

Министерство образования Российской Федерации

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ**

Северо-Западный Государственный заочный технический университет

Кафедра электротехники и электромеханики

ИСПЫТАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Рабочая программа

Задание на контрольную работу

Методические указания к выполнению контрольной работы

Факультет-энергетический

Направление и специальность подготовки

дипломированных специалистов:

654500 - электротехника, электромеханика и электротехнологии

180100 - электромеханика

Санкт-Петербург

2003

Утверждено редакционно-издательским советом университета

УДК 621.313

Испытания электрических машин: Рабочая программа, задание на контрольную работу, методические указания к выполнению контрольной работы. - СПб.: СЗТУ, 2003 - 19 с.

Рабочая программа соответствует Государственным образовательным стандартам высшего профессионального образования по направлениям подготовки дипломированных специалистов 654500 (специальность 180100-электромеханика).

Приведены рабочая программа, задание на контрольную работу и методические указания к ее выполнению.

Рассмотрено на заседании кафедры электротехники и электромеханики 21.04.03 г. протокол №9.

Одобрено методической комиссией энергетического факультета 22.05.03 г. протокол № 9.

Рецензенты: кафедра электротехники и электромеханики СЗТУ
(зав. кафедрой В.И. Рябуха, канд. техн. наук,
проф.); Г.А.Борисов, канд. техн. наук, доц.
СПбГЭТУ

Составитель В.Е.Воробьев, канд. техн. наук, доц.

© Северо-Западный государственный заочный технический университет, 2003

ПРЕДИСЛОВИЕ

Испытания являются важнейшей составляющей процессов проектирования, производства и эксплуатации электрических машин. Без их проведения невозможно не только установление достоверных технико-эксплуатационных характеристик электрических машин, но и качественная их эксплуатация.

Настоящий курс не предполагает рассмотрения вопросов опытного определения всех характеристик электрической машины. Большая часть таких испытаний основывается на приемах и методах, общих для любых электротехнических устройств, например измерение силы тока, мощности, коэффициента мощности и т.п. Здесь рассматриваются только те виды испытаний, которые отражают специфику электрической машины как одного из видов преобразователей энергии, а также - принципиальные положения автоматизации испытаний.

1. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. РАБОЧАЯ ПРОГРАММА (Объём 65 часов)

ВВЕДЕНИЕ

Место и значение испытаний в процессе проектирования, производства и эксплуатации электрических машин.

Раздел 1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

[4]: с.7...12

Показатели качества и стандартизация методов испытаний. Виды испытаний и их характеристика. Основные принципы построения методики проведения испытаний. Требования к измерительному оборудованию.

Вопросы для самопроверки

1. Что понимается под качеством электрической машины?
2. Перечислите группы показателей качества.
3. Какие важнейшие аспекты эксплуатации электрических машин отражает группа показателей называемая “показатели назначения”?
4. Назовите основной принцип деления испытаний электрических машин на промышленные и исследовательские.
5. Перечислите и дайте краткую характеристику видам испытаний электрических машин.
6. Перечислите основные требования к методике проведения испытаний.
7. Каковы основные принципы построения методики опытного определения величин, являющихся функцией нескольких параметров ?
8. Что следует понимать под погрешностью метода; как она определяется ?
9. Назовите виды погрешностей и дайте их краткую характеристику.
10. Какие требования предъявляют стандарты к приборам для измерения электрических величин ?

Раздел 2. ОБЩИЕ МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ

[1]: с.37...48; 56...79; [2]: с.73...125; 128...149; 155...172; 220...275

Характеристики электрических машин. Методы нагружения электрических машин. Методы измерения потерь и КПД: общая характеристика потерь, физическое обоснование возможных методов, методы непосредственного определения КПД, косвенные методы.

Методы измерения неэлектрических величин: измерение вращающих моментов, частоты вращения, скольжения асинхронных двигателей, угла нагрузки синхронных машин, температур.

Измерение шума и вибрации: параметры шума и вибрации, шумовые характеристики и единицы измерения, оборудование для измерения шума, методы измерения шума, параметры вибрации и измеряемые величины, оборудование и методы измерения вибрации.

Измерение радиопомех, создаваемых электрическими машинами: источники промышленных радиопомех, их допустимые уровни, защита от радиопомех, генерируемых электрическими машинами.

