Задание на контрольную работу и методические указания к выполнению по дисциплине «Электрические машины»

Контрольная работа содержит 4 задачи: по одной задаче по каждому из четырех разделов дисциплины. Задания и методические указания к выполнению контрольной работы приведены в Рабочей тетради 2, где предлагается трафарет по выполнению контрольной работы. Вы можете внести свои данные в эту форму. При расчетах необходимо подставить в формулы числовые значения величин и только после этого дать ответ. Обязательно заполните пункт «Выводы».

Приведены таблицы числовых значений исходных данных для 20 вариантов. Выбор варианта производится по сумме двух последних цифр студенческого шифра.

Вы можете выполнить расчеты в программе MathCad и выслать свое решение непосредственно в этой программе. Пример выполнения расчетов при использовании этой программы приведен ниже.

В качестве бонуса за использование современных программ вычисления возможно сокращение числа задач до трех задач контрольной работы.

Северо-Западный открытый технический университет

Кафедра электротехники, электроэнергетики, электромеханики

РАБОЧАЯ ТЕТРАДЬ 2

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

Дисциплина

Электрические машины

Студент

Шифр

Направление подготовки 140400.62 - Электроэнергетика и электротехника

Профиль подготовки

Форма обучения

Курс 3

Преподаватель Н.Ю. Брандин

Зачтено

Дата

Санкт-Петербург

Задача 1

1. Задание

Трехфазный силовой понижающий трансформатор имеет номинальные данные, приведенные в таблице К 1.1: мощность $S_н$ и напряжение первичной обмотки $U_н$, процентное значение напряжения короткого замыкания u_k и тока холостого хода i_0, потери холостого хода P_0 и короткого замыкания $P_к$.

Номер варианта определяется суммой двух последних цифр шифра студента.

Для всех вариантов номинальное напряжение вторичной обмотки $U_{2н}$= *0,4 кВ.*

Коэффициент мощности cos φ_2 = 0,8. Характер нагрузки активно-индуктивный.

Фазы первичной и вторичной обмоток соединены "звездой".

Требуется:

1. Определить коэффициент трансформации.

2. По данным опытов холостого хода и короткого замыкания определить параметры схемы замещения и изобразить схему.

3. Рассчитать зависимость КПД от нагрузки $\eta = f(\beta)$, где коэффициент нагрузки $\beta = S / S_н$. Расчеты удобно производить, задаваясь значениями β = 0,25 ; 0,50; 0,75; 1,00; 1,25.
Определить максимальное значение КПД.

4. Рассчитать выходное напряжение на зажимах вторичной обмотки при номинальной нагрузке.

Т а б л и ц а 1.1.

Номинальные данные трансформаторов

Вариант	Тип транс форматора	$S_{н,}$ кВА	$U_{1н,}$ кВ	$u_{k,}$%	P_0,кВт	P_k,кВт	i_0, %
1	ТС3-10/0,66	10	0,66	4,5	0,09	0,28	7,0
2	ТС3-16/0,66	16	0,66	4,5	0,125	0,40	5,8
3	ТС3-25/0,66	25	0,66	4,5	0,180	0,56	4,8
4	ТС3-40/0,66	40	0,66	4,5	0,250	0,80	4,0
5	ТС3-63/0,66	63	0,66	4,5	0,355	1,09	3,3
6	ТС3-100/0,66	100	0,66	4,5	0,50	1,50	2,7
7	ТС3-160/0,66	160	0,66	4,5	0,71	2,06	2,3
8	ТС3-160/10	160	10	5,5	0,70	2,7	4,0
9	ТС3-250/10	250	10	5,5	1,0	3,8	3,5
10	ТС3-400/10	400	10	5,5	1,3	5,4	3,0
11	ТС3-630/10	630	10	5,5	2,0	7,3	1,5
12	ТС3-1000/10	1000	10	5,5	3,0	11,2	1,5
13	ТС3-1600/10	1600	10	5,5	4,2	16,0	1,5
14	ТС3-250/15	250	15	8,0	1,1	4,44	4,0
15	ТС3-400/15	400	15	8,0	1,4	8,0	3,5
16	ТС3-630/15	630	15	8,0	2,3	8,7	2,0
17	ТС3-1000/15	1000	15	8,0	3,2	12,0	2,0
18	ТС3-1600/15	1600	15	8,0	4,3	18,0	2,0
19	ТС3С-630/15	630	15	8,0	2,0	8,5	2,0
20	ТС3С-1000/15	1000	15	8,0	3,0	12,0	2,0

2. Исходные данные

Вариант

Трехфазный силовой трансформатор имеет следующие данные.

Тип трансформатора

Соединение обмоток Y / Y – 0.

Номинальные данные:

$S_н =$ кВА, $U_{1н} =$ кВ, $U_{2н} = 0{,}4$ кВ, $u_к =$ %,

$P_о =$ кВт, $P_к =$ кВт, $i_о =$ %, $\cos \varphi_2 = 0{,}8$

3. Решение задачи 1

1. Коэффициент трансформации

$$K = U_{1н} / U_{2н} =$$

2. Фазное напряжение трехфазного трансформатора при соединении фаз обмотки "звездой", В

