной нагрузки при  $\cos \varphi_2 = 0,8$  ( $\varphi_2 = 37^\circ$ ) произведем расчеты необходимых величин:

$$U_2' = K \cdot U_2 = 5,55 \cdot 21 = 115,3 \text{ В,}$$

$$I_2' = I_2 / K = 9,62 / 5,55 = 1,73 \text{ А,}$$

$$I_2' \cdot r_2' = 1,73 \cdot 1,62 = 2,8 \text{ В,} \quad I_1 \cdot r_1 = 1,9 \cdot 1,62 = 3,1 \text{ В,}$$

$$I_2' \cdot x_2' = 1,73 \cdot 0,96 = 1,6 \text{ В,} \quad I_1 \cdot x_1 = 1,9 \cdot 0,96 = 1,8 \text{ В.}$$

Построение векторной диаграммы (рис. 6) начинаем с изображения в выбранных масштабах векторов  $\dot{U}_2'$  и  $\dot{I}_2'$  с углом между ними  $\varphi_2$ . Далее в соответствии с приведенными выше уравнениями строим векторы  $\dot{U}_2', \dot{E}_2', -\dot{E}_1, \dot{I}_1, \dot{U}_1$ .

Примечание 4. Масштаб напряжения принят такой же, как и при построении векторной диаграммы для режима холостого хода, масштаб тока – больше.

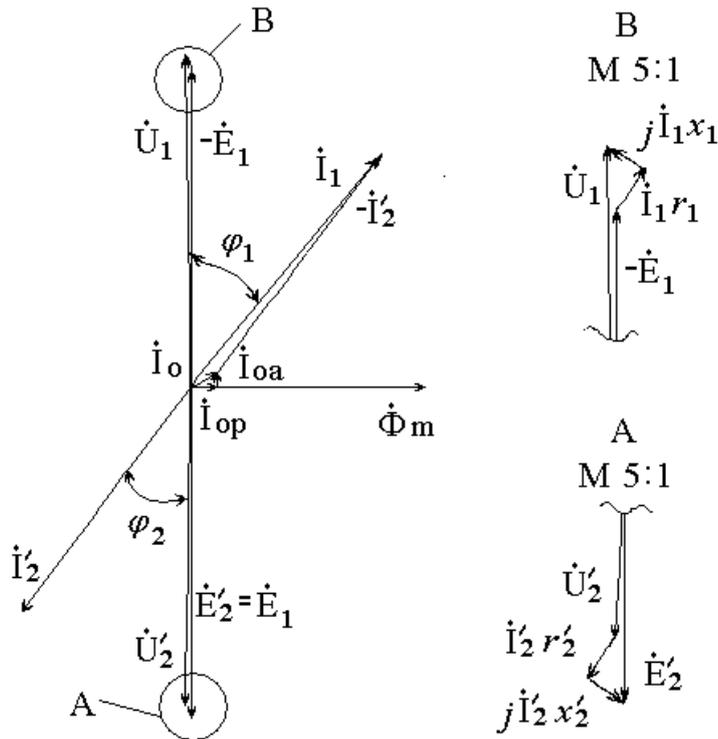


Рис. 6. Векторная диаграмма фазы трансформатора при номинальной нагрузке

Задача 2. Технические данные авиационного трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором:

номинальная мощность  $P_{2\text{ном}} = 500$  Вт;

номинальное линейное напряжение  $U_{1\text{л}} = 200$  В;

частота  $f_1 = 400$  Гц;

номинальная частота вращения  $n_2 = 5800$  об/мин;

номинальный коэффициент мощности  $\cos\varphi = 0,7$ ;

номинальный КПД  $\eta = 0,73$ ;

активное сопротивление фазы обмотки статора  $R_1 = 1,57$  Ом (при температуре  $20^\circ\text{C}$ ).

*Данные опыта холостого хода:*

ток холостого хода  $I_0 = 2,2$  А;

потери холостого хода  $P_0 = 270$  Вт;

температура обмоток  $t_0 = 60$  °С.

*Данные опыта короткого замыкания:*

ток короткого замыкания  $I_{\text{к}} = 3,6$  А;

потери короткого замыкания  $P_{\text{к}} = 152$  Вт;

напряжение короткого замыкания (фазное)  $U_{\text{к}} = 32$  В;

температура обмоток  $t_{\text{к}} = 120^\circ\text{C}$ .