Вопросы для самопроверки

1. Перечислите эксплуатационные характеристики генераторного и двигательного режимов работы электрических машин.
2. Назовите методы нагружения электрических машин. Дайте их принципиальную характеристику.
3. Дайте общую характеристику потерь в электрических машинах с точки зрения возможности их экспериментального определения.
4. Назовите два вида методов экспериментального определения КПД, применение которых допускается соответствующими стандартами.
5. Каковы принципиальные различия между этими методами ?
6. По какой причине экспериментально найденное значение КПД приводится к определенным условиям? Каковы эти условия ?
7. В чем состоит сущность перечисленных ниже методов измерения КПД: измерение механической мощности, измерение электрической мощности, метода тарированной вспомогательной машины ?
8. К какому виду методов измерения КПД относится каждый из них?
9. Дайте характеристику следующим косвенным методам определения КПД: методу взаимной нагрузки и методу отдельных потерь.

10. Напишите выражения для расчета КПД при использовании косвенных методов в случае генераторного и двигательного режимов работы.
11. Дайте оценку погрешности при измерении КПД методом отдельных потерь.
12. Какова структура измерительной системы при определении неэлектрических величин электрическими методами ?
13. Назовите методы измерения вращающих моментов и дайте их краткую характеристику.
14. Опишите в общих чертах конструкцию моментомера.
15. Приведите характеристику возможных вариантов измерения частоты вращения методами: прямого преобразования, сравнения и частотными.
16. Какова особенность методов измерения скольжения асинхронных двигателей ?
17. Объясните принцип стробоскопического метода измерения скольжения.
18. В чем заключается принцип измерения угла нагрузки синхронных машин ?
19. Перечислите датчики температуры, используемые для измерения нагрева узлов и активных частей электрических машин.
20. Назовите методы измерения температуры и дайте их краткую характеристику.
21. Перечислите источники шума, создаваемого электрическими машинами и дайте их общую характеристику с точки зрения физической природы и частоты.
22. Дайте определение звука. Каков его частотный диапазон и скорость распространения в материалах, используемых в конструкции электрических машин ?
23. Приведите определение основных характеристик звука.
24. Что понимается под пороговыми значениями этих характеристик?
25. В каких единицах оцениваются в технике величины звукового давления, мощности, интенсивности и почему ?
26. Что представляет собой прибор для измерения шума ? Что он измеряет ?
27. Что отражают частотные характеристики обозначаемые буквами А, В, С шумомера. На какой из них обычно производятся измерения и почему ?

28. Для каких целей осуществляется контроль(измерение) вибрации электрических машин ?
29. Назовите параметры, которыми может характеризоваться периодическая вибрация.
30. Что понимается под терминами : смещение, скорость, ускорение и резкость вибрации ?
31. Какие характеристики используются для количественной оценки амплитудных значений вибрации?
32. При каких режимах и в каком положении электрической машины производится контроль ее вибрации?
33. Что является причиной и источником радиопомех в электрических машинах?
34. Каким образом проявляются радиопомехи, создаваемые электрическими машинами?
35. В каких диапазонах частот осуществляется контроль радиопомех, создаваемых электрическими машинами?
36. Каким образом осуществляется защита от радиопомех, создаваемых электрическими машинами?

Раздел 3. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ИСПЫТАНИЙ

[2] : с. 276...290

Причины необходимости автоматизации испытаний. Постановка задачи и структура автоматизированных систем испытаний электрических машин. Общие принципы автоматизации и особенности экспериментальных методов при автоматизации испытаний.

Средства автоматизации испытаний. Типовая схема автоматизированных экспериментальных исследований. Автоматизация приемосдаточных испытаний.

Вопросы для самопроверки

1. Какова средняя трудоемкость проведения контрольных операций при производстве электрических машин?
2. Назовите средние нормы времени на проведение испытаний и обработку их результатов при проведении приемосдаточных и периодических испытаний.

3. По каким причинам ужесточение и расширение требований к качеству электрических машин обуславливает необходимость автоматизации их испытаний?

4. Чем обусловлена особенность, а значит и необходимость косвенных методов испытаний, и как следствие - автоматизации подобных испытаний?

5. Назовите причины, по которым эксплуатация современного оборудования, основным элементом которого является электрическая машина, обуславливает необходимость автоматизации процесса контроля параметров последней .

