

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Автоматизированный электропривод»

Л. В. Веппер, В. В. Тодарев, Д. А. Хабибуллин

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к контрольным работам по одноименной дисциплине
для студентов электротехнических специальностей
заочной формы обучения**

Гомель 2009

УДК 621.313(075.8)
ББК 31.261я73
В30

*Рекомендовано научно-методическим советом
факультета автоматизированных и информационных систем
ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 6 от 16.06.2007 г.)*

Рецензент: доц. каф. «Электроснабжение» ГГТУ им. П. О. Сухого канд. техн. наук *Т. В. Алферова*

Веппер, Л. В.
В30 Электрические машины : метод. указания к контрол. работам по одноим. дисциплине для студентов электротехн. специальностей заоч. формы обучения / Л. В. Веппер, В. В. Тодарев, Д. А. Хабибуллин. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2009. – 34 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://lib.gstu.local>. – Загл. с титул. экрана.

Представлены задания для выполнения контрольных работ по разделам «Трансформаторы» и «Асинхронные двигатели»
Для студентов электротехнических специальностей заочной формы обучения.

УДК 621.313(075.8)
ББК 31.261я73

© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2009

ВВЕДЕНИЕ

Контрольные задания по курсу “Электрические машины” ставят целью оказать помощь студентам заочного отделения овладеть методом и техникой применения изученных ими теоретических положений к решению конкретных задач.

Данные методические указания включают в себя два раздела из курса электрических машин – *трансформаторы и асинхронные электродвигатели*. Представление данных машин в одном пособии обусловлено тем, что они имеют практически общую теорию.

Задание на контрольную работу состоит из двух задач.

Варианты заданий контрольной работы выбираются по двум последним цифрам учебного шифра студента (номер зачетной книжки).

Студенты должны выполнить данную контрольную работу в сроки, установленные учебным планом.

При оформлении контрольной работы студенты должны придерживаться следующих требований:

1. На титульном листе контрольной работы должны быть указаны дисциплина, фамилия, имя, отчество студента, курс, факультет, учебный шифр студента (номера зачетной книжки), адрес студента.

2. Контрольная работа оформляется в тетрадке аккуратно, без помарок и должна быть выполнена так, чтобы можно было без затруднений прочесть каждую букву, знак, слово. Работы, оформленные небрежно, вызывающие затруднение и сомнение при их чтении, возвращаются студенту для переработки.

3. Страницы тетради должны быть пронумерованы, на каждой из них следует оставлять поле шириной не менее 3 см.

4. Все расчетные действия должны сопровождаться краткими, но четкими пояснениями. Обозначение величин в тексте, формулах, схемах должны быть согласованы и расшифрованы один раз в каждой задаче.

5. Схемы, рисунки должны быть выполняться с применением чертежных инструментов. При выполнении схем следует руководствоваться действующими нормативными документами на условные графические обозначения. Схемы, рисунки должны быть пронумерованы и иметь подрисуночные надписи. В тексте контрольной работы нужно обязательно делать ссылки на соответствующие схемы, рисунки.

6. В тексте вначале записывается расчетная формула в общем виде, а затем с проставленными числовыми значениями. В конце каждой расчетной формулы обязательно указывается размерность полученных величин в системе СИ и при необходимости номер формулы. Результаты повторяющихся расчетов следует сводить в таблицы.

7. В излагаемый материал обязательно включается используемая методика расчета, основные допущения и обозначения. При использовании графиков, численных коэффициентов, формул и методик необходимо делать ссылки на соответствующие литературные источники. Не допускается сокращения слов, кроме общепринятых.

1. ТРАНСФОРМАТОРЫ

1.1. Контрольная работа

Трехфазный двухобмоточный трансформатор характеризуется следующими величинами: номинальная мощность S_n ; линейное напряжение первичной обмотки U_1 ; линейное напряжение вторичной обмотки U_2 ; мощность потерь холостого хода P_0 ; мощность потерь короткого замыкания P_k ; напряжение короткого замыкания $u_{к,\%}$; ток холостого хода $i_{0,\%}$; группы соединений обмоток.

Числовые значения заданных величин, группы соединения обмоток указаны в табл.1.

1.2. Задание

Сформулировать условие задачи для своего варианта и выполнить следующее:

1. Начертить схему соединения обмоток трансформатора для группы соединений, соответствующей варианту и построить диаграммы векторов электродвижущих сил (ЭДС) обмоток высокого (ВН) и низкого (НН) напряжения.

2. Определить коэффициенты трансформации фазных напряжений.

3. Начертить схему замещения трансформатора и определить ее параметры по данным холостого хода и испытательного короткого замыкания.

4. Построить векторную диаграмму трансформатора при упрощенной ($I_0 = 0$) схеме замещения для активно-емкостной или активно-индуктивной (по варианту задания) нагрузки. Принять $\beta = 1$ и $\cos \varphi_2 = 0,8$.

5. Определить значения изменения вторичного напряжения трансформатора при номинальной нагрузке ΔU и построить графики зависимостей $\Delta U = f(\beta)$ для активной, $\cos \varphi_2 = 0$, активно-емкостной и активно-индуктивной нагрузок, $\cos \varphi_2 = 0,8$ и изменения вторичного напряжения от характера нагрузки $\Delta U = f(\varphi_2)$ при значениях $\beta = 0,5; 1,0$, $-\pi/2 < \varphi_2 < \pi/2$. Определить величину φ_2 при которой $\Delta U = 0$.

6. Определить значения напряжения U_2 на зажимах вторичной обмотки при значениях $\beta = 0,25; 0,5; 0,75; 1,0$. Построить внешнюю характеристику трансформатора $U_2 = f(\beta)$ для нагрузок трех типов: активной, активно-индуктивной и активно-емкостной.

7. Определить значение КПД (η) трансформатора при значениях коэффициента нагрузки $\beta = 0,25; 0,5; 0,75; 1,0$ и $\cos \varphi_2 = 0,8; 1,0$ и построить график зависимости $\eta = f(\beta)$.

Таблица 1

| Последняя цифра шрифта | Мощность S_n , кВА | Потери холостого хода P_0 , Вт | Потери короткого замыкания $P_{кз}$, Вт | Ток холостого хода i_0 , % | Напряжение короткого замыкания $u_{кз}$, % | Группа соединений обмоток | Напряжения U_1/U_2 , кВ (линейное) | | | | |
|------------------------|----------------------|----------------------------------|--|------------------------------|---|---------------------------|--------------------------------------|---------|---------|---------|---------|
| | | | | | | | Предпоследняя цифра шрифта | | | | |
| | | | | | | | 0;1 | 2;3 | 4;5 | 6;7 | 8;9 |
| 0 | 25 | 105 | 600 | 3,2 | 4,5 | Y/Δ – 11 | 10/0,4 | 3/0,23 | 6/0,69 | 10/3,15 | 6/0,4 |
| 1 | 40 | 150 | 880 | 3 | 4,5 | Y/Δ – 3 | 10/0,69 | 3/0,69 | 6/0,4 | 10/0,69 | 3/0,4 |
| 2 | 63 | 220 | 1280 | 2,8 | 4,5 | Y/Y – 2 | 3/0,69 | 10/0,4 | 6/0,23 | 35/0,69 | 20/0,4 |
| 3 | 100 | 310 | 1970 | 2,6 | 5,5 | Y/Y – 4 | 20/0,69 | 3/0,4 | 10/0,4 | 6/0,4 | 35/0,69 |
| 4 | 160 | 460 | 2650 | 2,4 | 5,5 | Y/Y – 6 | 20/0,4 | 10/3,15 | 6/0,69 | 35/0,4 | 3/0,69 |
| 5 | 400 | 920 | 5550 | 2,1 | 5,5 | Y/Y – 10 | 10/0,69 | 20/0,4 | 35/11 | 3/0,4 | 6/0,69 |
| 6 | 1000 | 2100 | 12200 | 1,4 | 6,5 | Δ/Δ – 4 | 35/11 | 20/3,15 | 6/0,69 | 10/0,69 | 3/0,69 |
| 7 | 2500 | 3900 | 25000 | 1 | 6,5 | Δ/Δ – 6 | 20/6,3 | 35/3,15 | 3/0,69 | 35/11 | 10/3,15 |
| 8 | 4000 | 5450 | 33500 | 1 | 6,5 | Δ/Δ – 8 | 35/11 | 20/3,15 | 6/3,15 | 10/0,69 | 3/0,23 |
| 9 | 6300 | 7650 | 46500 | 0,9 | 6,5 | Δ/Δ – 10 | 20/11 | 35/6,3 | 10/3,15 | 35/11 | 20/3,15 |

Примечание: для нечетных предпоследних цифр шрифта построение векторной диаграммы следует проводить для нагрузки активно-индуктивной; для четных, в том числе и нуля, предпоследних цифр шрифта для нагрузки активно-емкостной.

1.3. Общие рекомендации к выполнению задания

1.3.1. Коэффициент трансформации трансформатора может рассчитываться по фазным или линейным напряжениям. Для трехфазного трансформатора имеет значение первое из указанных, тогда

$$k = \frac{U_{1\phi}}{U_{2\phi}}$$

1.3.2. Для включения трансформатора на параллельную работу с другим трансформатором имеет значение сдвиг фаз между ЭДС первичной и вторичной обмоток. Для характеристики этого сдвига вводится понятие группа соединений обмоток.

Рассмотрим трехфазный трансформатор с соединением обмоток ВН и НН в звезду. Предположим, что 1) обмотки ВН и НН имеют одинаковую намотку (например “правую”); 2) начало и концы обмоток расположены одинаково (например, концы снизу, а начало сверху); 3) одноименные обмотки (например, A и a , B и b , C и c) находятся на общих стержнях (рис. 1, а). Тогда векторы фазных ЭДС будут иметь вид, показанный на рис. 1, б. При этом одноименные векторы линейных ЭДС (например, \underline{E}_{AB} и \underline{E}_{ab}) направлены одинаково, т.е. совпадают по фазе, и при рассмотрении их на циферблате часов (рис. 1, в), они будут показывать 0 или 12 часов. Поэтому схема и группа соединений такого трансформатора обозначается $Y/Y - 0$.

1.3.3. К параметрам ветви намагничивания относятся полное z_0 , активное r_0 и индуктивное x_μ сопротивления, которые могут быть определены из опыта холостого хода.

$$z_0 = \frac{U_{1н}}{I_{10}}; \quad r_0 = z_0 \cdot \cos \varphi_{он}; \quad x_\mu = \sqrt{z_0^2 - r_0^2};$$

где $U_{1н}$ - номинальное фазное напряжение первичной обмотки; $I_{10} = \frac{i_{0,\%} \cdot I_{1н}}{100}$ - ток холостого хода, определяется из соотношения

$$i_{0,\%} = \frac{I_{10}}{I_{1н}} \cdot 100\%; \quad I_{1н} = \frac{S_H \cdot 10^3}{3 \cdot U_{1н}} - \text{номинальный ток первичной обмотки,}$$

$$\cos \varphi_{он} = \frac{P_0}{3 \cdot U_{1н} \cdot I_{10}} - \text{коэффициент мощности;}$$

S_H - номинальная мощность; P_0 - мощность потерь холостого хода.