$$U_{1фн} = U_{1н} / \sqrt{3} =$$

3. Номинальный ток первичной обмотки, А

$$I_{1н} = I_{1фн} = S_н / (3U_{1фн}) = S_н / (\sqrt{3}\, U_{1н}) =$$

4. Схема замещения трансформатора

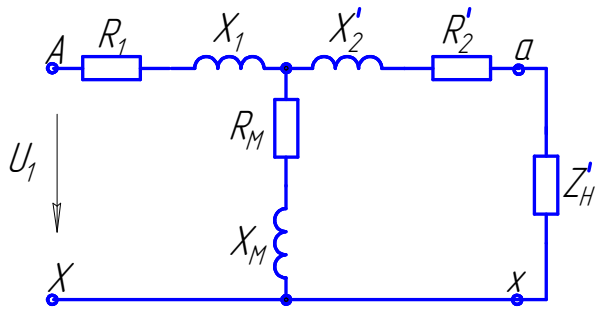


Рис.1. Схема замещения

5. Параметры схемы замещения
Активное сопротивление короткого замыкания, Ом

$$r_к = P_к / 3 \cdot I^2_{1фн} =$$

Полное сопротивление короткого замыкания, Ом

$$z_к = u_к \cdot U_{1фн} / I_{1фн} =$$

Индуктивное сопротивление короткого замыкания, Ом

$$x_к = \sqrt{z_K^2 - r_K^2} =$$

Параметры обмоток, Ом

$r_1 \cong r_2' = r_к / 2 =$ $\qquad$ $x_1 \cong x_2' = x_к / 2 =$

Полное сопротивление намагничивающего контура, Ом

$z_м \cong U_{1фн} / (i_о \cdot I_{1н}) =$

Активное сопротивление намагничивающего контура

$r_м \cong P_о / 3 (i_о \cdot I_{1н})^2 =$

Индуктивное сопротивление намагничивающего контура

$x_м = \sqrt{z_M^2 - r_M^2} =$

6. КПД трансформатора
Расчетная формула КПД

$\eta = P_2/P_1$,

где $\beta = I / I_Н$ – коэффициент нагрузки,

$P_2 = \beta S_н \cos\varphi_2$ - полезная мощность,

$P_1 = P_2 + \Sigma P$ - потребляемая мощность,

$\Sigma P = P_о + \beta^2 P_k$ - сумма потерь.

Расчеты $\eta = f(\beta)$ сведены в таблице 1.2.

Т а б л и ц а 1.2.

Расчет КПД η

$\cos \varphi_2 = 0{,}8$; характер нагрузки активно-индуктивный

β	P_2, кВт	ΣP, кВт	P_1, кВт	η, %
0.25				
0.50				
0,75				
1.00				
1.25				

7. Максимальное значение КПД
Коэффициент оптимальной нагрузки

$$\beta_{ОПТ} = \sqrt{\frac{P_o}{P_K}} =$$

Максимальное значение КПД

$$\eta_{\max} = \frac{\beta_{ОПТ} S_H \cos\varphi}{\beta_{ОПТ} S_H \cos\varphi + 2P_O} =$$

8. Выходное напряжение на зажимах вторичной обмотки при номинальной нагрузке при $\cos\varphi_2 = 0{,}8$; характер нагрузки активно-индуктивный

Изменение напряжения на зажимах вторичной обмотки от нагрузки

$$\Delta U = \beta\,(u_a \cos\varphi_2 + u_p \sin\varphi_2 + (u_p \cos\varphi_2 - u_a \sin\varphi_2)^2/200) \approx$$
$$\approx \beta\,(u_a \cos\varphi_2 + u_p \sin\varphi_2).$$

Активная составляющая напряжения короткого замыкания, %

$$u_a = (I_1 \cdot r_k / U_{1фн})\,100 =$$

Реактивная составляющая, %

$$u_p = \sqrt{u_K^2 - u_a^2} =$$

Изменение выходного напряжения при номинальной нагрузке, %

$$\Delta U_{\%} = u_a \cos\varphi_2 + u_p \sin\varphi_2 =$$

Изменение выходного напряжения при номинальной нагрузке, В

$$\Delta U = \Delta U_{\%} \cdot U_{20} =$$

Выходное напряжение при номинальной нагрузке при $\cos\varphi_2 = 0{,}8$, В

$$U_2 = U_{20}\,(1-\Delta U) =$$

4. Выводы

В результате работы были рассчитаны наиболее важные для потребителя зависимости от нагрузки: выходное напряжение $U_2 = f(\beta)$ и КПД $\eta = f(\beta)$.

По результатам расчета можно сделать выводы:

– при активно-индуктивной нагрузке выходное напряжение уменьшается, падение напряжения при номинальной нагрузке составляет $\Delta u =$;

– КПД трансформатора имеет слабо выраженный максимум. Условием максимума КПД является равенство постоянных и переменных потерь.

Значение КПД в номинальном режиме составляет $\eta =$

Задача 2

1.Задание

Трехфазный асинхронный двигатель с фазным ротором имеет следующие данные, приведенные в таблице 2.1:
число полюсов $2p$, номинальная мощность $P_{2Н}$, линейное напряжение обмотки ротора $U_{2Л}$, активные сопротивления фазы статора r_1 и ротора r'_2 при 20°С, индуктивные сопротивления фазы статора x_1 и ротора x'_2.

Частота сети f_1= 50 Гц . Напряжение сети U_1 = 380 В.

Соединение обмоток статора и ротора "звезда".

Класс нагревостойкости изоляции *F*.

Расчетная температура обмоток 115 °С.

Номер варианта определяется суммой двух последних цифр шифра студента.

Требуется:

1. Определить синхронную частоту вращения.

2. Определить потребляемый ток, момент и коэффициент мощности при пуске двигателя с замкнутой накоротко обмоткой ротора, т.е. без пускового реостата.

3. Определить сопротивление пускового реостата $R_Р$, при котором начал ьный пусковой момент имеет максимально возможное значение. Определить в этом режиме пусковой момент, ток статора и коэффициент мощности.

4. Рассчитать механические характеристики двигателя для двух значений добавочных сопротивлений в цепи ротора:

$R_Д = 0$, $R_Д = R_Р$.

Таблица 2.1

Данные асинхронных двигателей с фазным ротором

Вариант	Тип двигателя	2р	$P_{2н}$ кВт	$U_{2л}$ В	r_1 Ом	r'_2 Ом	x_1 Ом	x'_2 Ом
1	4АК160S4У3	4	11,0	305	0,2320	0,2700	0,668	0,544
2	4АК160М4У3	4	14,0	300	0,1470	0,1880	0,479	0,513
3	4АК180М4У3	4	18,5	295	0,1060	0,0989	0,258	0,233
4	4АК200М4У3	4	22,0	340	0,0734	0,0900	0,258	0,310
5	4АК200L4У3	4	30,0	350	0,0634	0,0743	0,217	0,281
6	4АК225М4У3	4	37,0	160	0,0102	0,0534	0,187	0,0376
7	4АК250SA4У3	4	45,0	230	0,0111	0,0391	0,173	0,0758
8	4АК250SB4У3	4	55,0	200	0,0120	0,0277	0,129	0,0426
9	4АК250М4У3	4	71,0	250	0,0128	0,0193	0,085	0,0446
10	4АК160S6У3	6	7,5	300	0,3530	0,4810	0,972	0,920
11	4АК160М6У3	6	10,0	310	0,2590	0,2900	0,662	0,807
12	4АК180М6У3	6	13,0	325	0,2110	0,1940	0,496	0,614
13	4АК200М6У3	6	18,5	360	0,1470	0,1410	0,336	0,391
14	4АК200L6У3	6	22,0	330	0,1010	0,1210	0,307	0,311
15	4АК225М6У3	6	30,0	140	0,0120	0,0942	0,267	0,0572
16	4АК160S8У3	8	5,5	300	0,7320	0,6520	1,650	1,612
17	4АК160М8У3	8	7,1	290	0,4030	0,4560	1,290	1,420
18	4АК180М8У3	8	11,0	270	0,1670	0,2430	0,700	0,685
19	4АК200М8У3	8	15,0	360	0,2030	0,1940	0,472	0,631
20	4АК225М8У3	8	22,0	102	0,0118	0,1400	0,471	0,0441

