

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
"МУРМАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ"

Кафедра электрооборудования судов

**ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ В
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИНАХ
ПОСТОЯННОГО ТОКА**

*Методические указания
к выполнению контрольной работы*

Мурманск
2019

Составитель – Дмитрий Анатольевич Саватеев, доцент кафедры электрооборудования судов Мурманского государственного технического университета.

Методические указания рассмотрены и одобрены на заседании кафедры
" ____ " _____ 20__ г., протокол № ____

Рецензент –

Введение

Методические указания к выполнению контрольной работы предназначены для курсантов и студентов технических специальностей и направлений подготовки, учебные планы которых предусматривают изучение электрических машин. Целью выполнения работы является закрепление теоретических знаний о принципах работы генераторов и двигателей постоянного тока в качестве устройств, обеспечивающих взаимное преобразование механической и электрической энергии.

Общие организационно-методические указания

Получение задания.

Задание выбирается в соответствии с номером варианта, полученным у преподавателя.

Структура работы.

Контрольная работа выполняется в соответствии с индивидуальным заданием, и оформляется в соответствии с требованиями, предъявляемыми к конструкторской документации ГОСТ 2.104 – 68. Титульный лист работы должен быть выполнен в соответствии с приложением 1.

Оформление разделов работы.

Все записи должны выполняться на одной стороне стандартной бумаги формата А4, разборчивым почерком или типографским набором. Цвет шрифта – черный или темно-синий.

При выполнении текста с помощью компьютерного текстового редактора следует применять:

- шрифт Times New Roman;
- цвет черный;
- размер шрифта – 14;
- расстояние между строками – 1,15 интервала.

Текст должен быть разделен на разделы и подразделы, пункты и подпункты при необходимости.

Решение каждой задачи должно быть выделено заголовком. Для нумерации следует использовать арабские цифры. Подчеркивание заголовков или выделение цветом не допускается.

Расчеты должны сопровождаться записями, поясняющими содержание и смысл выполняемых действий. Оптимальным является такое количество текста, которое обеспечивает логичное и цельное восприятие работы при ее прочтении.

На все приводимые в контрольной работе рисунки и таблицы должны иметься ссылки в тексте. Рисунок или таблицу необходимо располагать непосредственно после первого упоминания о них. Каждый рисунок и каждая таблица должны иметь номер и название.

Никакие сокращения, кроме общепринятых сокращений единиц измерения, не допускаются.

Все рисунки должны быть выполнены с использованием чертежных инструментов или с помощью графического компьютерного редактора.

Оформление расчетов.

Запись формулы в общем виде должна заканчиваться запятой и указанием единицы измерения физической величины. Например:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} \cdot (1 + \alpha \cdot \theta), \text{ Ом.}$$

Перед подстановкой числовых значений математические выражения должны быть максимально упрощены.

Подстановка числовых значений должна производиться с новой строки и в той последовательности, в которой соответствующие им физические величины располагаются в формуле, записанной в общем виде. Единицу измерения физической величины необходимо указывать в скобках, рядом с результатом вычислений. Например:

$$R = 2,62 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{100}{2 \cdot 10^{-6}} \cdot (1 + 4,5 \cdot 10^{-4} \cdot 40) = 1,334 \text{ (Ом)}.$$

В качестве знака деления необходимо использовать горизонтальную черту, в качестве знака умножения – точку.

Оформление графиков.

Оси графиков должны быть промаркированы и отградуированы. Каждый график должен быть построен по точным данным. В работе следует привести таблицу со значениями аргумента и функции или список операторов программирования, автоматизирующих построение графика.

Защита контрольной работы. Выполненная и оформленная в соответствии с перечисленными правилами работа сдается на проверку преподавателю. Все записи, сделанные преподавателем в работе при ее проверке необходимо сохранять. Если требуются незначительные исправления и дополнения, они могут быть выполнены на чистой стороне листов, рядом со страницами, на которых обнаружены ошибки. После устранения всех замечаний преподавателя автор работы допускается к ее защите. Студент, защищающий контрольную работу, должен продемонстрировать свободное владение теоретическим и практическим материалом по соответствующей тематике.

Рекомендуемая литература

1. Вольдек, А. И. Электрические машины / А. И. Вольдек. – Л. : Энергия, 1978. – 832 с.
2. Саватеев Д.А. Электрические машины: практический курс, учебное пособие в 2-х частях, Мурманск, МГТУ, 2015.

Задачи и примеры их решения

Задача 1. По следующим параметрам обмотки якоря машины постоянного тока: число пар полюсов p , число эффективных проводников N , число витков секции w_c , число секций в катушке u_c , начертить развернутую схему неперекрещивающейся простой петлевой обмотки, показать полюсы, расставить щетки. Исходные данные для решения задачи приведены в таблице 1.

Таблица 1. Параметры якорной обмотки.

\mathcal{N}	p	N	w_c	u_c	\mathcal{N}	p	N	w_c	u_c
1	2	72	1	1	15	2	256	4	1
2	2	144	2	2	16	2	192	4	1
3	1	72	1	1	17	2	192	3	1
4	2	72	1	2	18	1	192	3	1
5	2	96	2	2	19	2	176	2	1
6	1	96	2	2	20	2	176	2	2
7	1	80	2	2	21	1	176	4	2
8	2	80	1	2	22	1	192	4	3
9	2	144	2	3	23	1	240	4	3
10	2	144	1	3	24	1	240	3	4
11	2	144	2	2	25	2	240	3	4
12	2	128	2	2	26	2	240	2	3
13	2	224	4	2	27	2	208	2	2
14	2	240	3	2	28	1	72	1	2

Пример решения задачи 1.

Дано:

 $p = 2;$ $N = 112;$ $w_c = 2;$ $u_c = 2.$

Решение.