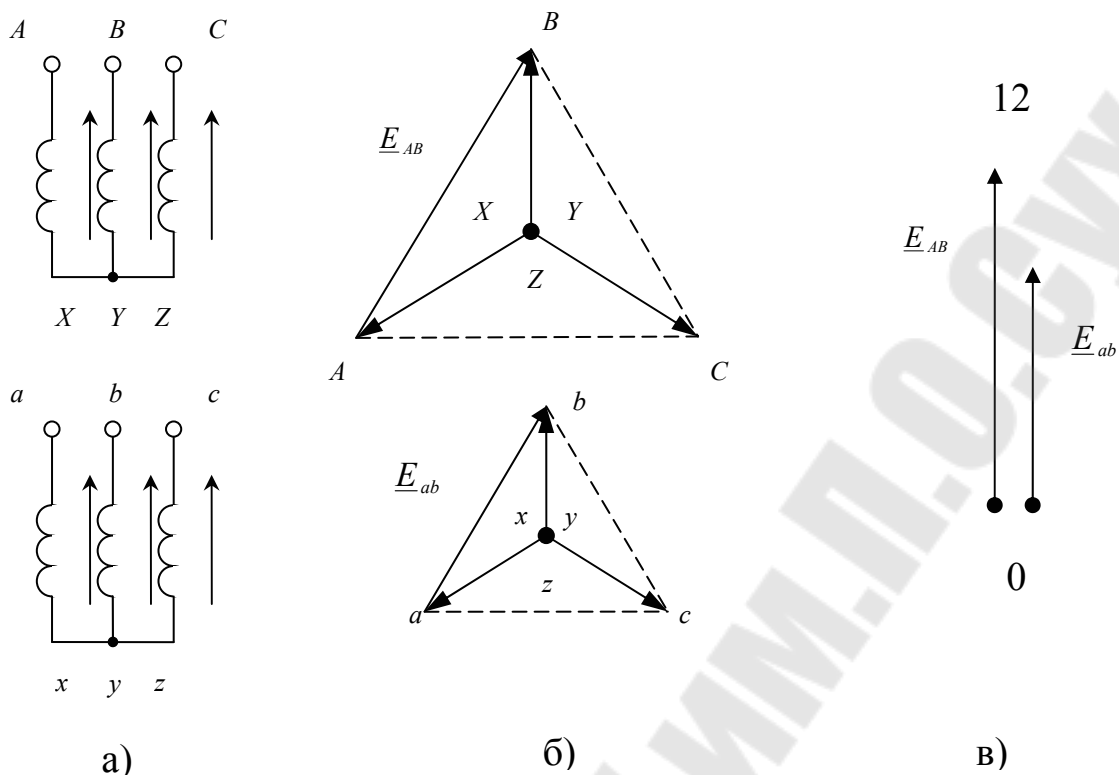


Рис.1 Трехфазный трансформатор со схемой и группой соединений Y/Y – 0

1.3.4. Опыт короткого замыкания трансформатора представляет собой такой предельный режим работы, когда вторичную обмотку замыкают накоротко. На первичную обмотку подводят такое напряжение, чтобы токи в обмотках были номинальными.

К параметрам схемы замещения при коротком замыкании относятся полное z_k , активное r_k и реактивное x_k сопротивления, которые могут быть определены следующим образом:

$$r_k = \frac{P_{кн}}{3 \cdot I_{1к}^2}; z_k = \frac{U_{1к}}{I_{1к}}; x_k = \sqrt{z_k^2 - r_k^2};$$

где $P_{кн}$ - мощность потерь короткого замыкания; $I_{1к} = I_{1н}$ - ток короткого замыкания; $I_{1н} = \frac{S_n \cdot 10^3}{3 \cdot U_{1нф}}$ - номинальный ток первичной об-

мотки; $U_{к1} = \frac{u_{к,\%} \cdot U_{1нф}}{100}$ - напряжение первичной обмотки при корот-

ком замыкании, определяется из выражения $u_{к,\%} = \frac{U_{к1}}{U_{1нф}} \cdot 100\%$; $U_{1нф}$ – номинальное фазное напряжение первичной обмотки.

1.3.5. При испытательном коротком замыкании I_0 принимают равном 0. Упрощенная схема замещения трансформатора представляет собой цепь, состоящую из последовательно соединенных сопротивлений $r_k = r_1 + r_2'$ и $x_k = x_1 + x_2'$ (рис. 2).

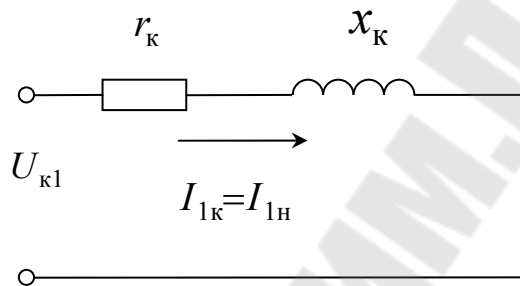


Рис.2 Схема замещения трансформатора.

1.3.6. Векторная диаграмма нагруженного трансформатора наглядно показывает соотношения между параметрами трансформатора. Для упрощения диаграммы и возможности ее практического применения в силовых трансформаторах, работающих с нагрузкой, близкой к номинальной, пренебрегают током холостого хода и считают, что номинальный ток первичной обмотки равен приведенному току вторичной обмотки $I_{1н} = I'_{2н}$ (приведение осуществляется с помощью коэффициента трансформации). Получаемая в этом случае ошибка вполне допустимая, т.к. ток холостого хода I_0 невелик по сравнению с токами $I_{1н}$ и $I'_{2н}$. В этом случае схема замещения представляет собой простейшую цепь, состоящую из последовательно соединенных сопротивлений $z_1 = r_1 + jx_1$, $z_2 = r_2' + jx_2'$ и $z_n = r_n' + jx_n'$. Векторная диаграмма для такой схемы замещения также упрощается.

Порядок построения упрощенной векторной диаграммы (рис. 3) следующий.

На оси ординат строят вектор тока $I_{1н} = -I'_{2н}$, затем из точки O' под углом φ_2 к оси ординат проводят луч $(-U'_{2н})$. Угол φ_2 определяется величиной и характером нагрузки.

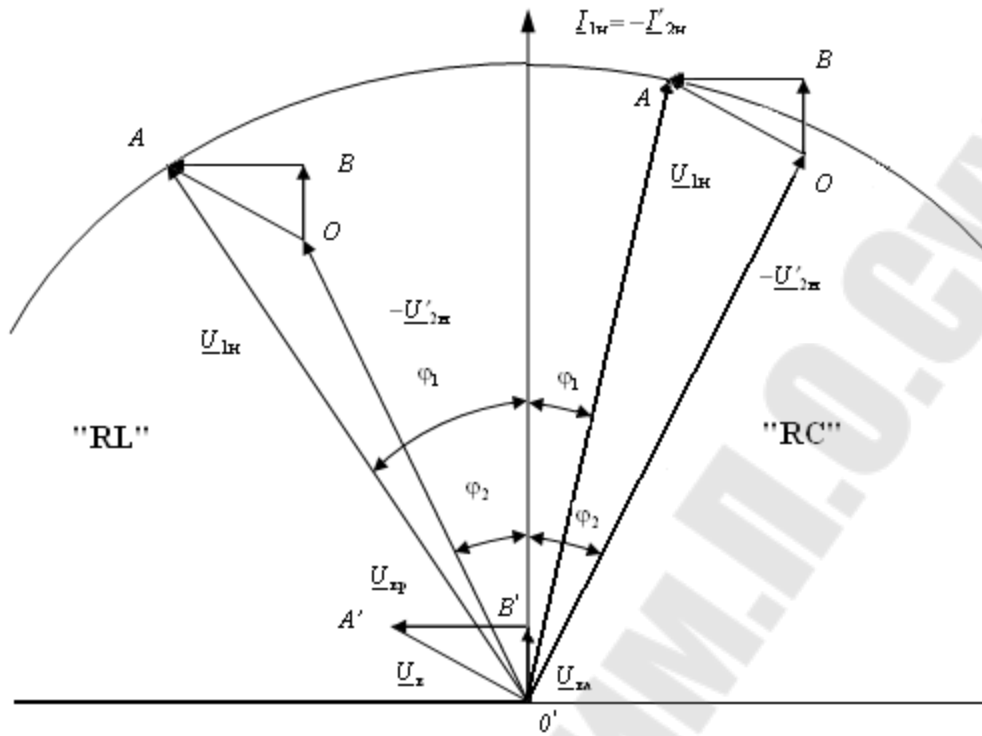


Рис. 3 Векторная диаграмма трансформатора.

Учитывая что r_1 и r'_2 , x_1 и x'_2 соединены в схеме замещения последовательно, можно записать, что $r_1+r'_2=r_k$ и $x_1+x'_2=x_k$. Тогда активная составляющая напряжения короткого замыкания равна $U_{ка}=I_{1H} \cdot r_k$, а реактивная $U_{кр}=I_{1H} \cdot x_k$. Эти величины являются катетами треугольника короткого замыкания ($U_{ка}$ равно длине отрезка $O'B'$, а $U_{кр}$ – длине отрезка $A'B'$).

Из точки O' радиусом $O'A'$ равным U_{1H} проводят окружность. Затем треугольник короткого замыкания переносят параллельно самому себе так, чтобы точка A' коснулась окружности в точке A , а точка O' – луча $(-U'_{2H})$ в точке O . Тогда луч $O'A$ будет равняться напряжению U_{1H} , а луч $O'O$ – напряжению $(-U'_{2H})$. Угол между током I_{1H} и напряжением U_{1H} равен φ_1 .

В случае активно-емкостной нагрузки порядок построения тот же самый, что для активно-индуктивной, но следует иметь ввиду, что луч $(-U'_{2H})$ будет отставать от вектора тока на угол φ_2 . При значительном преобладании емкостной нагрузки вторичное напряжение может стать даже больше первичного напряжения.

1.3.7. Изменение вторичного напряжения трансформатора при увеличении нагрузки от холостого хода до номинальной является важнейшей характеристикой трансформатора и определяется выражением $\Delta U_{\text{ном}}$:

$$\Delta U_{\text{ном}} = U_{\text{ка}} \cdot \cos \varphi_2 + U_{\text{кр}} \cdot \sin \varphi_2.$$

Данное выражение дает возможность определить изменение вторичного напряжения лишь при номинальной нагрузке трансформатора. Значения $U_{\text{ка}}$ и $U_{\text{кр}}$ для этого момента необходимо взять по данным векторной диаграммы. Для расчета изменения вторичного напряжения при любой нагрузке следует ввести коэффициент нагрузки $\beta = I_2 / I_{2\text{н}}$, тогда

$$\Delta U_{\text{ном}} = \beta \cdot (U_{\text{ка}} \cdot \cos \varphi_2 + U_{\text{кр}} \cdot \sin \varphi_2)$$

Результаты расчета заносят в табл. 2, по данным которой строят графики $\Delta U = f(\beta)$ при $\cos \varphi_2 = \text{const}$. При определении β следует задаваться значениями I_2 от нуля до номинального $I_{2\text{н}}$.

Для построения $\Delta U = f(\varphi_2)$ при $\beta = 1,0$ и $\beta = 0,5$ следует задаваться значением φ_2 в пределах $-\pi / 2 < \varphi_2 < \pi / 2$, обязательно включая расчет для $\varphi = -\varphi_{\text{к}}$, при котором $\Delta U = 0$

$$\text{где } \varphi_{\text{к}} = \frac{R_{\text{к}}}{\sqrt{R_{\text{к}}^2 + X_{\text{к}}^2}}$$

На графиках отрицательное значение ΔU при работе трансформатора с емкостной нагрузкой соответствует повышению напряжения при переходе от режима холостого хода к нагрузке.