2.1. Для расчета параметров схемы замещения определим:

- номинальную потребляемую мощность

$$P_{1\text{НОМ}} = P_{2\text{НОМ}} / \eta = 500 / 0,73 = 685 \text{ Вт};$$

- номинальное фазное напряжение

$$U_1 = U_{1\text{НОМ}} / \sqrt{3} = 200 / 1,73 = 115,5 \text{ В};$$

- номинальный ток фазы обмотки статора

$$I_1 = P_{1\text{НОМ}} / 3 \cdot U_1 \cdot \cos \varphi = 685 / 3 \cdot 115,5 \cdot 0,7 = 2,82 \text{ А}.$$

2.2. По данным опыта *холостого хода* рассчитаем:

- электрические потери в обмотке статора

$$\Delta P_{1\text{эл}} = 3 \cdot I_0^2 \cdot R_{1\text{т0}} = 3 \cdot 2,2^2 \cdot 1,8 = 26 \text{ Вт},$$

$$\text{где } R_{1\text{т0}} = (1 + 0,0038 \cdot (60 - 20)) = 1,57 \cdot (1 + 0,0038 \cdot 40) = 1,8 \text{ Ом} -$$

активное сопротивление фазы обмотки статора, приведенное к температуре опыта холостого хода;

- сумму магнитных и механических потерь

$$P'_0 = P_0 - \Delta P_{1\text{эл}} = 270 - 26 = 244 \text{ Вт};$$

$$\text{примем } \Delta P_{\text{мех}} = 0,45 \cdot P'_0 = 0,45 \cdot 244 = 110 \text{ Вт},$$

$$\text{тогда } \Delta P_{\text{мг}} = P'_0 - \Delta P_{\text{мех}} = 244 - 110 = 134 \text{ Вт};$$

- активное сопротивление намагничивающего контура схемы замещения

$$R_m = \Delta P_{\text{мг}} / (3 \cdot I_0^2) = 134 / (3 \cdot 2,2^2) = 9,2 \text{ Ом};$$

- активное сопротивление вынесенного на зажимы машины намагничивающего контура схемы замещения

$$R_{10} = R_{1\text{т0}} + R_m = 9,2 + 1,8 = 11 \text{ Ом};$$

- полное сопротивление вынесенного на зажимы машины намагничивающего контура

$$Z_{10} = U_1 / I_0 = 115,5 / 2,2 = 5,25 \text{ Ом};$$

- реактивное сопротивление намагничивающего контура, вынесенного на зажимы машины

$$X_{10} = X_1 + X_m = \sqrt{Z_{10}^2 - R_{10}^2} = \sqrt{52,5^2 - 11^2} = 51,3 \text{ Ом}.$$

2.3. По данным опыта *короткого замыкания* рассчитаем:

- активное сопротивление фазы обмотки статора, приведенное к температуре опыта короткого замыкания

$$R_{1\text{тк}} = (1 + 0,0038 \cdot (120 - 20)) = 1,57 \cdot (1 + 0,0038 \cdot 100) = 2,17 \text{ Ом};$$

- полное сопротивление короткого замыкания

$$Z_k = U_k / I_k = 32 / 3,6 = 8,9 \text{ Ом};$$

- активное сопротивление короткого замыкания

$$R_k = R_{1\text{тк}} + R'_2 = P_k / (3 \cdot I_k^2) = 152 / (3 \cdot 3,6^2) = 3,9 \text{ Ом};$$

- приведенное активное сопротивление обмотки ротора

$$R'_2 = R_k - R_{1\text{тк}} = 3,9 - 2,17 = 1,73 \text{ Ом};$$

- реактивное сопротивление короткого замыкания

$$X_k = X_1 + X'_2 = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2} = \sqrt{8,9^2 - 3,9^2} = 8 \text{ Ом};$$

- индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора и приведенное индуктивное сопротивление рассеяния обмотки ротора

$$X_l = X'_2 = X_k / 2 = 80,2 = 4 \text{ Ом};$$

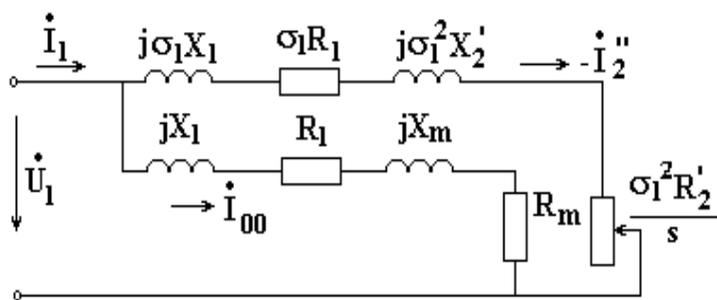
- индуктивное сопротивление намагничивающего контура

$$X_m = X_{10} - X_l = 51,3 - 4 = 47,3 \text{ Ом}.$$

2.4. Поправочный коэффициент

$$\sigma_1 = 1 + X_l / X_m = 1 + 4 / 47,3 = 1,08.$$

2.5. Схема замещения фазы обмотки статора трехфазного асинхронного двигателя с вынесенным на зажимы намагничивающим контуром представлена на рис. 7.