2. Исходные данные

Вариант

Тип двигателя

2р = , $P_{2н}$ = кВт, $U_{2л}$ = В,

r_1 = Ом, r_2' = Ом , x_1 = Ом , x_2' = Ом

3. *Решение задачи 2*

1.Синхронная частота вращения, об/мин

$n_1 = 60\ f_1 / p =$

2. Активные сопротивления обмоток при 115° С, Ом

$R_1 = r_1\ (235+115) / (235+20) =$

$R_2' = r_2'\ (235+115) / (235+20) =$

3. Расчет при отсутствии пускового реостата

Полное сопротивление короткого замыкания реостата, Ом

$$Z_k = \sqrt{(R_1 + R_2^2) + (x_1 + x_2^2)} = \sqrt{R_K^2 + x_K^2} =$$

где $R_к = R_1 + R_2' =$

$X_к = x_1 + x_2' =$

Начальный пусковой ток , А

$I_п = U_{1ф} / Z_к =$

где фазное напряжение $U_{1ф} = U_1 / \sqrt{3} = 380 / \sqrt{3} = 220$ В.

Коэффициент мощности при пуске

$\cos \varphi = R_k / Z_k =$

Пусковой момент, Нм

$M_п = p\ m\ U_1^2\ R_2 / (2\pi f_1\ Z^2_k) =$

где $m = 3$ - число фаз обмотки статора

Критическое скольжение

$s_к \cong R_2 / X_к =$

Максимальный момент, Нм

$M_к \cong pm\ U^2_{1ф} / (4\ \pi f_1 X_к) =$

4. Расчет при включении пускового реостата

Сопротивление пускового реостата определяем из условия, что пусковой момент $M_п$ имеет максимально возможное значение $M_к$, т.е. $M_п = M_к$, поэтому критическое скольжение

$$s_k \cong R_{2\Sigma} / X_к = 1.$$

Суммарное активное сопротивление роторной цепи определяется сопротивлением обмотки ротора и сопротивлением пускового реостата

$$R_{2\Sigma} = R_2 + R_p = X_k .$$

Откуда определяем приведенное значение активного сопротивления пускового реостата в роторной цепи, Ом

$$R'_p = X_k - R_2' =$$

Искомое сопротивление пускового реостата, Ом

$$R_p = R_p' / k^2 =$$

где коэффициент трансформации обмоток статора и ротора при соединении Y/Y

$$k = U_{1ф} / U_{2ф} = U_1 / U_{2л} =$$

Полное сопротивление короткого замыкания при наличии пускового реостата $R_р$, Ом

$$Z_k = \sqrt{R_K^2 + X_K^2} =$$

где $R_k = R_1 + R_2' + R_p' =$

Начальный пусковой ток, А

$$I_п = U_{1ф} / Z_k =$$

Коэффициент мощности при пуске

$$\cos \varphi_k = R_k / Z_k =$$

5. Механические характеристики

Расчет механической характеристики ведем по упрощенной формуле Клосса

$$M = 2M_к / (s_k/s + s/s_k).$$

Значения $M_к$ и s_k определены ранее, причем s_k различно для каждой механической характеристики.

Результаты расчета механических характеристик M= f(s) сведены в таблицу 2.2. При отсутствии добавочного сопротивления $R_Д$ =0 в цепи ротора механическая характеристика называется естественной, а при включении $R_Д$ - искусственной.

Приближенная формула Клосса дает значительную погрешность при больших значениях скольжения s, поэтому пусковой момент при s=1 в таблице 2.2 следует принять по предыдущему расчету.

Т а б л и ц а 2.2

Электромагнитный момент M, Нм

$M_К$ =

$R_Д$	s								
	0	0,125	0,25	0,375	0,5	0,625	0,75	0,875	1,0
0	0								
$R_р$	0								

4. Выводы:

Введение пускового реостата в цепь ротора позволило получить следующие результаты:

1) уменьшить пусковой ток в отношение

2) увеличить коэффициент мощности при пуске в отношение
что позволило увеличить пусковой момент в отношение

Задача 3

1. Задание

Номинальные данные синхронного генератора приведены в таблице 3.1: мощность активная $P_{Н}$ и полная $S_{Н}$, напряжение $U_{Н}$ =230/400 В, частота вращения $n_{Н}$, КПД η. Число полюсов 2p определяется частотой вращения генератора.

Исходные данные к задаче содержат 20 вариантов. Номер варианта определяется суммой двух последних цифр шифра студента.

Требуется определить:

1. Номинальное значение коэффициента мощности $\cos\varphi_{Н}$.

2. Фазное напряжение и фазный ток обмотки статора при номинальной нагрузке, а также способ соединения фаз, если номинальное напряжение $U_{Н}$ =230 В.

3. Фазное напряжение и фазный ток обмотки статора при номинальной нагрузке, а также способ соединения фаз, если номинальное напряжение $U_{Н}$ = 400 В.

4. Вращающий момент приводного двигателя при номинальной нагрузке генератора.