В первую очередь необходимо определить количество секций обмотки. Учитывая, что в одном витке секции – два эффективных проводника, а, в соответствии с заданием, секция состоит из двух витков, количество секций определится как

$$S = \frac{N}{2w_c} \quad (1)$$

$$S = \frac{112}{2 \cdot 2} = 28.$$

Для укладки активных сторон секции требуется рассчитать первый частичный шаг обмотки:

$$y_1 = \frac{S}{2p} \quad (2)$$

$$y_1 = \frac{28}{2 \cdot 2} = 7.$$

Шаг обмотки измеряется в элементарных пазах.

На рисунке 1 представлена развернутая схема простой петлевой обмотки с заданными параметрами. Элементарный паз включает в себя две, лежащие одна под другой, стороны соседних секций: сторона, расположенная в глубине паза показана пунктирной линией, сторона, лежащая на периферии паза – сплошной линией. Слева от некоторых пазов указаны их номера – 1, 8, 15, 22.

На схеме показано что, например, к первой коллекторной пластине припаян вывод активной стороны секции, уложенной в наружной части первого паза. Через $y_1 = 7$ элементарных пазов, в глубине 8-го элементарного паза укладывается вторая активная сторона этой же секции и ее вывод припаявается к коллекторной

пластине 2. К этой же пластине припаян вывод активной стороны следующей секции и т. д.

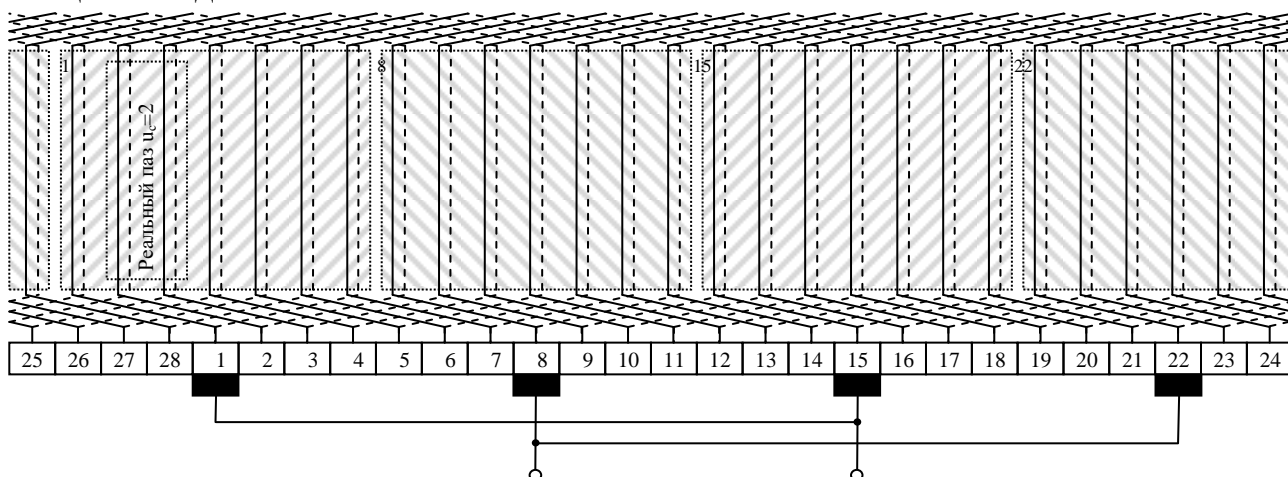


Рис. 1. Развернутая схема простой петлевой обмотки.

Показано, также, что при заданном числе секций в катушке, один реальный паз образуется двумя элементарными пазами.

Полюсы и щетки расставлены так, чтобы между соседними разноименными щетками были заключены секции, электродвижущие силы которых направлены единообразно, а значит, складываются, образуя выходную электродвижущую силу якоря.

Все элементы обмотки, показанные на рис. 1, должны быть отражены в схеме, вычерченной по результатам расчета. Рекомендуется выполнять схему вдоль листа формата А4 или на листе большего формата.

Задача 2.

Генератор постоянного тока мощностью P_n имеет кпд η , активное сопротивление цепи якоря R_a , сумма механических, магнитных и добавочных потерь составляет ΔP_0 , % от номинальной мощности, потери в цепи параллельного возбуждения $\Delta P_в$. Определить ток обмотки якоря. Исходные данные для решения задачи приведены в таблице 2.

Таблица 2. Параметры генератора постоянного тока.

N_2	P_n кВт	η %	R_a Ом	ΔP_0 %	$\Delta P_в$ Вт	N_2	P_n кВт	η %	R_a Ом	ΔP_0 %	$\Delta P_в$ Вт
1	20	87,5	0,15	3,8	380	15	30	85,8	0,15	4,15	500
2	22	88	0,3	3,5	350	16	25	87,5	0,2	4,3	420
3	30	85	0,12	3,6	430	17	20	82,5	0,25	4,15	400
4	28	86,5	0,12	4	450	18	15	87,5	0,5	4,3	250
5	26	85,7	0,11	4,5	400	19	18	88	0,45	4,25	280
6	32	86,8	0,11	4,7	500	20	16	86,4	0,32	4,15	260
7	30	85,6	0,12	4,2	480	21	14	85,3	0,52	4,05	250
8	25	88,2	0,15	3,75	420	22	15	79	0,55	4,2	200
9	20	85,7	0,16	4,2	350	23	18	85,6	0,22	3,9	230
10	22	86,7	0,15	3,8	380	24	16	88,4	0,32	4,1	250

11	30	87	0,13	4,2	420	25	14	87,3	0,35	3,8	245
12	28	83,5	0,15	4,15	430	26	20	86,3	0,25	4,3	300
13	26	88	0,22	3,75	350	27	23	87,7	0,18	4,25	370
14	32	87,8	0,2	3,8	500	28	25	89	0,15	3,9	330

Пример решения задачи 2.