Результат расчета сводим в таблицу 3, по данным расчета строим зависимости $\Delta U = f(\varphi_2)$ при $\beta = 0,5$, $\beta = 1$.

Таблица 2

| № п/п | $I_2, \text{А}$ | β | $\cos \varphi_2 = 0,8$ | $\cos \varphi_2 = 0$ | $\cos \varphi_2 = 0,8$ | Примечание |
|-------|-----------------|---------|------------------------|----------------------|------------------------|-------------------|
| | | | (R-L) | (R) | (R-C) | |
| | | | $\Delta U, \text{В}$ | $\Delta U, \text{В}$ | $\Delta U, \text{В}$ | $I_{2\text{н}} =$ |
| 1 | | | | | | |
| 2 | | | | | | $U_{\text{ка}} =$ |
| 3 | | | | | | |
| 4 | | | | | | $U_{\text{кр}} =$ |
| 5 | | | | | | |

Таблица 3

| № п/п | φ_2 (R-L) | $\Delta U, \text{В}$ | | φ_2 (R-C) | $\Delta U, \text{В}$ | | Приме- чание |
|----------|----------------------|----------------------|-------------|----------------------|----------------------|-------------|-------------------|
| | | $\beta=1,0$ | $\beta=0,5$ | | $\beta=1,0$ | $\beta=0,5$ | |
| 1 | | | | | | | $U_{\text{ка}} =$ |
| 2 | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | $U_{\text{кр}} =$ |
| 4 | | | | | | | |

1.3.8. Зависимость $U_2 = f(\beta)$ или $U'_2 = f(\beta)$ при $U_1 = U_{1н} = \text{const}$ и $\cos \varphi_2 = \text{const}$ называют внешней характеристикой трансформатора. Для построения внешних характеристик используют уравнение

$$U'_2 = U_{1н} \cdot \left(1 - \frac{\Delta U_{\%}}{100}\right) = U_{1н} \cdot \left(1 - \beta \cdot \frac{U_{\text{ка}} \cdot \cos \varphi_2 + U_{\text{кр}} \cdot \sin \varphi_2}{100}\right) = U_{1н} - \Delta U$$

Значения ΔU берутся из таблицы 2.

Напряжение вторичной обмотки $U_2 = U'_2 / k_{\text{тр}}$.

В пределах изменения коэффициента нагрузки β от 0 до 1 внешние характеристики практически линейны (рис. 4)

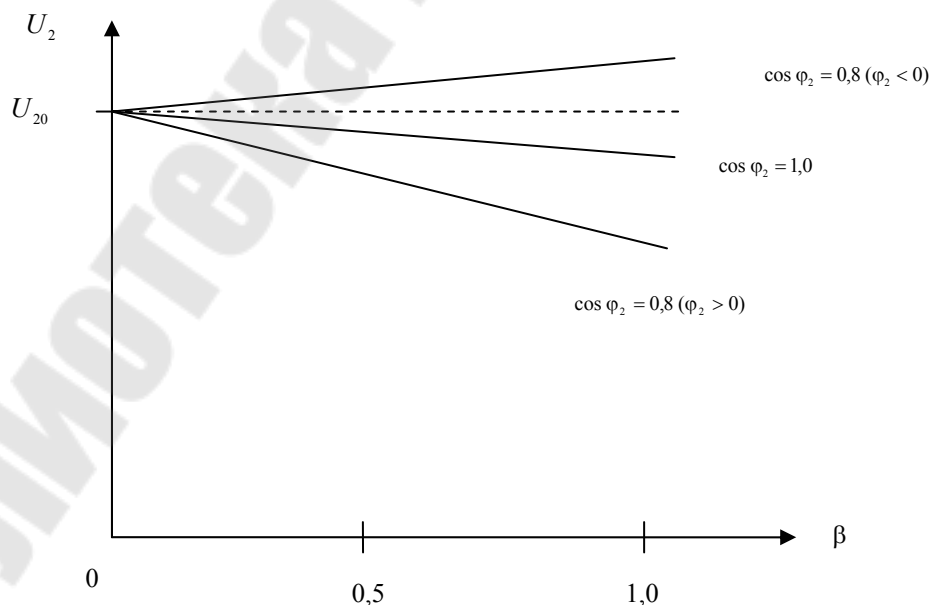


Рис. 4 Внешние характеристики трансформатора.

1.3.9. Коэффициент полезного действия трансформатора определяется как отношение активной мощности на выходе вторичной обмотки P_2 (полезная мощность) к активной мощности на входе первичной обмотки P_1 (подводимая мощность):

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - \Sigma P}{P_1} = 1 - \frac{\Sigma P}{P_1}$$

где $\Sigma P = P_0 + \beta^2 \cdot P_{\text{кн}}$ - полные потери в трансформаторе; P_0 - потери холостого хода при номинальном напряжении и частоте (не зависят от нагрузки и их считают постоянными); $P_{\text{кн}}$ - потери короткого замыкания при токе $I_{1\text{к}} = I_{1\text{н}}$.

Учитывая, что $P_1 = P_2 + \Sigma P$, а $P_2 = \beta \cdot S_{\text{н}} \cdot \cos \varphi_2$ можно записать расчетное выражение для η :

$$\eta = 1 - \frac{P_0 + \beta^2 \cdot P_{\text{кн}}}{\beta \cdot S_{\text{н}} \cdot \cos \varphi_2 + P_0 + \beta^2 \cdot P_{\text{кн}}}$$

Задавая значением β (табл. 4) строят график зависимости $\eta = f(\beta)$ для $\cos \varphi_2 = 0,8$ и $\cos \varphi_2 = 1,0$.

На основании полученных графиков можно сделать вывод, что величина коэффициента полезного действия трансформатора зависит не только от величины, но и от характера нагрузки.

Значение коэффициента нагрузки, соответствующего максимальному КПД, определяют как:

$$\beta' = \sqrt{\frac{P_0}{P_{\text{кн}}}}$$

Таблица 4

| № п/п | β | η | | Примечание |
|----------|---------|------------------------|------------------------|-------------------|
| | | $\cos \varphi_2 = 0,8$ | $\cos \varphi_2 = 1,0$ | |
| 1 | | | | $\beta' =$ |
| 2 | | | | $P_0 =$ |
| 3 | | | | |
| 4 | | | | $P_{\text{кн}} =$ |
| 5 | | | | |

1.4. Пример решения задачи

Трехфазный двухобмоточный трансформатор характеризуется следующими номинальными величинами: мощность $S_{\text{н}} = 60 \text{ кВ} \cdot \text{А}$; высшее (первичное) линейное напряжение $U_{1\text{н}} = 20 \text{ кВ}$; низшее (вторичное) линейное напряжение $U_{2\text{н}} = 690 \text{ В}$. Мощность потерь холостого хода $P_0 = 420 \text{ Вт}$; процентное значение тока холостого хода $i_{0,\%} = 3,6\%$; процентное значение напряжения короткого замыкания $u_{\text{к},\%} = 5,0\%$; мощность потерь короткого замыкания (при номинальных токах в обмотках) $P_{\text{кн}} = 1300 \text{ Вт}$; группы соединений обмоток – Y/Δ.

Определить:

1. Номинальные токи в обмотках трансформатора.
2. Коэффициент трансформации фазных напряжений.
3. Параметры ветви намагничивания схемы замещения и ток холостого хода.
4. Параметры схемы замещения при коротком замыкании.
5. Изменение вторичного напряжения ΔU при номинальной нагрузке с коэффициентом мощности $\cos \varphi_2 = 1,0$.
6. Построить графики зависимостей $\Delta U = f(\beta)$ для активно-индуктивной и активно-емкостной нагрузок и $\cos(\varphi_2) = 0,8$.
7. Построить графики зависимостей $\Delta U = f(\varphi_2)$ при значениях $\beta = 0,5; 1,0$.
8. Построить внешнюю характеристику трансформатора $U_2 = f(\beta)$ для нагрузок трех типов: активной, активно-индуктивной и активно-емкостной.
9. Построить графики зависимости $\eta = f(\beta)$ при $\cos(\varphi_2) = 0,8; 1,0$.

Решение.

1. Номинальные линейные токи в обмотках ВН и НН трансформатора

$$I_{1\text{н}} = \frac{S_{\text{н}}}{\sqrt{3} \cdot U_{1\text{н}}} = \frac{60 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 20 \cdot 10^3} = 1,7 \text{ А};$$

$$I_{2н} = \frac{S_{н}}{\sqrt{3} \cdot U_{2н}} = \frac{60 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 690} = 50,2 \text{ А.}$$

Фазный ток первичной обмотки равен линейному $I_{1ф} = I_{1н}$ (соединение Y), а фазный ток вторичной обмотки в $\sqrt{3}$ раз меньше линейного $I_{2ф} = I_{2н} / \sqrt{3}$ (соединение Δ).

2. В режиме холостого хода фазное напряжение первичной обмотки в $\sqrt{3}$ раз меньше линейного $U_{1н}$, фазное напряжение вторичной обмотки равно линейному $U_{2н}$.

$$U_{1нф} = U_{1н} / \sqrt{3} = 20 \cdot 10^3 / \sqrt{3} = 11,5 \cdot 10^3 \text{ В;}$$

$$U_{2нф} = U_{2н} = 690 \text{ В.}$$

Коэффициент трансформации фазных напряжений трансформатора:

$$k = U_{1нф} / U_{2нф} = 11,5 \cdot 10^3 / 690 = 17$$

3. Ток холостого хода трансформатора

$$I_{10} = \frac{i_{0,\%} \cdot I_{1н}}{100} = \frac{3,6 \cdot 1,7}{100} = 0,0612 \text{ А.}$$

Коэффициент мощности при холостом ходе

$$\cos \varphi_{он} = \frac{P_0}{3 \cdot U_{1н} \cdot I_{10}} = \frac{420}{3 \cdot 11,5 \cdot 10^3 \cdot 0,0612} = 0,199.$$

Полное z_0 , активное r_0 и реактивное x_0 сопротивления контура намагничивания

$$z_0 = \frac{U_{1нф}}{I_{10}} = \frac{11,5 \cdot 10^3}{0,0612} = 188 \cdot 10^3 \text{ Ом;}$$

$$r_0 = z_0 \cdot \cos \varphi_{он} = 188 \cdot 10^3 \cdot 0,199 = 37,4 \cdot 10^3 \text{ Ом;}$$

$$x_0 = \sqrt{z_0^2 - r_0^2} = \sqrt{(188 \cdot 10^3)^2 - (37,4 \cdot 10^3)^2} = 184 \cdot 10^3 \text{ Ом.}$$

4. Напряжение, которое необходимо подавать на первичную обмотку при закороченной вторичной, чтобы токи в обмотках были номинальными

$$U_{к1} = \frac{u_{к,\%} \cdot U_{1нф}}{100} = \frac{5,0 \cdot 11,5 \cdot 10^3}{100} = 575 \text{ В.}$$

Параметры схемы замещения при коротком замыкании

$$r_{к} = \frac{P_{кн}}{3 \cdot I_{1к}^2} = \frac{1300}{3 \cdot 1,7^2} = 150 \text{ Ом,}$$