Численные значения параметров схемы замещения:

$$R_1 = 2,17 \text{ Ом}, \quad X_l = 4 \text{ Ом},$$

$$R'_2 = 1,73 \text{ Ом}, \quad X'_2 = 4 \text{ Ом},$$

$$R_m = 9,2 \text{ Ом}, \quad X_m = 47,3 \text{ Ом},$$

$$\sigma_1 R_1 = 2,9 \text{ Ом}, \quad \sigma_1 X_l = 4,32 \text{ Ом},$$

$$\sigma_1^2 R'_2 = 2 \text{ Ом},$$

$$\sigma_1^2 X'_2 = 4,67 \text{ Ом}.$$

Рис. 7. Уточненная Г-образная схема замещения асинхронной машины

2.6. Механическая характеристика асинхронной машины (зависимость электромагнитного момента  $M$  от скольжения  $s$  при  $U_1 = const$  и  $f_1 = const$ ) рассчитана в соответствии с выражением

$$M = \pm \frac{m_1 \cdot p \cdot U_1^2 \cdot R'_2 / s}{2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot ((R_1 + \sigma_1 \cdot R'_2 / s)^2 + (X_1 + \sigma_1 \cdot X'_2)^2)}$$

для режимов работы машины:

- генераторного при  $-2 < s \leq 0$ ,

- двигательного при  $s_0 < s \leq 1$ ,

где ( $s_0$  – скольжение холостого хода двигателя),

- электромагнитного тормоза  $1 < s < 2$ .

Результаты расчета сведены в табл. 2, механическая характеристика показана на рис. 8.

Таблица 2

$s$	$M$ , Нм	$s$	$M$ , Нм
0,00	0,00	0,014	0,43
-0,03	-1,09	0,033	0,94
-0,06	-2,00	0,06	1,54
-0,08	-2,63	0,08	1,89
-0,10	-3,19	0,10	2,16
-0,12	-3,65	0,12	2,37
-0,16	-4,27	0,16	2,61
-0,22	-4,54	0,22	2,71
-0,40	-3,62	0,40	2,35
-0,60	-2,60	0,60	1,87
-0,80	-1,97	0,80	1,53
-1,00	-1,58	1,00	1,28
-1,20	-1,31	1,20	1,10
-1,40	-1,12	1,40	0,96
-1,60	-0,97	1,60	0,85
-1,80	-0,86	1,80	0,76
-2,00	-0,77	2,00	0,69



Рис. 8. Механическая характеристика асинхронной машины

2.7. По механической характеристике определим значения электромагнитного момента для скольжений:

а) номинального  $S_{\text{ном}} = (n_1 - n_2) / n_1 = (6000 - 5800) / 6000 = 0,033$ ,

где  $n_1 = (60 \cdot f_1) / p = (60 \cdot 400) / 4 = 6000$  об/мин. – частота вращения магнитного поля статора,

$p = 4$  – число пар полюсов,

- номинальный момент  $M_{\text{ном}} = 0,94$  Нм,

б) критического  $s_{\text{кр}} \approx R'_2 / X_k = 1,73 / 8 = 0,22$ ,

- максимальный момент  $M_{\text{мах}} = 2,71$  Нм,

в)  $s = 1$  – пусковой момент  $M_{\text{п}} = 1,28$  Нм.

Момент холостого хода рассчитаем, исходя из соотношения

$$M_0 = P_0 / \Omega_1 = 270 / 628 = 0,43 \text{ Нм},$$

где  $\Omega_1 = (2 \cdot \pi \cdot f_1) / p = (2 \cdot \pi \cdot 400) / 4 = 628$  рад/с угловая скорость поля.

По механической характеристике определим  $s_0 = 0,014$ .

2.8. Кратность пускового момента  $K_{\text{п}} = M_{\text{п}} / M_{\text{ном}} = 1,28 / 0,94 = 1,36$ ,

перегрузочная способность  $K_{\text{м}} = M_{\text{мах}} / M_{\text{ном}} = 2,71 / 0,94 = 2,9$ .

2.9. При уменьшении питающего напряжения на 20%, то есть до  $(0,8 \cdot U_{\text{ном}})$ , получим:

пусковой момент  $1,28 \cdot (0,8)^2 = 1,28 \cdot 0,64 = 0,82$  Нм,

максимальный момент  $2,71 \cdot (0,8)^2 = 2,71 \cdot 0,64 = 1,73$  Нм,

### Задача 3. Синхронные электрические машины

*Технические данные трехфазного явнополюсного синхронного генератора:*

номинальная мощность  $S_{\text{ном}} = 60$  кВА,

номинальное линейное напряжение  $U_{\text{лном}} = 208$  В,

соединение обмотки якоря – Y,

номинальный коэффициент мощности  $\cos \varphi = 0,8$ ,

номинальная частота вращения  $n = 8000$  об/мин.,

номинальная частота  $f = 400$  Гц,

активное сопротивление фазы обмотки якоря  $r_{a*} = 0,02$  о.е.