Дано:

$$P_H = 25 \text{ кВт};$$

$$\eta = 89\%;$$

$$R_a = 0,15 \text{ Ом};$$

$$\Delta P_0 = 3,9\%;$$

$$\Delta P_B = 330 \text{ Вт}.$$

Найти: I_a

Решение. Ток якорной обмотки I_a может быть найден из формулы электрических потерь:

$$I_a = \sqrt{\frac{\Delta P_{\text{эл}}}{R_a}}, \text{ А} \quad (3)$$

Учитывая, что электрические потери являются частью полных потерь генератора в номинальном режиме

$$\Delta P = \Delta P_{\text{эл}} + \Delta P_0 + \Delta P_B, \text{ Вт}$$

можно выделить их из этих потерь:

$$\Delta P_{\text{эл}} = \Delta P - \Delta P_0 - \Delta P_B, \text{ Вт} \quad (4)$$

Для вычисления потерь номинального режима воспользуемся формулой коэффициента полезного действия:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} 100 = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P} 100, \% \quad (5)$$

из которой можно выразить потери:

$$\Delta P = \frac{P_1}{\eta} 100 - P_1, \text{ Вт}. \quad (6)$$

$$\Delta P = \frac{25000}{89} 100 - 25000 = 3090 \text{ (Вт)}.$$

Учитывая, что потери холостого хода даны в процентах от номинальной мощности машины, подстановка в формулу (4) будет иметь вид:

$$\Delta P_{\text{эл}} = 3090 - 3,9 \frac{25000}{100} - 330 = 1785 \text{ (Вт)}.$$

Искомый ток якорной обмотки:

$$I_a = \sqrt{\frac{1785}{0,15}} = 109 \text{ (А)}.$$

Ответ: $I_a = 109 \text{ А}$.

Задача 3.

Генератор постоянного тока с параллельным возбуждением имеет следующие данные: номинальную мощность P_H , номинальное напряжение U_H , сопротивление цепи якоря R_a , сопротивление цепи возбуждения R_g . Определить КПД генератора, если сумма механических, магнитных и добавочных потерь составляет ΔP_0 , % от номинальной мощности. Исходные данные для решения задачи приведены в таблице 3.

Таблица 3. Параметры генератора постоянного тока.

№	$P_{\text{нв}}$ кВт	$U_{\text{нв}}$ В	R_{ω} Ом	R_{ϕ} Ом	ΔP_{ϕ} %	№	$P_{\text{нв}}$ кВт	$U_{\text{нв}}$ В	R_{ω} Ом	R_{ϕ} Ом	ΔP_{ϕ} %
1	12	220	0,35	155	4,5	15	30	320	0,55	235	4
2	12	110	0,1	85	3,5	16	30	320	0,25	260	6
3	15	230	0,25	120	3,5	17	32	230	0,25	130	6
4	18	230	0,22	140	3	18	32	230	0,15	150	4
5	20	110	0,15	90	3	19	33	220	0,2	150	5
6	20	220	0,25	180	3	20	33	230	0,18	125	4,5
7	22	320	0,4	210	4	21	35	220	0,15	115	4
8	22	110	0,1	75	2	22	5	110	0,45	70	4
9	25	110	0,1	65	3	23	7,5	110	0,35	90	4
10	27	230	0,36	188	3	24	4,5	110	0,55	60	3,5
11	27	320	0,45	260	4,5	25	8	110	0,25	55	3
12	28	320	0,45	260	4,5	26	8,5	110	0,45	65	3
13	25	320	0,55	260	4	27	9	110	0,35	80	3,5
14	27	320	0,45	230	3,5	28	4,5	110	0,45	90	4

Пример решения задачи 3.

Дано:

$$P_{\text{н}} = 4,5 \text{ кВт};$$

$$U_{\text{н}} = 110 \text{ В};$$

$$R_a = 0,45 \text{ Ом};$$

$$R_{\text{в}} = 90 \text{ Ом};$$

$$\Delta P_{\phi} = 4\%;$$

Найти: η

Решение. Для расчета коэффициента полезного действия можно воспользоваться формулой (5) настоящих методических указаний. В этой формуле P_2 - выходная электрическая мощность генератора, P_1 - мощность, подводимая к валу генератора со стороны приводного двигателя. Поскольку у любого преобразователя в паспорте указывается его номинальная выходная мощность, то $P_2 = P_{\text{н}}$. Подводимая к валу мощность превышает выходную мощность на величину полных

потерь:

$$P_1 = P_2 + \Delta P, \text{ Вт} \quad (7)$$

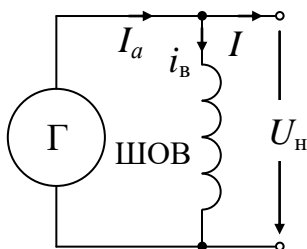


Рис. 2. Принципиальная электрическая схема генератора постоянного тока с параллельным возбуждением.

Таким образом, для того чтобы воспользоваться формулой (5), потребуется рассчитать суммарные потери. Одна категория потерь - потери холостого хода, включающие в себя сумму механических, магнитных и добавочных потерь, заданы, остальные - электрические потери в якорной цепи и потери в цепи возбуждения - можно рассчитать, зная значения токов: якорной цепи и цепи возбуждения соответственно:

$$\Delta P_{\text{эл}} = I_a^2 R_a, \text{ Вт}, \quad (8)$$

$$\Delta P_B = i_B U_H, \text{ Вт.} \quad (9)$$

На рисунке 2 показано направление токов генератора. В соответствии с первым правилом Кирхгофа якорный ток можно найти как

$$I_a = I + i_B, \text{ А.} \quad (10)$$

В соответствии с законом Ома, ток цепи возбуждения равен

$$i_B = \frac{U_H}{R_B}, \text{ А.} \quad (11)$$

$$i_B = \frac{110}{90} = 1,22 \text{ (А).}$$

Ток, выдаваемый генератором в нагрузку определяется из номинальных параметров машины:

$$I = \frac{P_H}{U_H}, \text{ А,} \quad (12)$$

$$I = \frac{4500}{110} = 40,91 \text{ (А).}$$

Подставляя полученные значения токов в формулу (10), и далее, используя формулы (9), (8), (4), (7) и (5), получим:

$$I_a = 40,91 + 1,22 = 42,13 \text{ (А),}$$

$$\Delta P_B = 1,22 \cdot 110 = 134,2 \text{ (Вт),}$$

$$\Delta P_{эл} = 42,13^2 \cdot 0,45 = 797 \text{ (Вт),}$$

$$\Delta P = 797 + \frac{4}{100} 4500 + 134,2 = 1113 \text{ (Вт),}$$

$$P_1 = 4500 + 1113 = 5613 \text{ (Вт),}$$

$$\eta = \frac{4500}{5613} 100 = 80 \text{ (%).}$$

Ответ: $\eta = 80 \text{ %}$.