где $I_{1к}=I_{1н}=1,7$, А – ток в первичной обмотке при коротком замыкании,

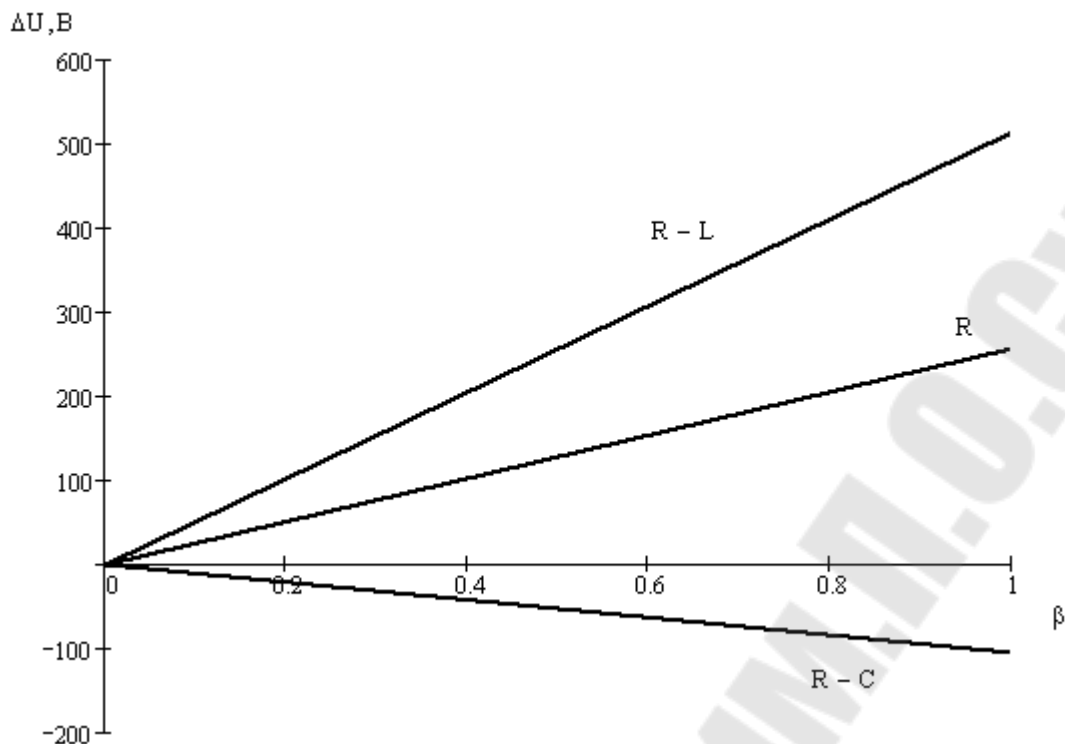
$$z_k = \frac{U_{1к}}{I_{1к}} = \frac{575}{1,7} = 338 \text{ Ом}; x_k = \sqrt{338^2 - 150^2} = 303 \text{ Ом}.$$

5. Изменение вторичного напряжения ΔU при номинальной нагрузке с коэффициентом мощности $\cos \varphi_2 = 1,0$
 $\Delta U = U_{ка} \cdot \cos \varphi_2 + U_{кр} \cdot \sin \varphi_2 = 255 \cdot 1,0 + 515 \cdot 0 = 255 \text{ В}$, где
 $U_{ка}=I_{1н} \cdot r_k = 1,7 \cdot 150 = 255 \text{ В}$, $U_{кр}=I_{1н} \cdot x_k = 1,7 \cdot 303 = 515 \text{ В}$ - соответственно, активная и реактивная составляющие напряжения короткого замыкания.
6. Для расчета изменения вторичного напряжения при любой нагрузке введем коэффициент нагрузки $\beta = I_2 / I_{2н}$, тогда
 $\Delta U = \beta(U_{ка} \cos \varphi_2 + U_{кр} \sin \varphi_2)$. Задаемся величиной тока I_2 от нуля до номинального $I_{2н}$ и определяем β и ΔU . Результаты расчета заносим в табл. 5.

Таблица 5

| № | I_2 , А | β | $\cos \varphi_2 = 0,8(L)$ | $\cos \varphi_2 = 0(R)$ | $\cos \varphi_2 = 0,8(C)$ | Примечание |
|----|--------------|---------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|------------------------|
| | | | ΔU , В | ΔU , В | ΔU , В | |
| 1. | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | $I_{20} = 0$ |
| 2. | 10 | 0,199 | 102 | 57,7 | -20,9 | |
| 3. | 0 | 0,398 | 204 | 101,5 | -32,3 | $I_{2н} = 50,2$, А |
| 4. | 30 | 0,598 | 306 | 152,5 | -62,8 | |
| 5. | 40 | 0,797 | 408 | 203,2 | -83,7 | $U_{ка} = 255$, В |
| 6. | 50,2 | 1 | 513 | 255 | -105 | $U_{кр} = 515$, В |

По результатам табл. 5 строим график зависимости $\Delta U = f(\beta)$.

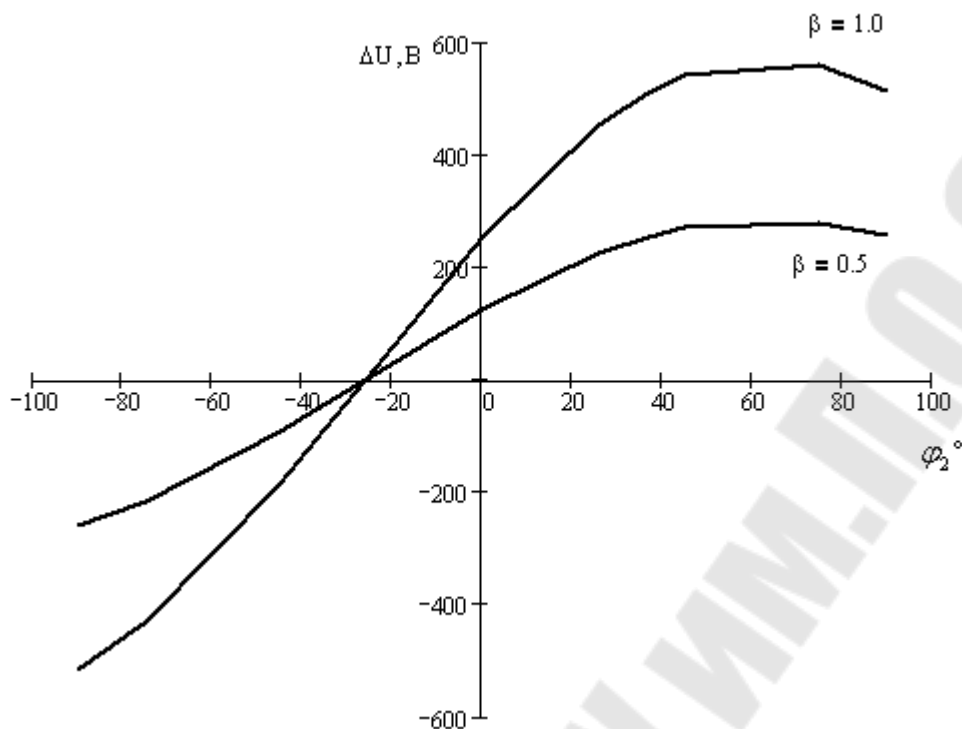


10. Для построения графиков зависимостей $\Delta U = f(\varphi_2)$ при значениях $\beta = 0,5; 1,0$ следует задаваться $\cos\varphi_2 = 0; 0,26; 0,7; 0,8; 0,9$ и 1 ($\varphi_2 = 90^\circ; 75^\circ; 45^\circ; 37^\circ; 26^\circ; 0$) для активно-индуктивной нагрузки и $\cos\varphi_2 = 0; 0,26; 0,7; 0,8; 0,9$ и 1 ($\varphi_2 = -90^\circ; -75^\circ; -45^\circ; -37^\circ; -26^\circ; 0$) для активно-емкостной. Результаты расчетов заносим в табл. 6.

Таблица 6.

| № | φ_2° , (R-L) | ΔU , В | | φ_2° , (R-C) | ΔU , В | | Примечание |
|---|------------------------------|----------------|---------------|------------------------------|----------------|---------------|--------------------|
| | | $\beta = 1,0$ | $\beta = 0,5$ | | $\beta = 1,0$ | $\beta = 0,5$ | |
| 1 | 90 | 515 | 258 | -90 | -515 | -258 | $U_{ка} = 255$, В |
| 2 | 75 | 563 | 282 | -75 | -431 | -216 | |
| 3 | 45 | 544 | 274 | -45 | -184 | -92 | |
| 4 | 37 | 514 | 257 | -37 | -106 | -53 | |
| 5 | 26 | 454 | 227 | -26 | 3,4 | 1,7 | $U_{кр} = 515$, В |
| 6 | 0 | 255 | 127 | 0 | 255 | 127 | |

По результатам табл. 6 строим графики зависимостей $\Delta U = f(\varphi_2)$



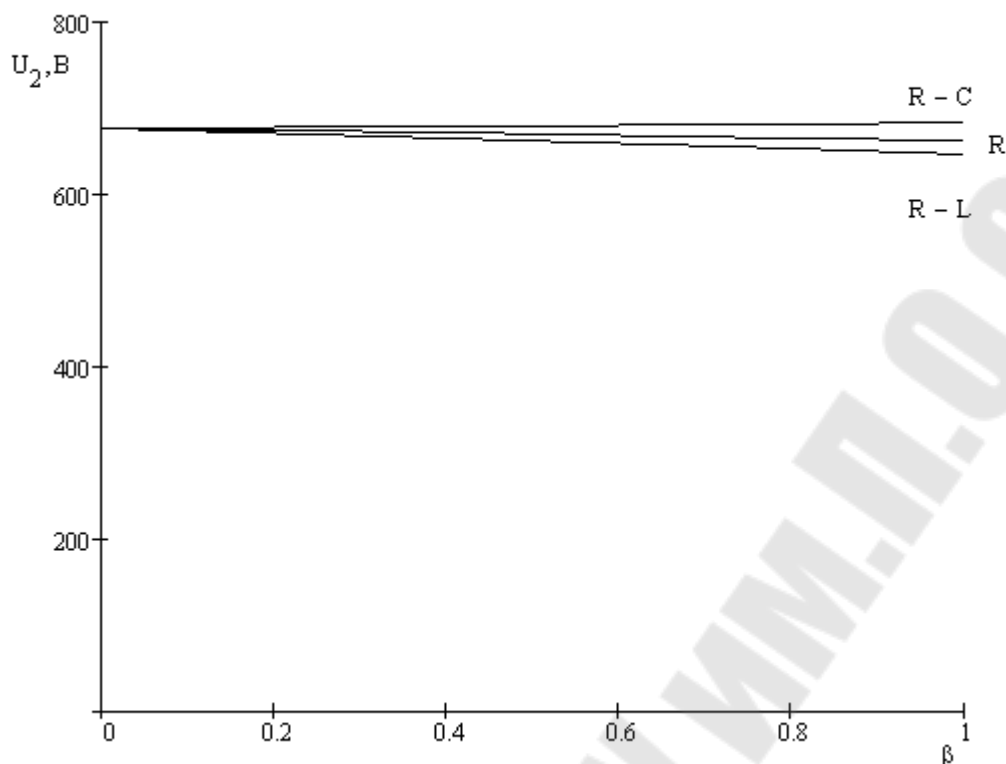
11. Для построения внешней характеристики $U_2 = f(\beta)$ для нагрузок трех типов (активной $\cos \varphi_2 = 1$, активно-индуктивной $\cos \varphi_2 = 0,8$ ($\varphi_2 = 37^\circ$), активно-емкостной $\cos \varphi_2 = 0,8$ ($\varphi_2 = -37^\circ$) задаемся значениями $\beta = 0, 0,4, 0,8, 1,0$ и определяем $U'_{2\phi} = U_{1\phi} - \Delta U$ и $U_2 = \frac{U'_{2\phi}}{K}$.