6. В чем состоят достоинства автоматизированной системы испытаний (АСИ) ?

7. Дайте характеристику структуры АСИ.

8. Какие методы измерений используются в АСИ ?

9. Перечислите особенности методов экспериментальных исследований, используемых в АСИ.

10. В чем заключается особенность косвенных методов, применяемых в АСИ ?

11. Назовите и дайте характеристику общим принципам, на которых строятся АСИ.

1.2. ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН ЛЕКЦИЙ

ДЛЯ СТУДЕНТОВ ОЧНО-ЗАОЧНОЙ ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ (12 ч)

1. Общие вопросы испытания электрических машин	2 ч.
2. Методы измерения потерь и КПД	2 ч.
3. Методы измерения неэлектрических величин (моментов, частоты вращения, скольжения, угла нагрузки).....	2 ч.
4. Измерение шума и вибрации	2 ч.
5. Измерение радиопомех, создаваемых электрическими машинами.....	2 ч.
6. Вопросы автоматизации испытаний электрических машин.....	2 ч.

1.3. ТЕМАТИКА ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ (8 ч)

1. Определение технико-эксплуатационных показателей однофазного трансформатора.	4 ч.
2. Определение границ допустимого разброса значений номинальных параметров трехфазного асинхронного двигателя с к.з. ротором.	4 ч.

2. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Основная:

1. Котеленец Н.Ф., Кузнецов Н.Л. Испытание и надежность электрических машин – М.: Высш. шк., 1988
2. Коварский Е.М., Янко Ю.И. Испытание электрических машин - М.: Энергоатомиздат, 1990

Дополнительная:

3. Жерве Г.Н. Промышленные испытания электрических машин – Л.: Энергоатомиздат, 1984
4. Гольдберг О.Д. Испытание электрических машин – М.: Высш. шк., 1990
5. ГОСТ 11828 – 86 Машины электрические вращающиеся. Общие методы испытаний.
6. ГОСТ 7217 – 79 Электродвигатели трёхфазные асинхронные. Методы испытаний.
7. ГОСТ 10159 – 79 Машины электрические постоянного тока. Методы испытаний.
8. ГОСТ 10169 – 77 Машины электрические синхронные трёхфазные. Методы испытаний.
9. ГОСТ 3484 – 77 Трансформаторы силовые. Методы испытаний.
10. Кенио Т., Нагамори С. Двигатели постоянного тока с постоянными магнитами – М.: Энергоатомиздат, 1989
11. Микроэлектродвигатели для систем автоматики (технический справочник) / Под ред. Э.А.Лодочникова и Ф.М.Юферова – М.: Энергия, 1969.

3. ЗАДАНИЕ НА КОНТРОЛЬНУЮ РАБОТУ

При испытаниях электрических машин находят широкое применение косвенные методы определения различных их параметров и показателей качества.

Особое значение эти методы приобретают в случаях, когда прямое нахождение параметров связано с определенными техническими трудностями, например значительные погрешности при измерении небольших по величине вращающих моментов.

В настоящей контрольной работе рассматривается один из таких методов определения рабочих характеристик коллекторных микродвигателей постоянного тока с возбуждением от постоянных магнитов, основанный на данных опытов х.х. и к. з.

Вариант задания определяется последней цифрой шифра зачетной книжки.

В таблице представлены некоторые из параметров, полученных при проведении приемосдаточных испытаний коллекторных микродвигателей серии ДПМ с возбуждением от постоянных магнитов [2].

Используя эти данные, необходимо :

- рассчитать и построить рабочие характеристики;
- определить параметры номинального режима, исходя из стандартного ряда частот вращения, определяемых ГОСТ 10683-63.

Номер вариан- та	U	R_a	Холостой ход		Режим пуска		n_n
			n_o	I_{ao}	$M_{п}$	$I_{ап}$	
	В	Ом	об/мин	А	Гсм	А	об/мин
1	27	218	4900	0,023	36	0,115	4000
2	6	35,5	2160	0,046	20,5	0,158	2000
3	12	14,9	7800	0,079	89	0,78	6000
4	12	28	6100	0,063	51	0,42	5000
5	12	71,5	3650	0,038	29	0,16	2200
6	27	76,5	5050	0,036	147	0,33	4000
7	27	107	3950	0,03	126	0,24	2200
8	27	50	6100	0,046	178	0,5	5000
9	12	9,4	5900	0,105	196	1,25	4000
0	12	20,5	3900	0,07	129	0,57	2200

4. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Известно, что очень удобным инструментом при анализе рабочих свойств электрических машин являются их эквивалентные электрические схемы (схемы замещения).