Задача 4.

Полезная механическая мощность двигателя постоянного тока P_H , номинальное напряжение U_H , номинальный ток I_H . Определить КПД, номинальный вращающий момент и сумму потерь двигателя, если номинальная частота вращения n_H . Исходные данные для решения задачи приведены в таблице 4.

Таблица 4. Параметры двигателя постоянного тока независимого возбуждения.

№	P_H кВт	U_H В	I_H А	n_H об/мин	№	P_H кВт	U_H В	I_H А	n_H об/мин
1	2,0	220	11	1500	15	2,1	220	10,5	1300
2	2,0	230	10	1200	16	2,1	230	10,2	1500
3	1,6	220	8,9	1300	17	2,9	230	13,9	110
4	1,8	220	9,1	1500	18	2,9	220	14,8	1200
5	2,2	230	10,43	1500	19	2,0	110	20	1300
6	2,3	230	11,1	1200	20	1,6	110	16,4	1200
7	2,5	220	12,3	1100	21	1,8	110	18,6	1500

8	2,8	230	13,5	1200	22	2,2	110	22,7	1400
9	2,7	220	13,6	1500	23	2,5	110	25	1000
10	3,0	220	15	1500	24	2,8	110	27,7	1100
11	3,0	230	13	1000	25	3,0	110	30	1500
12	2,6	220	13,2	1300	26	2,3	110	22,7	1400
13	2,4	230	11,3	1400	27	1,7	110	17,7	1300
14	2,3	220	11,6	1500	28	1,5	110	16	1500

Пример решения задачи 4.

Дано:

$$P_n = 1,5 \text{ кВт};$$

$$U_n = 110 \text{ В};$$

$$I_n = 16 \text{ А};$$

$$n = 1500 \text{ об/мин};$$

Найти: η , M_n , ΔP

Решение. Двигатель является преобразователем электрической мощности в механическую, то есть выходной является мощность на валу, приведенная в задании, а входной – электрическая мощность:

$$P_1 = U_n I_n, \text{ Вт} \quad (13)$$

$$P_1 = 110 \cdot 16 = 1760 \text{ (Вт)}.$$

Коэффициент полезного действия может быть вычислен по формуле (5):

$$\eta = \frac{1500}{1760} 100 = 85,2 \text{ (\%)}$$

Из формулы (7) можно выразить суммарные потери - разность между потребляемой мощностью и мощностью, выдаваемой на вал электродвигателя:

$$\Delta P = P_1 - P_2, \text{ Вт}$$

$$\Delta P = 1760 - 1500 = 260 \text{ (Вт)}.$$

Номинальный момент на валу электродвигателя может быть вычислен через номинальную мощность P_n и номинальную угловую скорость ротора ω_n :

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n}, \text{ Нм}, \quad (14)$$

$$\omega_n = \frac{2\pi n_n}{60}, \text{ рад/с}. \quad (15)$$

Подстановка в формулы (14) и (15) дает следующий результат:

$$\omega_n = \frac{2\pi \cdot 1500}{60} = 157 \text{ (рад/с)},$$

$$M_n = \frac{1500}{157} = 9,55 \text{ (Н·м)}.$$

Ответ: $\eta = 85,2 \text{ \%}$, $M_n = 9,55 \text{ Н·м}$, $\Delta P = 260 \text{ Вт}$.

Задача 5.

Двигатель постоянного тока смешанного возбуждения при номинальном напряжении U_n потребляет из сети ток I_a и ток возбуждения I_e . Сопротивление обмотки якоря R_a , сопротивление серийной обмотки R_c , сопротивление дополнительных полюсов R_d , падение напряжения на щетках $\Delta U_{щ}$, КПД η . Определить сумму механических, магнитных и добавочных потерь,

потребляемую и номинальную полезную мощность двигателя. Исходные данные для решения задачи приведены в таблице 5.

Таблица 5. Параметры двигателя постоянного тока смешанного возбуждения

№	$U_{н}, В$	$I_{а}, А$	$I_{в}, А$	$R_{а}, Ом$	$R_{с}, Ом$	$R_{д}, Ом$	$\Delta U_{щ}, В$	$\eta, \%$
1	220	450	4,0	0,0095	0,00065	0,004	2	90
2	220	485	3,9	0,0085	0,00058	0,0035	2	90
3	220	507	4,85	0,0081	0,00054	0,0032	2,5	88
4	230	436	4,1	0,0092	0,00058	0,0036	2,2	87
5	230	412	3,6	0,0103	0,00062	0,0039	2,3	89
6	220	436	3,55	0,0106	0,00059	0,0035	2,1	88,5
7	220	468	4,62	0,00875	0,0007	0,0042	1,8	87,5
8	230	477	4,75	0,00843	0,00066	0,004	1,85	89,5
9	220	492	4,7	0,0089	0,0007	0,0041	1,8	89
10	220	378	3,7	0,0101	0,00082	0,0045	1,7	89
11	220	393	3,76	0,00905	0,00079	0,0044	1,75	88
12	220	364	3,51	0,00907	0,00083	0,0046	1,9	90
13	220	327	3,12	0,0111	0,00091	0,0051	1,9	89
14	220	313	3,02	0,0127	0,00094	0,0055	1,95	89
15	220	333	3,21	0,0122	0,00092	0,0053	1,9	89,5
16	220	307	2,95	0,0129	0,00102	0,0056	1,9	88,5
17	230	314	2,98	0,0122	0,001	0,0051	2,1	87,5
18	230	322	3,1	0,0177	0,00091	0,0055	2,2	89
19	230	348	3,3	0,0105	0,0008	0,0054	2,2	89
20	230	376	3,5	0,0101	0,00078	0,0052	2	89,5
21	230	362	3,48	0,011	0,00081	0,005	2,2	89,7
22	220	297	2,72	0,0122	0,00089	0,0061	2,1	87,8
23	220	276	2,62	0,0129	0,00091	0,0064	1,8	88,5
24	220	258	2,41	0,0136	0,00097	0,0068	1,88	88
25	220	242	2,35	0,0142	0,00098	0,007	1,75	89
26	220	236	2,24	0,0148	0,00102	0,0076	2	89,5
27	220	225	2,12	0,0152	0,00112	0,0079	2	90
28	220	206	1,94	0,0161	0,00118	0,0082	2	90

Пример решения задачи 5.