индуктивное сопротивление рассеяния фазы обмотки якоря  $x_{\sigma a*} = 0,03$  о.е.

отношение короткого замыкания ОКЗ = 0,69,

коэффициент приведения МДС якоря по продольной оси  $K_{ad} = 0,85$ .

3.1. В качестве базиса выберем следующие номинальные величины:

$$U_{\text{Б}} = U_{\text{Н}} = U_{\text{лном}} / \sqrt{3} = 208 / \sqrt{3} = 120 \text{ В},$$

$$S_{\text{Б}} = S_{\text{ном}} = 60000 \text{ ВА},$$

$$I_{\text{Б}} = I_{\text{Н}} = S_{\text{ном}} / (3 \cdot U) = 60000 / (3 \cdot 120) = 166,7 \text{ А},$$

$$Z_B = U_B / I_B = 120 / 166,7 = 0,72 \text{ Ом},$$

$$\omega_B = \omega_{\text{ном}} = 2\pi f_{\text{ном}} = 2\pi \cdot 400 = 2513 \text{ рад/с}.$$

3.2. По данным табл. 1 строим характеристику холостого хода синхронного генератора в относительных единицах (кривая 1 на рис. 9).

На этом же рисунке построены спрямленная насыщенная (прямая 2), спрямленная ненасыщенная (прямая 3) характеристики холостого хода и характеристика короткого замыкания также в относительных единицах (о.е.).

С помощью этих характеристик определим  $x_{ad*\infty}$  - ненасыщенное значение индуктивного сопротивления продольной реакции якоря.

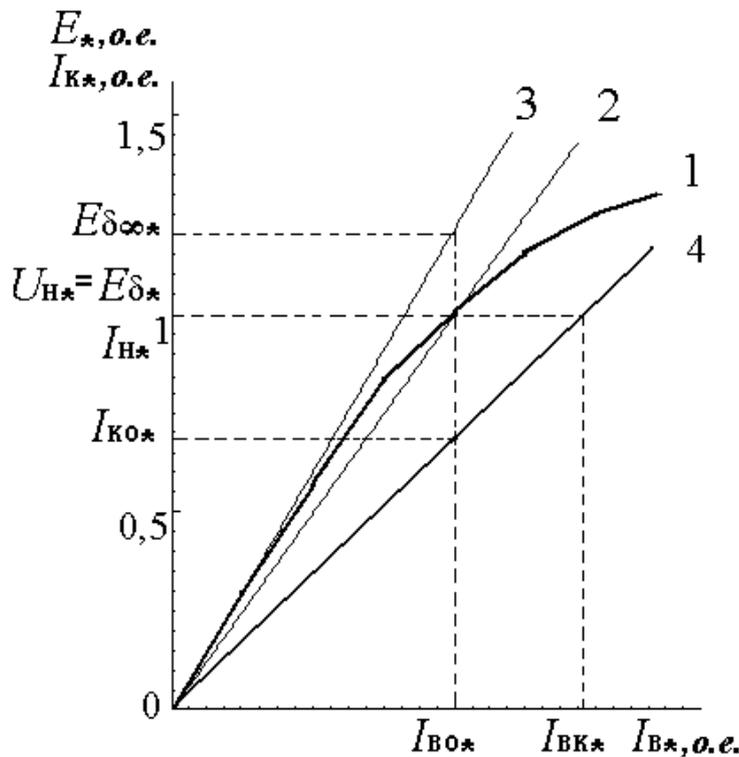


Рис. 9. Характеристики холостого хода  $E_* = f(I_B)$  и короткого замыкания  $I_{k^*} = f(I_{B^*})$

Прямая 2 построена через точку с координатами  $[I_{B0^*}, (E_{\delta^*} = U_{H^*})]$ , прямая 3 - как касательная к начальному участку характеристики 1 и проходит через точку с координатами  $[I_{B0^*}, E_{\delta^{*\infty}}]$ .

Полученное таким образом ненасыщенное значение ЭДС воздушного зазора  $E_{\delta^{*\infty}} = 1,15$  о.е. позволяет определить коэффициент насыщения магнитной цепи синхронного генератора по продольной оси

$$k_{\mu d} = E_{\delta^{*\infty}} / E_{\delta^*} = 1,15 / 1 = 1,15.$$

Характеристика короткого замыкания (прямая 4) построена через точку с координатами  $[I_{в0*}, I_{к0*}]$ , где ток  $I_{к0*} = \text{ОКЗ} = 0,69$  о.е.