Посмотрим, каким образом можно представить такую схему для электродвигателей рассматриваемого типа.

Для микроэлектродвигателей с достаточной для практики точностью механические потери можно рассчитать, пользуясь следующей зависимостью [10]

$$p_{\text{мх}} = C_{\text{мх}} \cdot \Omega^2 \quad (1)$$

С другой стороны

$$E = k \cdot \Omega \cdot \Phi = k_{\phi} \cdot \Omega \quad (2)$$

и следовательно

$$p_{\text{мх}} = \frac{C_{\text{мх}}}{k_{\phi}^2} \cdot E^2 = k_{\text{мх}} \cdot E^2 \quad (3)$$

У микромашин, имеющих сравнительно низкие магнитные нагрузки, потери в стали в основном определяются потерями от вихревых токов. Поэтому они пропорциональны Ω^2 или, как следует из уравнения (3), так же как и механические потери пропорциональны E^2

Тогда эквивалентная схема замещения микроэлектродвигателя постоянного тока может быть представлена в таком виде [10]

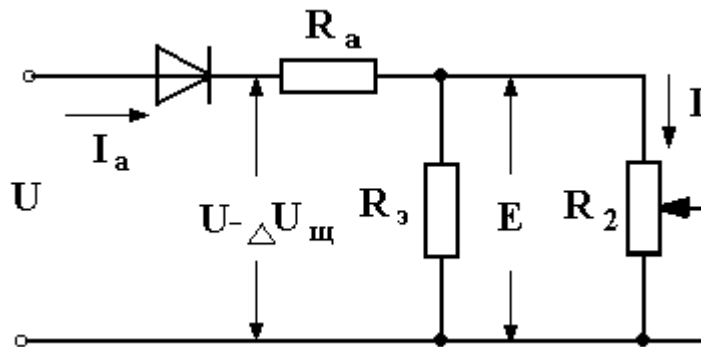


Рис. 1

где: U - напряжение питания; R_a - сопротивление обмотки якоря, а R_3 , в соответствии с приведенным выше рассуждением, эквивалентно сумме потерь в стали и механических.

В микромашинах при протекании тока через щетки падение напряжения в них можно принять постоянным. Это моделируется диодом включенным в прямом направлении, который и определяет падение напряжения в щеточном контакте ($\Delta U_{щ}$).

Полезная мощность двигателя определяется мощностью выделяемой в сопротивлении R_2 . Величина последней - переменна, так как определяется моментом нагрузки на валу: в режиме холостого хода $R_2 = \infty$, а в режиме короткого замыкания (пуск двигателя) $R_2 = 0$,

На основании схемы замещения сопротивление эквивалентное потерям в стали и механическим в соответствии с уравнением равновесия ЭДС для режима холостого хода равно

$$R_3 = \frac{U - \Delta U_{щ}}{I_{ao}} - R_a = \frac{U'}{I_{ao}} - R_a \quad (4)$$

Падение напряжения в щеточном контакте может быть определено из режима короткого замыкания, для которого уравнение равновесия ЭДС имеет вид

$$U = I_{ап} \cdot R_a + \Delta U_{щ} \quad (5)$$

Величина ЭДС при $\Omega \neq 0$ определяется по общему правилу как

$$E = U - \Delta U_{\text{щ}} - I_a R_a = U^I - I_a R_a \quad (6)$$

Следовательно, пользуясь схемой замещения, можно записать следующие очевидные соотношения:

- потери мощности в двигателе

$$\Sigma p = p_{\text{эл } a} + (p_{\text{мх}} + p_{\text{см}}) = \frac{(U^I - E)^2}{R_a} + \frac{E^2}{R_{\text{э}}}$$

- мощность им потребляемая

$$P_1 = U \cdot I_a = U \cdot \frac{U^I - E}{R_a} \quad (7)$$

- полезная мощность

$$P_2 = P_{\text{эм}} - (p_{\text{мх}} + p_{\text{см}}) = \frac{U^I - E}{R_a} \cdot E - \frac{E^2}{R_{\text{э}}} \quad (8)$$

- коэффициент полезного действия

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{E}{U} - \frac{R_a}{R_{\text{э}}} \cdot \frac{E^2}{U(U^I - E)} \quad (9)$$

Для определения показателей номинального режима работы необходимо знать рабочие характеристики двигателя. Чаще всего они представляют собой зависимости I_a, P_1, η, P_2, n от момента.