Дано:

$$U_{н} = 220 \text{ В};$$

$$I_{н} = 206 \text{ А};$$

$$i_{в} = 1,94 \text{ А};$$

$$R_{а} = 0,0161 \text{ Ом};$$

$$R_{с} = 0,00118 \text{ Ом};$$

$$R_{д} = 0,0082 \text{ Ом};$$

$$\Delta U_{щ} = 2 \text{ В};$$

$$\eta = 90\%.$$

Найти: $\Delta P_0, P_1, P_2$.

Решение. На рисунке 3 представлена принципиальная электрическая схема двигателя постоянного тока со смешанным возбуждением. Якорная цепь представляет собой последовательное соединение серийной (последовательной) обмотки возбуждения СОВ, обмотки дополнительных полюсов ОДП и якорной обмотки, изображенной окружностью с меткой М – мотор. Как известно, подключение якорной обмотки к внешним цепям производится посредством щеточно-коллекторного

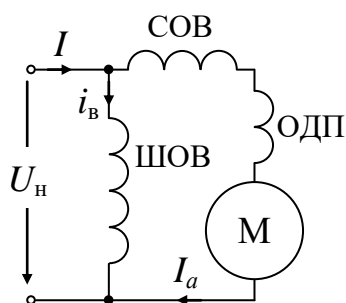


Рис. 3. Принципиальная электрическая схема двигателя постоянного тока со смешанным возбуждением.

контакта, который обладает некоторым сопротивлением. В каждом из перечисленных элементов якорной цепи при протекании тока выделяется тепло, а значит, теряется электроэнергия, пропорциональная второй степени тока:

$$\Delta P_{эл} = I_a^2 R_{a\Sigma}, \text{ Вт}, \quad (16)$$

где $R_{a\Sigma}$ - суммарное сопротивление якорной цепи. В это сопротивление входит и сопротивление щеточного контакта, однако в данной задаче оно задано неявно – через падение напряжения при номинальном токе якорной обмотки.

С учетом потерь в этом сопротивлении формула электрических потерь примет вид:

$$\Delta P_{эл} = I_a^2 (R_a + R_c + R_d) + I_a U_{щ}, \text{ Вт}, \quad (17)$$

Ток якорной цепи может быть найден из уравнения, составленного для узла цепи по второму правилу Кирхгофа:

$$I_a = I - i_B, \text{ А}, \quad (18)$$

$$I_a = 206 - 1,94 = 204,06 \text{ (А)}.$$

Подстановка числовых значений в формулу (17) дает следующий результат:

$$\Delta P_{эл} = 204,06^2 (0,0161 + 0,00118 + 0,0082) + 204,06 \cdot 2 = 1493 \text{ (Вт)}$$

В соответствии с формулой (4), для потерь холостого хода, включающих в себя механические, магнитные и добавочные потери, будет справедливо:

$$\Delta P_0 = \Delta P - \Delta P_{эл} - \Delta P_B, \text{ Вт}. \quad (19)$$

Мощность P_1 из формулы коэффициента полезного действия в данном случае есть электрическая мощность, потребляемая двигателем из сети:

$$P_1 = U_H I_H, \text{ Вт}$$

$$P_1 = 220 \cdot 206 = 45747 \text{ (Вт)}.$$

Выходная номинальная мощность:

$$P_2 = \frac{P_1 \eta}{100}, \text{ Вт}.$$

$$P_2 = \frac{45747 \cdot 90}{100} = 41172, \text{ (Вт)}.$$

По току возбуждения и номинальному напряжению находим потери мощности на возбуждение:

$$\Delta P_B = i_B U_H, \text{ Вт}.$$

$$\Delta P_B = 1,94 \cdot 220 = 426,8 \text{ (Вт)}.$$

Вычислив полные потери как разность потребляемой и полезной мощностей, и подставив их значение в формулу (19), получим искомые потери холостого хода:

$$\Delta P = 45747 - 41172 = 4575 \text{ (Вт)}.$$

$$\Delta P_0 = 4575 - 1493 - 426,8 = 2655 \text{ (Вт)}.$$

Ответ: $\Delta P_0 = 2655 \text{ Вт}$, $P_1 = 45747 \text{ Вт}$, $P_2 = 41172 \text{ Вт}$.

Задача 6.

Генератор постоянного тока, включенный по схеме с независимым возбуждением, при номинальной частоте вращения $n_n=1460$ об/мин имеет характеристику холостого хода, приведенную в табл. 6. Сопротивление цепи возбуждения R_v . Определить, какой будет ЭДС генератора при данном сопротивлении цепи возбуждения и номинальной частоте вращения, если обмотка возбуждения будет включена на зажимы якоря. Какой должна быть частота вращения, чтобы вырабатываемая генератором параллельного возбуждения ЭДС была равна E_1 . Определить величину сопротивления цепи возбуждения R_{v1} , при котором ЭДС генератора будет равна E_1 при номинальной частоте вращения. При каком предельном значении $R_{v.kp}$ генератор возбуждается? Исходные данные для решения задачи приведены в таблице 7.