Учитывая соотношение

$$\text{ОКЗ} = 1/x_{d*} = 1/(x_{ad*} + x_{\sigma a**}),$$

определяем насыщенное значение индуктивного сопротивления продольной реакции якоря

$$x_{ad*} = x_{d*} - x_{\sigma a**} = 1/\text{ОКЗ} - x_{\sigma a**} = 1/0,69 - 0,03 = 1,45 - 0,03 = 1,42 \text{ о.е.}$$

Тогда ненасыщенное значение индуктивного сопротивления продольной реакции якоря будет

$$x_{ad*\infty} = x_{ad*} \cdot k_{\mu d} = 1,42 \cdot 1,15 = 1,63 \text{ о.е.}$$

3.3. В соответствии с описанной ранее методикой строим векторную диаграмму Потье (рис. 10).

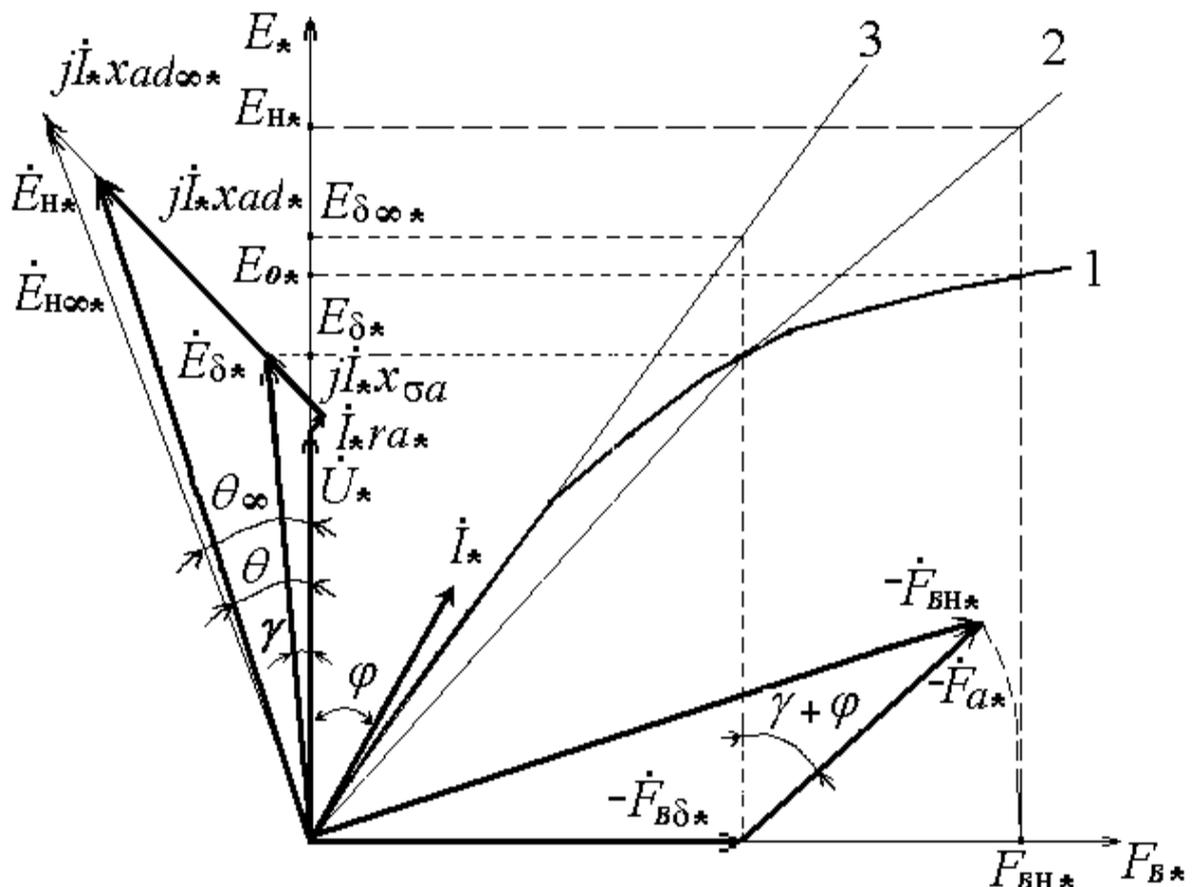


Рис.10. Векторная диаграмма Потье авиационного трехфазного синхронного генератора

Исходными данными для построения векторной диаграммы являются  $U_* = 1$  о.е.,  $I_* = 1$  о.е.,  $\cos\varphi = 0,8$  ( $\varphi = 37^\circ$ ).