Таблица 3

Номинальные данные синхронных генераторов

Вариант	Типоразмер	$P_н$, кВт	$S_н$, кВА	$n_{нг}$, об/мин	η,%	$U_Н$, В
1	ECC-52-4	5	6,25	1500	80,2	230/400
2	ECC-62-4	12	15	1500	86	230/400
3	ECC-81-4	20	25	1500	87	230/400
4	ECC-82-4	30	37,5	1500	88	230/400
5	ECC-91-4	50	62,5	1500	90	230/400
6	ECC5-61-4	8	10	1500	84,7	230/400
7	ECC5-62-4	12	15	1500	85	230/400
8	ECC5-81-4	20	25	1500	86	230/400
9	ECC5-81-6	20	25	1500	86	230/400
10	ECC5-82-4	30	37,5	1500	88,2	230/400
11	ECC5-83-6	30	37,5	1000	88,2	230/400
12	ECC5-91-4	50	62,5	1500	89,3	230/400
13	ECC5-92-6	50	62,5	1000	89,6	230/400
14	ECC5-92-4	60	75	1500	90,5	230/400
15	ECC5-93-4	75	93,7	1500	91	230/400
16	OC-51	4	5	1500	80	230/400
17	OC-52	8	10	1500	82	230/400
18	OC-71	16	20	1500	86,8	230/400
19	OC-72	30	37,5	1500	89	230/400
20	OC-91	60	75	1500	90,5	230/400

2. Исходные данные

Вариант Типоразмер генератора

$U_л$ = 230/400 В, f = 50 Гц, $P_Н$ = кВт, $S_Н$ = кВА ,

$n_Н$ = об/ мин, 2p = , η = %.

3. Решение задачи 3

1. Номинальное значение коэффициента мощности $\cos\varphi_Н$

$\cos\varphi_Н = P_Н / S_Н =$

2. Значения фазного напряжения и фазного тока обмотки статора при номинальной нагрузке и способ соединения фаз при напряжении $U_Н$ =230 В Паспортное значение напряжения составляет $U_Н$=230/400 В. При напряжении $U_Н$ = 230 В обмотка статора должна быть соединена в треугольник, при этом фазное напряжение будет равно линейному и составит $U_{ФН}$ =230 В.

Выходной линейный ток генератора, А

$$I_Л = \frac{S}{\sqrt{3}U} =$$

При соединении в треугольник фазный ток генератора, А

$$I_Ф = \frac{I_Л}{\sqrt{3}} =$$

3. Значения фазного напряжения и фазного тока обмотки статора при номинальной нагрузке и способе соединения фаз при напряжении $U_Н$ = 400 В.

При напряжении $U_Н$ = 400 В обмотка статора должна быть соединена в звезду, при этом фазное напряжение составит

$$U_Ф = \frac{U_Л}{\sqrt{3}} = 400/\sqrt{3} = 230 \text{ В}.$$

Выходной линейный ток генератора, А

$$I_Л = \frac{S}{\sqrt{3}U} =$$

При соединении в звезду обмоток фазный ток равен линейному току и составит

$I_Ф = I_Л =$ А.

4. Определяем вращающий момент приводного двигателя

Потребляемая активная мощность генератора, кВт

$P_1 = P_Н / \eta =$

Приводной момент двигателя, Нм

$$M = \frac{P_1}{\omega} =$$

где $\omega = \frac{2\pi n}{60} =$

4. Выводы

Задача 4

1. Задание

Параметры генератора постоянного тока параллельного возбуждения приведены в таблице 4. Здесь приняты обозначения: номинальная мощность $P_{нг}$ и напряжение $U_{нг}$, ток возбуждения $i_{вг}$, сопротивление обмотки якоря при
15 ^{o}C $R_{я}$, частота вращения $n_{нг}$, КПД η.

При расчете пренебречь реакцией якоря и считать ток возбуждения машины постоянным.

Исходные данные к задаче содержат 20 вариантов. Номер варианта определяется суммой двух последних цифр шифра студента.

Требуется:

1. Определить, какую частоту вращения разовьет данная машина в качестве двигателя, считая, что КПД при номинальной нагрузке в генераторном и двигательных режимах работы равны . Напряжение на зажимах двигателя $U_{НД}$,и его номинальную мощность $P_{НД}$ выбрать по таблице 4.

2. Определить изменение частоты вращения двигателя при переходе от номинальной нагрузки к холостому ходу (током якоря при холостом ходе пренебречь).

3. Определить, как изменится частота вращения двигателя, если подведенное к обмотке якоря напряжение уменьшится до 0,8 $U_{нд}$ при неизменном тормозном моменте, соответствующем номинальной мощности двигателя.

Таблица 4

Данные машин постоянного тока

Вариант	$P_{нг}$, кВт	$U_{нг}$, В	$i_{вг}$, А	$n_{нг}$, об/мин	η,%	$R_{я}$, Ом	$P_{нд}$, кВт	$U_{нд}$, В
1	215	230	9,0	630	0,920	0,074	195	220
2	115	470	4,0	850	0,915	0,0715	107	440
3	27	115	5,0	1150	0,860	0,02	25	110
4	19	230	2,0	1500	0,845	0,16	17	220
5	14	230	1,6	1500	0,865	0,21	12	220
6	11	230	1,2	1500	0,840	0,31	9	220
7	8	230	2,0	3000	0,835	0,44	6	220
8	6	230	1,0	1500	0,825	0,62	5,5	220
9	4,5	115	1,6	3000	0,800	0,23	4	110
10	3,2	115	1,4	2860	0,785	0,34	3	110
11	2,2	115	0,43	2000	0,820	0,41	2,04	110
12	1,35	115	0,43	1450	0,810	0,84	1,25	110
13	0,85	115	0,33	2000	0,680	1,62	0,79	110
14	1,35	230	0,23	1450	0,700	3,44	1,25	220
15	0,85	230	0,22	2930	0,680	6,64	0,79	220
16	1,00	115	0,25	2300	0,740	3,31	0,93	110
17	0,67	115	0,25	2800	0,740	2,34	0,62	110
18	1,00	230	0,15	2930	0,740	4,87	0,93	220
19	0,67	230	0,18	2300	0,680	10,50	0,62	220
20	0,37	230	0,18	1450	0,680	15,50	0,34	220

2. Исходные данные

Вариант	$P_{НГ}$, кВт	$U_{НГ}$, В	$i_{НГ}$, А	$n_{НГ}$, об/мин	η, %	$R_Я$, Ом	$P_{НД}$, кВт	$U_{НД}$, В