Известно, что

$$M = k \cdot \Phi \cdot I = k_{\phi} \cdot I$$

Следовательно

$$M = k_{\phi} \cdot \left(I_a - \frac{E}{R_{\text{э}}} \right) \quad (10)$$

С другой стороны, ток I_a можно определить из уравнения равновесия ЭДС, откуда он равен

$$I_a = \frac{U^I - E}{R_a} \quad (11)$$

Поэтому

$$M = k_\phi \left(\frac{U^I - E}{R_a} - \frac{E}{R_\varepsilon} \right) = k_\phi \cdot \left(\frac{U^I - k_\phi \Omega}{R_a} - \frac{k_\phi \Omega}{R_\varepsilon} \right)$$

Отсюда

$$\Omega = \frac{K^2 - 1}{k_\phi \cdot K^2} \cdot \left(U^I - M \cdot \frac{R_a}{k_\phi} \right) \quad (12)$$

где
$$K = \sqrt{1 + \frac{R_\varepsilon}{R_a}}$$

Постоянная k_ϕ может быть определена по данным опыта холостого хода из уравнения

$$U = E_0 + I_{a0} \cdot R_a + \Delta U_{щ} = k_\phi \cdot \Omega_0 + I_{a0} \cdot R_a + \Delta U_{щ}$$

и равна

$$k_\phi = \frac{U^I - I_{a0} R_a}{\Omega_0} \quad (13)$$

Тогда ток, потребляемый двигателем в рассматриваемом режиме

$$I_a = \frac{U^I - E}{R_a}$$

Мощность потребляемая двигателем из сети

$$P_1 = U \cdot I_a \quad (14)$$

Часть её расходуется на покрытие потерь в цепи якоря

$$I_a^2 R_a + \Delta U_{щ} \cdot I_a, \quad ,$$

а оставшаяся часть представляет собой так называемую электромагнитную мощность

$$P_{эм} = E \cdot I_a$$

Полезная мощность двигателя меньше этой мощности на величину потерь в стали и механических, т. е. равна

$$P_2 = P_{\text{эм}} - (p_{\text{мх}} + p_{\text{ст}}) = k_{\phi} \cdot (I_a - \frac{k_{\phi} \Omega}{R_{\text{я}}}) \cdot \Omega$$

С другой стороны,

$$P_2 = M \cdot \Omega \quad (15)$$

и, следовательно,

$$M = k_{\phi} \cdot (I_a - \frac{k_{\phi} \Omega}{R_{\text{я}}}) = M_{\text{эм}} - M_0$$

КПД двигателя

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \quad (16)$$

Уравнения (8) и (9) позволяют определить наибольшее значение полезной мощности или КПД.

Как видно из этих уравнений, и в том и в другом случаях переменным параметром является ЭДС.

Из условия $\partial P_2 / \partial E = 0$ находится её величина, соответствующая P_{2m} :

$$E_p = \frac{U^I}{2} \cdot \frac{K^2 - 1}{K^2}$$

Тогда величина максимума полезной мощности определяется следующим уравнением:

$$P_{2m} = \frac{U^{I2}}{4R_a} \cdot \frac{K^2 - 1}{K^2} \quad (17)$$

Ей соответствуют

$$I_{ap} = \frac{U^I}{2R_a} \cdot \frac{K^2 + 1}{K^2} \quad ; \quad (18)$$

$$\Omega_p = \frac{U^I}{2k_{\phi}} \cdot \frac{K^2 - 1}{K^2} \quad ; \quad (19)$$

$$M_p = k_{\phi} \cdot \frac{U^I}{2R_a} \quad ; \quad (20)$$

$$\eta_p = \frac{U^I}{2U} \cdot \frac{K^2 - 1}{K^2 + 1} \quad (21)$$

ЭДС, соответствующая максимальному значению КПД, определяется из условия $\partial \eta / \partial E = 0$ и равна