Рассчитаем некоторые величины, необходимые для построения:

$$I_* \cdot r_{a*} = 1 \cdot 0,02 = 0,02 \text{ о.е.}, \quad I_* \cdot x_{\sigma a*} = 1 \cdot 0,03 = 0,03 \text{ о.е.},$$

$$E_{\delta*} = 1,2 \text{ о.е.}, \quad E_{\delta*\infty} = 1,5 \text{ о.е. (из рис 10)},$$

$k_{\mu d} = E_{\delta*\infty} / E_{\delta*} = 1,5 / 1,2 = 1,25$  (коэффициент насыщения больше, чем при коротком замыкании, так как  $E_{\delta*} = 1,2 > 1$ ),

$$x_{ad*} = x_{ad*\infty} / k_{\mu d} = 1,63 / 1,25 = 1,3 \text{ о.е.},$$

$$I_* \cdot x_{ad*} = 1 \cdot 1,3 = 1,3 \text{ о.е.},$$

$$F'_{a*} = F'_{ad*} = K_{ad} \cdot F_{a*} = 0,85 \cdot 1 = 0,85 \text{ о.е.}$$

В результате построения векторной диаграммы Потье получили:

- номинальный ток возбуждения  $I_{вн*} = F_{вн*} = 1,9 \text{ о.е.},$
- ЭДС холостого хода  $E_{0*} = 1,17 \text{ о.е.}, (E_0 = 1,17 \cdot 120 = 140 \text{ В}),$
- ЭДС генератора в режиме номинальной нагрузки  $E_{н*} = 1,71 \text{ о.е.},$   
( $E_n = 1,71 \cdot 120 = 205 \text{ В}),$
- угол нагрузки  $\theta = 18^\circ,$
- приращение напряжения при сбросе нагрузки  
 $\Delta U_* = E_{0*} - U_* = 1,17 - 1 = 0,17 \text{ о.е.}, (\Delta U = E_0 - U = 140 - 120 = 20 \text{ В}).$

Произведем дополнительные построения с использованием ненасыщенного значения индуктивного сопротивления продольной реакции якоря  $x_{ad*\infty} = 1,63 \text{ о.е.}$  и  $I_* \cdot x_{ad*\infty} = 1 \cdot 1,63 = 1,63 \text{ о.е.}$  и определим  $E_{н*\infty} = 1,88 \text{ о.е.},$   
( $E_{н\infty} = 1,88 \cdot 120 = 226 \text{ В}).$

По спрямленной насыщенной характеристике холостого хода (прямая 2 на рис. 10) найдем  $I_{вн*\infty} = F_{вн*\infty} = 1,96 \text{ о.е.}$

Как видно, обе эти величины возросли по сравнению с определенными ранее с учетом насыщения. Угол нагрузки также увеличился до  $\theta_{\infty} = 20,5^\circ.$

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что использование при построении векторной диаграммы ненасыщенных значений параметров генератора вносит погрешности в определяемые с помощью диаграммы величины, характеризующие его работу.

Так, например, найденный неточно ток возбуждения, используемый в дальнейшем для настройки регулятора напряжения, может вызвать неверное функционирование регулятора и, как следствие, ухудшение качества электроэнергии, вырабатываемой генератором.

## П Р И Л О Ж Е Н И Е . Таблицы вариантов заданий

## Авиационные трансформаторы. Технические данные

Таблица П.1

Номер строки	Две последние цифры шифра	00/01 50/51	02/03 52/53	04/05 54/55	06/07 56/57	08/09 58/59	10/11 60/61	12/13 62/63	14/15 64/65	16/17 66/67	18/19 68/69	20/21 70/71
	Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Номинальная мощность, $S_{2ном}$ , ВА	24	50	75	120	500	2000	150	250	500	1200	1500
2	Частота, $f_1$ , Гц	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
3	Число фаз, $m$	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3
4	Номинальное высшее напряжение, $U_{1ном}$ , В	120	115	115	300	200	208	200	200	360	200	200
5	Номинальное низшее напряжение, $U_{2ном}$ , В	40	28	6,3	115	28	115	36	36	36	36	36
6	Номинальное напряжение короткого замыкания, $U_{кн}$ %	12	9,5	8,5	8	7	6,5	7,5	6,75	6,5	4,5	5,25
7	Ток холостого хода, $I_0$ %	20	16	8	5,5	6	4	20	5	6	9,5	6
8	Потери короткого замыкания, $P_{кн}$ , Вт	2	3,2	3,9	6	23,8	87	8,3	11	22	32	65
9	Потери холостого хода, $P_0$ , Вт	2	3	3,4	5	16	63	7,5	5	14	21	45