3. Решение задачи 4

1. Номинальный ток машины:
   в режиме генератора $I_{нг} = P_{нг} / Uнг =$

   в режиме двигателя $I_{нд} = P_{нд} / (U_{нд}\eta) =$
   Ток в обмотке якоря:
   в режиме генератора $I_{я\ нд} = I_{нг} + i_{вг} =$

   в режиме двигателя $I_{я\ нд} = I_{нд} - i_{вд} =$

   По условию задачи ток возбуждения остается неизменным,
   $$i_{вг} = i_{вд}$$

   ЭДС обмотки якоря при номинальной нагрузке:
   в режиме генератора
   $E_{нг} = U_{нг} + I_{я\ нг}R_{я\ 75}^{o} + \Delta U_{щ} =$

   в режиме двигателя

   $E_{нд} = U_{нд} - I_{я\ нд}R_{я\ 75}^{o} - \Delta U_{щ} =$
   где сопротивление обмотки якоря, приведенное к температуре 75 ^{o}C

$R_{я\ 75}^{o} = R_{я\ 15}^{o} (235+75) /(235+15) =$

Падение напряжения в переходном контакте щеток обычно принимают
$$\Delta U_{щ} = 2В$$
Частоту вращения можно определить из формулы ЭДС E:
$$E = cn\Phi,$$
где c - постоянный для данной машины коэффициент
Магнитный поток Ф считаем постоянным, так как ток возбуждения по условию задачи не меняется, а реакцией якоря пренебрегаем. Таким образом, частоту вращения двигателя $n_{нд}$ при номинальной нагрузке можно найти из уравнения
$$E_{нг} / E_{нд} = n_{нг} / n_{нд},$$
откуда
$$n_{нд} = n_{нг}(E_{нд} / E_{нг}) =$$

2. Для того , чтобы найти изменение частоты вращения двигателя при переходе от номинальной нагрузки к холостому ходу, используем уравнения ЭДС двигателя:

при номинальной нагрузке

$$E_{нд} = U_{нд} - I_{я\,нд} R_{я\,75^\circ} - \Delta U_{щ} = cn_{нд} \Phi$$

при холостом ходе, пренебрегаем током якоря (по условию задачи),

$$E_{од} \approx U_{нд} = c\, n_{од} \Phi_o$$

Откуда, принимая магнитный поток постоянным, получаем соотношение

$$n_{од} / n_{нд} = U_{нд} / E_{нд},$$

из которого определяем искомую частоту вращения двигателя при холостом ходе

$$n_{од} = n_{нд} (U_{нд} / E_{нд}) =$$

Относительное изменение частоты вращения

$$\Delta = (n_{од} - n_{нд}) / n_{нд}\, 100\% =$$

Для определения частоты вращения двигателя при пониженном напряжении, рассмотрим сначала формулу электромагнитного момента

$$M = \kappa \cdot \Phi \cdot I_{яд}$$

где к - постоянный для данной машины коэффициент

По условию задачи при изменении напряжения момент двигателя остается равным номинальному, и магнитный поток Ф не меняется . Отсюда следует, что ток обмотки якоря при изменения напряжения также остается постоянным, равным номинальному $I_{я\,нд}$.Это обстоятельство позволяет записать формулы частоты вращения двигателя:

при номинальном напряжении $U_{нд}$

$$n_{нд} = (U_{нд} - I_{я\,нд} R_{я\,75^\circ} - \Delta U_{щ}) / c\Phi;$$

при пониженном напряжении $0{,}8U_{нд}$

$$n = (0{,}8U_{нд} - I_{я\ нд} R_{я\,75^\circ} - \Delta U_{щ}) / c\Phi$$

Искомое изменение частоты вращения

$$n / n_{нд} = (0{,}8U_{нд} - I_{я\ нд} R_{я\ 75^\circ} - \Delta U_{щ}) / (U_{нд} - I_{я\,нд} R_{я\ 75^\circ} - \Delta U_{щ}) =$$

4. Выводы

Литература: [2].

Выполнение контрольной работы в программе MatCad

Исследование однофазного двухобмоточного трансформатора

Экспериментальные данные

	Режим работы	
	режим х.х.	режим к.з
Напряжение первичной обмотки	$U_{10} := 220$ В	$U_{1k} := 24$ В
Напряжение вторичной обмотки	$U_{20} := 170$ В	$U_{2k} := 0$ В
Ток первичной обмотки	$I_{10} := 0.9$ А	$I_{1k} := 10$ А
Ток вторичной обмотки	$I_{20} := 0$	I_{2k} А
Активная мощность	$P_{10} := 65$ Вт	$P_{1k} := 90$ Вт

Номинальные данные трансформатора

Напряжение первичной обмотки	$U_{1H} := U_{10}$	$U_{1H} = 220$ В
Напряжение вторичной обмотки	$U_{2H} := U_{20}$	$U_{2H} = 170$ В
Ток первичной обмотки	$I_{1H} := I_{1k}$	$I_{1H} = 10$ А
Мощность	$S_{1H} := U_{1H} \cdot I_{1H}$	$S_{1H} = 2.2 \times 10^3$ ВА
Ток холостого хода	$i_0 := \frac{I_{10}}{I_{1H}} \cdot 100$	$i_0 := 12.8$ А
Напряжение короткого замыкания	$u_k := \frac{U_{1k}}{U_{10}} \cdot 100$ %	

Расчетные формулы

Коэффициент трансформации $k := \frac{U_{10}}{U_{20}}$ $k = 1.29$

Ток $I_{2H} := I_{1H} \cdot k$ $I_{2H} = 12.94$ А

Параметры схемы замещения
- активное, реактивное и полное сопротивление намагничивающего контура, эквивалентирующего магнитопровод трансформатора, Ом

$z_M := \frac{U_{10}}{I_{10}}$ $z_M = 244.44$ $r_M := \frac{P_{10}}{I_{10}^2}$ $r_M = 80.25$ $x_M := \sqrt{z_M^2 - r_M^2}$ $x_M = 230.9$

- полное, активное и реактивное сопротивления короткого замыкания, Ом

$$z_k := \frac{U_{1k}}{I_{1k}} \quad z_k = 2.4 \quad r_k := \frac{P_{1k}}{I_{1k}^2} \quad r_k = 0.9 \quad x_k := \sqrt{z_k^2 - r_k^2} \quad x_k = 2.22$$