Результаты расчета заносим в табл. 7.

Таблица 7

| № | β | $\cos \varphi_2 = 1$ | | $\cos \varphi_2 = 0,8$ (R-L) | | $\cos \varphi_2 = 0,8$ (R-C) | | Примечание |
|---|---------|------------------------|-----------------|---------------------------------|-----------------|---------------------------------|-----------------|--|
| | | $U'_{2\phi}, \text{В}$ | $U_2, \text{В}$ | $U'_{2\phi}, \text{В}$ | $U_2, \text{В}$ | $U'_{2\phi}, \text{В}$ | $U_2, \text{В}$ | |
| 1 | 0 | $11 \cdot 10^3$ | 676 | $11,5 \cdot 10^3$ | 676 | $11,5 \cdot 10^3$ | 676 | $U_{1н\phi} = 11,5 \cdot 10^3, \text{В}$ |
| 2 | 0,4 | $11,3 \cdot 10^3$ | 670 | $11,29 \cdot 10^3$ | 664 | $11,54 \cdot 10^3$ | 678 | $U_{ка} = 255, \text{В}$ |
| 3 | 0,8 | $11,29 \cdot 10^3$ | 664 | $11,8 \cdot 10^3$ | 652 | $11,58 \cdot 10^3$ | 681 | $U_{кр} = 515, \text{В}$ |
| 4 | 1,0 | $11,29 \cdot 10^3$ | 676 | $10,99 \cdot 10^3$ | 646 | $11,6 \cdot 10^3$ | 683 | K=17 |

По результатам табл. 7 строим графики зависимостей $\Delta U = f(\beta)$



12. Для построения графиков зависимостей $\eta = f(\beta)$ при $\cos \varphi_2 = 0,8; 1,0$ задаемся значениями β от 0 до 1,0, включая коэффициент нагрузки, соответствующего максимальному КПД $\beta' = \sqrt{\frac{P_0}{P_{кн}}} = \sqrt{\frac{420}{1300}} = 0,568$ и определяем η по формуле

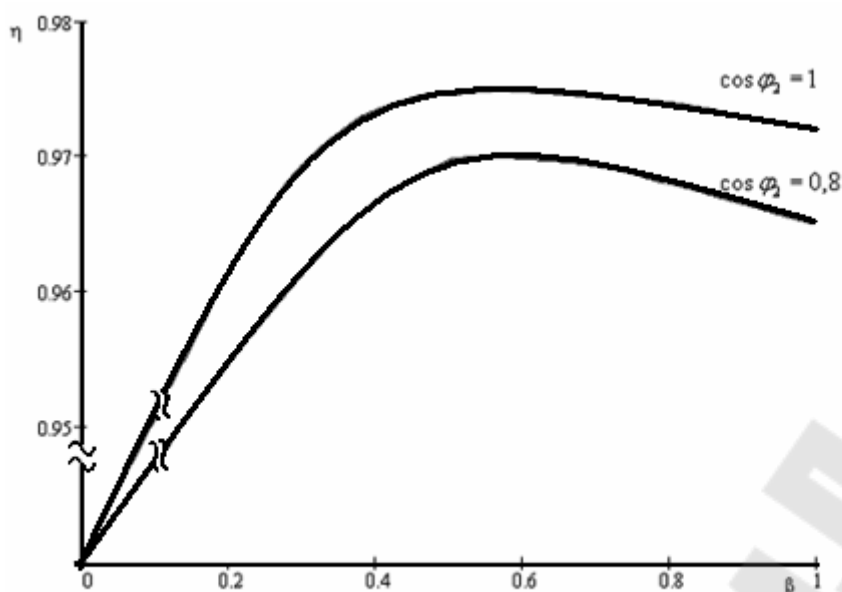
$$\eta = 1 - \frac{P_0 + \beta^2 \cdot P_{кн}}{\beta \cdot S_n \cdot \cos \varphi_2 + P_0 + \beta^2 \cdot P_{кн}}$$

Результаты расчета заносим в табл. 8.

Таблица 8

| № | β | η | | Примечание |
|---|---------|------------------------|----------------------|----------------------|
| | | $\cos \varphi_2 = 0,8$ | $\cos \varphi_2 = 1$ | |
| 1 | 0 | 0 | 0 | $S_n = 60$, кВ·А |
| 2 | 0,2 | 0,953 | 0,962 | |
| 3 | 0,4 | 0,968 | 0,974 | $P_0 = 420$, Вт |
| 4 | 0,568 | 0,970 | 0,975 | |
| 5 | 0,8 | 0,968 | 0,974 | $P_{кн} = 1300$, Вт |
| 6 | 1,0 | 0,965 | 0,975 | |

По результатам табл. 8 строим графики зависимостей $\eta = f(\beta)$



2. АСИНХРОННЫЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ

2.1. Контрольная работа

Трехфазный синхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором имеет следующие параметры (табл. 2.1.):

- номинальная мощность $P_{2\text{ном}}$, кВт;
- номинальное фазное напряжение $U_{1\text{н.ф}}$, В;
- номинальный коэффициент полезного действия $\eta_{\text{ном}}$;
- параметры схемы замещения в относительных единицах;
- номинальное скольжение $s_{\text{ном}} \approx R'_{2*}$;
- число пар полюсов p ;
- номинальный коэффициент мощности $\cos \varphi_{\text{н}}$.

2.2. Задание

1. Начертить упрощенную “Г”-образную схему замещения электродвигателя, указать значение сопротивлений в Ом. В качестве базисной величины сопротивления принять

$$Z_{\text{б}} = \frac{U_{1\text{н.ф}}}{I_{1\text{н.ф}}},$$

где: $U_{1\text{н.ф}}$ - номинальное фазное напряжение, В;

$I_{1н.ф}$ - номинальный фазный ток обмотки статора, А.

$$I_{1н.ф} = \frac{P_{2ном}}{3 \cdot U_{1н.ф} \cdot \cos \varphi_H \cdot \eta_{ном}}, \text{ А};$$

$$R = R_* \cdot z_{\sigma}, \text{ Ом};$$

$$X = X_* \cdot z_{\sigma}, \text{ Ом}.$$

2. Записать уравнения напряжения и тока, определить ток обмотки статора для режима холостого хода, при номинальной нагрузке и при пуске.

3. Построить механическую характеристику электродвигателя, определить номинальный, пусковой и критический электромагнитный момент электродвигателя.

4. Рассчитать и построить рабочие характеристики асинхронного электродвигателя: $I_1 = f(P_2)$, $M_{эм} = f(P_2)$, $P_1 = f(P_2)$, $n_p = f(P_2)$, $s = f(P_2)$, $\cos \varphi = f(P_2)$, $\eta = f(P_2)$.

2.3. Общие рекомендации к выполнению задания

Упрощенная схема замещения асинхронного электродвигателя приведена на рисунке 2.1.

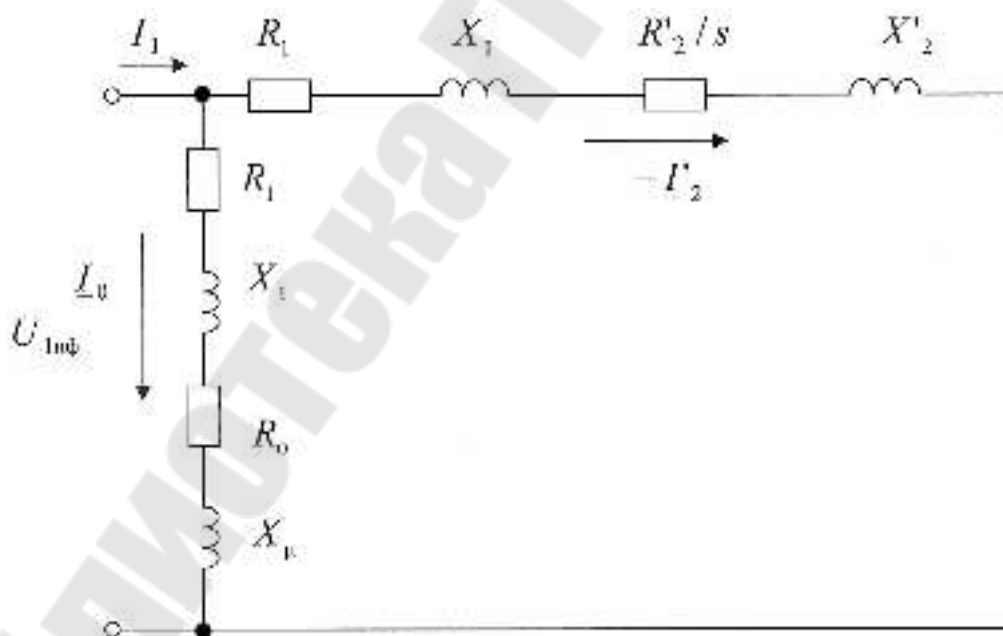


Рис. 2.1. Упрощенная “Г”-образная схема замещения асинхронного электродвигателя.

По “Г”-образная схеме замещения можно определить параметры и характеристики машины.

Ток холостого хода – ток в ветви намагничивания $\underline{I}_0 = I_0 \cdot e^{j\psi_0}$

$$I_0 = \frac{U_{1нф}}{\sqrt{(R_1 + R_0)^2 + (X_1 + X_\mu)^2}}, \text{ A};$$

$$\psi_0 = \arccos \left(\frac{R_1 + R_0}{\sqrt{(R_1 + R_0)^2 + (X_1 + X_\mu)^2}} \right).$$

Ток в обмотке ротора $\underline{I}'_2 = I'_2 \cdot e^{j\psi_2}$

$$I'_2 = \frac{U_{1нф}}{\sqrt{(R_1 + R'_2/s)^2 + (X_1 + X'_2)^2}}, \text{ A};$$

$$\psi_2 = \arccos \left(\frac{R_1 + R'_2/s}{\sqrt{(R_1 + R'_2/s)^2 + (X_1 + X'_2)^2}} \right).$$

Здесь s - скольжение

$$s = \frac{n_1 - n_{рот}}{n_1},$$

где n_1 ; $n_{рот}$ - скорости вращения поля статора и ротора соответственно (об/мин);

$$n_1 = \frac{60 \cdot f_1}{p}, \text{ об/мин};$$

f_1 - частота питающего напряжения $f_1 = 50$ Гц;

p - число пар полюсов.

Ток в обмотке статора:

$$\underline{I}_1 = \underline{I}_0 - \underline{I}'_2, \text{ A}.$$

Механическая характеристика $M_{эм} = f(s)$ асинхронного электродвигателя определяется выражением:

$$M_{эм} = \frac{3 \cdot U_{1нф}^2 \cdot R'_2}{\omega_1 \cdot s \cdot ((R_1 + R'_2/s)^2 + (X_1 + X'_2)^2)}.$$

Здесь ω_1 - угловая скорость вращения электромагнитного поля статора;

$$\omega_1 = 2\pi f_1 / p;$$

$$f_1 = 50 \text{ Гц.}$$

Зависимость $M_{эм} = f(s)$ представлена на рисунке 2.2.