Таблица 6. Характеристика холостого хода генератора постоянного тока.

i_v, A	0,6	0,94	1,71	4,05
E, B	115	172,5	230	287,5

Таблица 7. Данные для решения задачи 6.

n_0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
R_v, M	189	164	152	143	140	133	135	104	94,3	81,25	77	75	71	69
E_1, B	230	230	220	230	250	250	250	180	190	200	230	220	230	250
n_0	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
R_v, OM	189	164	152	143	140	133	135	104	94,3	81,25	77	75	71	69
E_1, B	250	250	260	270	170	180	190	200	280	210	220	200	250	230

Пример решения задачи 6.

Дано:

$$R_v = 75 \text{ Ом};$$

$$E_1 = 230 \text{ В};$$

Найти: $E, R_{v1}, n_1, R_{v.kp}$.

Решение. На рисунке 2 представлена принципиальная электрическая схема генератора постоянного тока с подключенной к зажимам якорной обмотки шунтовой (параллельной обмоткой возбуждения). Когда генератор работает вхолостую, то

есть $I = 0$, схема замещения якорной цепи имеет вид, изображенный на рисунке 4. Если пренебречь сопротивлением якорной цепи, которое на несколько порядков

меньше сопротивления цепи возбуждения, контур возбуждения будет описываться следующим уравнением, составленным по второму правилу Кирхгофа:

$$i_B R_B = E(i_B), \quad (20)$$

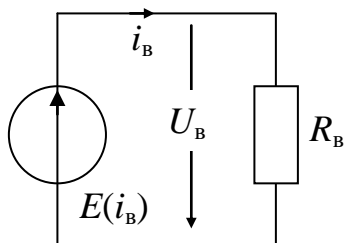


Рис. 4. Схема замещения генератора постоянного тока с параллельным возбуждением в режиме холостого хода.

где $E(i_B)$ - зависимость электродвижущей силы якорной обмотки от тока возбуждения, имеющая нелинейный вид. Из-за нелинейности этой характеристики решение уравнения (20) аналитическим способом затруднено, и задача будет решена графически. Графическое решение уравнения (20) есть точка пересечения вольтамперной характеристики цепи возбуждения $U_B = i_B R_B$ и характеристики холостого хода $E = f(i_B)$. Поскольку для решения задачи используется графический метод, все построения будут являться

элементами и инструментами решения, поэтому, в отличие от обычных иллюстраций, они должны быть выполнены по точным данным и оформлены так, чтобы с координатных осей могли быть максимально точно сняты искомые значения тока и напряжения. Оптимальным будет изображение графиков на миллиметровой бумаге.

Характеристика холостого хода строится по данным таблицы 6. Для построения вольтамперной характеристики цепи возбуждения необходимо задаться любым значением тока возбуждения из диапазона таблицы 6 и по формуле

$$U_B = i_B R_B \quad (21)$$

вычислит ординату искомой точки. Вторая точка характеристики проходит через начало координат (рис. 5).

Ордината точки пересечения характеристики холостого хода, снятой при номинальной частоте вращения машины, и вольтамперной характеристики цепи возбуждения, построенной для сопротивления R_B , дает искомое значение ЭДС $E = 287$ В.

Вольтамперная характеристика цепи возбуждения, соответствующая сопротивлению R_{B1} , должна пересекать номинальную характеристику холостого хода при ЭДС $E_1 = 230$ В. Значит, она должна проходить через точку с координатами $[i_{B1}; E_1]$. Выразив из уравнения (21) сопротивление и подставив в полученное выражение заданное значение ЭДС E_1 и снятое по графику значение тока i_{B1} , получим искомое сопротивление R_{B1} :