- параметры обмоток схемы замещения, Ом

$$r_1 := \frac{r_k}{2} \quad r_1 = 0.45 \quad x_1 := \frac{x_k}{2} \quad x_1 = 1.11$$

Коэффициент мощности в режиме к.з.

$$\cos\phi_k := \frac{P_{1k}}{U_{1k} \cdot I_{1k}} \quad \cos\phi_k = 0.38 \quad \sin\phi_k := \sqrt{1 - \cos\phi_k^2} \quad \sin\phi_k = 0.93$$

Напряжение к.з., %

$$u_a := u_k \cdot \cos\phi_k \quad u_a = 4.09$$

$$u_p := u_k \cdot \sin\phi_k \quad u_p = 10.11$$

Расчет внешней характеристики

$$\Delta u(\beta) := \beta \cdot (u_a \cdot \cos\phi_k + u_p \cdot \sin\phi_k)$$

$$U_2(\beta) := \frac{(100 - \Delta u(\beta)) \cdot U_{20}}{100}$$

$$I_2(\beta) := \beta \cdot I_{2H}$$

Расчет КПД

$$P_2(\beta) := I_2(\beta) \cdot U_2(\beta) \cdot \cos\phi_k$$

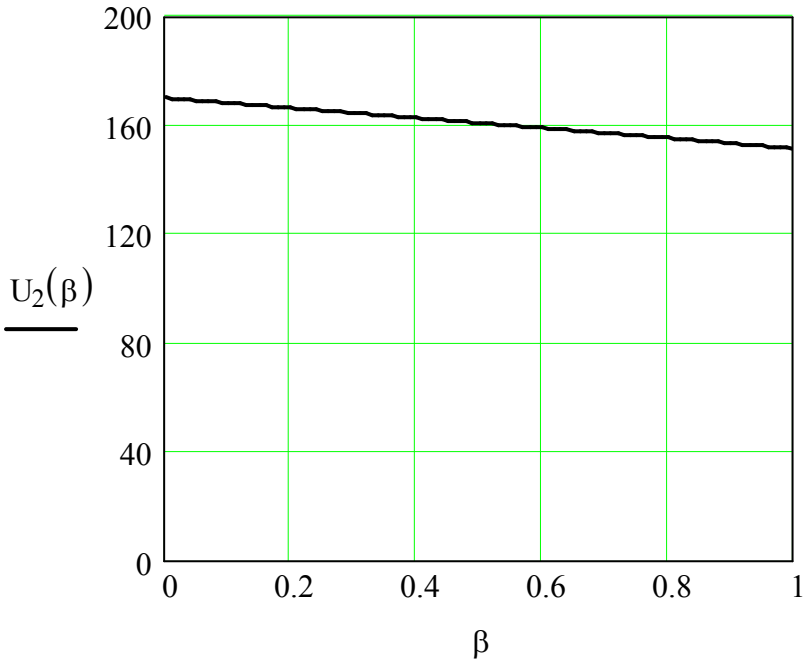
$$P_1(\beta) := P_2(\beta) + P_{10} + \beta \cdot P_{1k} \quad \eta(\beta) := \frac{P_2(\beta)}{P_1(\beta)} \cdot 100$$

Результаты расчетов

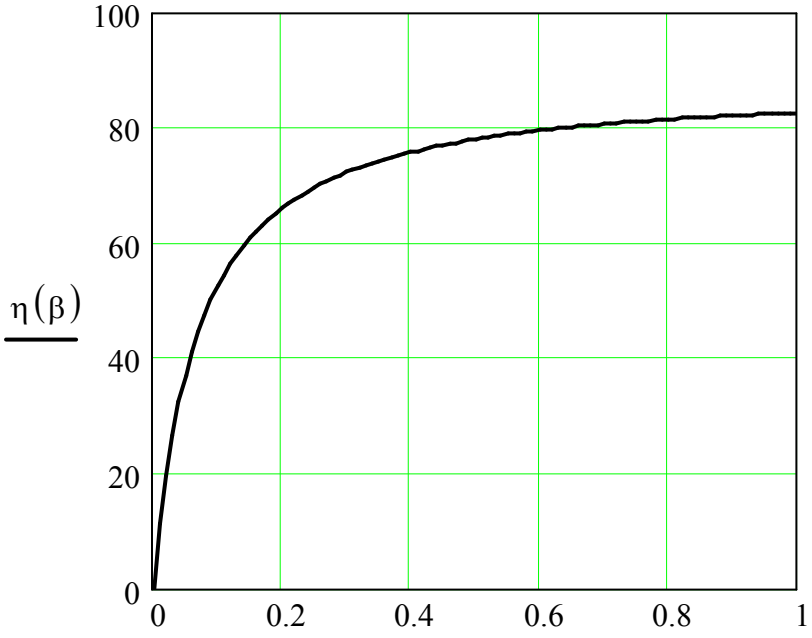
$\beta :=$ 0, 0.2 .. 1

$\beta =$	$I_2(\beta) =$	$P_2(\beta) =$	$P_1(\beta) =$	$\Delta u(\beta) =$	$U_2(\beta) =$	$\eta(\beta) =$
0	0	0	65	0	170	0
0.2	2.59	161.4	244.4	2.18	166.29	66.04
0.4	5.18	315.6	416.6	4.36	162.58	75.76
0.6	7.76	462.6	581.6	6.55	158.87	79.54
0.8	10.35	602.4	739.4	8.73	155.16	81.47
1	12.94	735	890	10.91	151.45	82.58

Внешняя характеристика



Зависимость КПД от нагрузки



Работа 2. Исследование трехфазного асинхронного двигате
с короткозамкнутым ротором

Исходные данные:

тип двигателя 4A160S2Y3	$p := 1$
номинальное напряжение	$U_{1H} := 380$ В
номинальная мощность двигателя	$P_{2H} := 15000$ Вт
синхронная частота вращения	$n_1 := 3000$ об/мин
номинальное значение КПД	$\eta_H := 0.88$
номинальное значение коэффициента мощности	$\cos\phi_H := 0.91$
номинальное скольжение	$s_H := 0.021$
кратность пускового момента	$k_п := 1.4$
кратность максимального момента	$k_м := 2.2$
частота сети	$f := 50$ Гц
при включении конденсаторов коэффициент мощности	$\cos\phi := 0.95$
сопряжение фаз обмотки статора двигателя	звезда