Продолжение табл. П.1

Последние цифры шифра		22/23 72/73	24/25 74/75	26/27 76/77	28/29 78/79	30/31 80/81	32/33 82/83	34/35 84/85	36/37 86/87	38/39 88/89	40/41 90/91	42/43 92/93	44/45 94/95	46/47 96/97	48/49 98/99
Номер строки	Вариант	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
		1	1600	1650	500	1800	1850	1900	2000	2060	2500	2000	2600	3000	6000
2	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
5	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
6	3,4	8,1	6,4	8,35	3,4	3,15	5,2	9	8,5	6,5	8,7	9,35	5,5	3,98	
7	4,2	5	10	4	3	3	10	3,5	3	4,8	5	3	2,5	2	
8	37	107	28	121	50	40	37	160	150	84	160	110	192	265	
9	32	40	24	40	35	27	26	50	40	44	70	43	80	165	

## Авиационные трехфазные асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором. Технические данные

Таблица П.2

Номер строки	Две последние цифры шифра	00/01 50/51	02/03 52/53	04/05 54/55	06/07 56/57	08/09 58/59	10/11 60/61	12/13 62/63	14/15 64/65	16/17 66/67	18/19 68/69	20/21 70/71
	Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Номинальная мощность, $P_{2ном}$ , Вт	25	50	100	200	50	100	200	350	1000	35000	600
2	Номинальное линейное напряжение, $U_1$ л, В	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
3	Частота, $f_1$ , Гц	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
4	Номинальная частота вращения, $n_2$ , об/мин	5810	5820	5860	5880	11400	11460	11480	11500	11500	4608	4300
5	Номинальный коэффициент мощности, $\cos \varphi$	0,6	0,61	0,63	0,65	0,68	0,7	0,72	0,74	0,75	0,8	0,55
6	Номинальный КПД	0,38	0,48	0,55	0,64	0,58	0,6	0,67	0,7	0,78	0,83	0,7
7	Активное сопротивление фазы обмотки статора, $r_1$ , Ом (при температуре 20°C)	36	19	10	5	23	11	4,8	2,8	0,85	0,023	1,79

Продолжение табл. П.2

Последние цифры шифра		22/23 72/73	24/25 74/75	26/27 76/77	28/29 78/79	30/31 80/81	32/33 82/83	34/35 84/85	36/37 86/87	38/39 88/89	40/41 90/91	42/43 92/93	44/45 94/95	46/47 96/97	48/49 98/99
Номер строки	Вариант	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
		1	1100	1500	2250	3000	4000	7060	10000	400	750	5600	9500	3500	5000
2	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
3	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
4	11400	7300	5500	7600	4400	7780	7700	11300	15600	5560	7300	5500	7400	7760	
5	0,76	0,76	0,58	0,8	0,62	0,655	0,73	0,72	0,67	0,69	0,62	0,62	0,68	0,74	
6	0,8	0,72	0,73	0,76	0,81	0,85	0,81	0,7	0,78	0,76	0,83	0,74	0,77	0,82	
7	1,24	1,09	0,35	0,1	0,15	0,19	0,23	1,67	0,87	0,27	0,27	0,14	0,192	0,22	

## Авиационные трехфазные асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором.

## Данные опытов холостого хода и короткого замыкания

Таблица П.3

Номер строки	Две последние цифры шифра	00/01 50/51	02/03 52/53	04/05 54/55	06/07 56/57	08/09 58/59	10/11 60/61	12/13 62/63	14/15 64/65	16/17 66/67	18/19 68/69	20/21 70/71
	Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Данные опыта холостого хода												
1	Ток холостого хода, $I_0$ , А	0,2	0,34	0,55	0,9	0,23	0,45	0,8	1,2	3,5	60	3,38
2	Потери холостого хода, $P_0$ , Вт	7	13	23	323	8	25	40	60	108	1800	135
3	Температура обмоток, °С	50	50	50	50	50	50	50	60	65	50	100
Данные опыта короткого замыкания												
4	Ток короткого замыкания, $I_k$ , А	0,4	0,7	1	1,6	0,5	0,8	1,6	2,5	6	120	6,2
5	Потери короткого замыкания, $P_k$ , Вт	47,5	75	84,5	107	43,5	56	97	148	260	3370	312
6	Напряжение короткого замыкания (фазное), $U_k$ , В	53,6	51	47,4	44,1	44,5	38,2	38,3	29,1	35	21,6	38
7	Температура обмоток, °С	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120