$$R_{B1} = \frac{E_1}{i_{B1}}$$

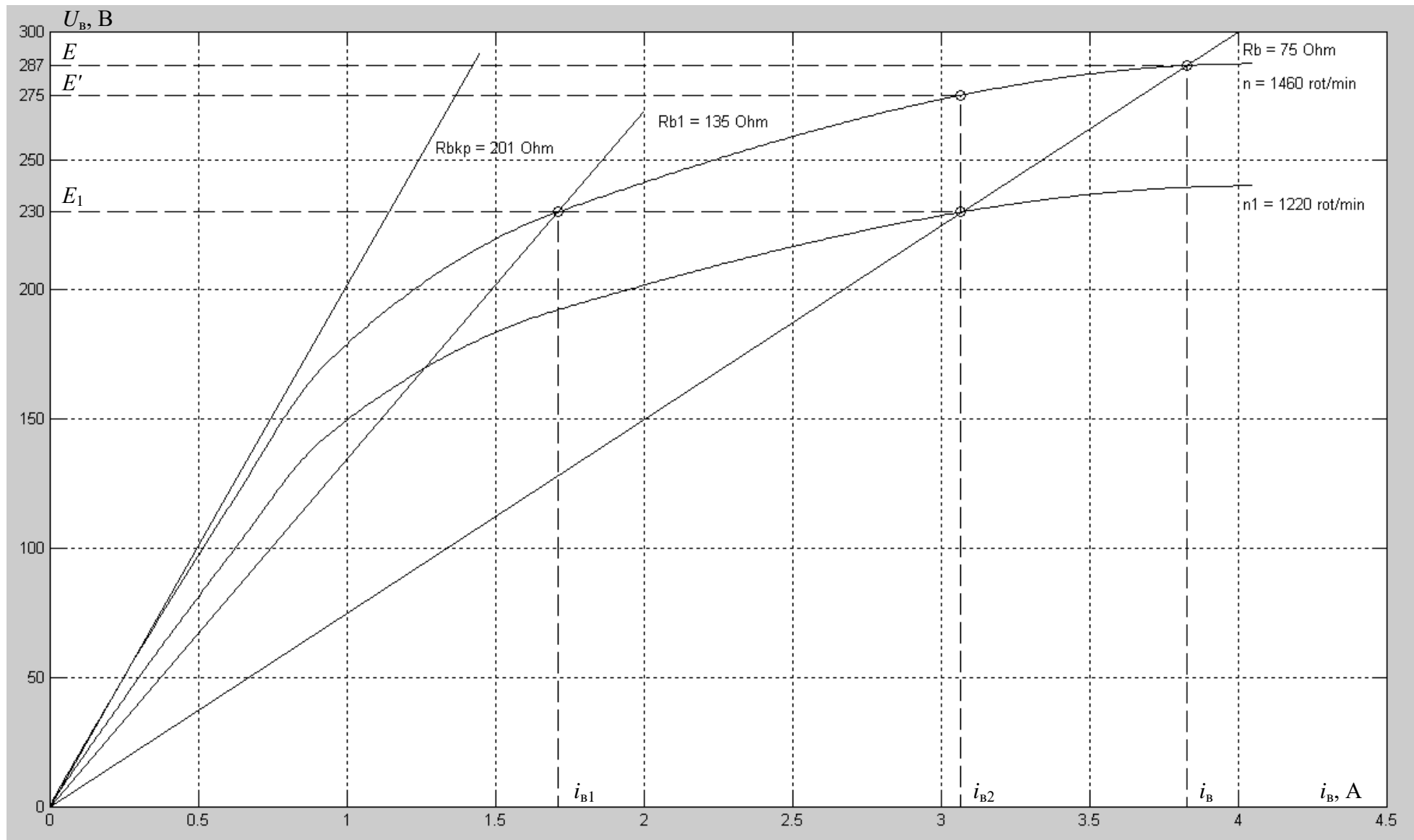


Рис. 5. Вольтамперные характеристики цепи возбуждения и характеристики холостого хода генератора постоянного тока параллельного возбуждения при различных значениях сопротивления цепи возбуждения и частоты вращения.

$$R_{в1} = \frac{230}{1,71} = 135 \text{ (Ом)}.$$

Для того чтобы определить частоту вращения, необходимую для получения на выходе машины ЭДС E_1 при сопротивлении цепи возбуждения $R_{в}$, следует руководствоваться следующими соображениями. Во-первых, характеристика холостого хода, соответствующая измененной частоте вращения, должна пересекать вольтамперную характеристику, соответствующую $R_{в}$ при ЭДС E_1 . Во-вторых, в соответствии с формулой электродвижущей силы якорной обмотки

$$E = C_e \Phi n, \text{ (В)}, \quad (22)$$

она прямо пропорциональна частоте вращения ротора при неизменном потоке, а неизменность потока обеспечивается неизменностью тока возбуждения. Это значит, что при токе возбуждения $i_{в2}$ по номинальной характеристике холостого хода необходимо определить ЭДС E' , для которой будет справедливо:

$$\frac{E'}{E_1} = \frac{C_e \Phi n_H}{C_e \Phi n_1} = \frac{n_H}{n_1}. \quad (23)$$

Из пропорции (23) будет получено искомое значение частоты вращения:

$$n_1 = \frac{E_1}{E'} n_H, \text{ об/мин},$$

$$n_1 = \frac{230}{275} 1460 = 1220 \text{ (об/мин)}.$$

Критическим называется такое сопротивление цепи возбуждения, при котором не происходит самовозбуждения машины в режиме холостого хода. Это значит, что вольтамперная характеристика цепи возбуждения пересекается с характеристикой холостого хода при таком значении ЭДС, которое существенно меньше номинального значения. Такое взаимное расположение будет получено, если провести вольтамперную характеристику по касательной к усредненной, проходящей через начало координат, характеристике холостого хода (в действительности характеристика холостого хода представляет собой петлю, не проходящую через начало координат). Для определения $R_{в.кр}$ на такой характеристике нужно взять любую точку и, используя формулу (21), рассчитать искомое сопротивление.

Ответ: $E = 287 \text{ В}$, $R_{в1} = 135 \text{ Ом}$, $n_1 = 1220 \text{ об/мин}$, $R_{в.кр} \approx 201 \text{ Ом}$.

Задача 7.

Какое сопротивление необходимо включить в цепь якоря двигателя параллельного возбуждения номинальной мощности P_H с номинальным напряжением U_H , чтобы при неизменных значениях номинального момента на валу и тока возбуждения частота вращения двигателя уменьшилась вдвое? Сопротивление цепи якоря R_a , сопротивление цепи возбуждения $R_{в}$, КПД двигателя η . Исходные данные для решения задачи приведены в таблице 8.

Таблица 8. Параметры двигателя постоянного тока параллельного возбуждения.

N_0	$P_{\text{н}}$ кВт	$U_{\text{н}}$ В	$R_{\text{а}}$ Ом	$R_{\text{в}}$ Ом	η %	N_0	$P_{\text{н}}$ кВт	$U_{\text{н}}$ В	$R_{\text{а}}$ Ом	$R_{\text{в}}$ Ом	η %
1	0,75	220	2,28	720	77	15	7,1	220	0,081	201	85,5
2	1,2	220	1,792	359	76,5	16	8,1	220	0,044	181	86,5
3	2	220	0,805	265	79	17	9,5	220	0,081	148	87,5
4	1,7	220	1,17	295	78	18	10	220	0,069	117	88,5
5	2,5	220	0,788	156	76	19	12	220	0,044	117	89
6	3,4	220	0,413	0,411	78	20	18,5	220	0,024	49,4	87,2
7	5,3	220	0,242	96,3	80	21	26	220	0,038	49,2	88
8	8,5	220	0,167	89	84,5	22	0,17	220	27,2	610	47,5
9	14	220	0,08	76	86	23	0,25	220	15,47	610	57
10	13	220	0,081	61,5	85,5	24	0,37	220	10,61	610	61,5
11	18	220	0,037	53,1	87	25	1	220	2,52	365	72,5
12	16	220	0,044	49,4	86,5	26	0,9	220	2,85	340	73
13	11	220	0,096	65,3	85,5	27	1,1	220	2,2	295	74
14	24	220	0,024	49,4	88	28	3,6	220	0,42	129	79

Пример решения задачи 7.

Дано:

$$P_{\text{н}} = 3,6 \text{ кВт};$$

$$U_{\text{н}} = 220 \text{ В};$$

$$R_{\text{а}} = 0,42 \text{ Ом};$$

$$R_{\text{в}} = 129 \text{ Ом};$$

$$\eta = 79 \text{ \%}.$$

Найти: $R_{\text{п}}$.