Решение

Номинальная частота вращения , об/мин

$$n_H := n_1 \cdot (1 - s_H) \qquad n_H = 2937$$

Номинальная активная потребляемая мощность двигател

$$P_{1H} := \frac{P_{2H}}{\eta_H} \qquad P_{1H} = 1.705 \times 10^4$$

Номинальная полная потребляемая мощность двигателя,

$$S_{1H} := \frac{P_{2H}}{\eta_H \cdot \cos\phi_H} \qquad S_{1H} = 1.873 \times 10^4$$

Номинальный ток двигателя, А

$$I_{1H} := \frac{S_{1H}}{\sqrt{3} \cdot U_{1H}} \qquad I_{1H} = 28.459$$

Номинальный момент на валу, Нм

$$M_{2H} := \frac{9550 \cdot P_{2H}}{\eta_H} \qquad M_{2H} = 1.628 \times 10^8$$

Критический момент на валу, Нм

$$M_k := k_м \cdot M_{2H} \qquad M_k = 3.581 \times 10^8$$

Пусковой момент на валу, Нм

$$M_п := k_п \cdot M_{2H} \qquad M_п = 2.279 \times 10^8$$

Критическое скольжение

$$s_k := s_H \cdot \left(k_м + \sqrt{k_м^{\,2} - 1} \right) \qquad s_k = 0.087$$

Частота вращения при скольжении s, об/мин

$$n := n_1 \cdot (1 - s_k) \qquad n = 2.738 \times 10^3$$

Расчет механической характеристики производится по формуле

$$M(s) := \frac{2 \cdot M_k}{\frac{s_k}{s} + \frac{s}{s_k}} \qquad s := 0, 0.01 .. 1$$

Результаты расчета

$M(0) := 0$

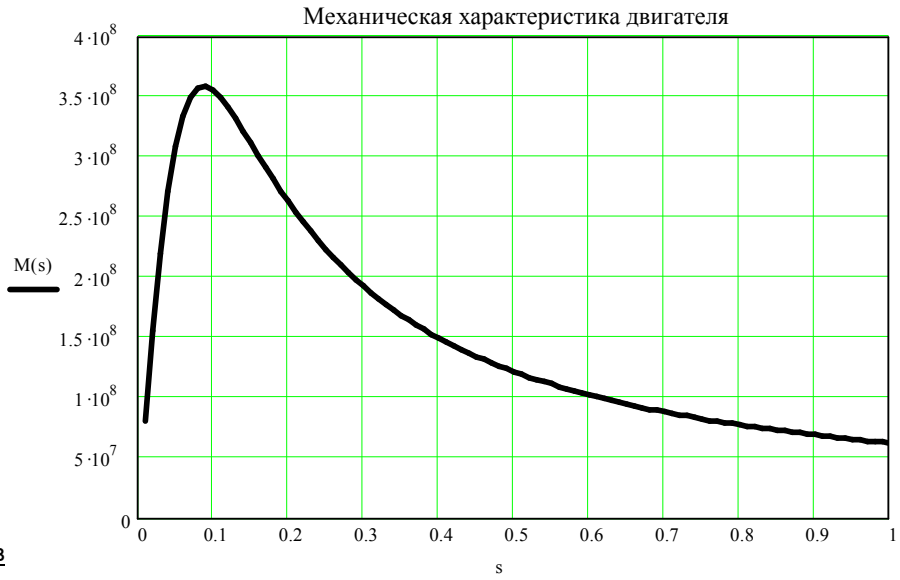
$M(0.087) = 3.581 \times 10^8$

$M(0.4) = 1.493 \times 10^8$

$M(0.6) = 1.021 \times 10^8$

$M(0.8) = 7.729 \times 10^7$

$M(1.0) = 6.209 \times 10^7$



Расчет емкости конденсаторов

$\cos\phi_H = 0.91$ $\quad \phi_H := \operatorname{acos}(0.91)$ $\quad \phi_H = 24.495\text{deg}$ $\quad \tan(\phi_H) = 0.456$

$\cos\phi = 0.95$ $\quad \phi := \operatorname{acos}(0.95)$ $\quad \phi = 18.195\text{deg}$ $\quad \tan(\phi) = 0.329$

$$C := \frac{P_{2H}}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot U_{1H}^{\,2}} \cdot (\tan(\phi_H) - \tan(\phi)) \qquad C = 4.197 \times 10^{-5} \quad Ф$$

Работа 3. Исследоваение двигателя постоянного тока параллельного возбуждения

Исходные данные:

Номинальное напряжение Uн, В $U_H := 110$

Механическая (полезная) мощность P_{2H} , Вт $P_{2H} := 1400$

Номинальная частота вращения якоря n_H ,об/мин $n_H := 1500$

Ноинальный коэффициент полезного действия η_H $\eta_H := 0.80$

Сопротивлене цепи якоря Rя, Ом $R_я := 0.8$

Сопротивлени обмотки возбуждения Rв, Ом $R_в := 130$

Расчет

1.Расчет номинального режима двигателя

Потребляемая мощность, Вт

$$P_{1H} := \frac{P_{2H}}{\eta_H} \qquad P_{1H} = 1750$$

Потребляемый ток, А

$$I_H := \frac{P_{1H}}{U_H} \qquad I_H = 15.909$$

Ток возбуждения, А

$$I_{BH} := \frac{U_H}{R_в} \qquad I_{BH} = 0.846$$

Ток якоря, А

$$I_{ян} := I_H - I_{BH} \qquad I_{ян} = 15.063$$

Электрические потери в обмотке возбуждения, Вт

$$P_{BH} := U_H \cdot I_{BH} \qquad P_{BH} = 93.077$$

Электрические потери в обмотке якоря, Вт

$$P_{ян} := I_{ян}^{2} \cdot R_я \qquad P_{ян} = 181.514$$

Суммарные потери двигателя, Вт

$$\Delta P_H := P_{1H} - P_{2H} \qquad \Delta P_H = 350$$

Механические и магнитные потрери, Вт

$$P_{0H} := \Delta P_H - P_{BH} - P_{ян} \qquad P_{0H} = 75.409$$

Полезный механический момент, Нм

$$M_{2H} := 9.55 \cdot \frac{P_{2H}}{n_H} \qquad M_{2H} = 8.913$$

2. Расчет механических характеристик

$$СФ := \frac{U_H - I_{ян} \cdot R_я}{n_H} \qquad СФ = 0.065$$

Частота вращения при х.х.