$$E_{\eta} = U^I \cdot \frac{K-1}{K}$$

Отсюда величина максимального КПД

$$\eta_m = \frac{U^I}{U} \cdot \frac{K-1}{K+1} \quad (22)$$

Ему соответствуют:

$$I_{a\eta} = \frac{U^I}{R_a} \cdot \frac{1}{K} \quad (23)$$

$$\Omega_{\eta} = \frac{U^I}{k_{\phi}} \cdot \frac{K-1}{K} \quad (24)$$

$$M_{\eta} = \frac{U^I}{R_a} \cdot \frac{k_{\phi}}{K+1} \quad (25)$$

$$P_{2\eta} = \frac{U^{I2}}{R_a} \cdot \frac{K-1}{K(K+1)} \quad (26)$$

Таким образом, задавшись ещё тремя значениями момента:

$$0 < M < M_{\eta}$$

$$M_{\eta} < M < M_p$$

$$M_p < M < M_{\pi}$$

и определив по приведенным выше уравнениям соответствующие им значения I_a, P_1, η, P_2, n , строят рабочие характеристики (рис.2)

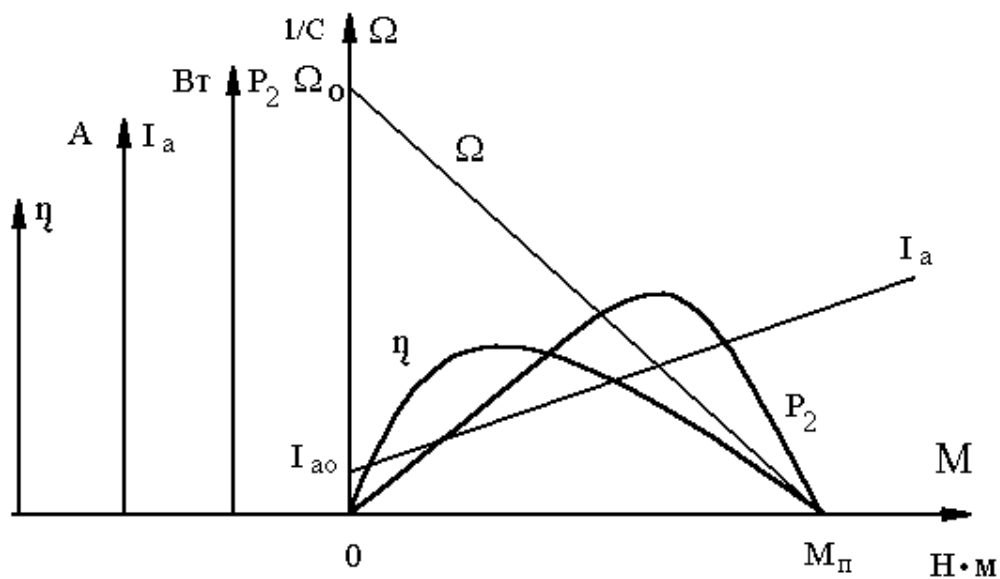


Рис. 2

Номинальный режим определяется величиной частоты вращения указанной в табл.1 (n_n).

Параметры номинального режима, найденные из рабочих характеристик:

$$U \quad , \quad \text{В} \qquad M \quad , \quad \text{Н}\cdot\text{м}$$

$$I_a \quad , \quad \text{А} \qquad P_2 \quad , \quad \text{Вт}$$

$$P_I = U \cdot I_a \quad , \quad \text{Вт} \qquad \eta$$

$$n \quad , \quad \text{об/мин}$$

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	3
1. Содержание дисциплины.....	4
2. Библиографический список.....	9
3. Задание на контрольную работу.....	10
4. Методические указания к выполнению контрольной работы.....	11

Редактор И.Н. Садчикова

Сводный темплан 2003 г.

Лицензия ЛР № 020308 от 14.02.97

Подписано в печать		Формат		60*84	1/16
Б.кн.-журн.	П.Л. 1,125	Б.л.	0,562	РТП РИО СЗТУ.	
	Тираж 55		Заказ		

Северо–Западный государственный заочный технический университет

РИО СЗТУ, член Издательско-полиграфической ассоциации
вузов Санкт-Петербурга

191186, Санкт-Петербург, ул. Миллионная, 5