Решение.

Принципиальная электрическая схема двигателя постоянного тока параллельного возбуждения с введенным в якорную цепь последовательным сопротивлением представлена на рисунке 6.

Для расчета сопротивления $R_{\text{п}}$ можно воспользоваться уравнением электромеханической характеристики двигателя постоянного тока:

$$\omega = \frac{U_{\text{н}}}{c\Phi} - \frac{R_{\text{а}}}{c\Phi} I_{\text{а}}, \text{ (рад/с)}. \quad (24)$$

Условие неизменности момента на валу при неизменном потоке означает, что ток якоря машины также остается неизменным. На этом основании для вдвое меньшей частоты вращения, полученной за счет введения в якорную цепь сопротивления, будет справедливо:

$$\frac{\omega}{2} = \frac{U_{\text{н}}}{c\Phi} - \frac{R_{\text{а}}+R_{\text{п}}}{c\Phi} I_{\text{а}}, \text{ (рад/с)}. \quad (25)$$

Выразив из уравнения (25) частоту вращения и приравняв два выражения частоты, получим:

$$\frac{U_{\text{н}}}{c\Phi} - \frac{R_{\text{а}}}{c\Phi} I_{\text{а}} = 2 \left(\frac{U_{\text{н}}}{c\Phi} - \frac{R_{\text{а}}+R_{\text{п}}}{c\Phi} I_{\text{а}} \right).$$

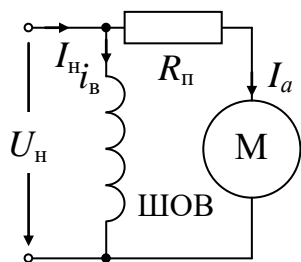


Рис. 6. Принципиальная электрическая схема двигателя постоянного тока с параллельным возбуждением.

После преобразования последнего выражения будет получена расчетная формула R_{π} :

$$R_{\pi} = 0,5 \left(\frac{U_{\text{н}}}{I_a} - R_a \right), \text{ Ом.} \quad (26)$$

Ток якоря может быть найден по первому правилу Кирхгофа для узла цепи: формула (18). Для расчета тока возбуждения следует воспользоваться законом Ома:

$$i_{\text{в}} = \frac{U_{\text{н}}}{R_{\text{в}}}, \text{ А,}$$
$$i_{\text{в}} = \frac{220}{129} = 1,7 \text{ (А).}$$

Ток, потребляемый двигателем из сети в номинальном режиме, может быть выражен из формулы (13):

$$I_{\text{н}} = \frac{P_1}{U_{\text{н}}}, \text{ А,}$$

в которой P_1 – входная мощность, связанная с номинальной выходной мощностью формулой (5):

$$P_1 = \frac{P_{\text{н}}}{\eta} 100, \text{ Вт,}$$
$$P_1 = \frac{3600}{79} 100 = 4557 \text{ (Вт),}$$
$$I_{\text{н}} = \frac{4557}{220} = 20,71 \text{ (А),}$$
$$I_a = 20,71 - 1,7 = 19,01 \text{ (А).}$$

Теперь может быть рассчитано сопротивление, обеспечивающее снижение частоты вращения электродвигателя вдвое:

$$R_{\pi} = 0,5 \left(\frac{220}{19,01} - 0,42 \right) = 5,58 \text{ (Ом).}$$

Ответ: $R_{\pi} = 5,58 \text{ Ом.}$

Вопросы для подготовки к защите контрольной работы.

1. Чем обусловлено разнообразие конструкций якорных обмоток? Какова область применения якорных обмоток разных типов?
2. Что такое параллельные ветви и как они образуются?
3. Что в конструкции якорной обмотки машины постоянного тока определяет напряжение между щетками?
4. Что в конструкции якорной обмотки машины постоянного тока определяет ток якоря?
5. Какие обмотки предусматриваются конструкцией машины постоянного тока? Как они изображаются на принципиальных электрических схемах?

6. Дайте сравнительную характеристику генераторам с различными схемами возбуждения.

7. Что такое внешняя, регулировочная, нагрузочная характеристики генератора постоянного тока? Какой вид имеют эти характеристики у генераторов с различными схемами возбуждения?

8. В чем заключается обратимость машины постоянного тока?

9. Как перевести двигатель постоянного тока в генераторный режим работы?

10. Как называются генераторные режим работы двигателя постоянного тока, при которых энергия, вырабатываемая в якоре, расходуется на балластное сопротивление?

11. Как называется генераторный режим работы двигателя постоянного тока, при котором энергия, вырабатываемая в якоре, передается в электрическую сеть?

12. Какие способы регулирования частоты вращения двигателя постоянного тока позволяют изменять скорость вверх от основной?

13. Какие способы регулирования частоты вращения двигателя постоянного тока позволяют изменять скорость вниз от основной?

14. При каком способе регулирования частоты вращения двигателя постоянного тока независимого возбуждения, работающего с неизменной нагрузкой на валу, при изменении скорости изменяется ток якоря?

15. При каких способах регулирования частоты вращения двигателя постоянного тока независимого возбуждения, работающего с неизменной нагрузкой на валу, при изменении скорости ток якоря остается неизменным?

16. На что расходуется энергия, потребляемая двигателем постоянного тока в режиме стоянки под током?

17. Каковы составляющие электрических потерь в машине постоянного тока?

18. Какова взаимосвязь между мощностью машины постоянного тока и сопротивлением ее якорной цепи?

19. Как необходимо осуществлять пуск мощного двигателя постоянного тока с независимым возбуждением?

Кафедра электрооборудования судов

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

по дисциплине

"Электрические машины"

Тема:

**"ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
МАШИНАХ ПОСТОЯННОГО ТОКА"**

Выполнил: студент группы _____

Фамилия И.О.

" ____ " _____ 20__ г.

_____ (подпись)

Проверил: преподаватель

Фамилия И.О.

" ____ " _____ 20__ г.

_____ (подпись)

Мурманск

20__