$$n_0 := \frac{U_H}{СФ} \qquad n_0 = 1684.539$$

Естественная механическая характеристика

$$n := \frac{U_H}{СФ} - \frac{M_{2H} \cdot R_я}{(СФ)^2 \cdot \frac{60}{2 \cdot \pi}} \qquad n = 1509.419$$

Искусственные механические характеристики
при пониженном напряжении на якоре $U := 0.8 \cdot U_H$

$$n := \frac{U}{СФ} - \frac{M_{2H} \cdot R_я}{(СФ)^2 \cdot \frac{60}{2 \cdot \pi}} \qquad n = 1172.511$$

х.х. $n_{08U} := \frac{U}{СФ} \qquad n_{08U} = 1347.631$

при введенном сопротивлении в цепи якоря $R_{ря} := 4 \cdot R_я \qquad R_{ря} = 3.2$

$$n := \frac{U_H}{СФ} - \frac{M_{2H} \cdot \left(R_я + R_{ря}\right)}{(СФ)^2 \cdot \frac{60}{2 \cdot \pi}} \qquad n = 808.939$$

при введении сопротивления в цепь возбуждения (ослабленный магнитный поток Ф = 0,9Фн)

$$n := \frac{U_H}{СФ \cdot 0.9} - \frac{M_{2H} \cdot R_я}{(СФ)^2 \cdot \frac{60}{2 \cdot \pi} \cdot 0.81} \qquad n = 1655.513$$

х.х. $n_{09Ф} := \frac{U_H}{СФ \cdot 0.9} \qquad n_{09Ф} = 1871.71$

$$M_{2H} := 0, M_{2H} .. M_{2H}$$

$$n_e(M_{2H}) := \frac{U_H}{СФ} - \frac{M_{2H} \cdot R_я}{(СФ)^2 \cdot \frac{60}{2 \cdot \pi}}$$

$n_e(M_{2H}) =$

1684.539
1509.419

$$n_1(M_{2H}) := \frac{U_H}{СФ} - \frac{M_{2H} \cdot (R_я + R_{ря})}{(СФ)^2 \cdot \frac{60}{2 \cdot \pi}}$$

$n_1(M_{2H}) =$

1684.539
808.939

$$n_2(M_{2H}) := \frac{U}{СФ} - \frac{M_{2H} \cdot R_я}{(СФ)^2 \cdot \frac{60}{2 \cdot \pi}}$$

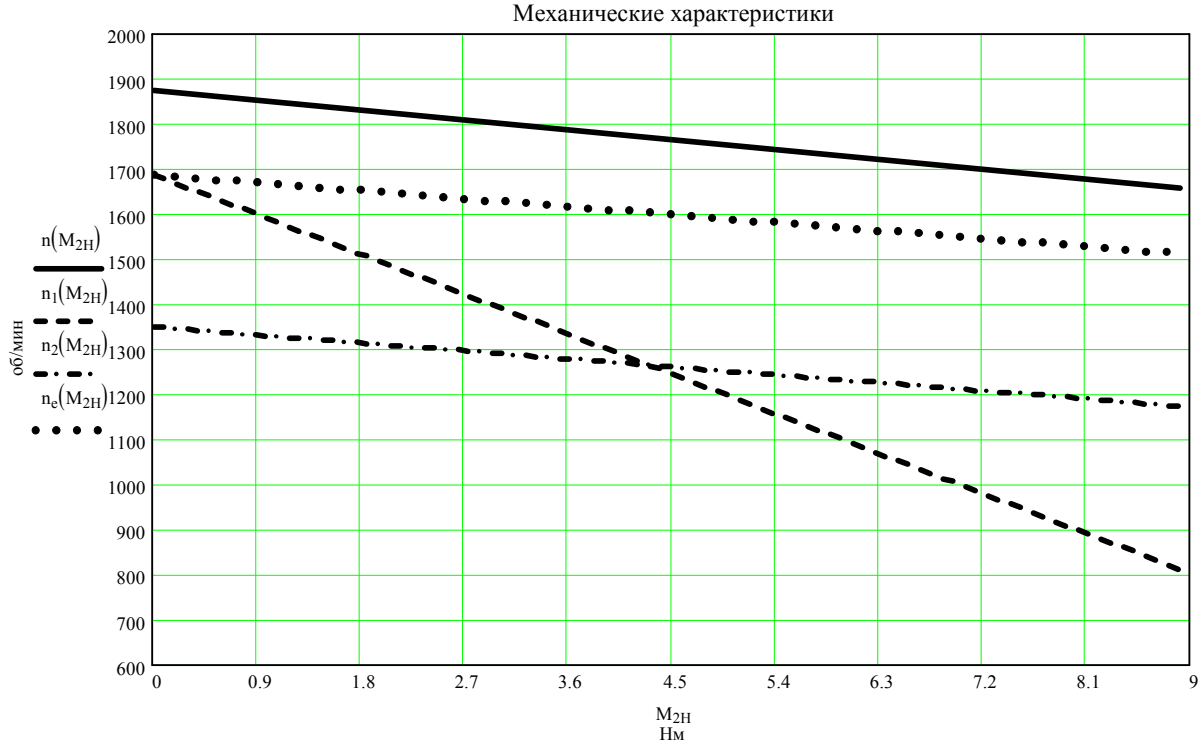
$n_2(M_{2H}) =$

1347.631
1172.511

$$n(M_{2H}) := \frac{U_H}{СФ \cdot 0.9} - \frac{M_{2H} \cdot R_я}{(СФ)^2 \cdot \frac{60}{2 \cdot \pi} \cdot 0.81}$$

$n(M_{2H}) =$

1871.71
1655.513



Литература

1. Брандин, Н.Ю. Рабочая программа по учебной дисциплине «Электрические машины»/Н.Ю.Брандин. – СПб.: СЗТУ, 2014.

2. Вольдек, А. И. Электрические машины. Машины переменного тока: учеб. для вузов/А. И. Вольдек, В. В. Попов. -СПб.: Питер, 2007.