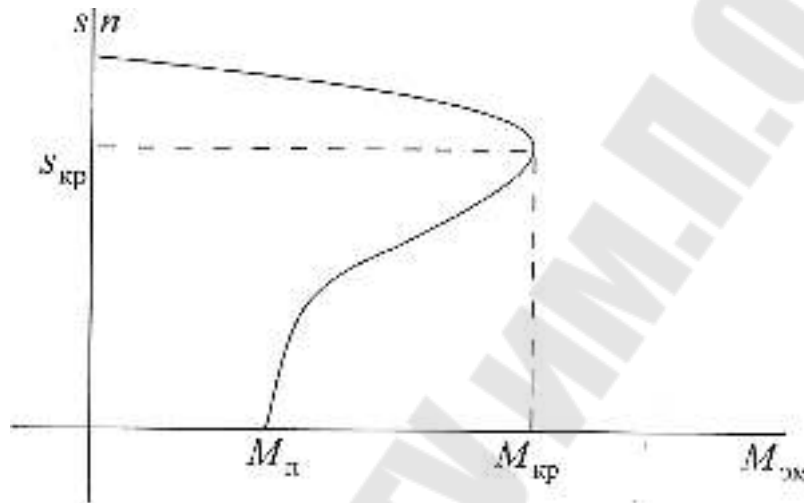


Рис. 2.2. Механическая характеристика асинхронного электродвигателя при $0 \leq s \leq 1$

Здесь $M_{п}$ - пусковой момент, Н·м;

$M_{кр}$ - максимальный (критический) момент;

$s_{кр}$ - критическое скольжение;

$$s_{кр} = \frac{R'_2}{\sqrt{R'_2 + (X_1 + X'_2)^2}}.$$

Изменяя скольжения в диапазоне $0 \leq s \leq 1$, рассчитывается значение $M_{эм}$ и строится зависимость $M_{эм} = f(s)$ - механическая характеристика. Обязательно определяется $M_{эм}$ для $s = 1$; $s = s_{кр}$;

$$s = s_{ном}.$$

$$M_{п} = \frac{m \cdot U_1^2 \cdot R'_2}{\omega_1 \cdot ((R_1 + R'_2)^2 + (X_1 + X'_2)^2)} \quad (s = 1)$$

$$M_{\text{кр}} = \frac{m \cdot U_1^2}{\omega_1 \cdot \left(R_1 + \sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2')^2} \right)} \quad (s = s_{\text{кр}})$$

Рабочие характеристики определяются в интервале скольжений $0 < s \leq s_{\text{кр}}$.

Рассчитывают значения для 5-7 точек.

Для каждого значения скольжения определяют:

1. Определяют $\underline{I}_0 = I_0 \cdot e^{j\varphi_0}$ (А).
2. Определяют $\underline{I}_2 = I_2 \cdot e^{j\varphi_2}$ (А).
3. Определяют $\underline{I}_1 = I_1 \cdot e^{j\varphi_1} = \underline{I}_0 - \underline{I}_2$ (А).
4. Определяют $\cos \varphi_1$.
5. Определяют $M_{\text{эм}} = f(s)$ (Н·м).
6. $\omega_p = \omega_1 \cdot (1 - s)$.
7. $P_2 = M_{\text{эм}} \cdot \omega_p$ (Вт).
8. Определяют $\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_0 + \Delta P_m + \Delta P_y$,

где $\Delta P_0 = m \cdot U_1 \cdot I_0 \cdot \cos \varphi_0$;

$$\Delta P_m = (I_2')^2 \cdot \left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right);$$

$$\Delta P_y = 0.5\% \cdot P_{2\text{ном}}.$$

9. Определяют $P_1 = P_2 + \Delta P_{\Sigma}$.

10. Определяют $\eta = \frac{P_2}{P_1}$.

Строят зависимости:

1. $I_1 = f(P_2)$.
2. $M_{\text{эм}} = f(P_2)$.
3. $P_1 = f(P_2)$.
4. $n_p = f(P_2)$.

$$5. s = f(P_2).$$

$$6. \cos \varphi = f(P_2).$$

$$7. \eta = f(P_2).$$

Параметры электродвигателя в режиме холостого хода ($P_2 = 0$) определяются по выражениям:

$$P_0 = m \cdot U_1 \cdot I_0 \cdot \cos \varphi_0;$$

$$\underline{I_0} = I_{0m} \cdot e^{j\varphi_0};$$

$$M_0 \approx 0,01 \cdot M_{\text{НОМ}};$$

$$s_0 = \frac{s_{\text{НОМ}} \cdot M_0}{M_{\text{НОМ}}};$$

$$\omega_{p(0)} = \omega_1 \cdot (1 - s_0).$$

2.4. Пример решения задачи

Исходные данные:

Таблица 2.1

| Последняя цифра шифра | P_2 , кВт | η | $\cos \varphi$ | X_{μ^*} | R_{0^*} | R_{1^*} | X_{1^*} | R'_{2^*} | X'_{2^*} | $U_{\text{л1}}$ | P |
|-----------------------|-------------|--------|----------------|-------------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|-----------------|-----|
| | 11 | 86. | 0.8 | 3. | 0.1 | 0.07 | 0.1 | 0.0 | 0.1 | 66 | 1 |
| | | 9 | 6 | 0 | 8 | 3 | 1 | 3 | 5 | 0 | |

Решение:

Расчет приведен для номинального скольжения $s = 0.03$

1. В качестве базисной величины сопротивления принимаем:

$$Z_6 = \frac{U_{1\text{нф}}}{I_{1\text{нф}}}.$$

Номинальное фазное напряжение

$$U_{1\text{нф}} = \frac{U_{\text{л1}}}{\sqrt{3}} = \frac{660}{\sqrt{3}} = 380 \text{ В.}$$

Номинальный фазный ток обмотки статора

$$I_{\text{лнф}} = \frac{P_2}{3 \cdot U_{\text{лнф}} \cdot \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{11000}{3 \cdot 380 \cdot 0.86 \cdot 0.869} = 12.91 \text{ А}$$

$$Z_{\sigma} = \frac{380}{12.91} = 29.43 \text{ Ом}$$

Активные и индуктивные сопротивления:

$$X_{\mu} = X_{\mu^*} \cdot Z_{\sigma} = 3 \cdot 29.43 = 88.3 \text{ Ом};$$

$$R_0 = R_{0^*} \cdot Z_{\sigma} = 0.18 \cdot 29.43 = 5.3 \text{ Ом};$$

$$X_1 = X_{1^*} \cdot Z_{\sigma} = 0.11 \cdot 29.43 = 3.24 \text{ Ом};$$

$$R_2 = R_{2^*} \cdot Z_{\sigma} = 0.03 \cdot 29.43 = 0.88 \text{ Ом};$$

$$R_1 = R_{1^*} \cdot Z_{\sigma} = 0.073 \cdot 29.43 = 2.15 \text{ Ом};$$

$$X_2 = X_{2^*} \cdot Z_{\sigma} = 0.15 \cdot 29.43 = 4.41 \text{ Ом}.$$

Действующее значение тока холостого хода

$$I_0 = \frac{U_{\text{лнф}}}{\sqrt{(R_1 + R_0)^2 + (X_1 + X_{\mu})^2}} = \frac{380}{\sqrt{(2.15 + 5.3)^2 + (3.24 + 88.3)^2}} = 4.14$$

А.

Фаза тока холостого хода

$$\varphi_0 = \arccos \frac{R_1 + R_0}{\sqrt{(R_1 + R_0)^2 + (X_1 + X_{\mu})^2}} = \arccos \frac{2.15 + 5.3}{\sqrt{(2.15 + 5.3)^2 + (3.24 + 88.3)^2}} = 85.3^{\circ}.$$

Ток холостого хода электродвигателя – ток в ветви намагничивания

$$\underline{I}_0 = I_0 \cdot e^{j\varphi_0} = 4.14 \cdot e^{j85.3} \text{ А}.$$

2. Действующее значение тока в обмотке ротора

$$I_2 = \frac{U_{\text{лнф}}}{\sqrt{(R_1 + \frac{R_2}{s})^2 + (X_1 + X_2)^2}} = \frac{380}{\sqrt{(2.15 + \frac{0.88}{0.03})^2 + (3.24 + 4.41)^2}} = 11.73$$

А.

Фаза тока в обмотке ротора

$$\varphi_2 = \arccos \frac{R_1 + \frac{R_2}{s}}{\sqrt{(R_1 + \frac{R_2}{s})^2 + (X_1 + X_2)^2}} = \arccos \frac{2.15 + \frac{0.88}{0.03}}{\sqrt{(2.15 + \frac{0.88}{0.03})^2 + (3.24 + 4.41)^2}} = 13.7^\circ.$$

Ток в обмотке ротора

$$-\underline{I}_2 = \underline{I}_2 \cdot e^{j\varphi_2} = 11.73 \cdot e^{j13.7} \text{ А.}$$

3. Ток в обмотке статора

$$\underline{I}_1 = \underline{I}_0 - \underline{I}_2 = 4.14 \cdot e^{j85.3} - 11.73 \cdot e^{j13.7} = 13.62 \cdot e^{j32} \text{ А.}$$

При пуске двигателя ($n_p = 0$, $s = 1$) выполняем аналогичный расчет.

Результат сводим в таблицу.

Таблица 2.2

| I_0 , А | φ_0 , град | I_2 , А | φ_2 , град | I_1 , А | φ_1 , град |
|-----------|--------------------|-----------|--------------------|-----------|--------------------|
| 4.14 | 85.3 | 46.18 | 0.37 | 42.07 | 20.6 |

4. Определяем косинус угла φ_1

$$\cos \varphi_1 = \cos 32 = 0.85^0$$

5. Определяем механическую характеристику асинхронного электродвигателя $M_{эм}$:

$$\omega_1 = 2 \cdot \pi \cdot \frac{f_1}{p} = 2 \cdot 3.14 \cdot \frac{50}{1} = 314 \text{ рад/с.}$$

$$M_{эм} = \frac{3 \cdot U_{инф}^2 \cdot R_2}{\omega_1 \cdot s \cdot ((R_1 + \frac{R_2}{s})^2 + (X_1 + X_2)^2)} = \frac{3 \cdot 380^2 \cdot 0.88}{314 \cdot 0.03 \cdot ((2.15 + \frac{0.88}{0.03})^2 + (3.24 + 4.41)^2)} =$$

$$= 38.55 \text{ Нм.}$$

6. Угловая скорость вращения ротора

$$\omega_p = \omega_1 \cdot (1 - s) = 314 \cdot (1 - 0.03) = 304.58 \text{ рад/с.}$$

Скорость вращения поля ротора

$$n_p = \frac{60 \cdot \frac{\omega_p}{2 \cdot \pi}}{p} = \frac{60 \cdot \frac{304.58}{2 \cdot 3.14}}{1} = 2970 \text{ об/мин.}$$

7. Определяем P_2 :

$$P_2 = M_{\text{ЭМ}} \cdot \omega_p = 38.55 \cdot 304.58 = 11700 \text{ Вт.}$$

8. Определяем P_{Σ} :

$$\Delta P_0 = m \cdot U_1 \cdot I_0 \cdot \cos \varphi_0 = 3 \cdot 380 \cdot 4.14 \cdot \cos 85.3 = 386.72 \text{ Вт;}$$

$$\Delta P_m = (I_2')^2 \cdot (R_1 + \frac{R_2'}{s}) = 11.73^2 \cdot (2.15 + \frac{0.88}{0.03}) = 4300 \text{ Вт;}$$

$$\Delta P_y = 0.5\% \cdot P_{2\text{НОМ}} = 0.005 \cdot 11000 = 55 \text{ Вт;}$$

$$P_{\Sigma} = \Delta P_0 + \Delta P_m + \Delta P_y = 386.72 + 4300 + 55 = 4742 \text{ Вт.}$$

9. Определяем P_1 :

$$P_1 = P_2 + \Delta P_{\Sigma} = 11700 + 4742 = 16442 \text{ Вт.}$$

10. КПД электродвигателя

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{11700}{16442} = 0.713.$$

11. Критическое скольжение

$$s_{\text{кр}} = \frac{R_2'}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2')^2}} = \frac{0.88}{\sqrt{2.15^2 + (3.24 + 4.41)^2}} = 0.11.$$

Аналогично производим расчет еще для 5 точек от $s = 0.01$ до $s_{\text{кр}}$.