Продолжение табл. П.3

Последние цифры шиф- ра		22/23 72/73	24/25 74/75	26/27 76/77	28/29 78/79	30/31 80/81	32/33 82/83	34/35 84/85	36/37 86/87	38/39 88/89	40/41 90/91	42/43 92/93	44/45 94/95	46/47 96/97	48/49 98/99
Номер строки	Вариант	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Данные опыта холостого хода															
1		3,4	3,8	9	7,95	11,5	22,4	25	1,4	2,75	13,7	13	8,3	8,5	24
2		130	160	560	609	450	575	700	65	93	430	680	630	520	630
3		50	50	50	50	50	50	60	60	60	60	60	65	100	100
Данные опыта короткого замыкания															
4		4,6	6,8	13,5	13,75	15,8	28,5	37	3,1	4,7	21	25	12,15	18,3	39
5		167	286	486	526	750	825	1390	162	220	670	890	380	840	1270
6		30	33	35,6	32	31,8	15,7	21	37	33	18	20,2	33	31	19
7		120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120

## Авиационные трехфазные явнополюсные синхронные генераторы. Технические данные

Таблица П.4

Номер строки	Две последние цифры шифра	00/01	02/03	04/05	06/07	08/09	10/11	12/13	14/15	16/17	18/19	20/21
		50/51	52/53	54/55	56/57	58/59	60/61	62/63	64/65	66/67	68/69	70/71
Номер варианта		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Номинальная мощность, $S_{ном}$ , кВА	3,5	7,5	8	10	10	12	16	20	30	30	40
2	Номинальное линейное напряжение, $U_{лном}$ , В	208	120	115	208	208	115	115	208	208	200	208
3	Соединение обмотки якоря	Y	Y	$\Delta$	Y	Y	$\Delta$	$\Delta$	Y	Y	Y	Y
4	Номинальный коэффициент мощности, $\cos \varphi_{ном}$	0,8	0,8	0,85	0,8	0,75	0,8	0,85	0,75	0,9	0,75	0,8
5	Номинальная частота вращения, $n$ , об/мин	12000	4000	4000	8000	8000	4000	8000	8000	8000	8000	8000
6	Номинальная частота, $f$ , Гц	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
7	Активное сопротивление фазы обмотки якоря, $R_{a*}$ , о.е.	0,04	0,091	0,034	0,033	0,038	0,041	0,048	0,065	0,042	0,03	0,035
8	Индуктивное сопротивление рассеяния фазы обмотки якоря, $X_{\sigma a*}$ , о.е.	0,197	0,22	0,086	0,086	0,05	0,1	0,12	0,049	0,15	0,062	0,094
9	Отношение короткого замыкания (ОКЗ)	0,39	0,5	0,52	0,53	0,57	0,54	0,58	0,56	0,6	0,57	0,47
10	Коэффициент приведения МДС якоря по продольной оси, $K_{ад}$	0,842	0,86	0,85	0,86	0,84	0,83	0,82	0,85	0,83	0,84	0,93

Продолжение табл. П.4

Последние цифры шифра		22/23 72/73	24/25 74/75	26/27 76/77	28/29 78/79	30/31 80/81	32/33 82/83	34/35 84/85	36/37 86/87	38/39 88/89	40/41 90/91	42/43 92/93	44/45 94/95	46/47 96/97	48/49 98/99
Номер строки	Вариант	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
		1	40	30	50	8	16	60	75	90	100	60	60	60	90
2	208	208	208	208	208	208	208	208	208	208	208	208	208	208	208
3	У	У	Δ	У	У	У	У	У	У	У	У	У	У	У	У
4	0,85	0,85	0,85	0,8	0,85	0,8	0,9	0,8	0,75	0,85	0,85	0,8	0,85	0,85	
5	6000	6000	8000	8000	8000	12000	8000	8000	8000	6000	8000	8000	6000	8000	
6	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
7	0,032	0,031	0,041	0,035	0,047	0,053	0,041	0,031	0,023	0,05	0,052	0,051	0,033	0,021	
8	0,091	0,09	0,11	0,088	0,13	0,14	0,11	0,098	0,093	0,12	0,15	0,13	0,093	0,091	
9	0,54	0,51	0,65	0,53	0,56	0,65	0,68	0,7	0,7	0,67	0,68	0,66	0,71	0,68	
10	0,94	0,91	0,8	0,84	0,81	0,83	0,86	0,86	0,84	0,82	0,84	0,81	0,84	0,82	

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Общие указания к выполнению контрольных домашних заданий.....	3
1.1. Цель выполнения контрольных домашних заданий .....	3
1.2. Требования к оформлению контрольных домашних заданий.....	3
1.3. Указания к выбору варианта КДЗ.....	3
1.4. Рекомендуемая литература.....	4
2. Содержание контрольных домашних заданий.....	4
3. Методические указания к выполнению контрольных домашних заданий...	4
4. Примеры выполнения заданий.....	9
Приложение. Таблицы вариантов заданий.....	21