Результаты сводим в таблицу:

Таблица 2.3

| s | 0.01 | 0.03 | 0.05 | 0.07 | 0.09 | 0.11 |
|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| P_2 | 4600 | 11700 | 16100 | 18400 | 19200 | 19100 |
| η | 0.7 | 0.713 | 0.703 | 0.694 | 0.681 | 0.668 |
| I_1 | 6.37 | 13.62 | 20.1 | 25.3 | 29.5 | 32.8 |
| P_1 | 6600 | 16400 | 22900 | 26500 | 28200 | 28600 |
| $M_{\text{ЭМ}}$ | 14.832 | 38.552 | 54.129 | 63.013 | 67.181 | 68.321 |
| n_p | 2970 | 2910 | 2850 | 2790 | 2730 | 2670 |
| $\cos \varphi_1$ | 0.71 | 0.85 | 0.85 | 0.81 | 0.78 | 0.74 |

Параметры электродвигателя в режиме холостого хода ($P_2 = 0$) определяются по выражениям:

$$P_0 = m \cdot U_1 \cdot I_0 \cdot \cos \varphi_0 = 3 \cdot 380 \cdot 4.14 \cdot \cos 85.3 = 386.72 \text{ Вт};$$

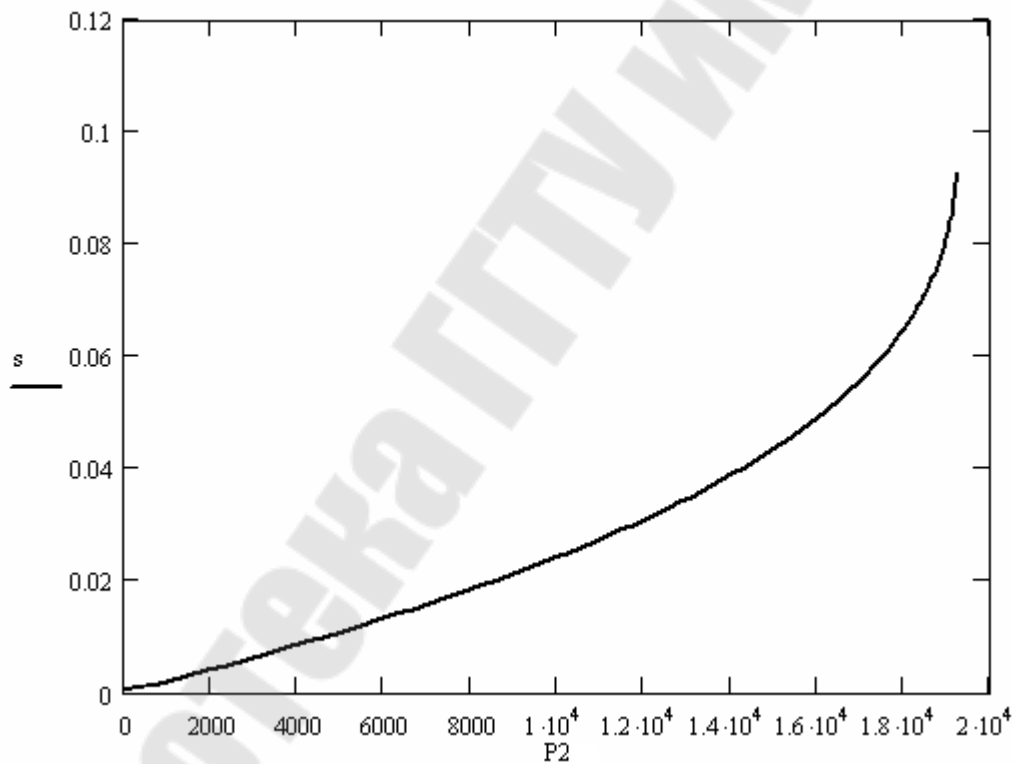
$$\underline{I}_0 = I_0 \cdot e^{j\varphi_0} = 4.14 \cdot e^{j85.3} \text{ А};$$

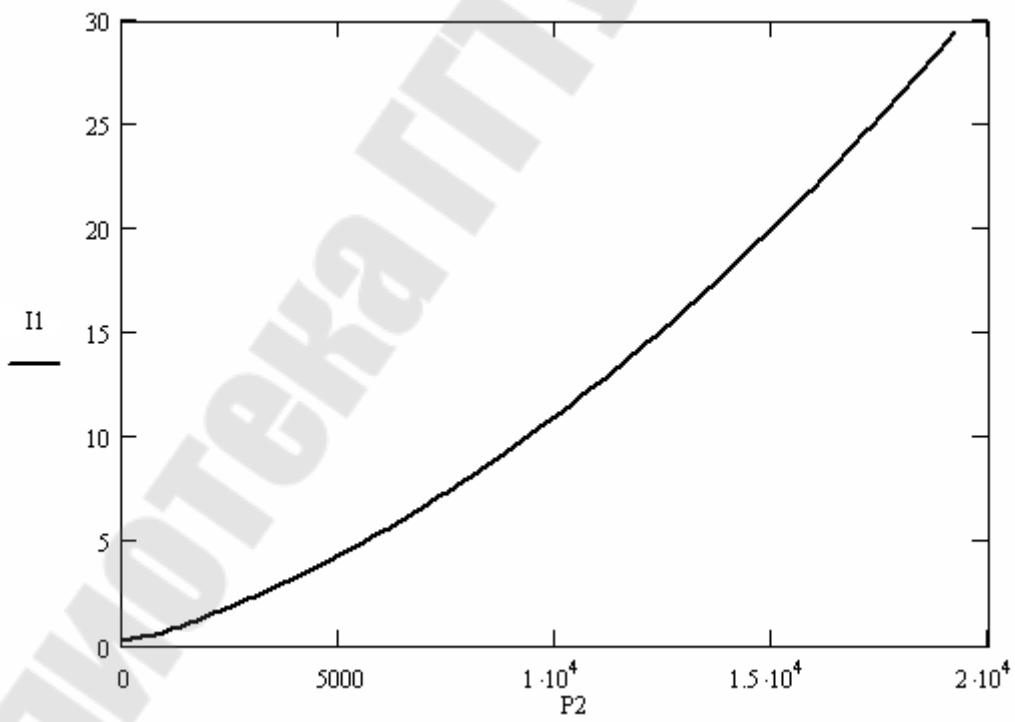
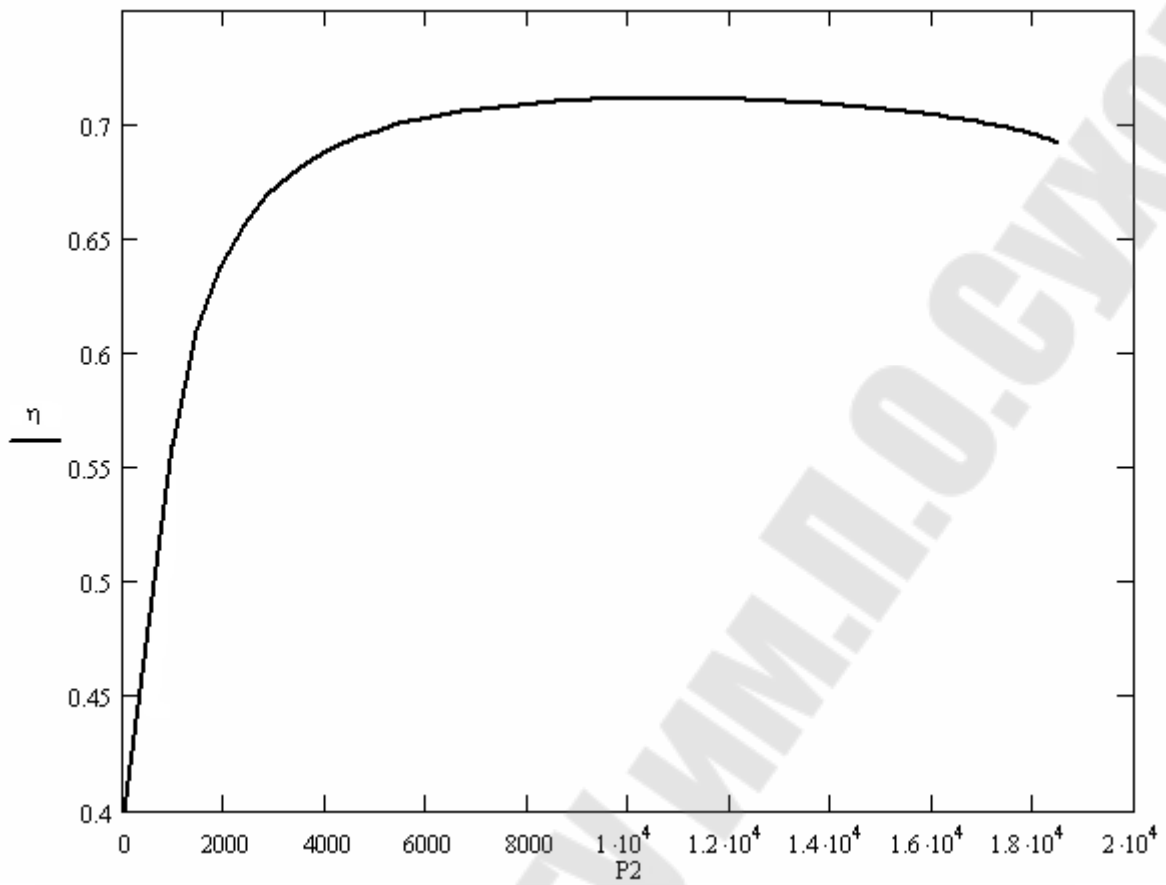
$$M_0 = 0.01 \cdot M_{\text{НОМ}} = 0.01 \cdot 38.55 = 0.3855 \text{ НМ};$$

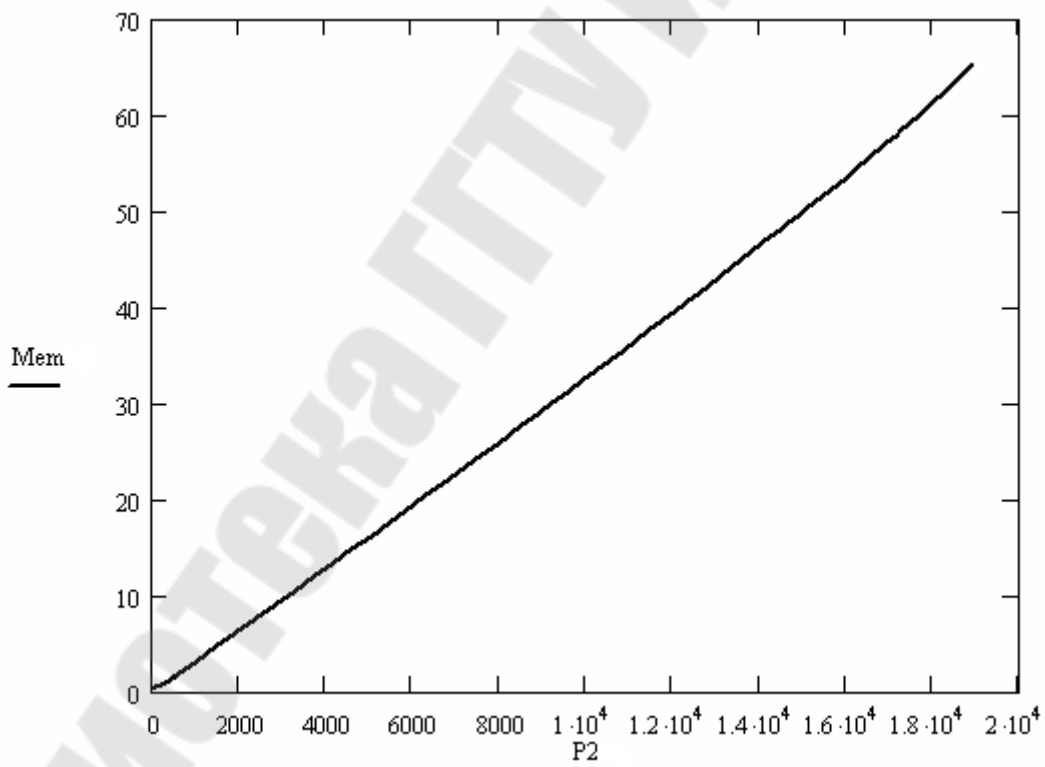
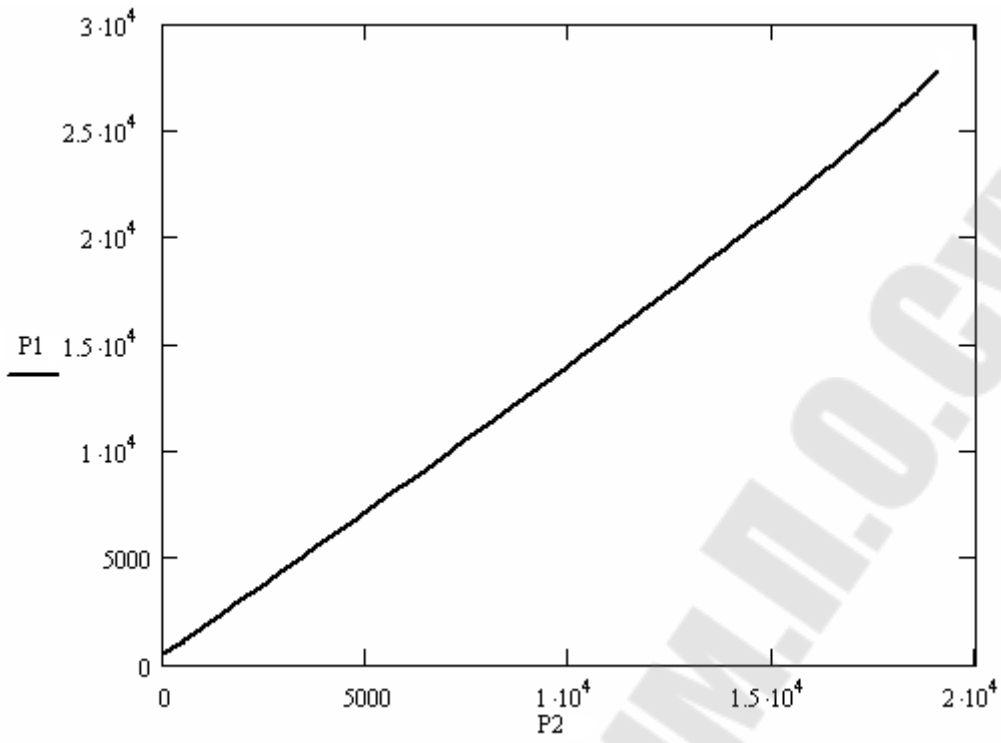
$$s_0 = \frac{s_{\text{НОМ}} \cdot M_0}{M_{\text{НОМ}}} = \frac{0.03 \cdot 0.3855}{38.55} = 0.0003;$$

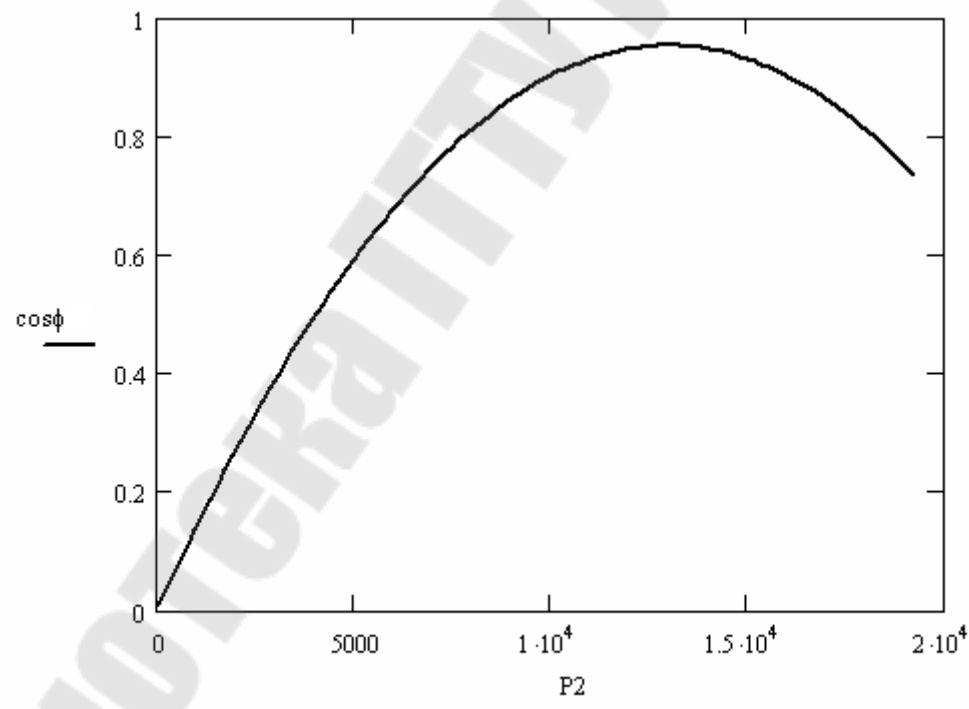
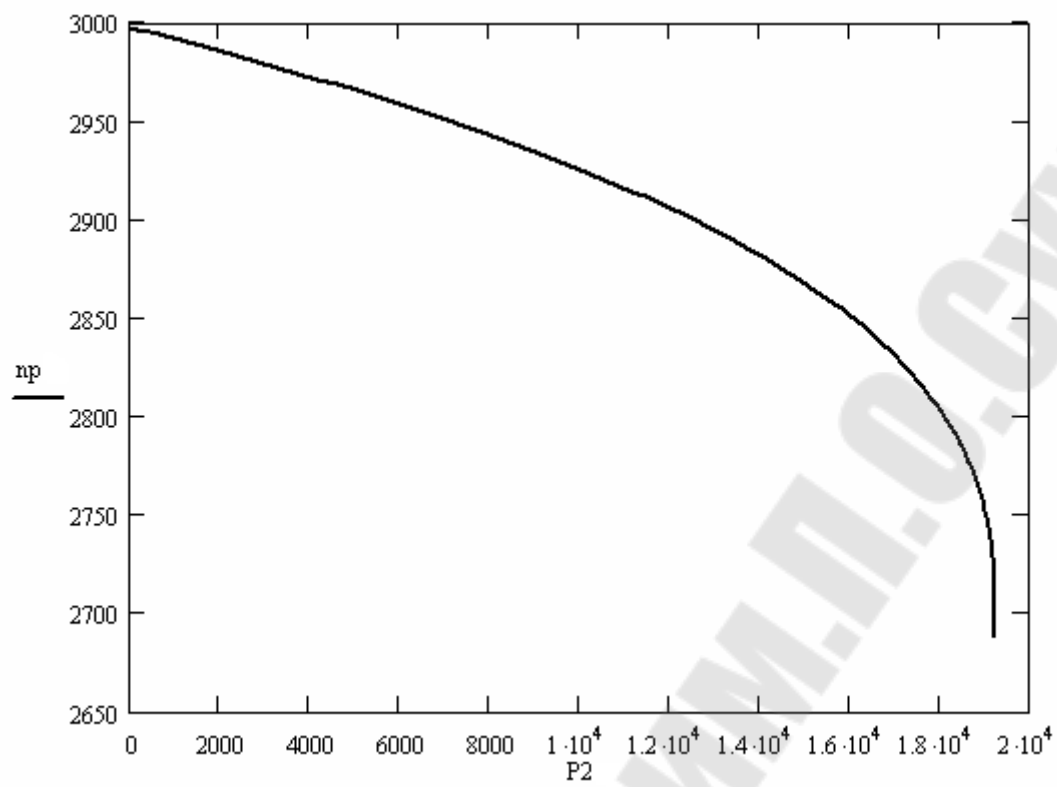
$$\omega_{p0} = \omega_1(1 - s_0) = 314(1 - 0.0003) = 313.906 \text{ рад/с}.$$

По полученным данным строим графики зависимостей $s(P_2)$, $\eta(P_2)$, $I_1(P_2)$, $P_1(P_2)$, $M_{\text{ЭМ}}(P_2)$, $n_p(P_2)$, $\cos \varphi_1(P_2)$:









В режиме холостого хода ($P_2 = 0$) параметры имеют значения $I_0; \cos \varphi_0; M_0; s_0$.

Литература

1. Вольдек, А.И. Электрические машины, том 1 / А.И. Вольдек, В.В. Попов. – Санкт-Петербург: «Питер», 2007. – 316 с.
2. Вольдек, А.И. Электрические машины, том 2 / А.И. Вольдек, В.В. Попов. – Санкт-Петербург: «Питер», 2007. – 316 с.
3. Копылов, И.П. Электрические машины / И.П. Копылов. – М.: «Логос», 200. – 607 с.
4. Костенко, М.П. Электрические машины / М.П. Костенко, Л.М. Пиотровский. – Ленинград: «Энергия».
5. Токарев, Б.Ф. Электрические машины / Б.Ф. Токарев. – М.: «Энергоатомиздат», 1990. – 624 с.

Содержание

| | |
|---|----|
| Введение..... | 3 |
| 1. Трансформаторы..... | 5 |
| 1.1. Контрольная работа..... | 5 |
| 1.2. Задание..... | 5 |
| 1.3. Общие рекомендации к выполнению задания..... | 7 |
| 1.4. Пример решения задачи..... | 14 |
| 2. Асинхронные электродвигатели..... | 20 |
| 2.1. Контрольная работа..... | 20 |
| 2.2. Задание..... | 20 |
| 2.3. Общие рекомендации к выполнению задания..... | 21 |
| 2.4. Пример решения задачи..... | 25 |
| Литература..... | 33 |

Веппер Леонид Владимирович
Тодарев Валентин Васильевич
Хабибуллин Дамир Абдулхаевич

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

Методические указания
к контрольным работам по одноименной дисциплине
для студентов электротехнических специальностей
заочной формы обучения

Подписано в печать 09.04.09.

Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».

Ризография. Усл. печ. л. 2,09. Уч.-изд. л. 1,7.

Изд. № 113.

E-mail: ic@gstu.gomel.by

<http://www.gstu.gomel.by>

Отпечатано на цифровом дуплекаторе
с макета оригинала авторского для внутреннего использования.

Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого».

246746, г. Гомель, пр. Октября, 48