

Практическая работа № 3

Определение расчетных, эксплуатационных параметров двигателей постоянного тока при решении задач

1 Цель работы: освоить методы расчета параметров двигателей постоянного тока

2 Оснащение рабочего места:

- методические указания для проведения практических работ;
- калькулятор

3 Краткие теоретические сведения:

Коллекторные машины обладают свойством обратимости, т.е. они могут работать как в режиме генератора, так и в режиме двигателя. Поэтому если машину постоянного тока подключить к источнику энергии постоянного тока, то в обмотке возбуждения и в обмотке якоря машины появятся токи. Взаимодействие тока якоря с полем возбуждения создает на якоре электромагнитный момент M , который является не тормозящим, как в генераторе, а вращающим. Под действием электромагнитного момента якоря машина начнет вращаться, т. е. машина будет работать в режиме двигателя, потребляя из сети электрическую энергию и преобразуя ее в механическую. В процессе работы двигателя его якорь вращается в магнитном поле. В обмотке якоря индуцируется ЭДС E_a , направление которой можно определить по правилу «правой руки». По своей природе она не отличается от ЭДС, наводимой в обмотке якоря генератора. В двигателе же, ЭДС направлена против тока I_a , и поэтому ее называют противо-электродвижущей силой (противо-ЭДС) якоря.

Частота вращения двигателя прямо пропорциональна напряжению и обратно пропорциональна магнитному потоку возбуждения. Регулировать частоту вращения двигателя можно изменением либо напряжения U , подводимого к двигателю, либо основного магнитного потока Φ , либо электрического сопротивления в цепи якоря r_a .

Направление вращения якоря зависит от направлений магнитного потока возбуждения Φ и тока в обмотке якоря I_a . Поэтому, изменив направление какой-либо из указанных величин, можно изменить направление вращения якоря. Следует иметь в виду, что переключение общих зажимов схемы у рубильника не дает изменения направления вращения якоря, так как при этом одновременно изменяется направление тока и в обмотке якоря, и в обмотке возбуждения.

4 Основные формулы:

Уравнение напряжений:

$$U = E_a + I_a \cdot \sum r$$

где E_a - электродвижущая сила (ЭДС) обмоток якоря, В;

I_a - ток якоря, А;

$\sum r$ - сопротивление цепи якоря, Ом

Пусковой ток двигателя, А:

$$I_{\text{п}} = \frac{U}{\sum r}$$

Мощность, подводимая к двигателю, Вт:

$$P_1 = U \cdot I_a$$

Электромагнитная мощность, Вт:

$$P_{\text{эм}} = E_a \cdot I_a = M \cdot \omega = 0,105 \cdot M \cdot n$$

Угловая скорость вращения якоря, рад/с:

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60},$$

Частота вращения якоря, об/мин:

$$n = \frac{E_a}{N a \Phi} = \frac{U - I_a \sum r}{C_e \Phi}.$$

Электродвижущая сила якоря:

$$E_a = C_e \cdot \Phi \cdot n,$$

где Φ - основной магнитный поток, Вб

Постоянная для данного типа машины:

$$C_e = \frac{p \cdot N}{60 \cdot a},$$

где N - количество пазовых проводников в одной параллельной ветви обмотки

a - число параллельных ветвей;

p - число пар полюсов

Электромагнитный момент, Н*м:

$$M = C_m \cdot \Phi \cdot I_a = \frac{9,55 \cdot P_{\text{эм}}}{n},$$

Постоянная величина для данного типа машины.

$$C_m = \frac{p \cdot N}{2 \cdot \pi \cdot a}$$

Момент на валу двигателя (полезный момент), Н*м:

$$M_2 = M - M_0 = \frac{9,55 \cdot P_{\text{эм}}}{n},$$

где M_0 - момент холостого хода, Н*м

Коэффициент полезного действия (КПД) двигателя:

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

5 Порядок выполнения работы:

5.1 Изучить краткие теоретические сведения, изложенные в п. 3.

5.2 Изучить основные формулы, изложенные в п. 4.

5.3 Рассчитать параметры двигателей постоянного тока в соответствии со своим вариантом (см. таблицу 3.1), используя формулы изложенные в п. 4., и примеры решения задач.

Таблица 3.1 - Варианты для решения задач

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
№ задач	1;2;4; 6;8.	1;3;5; 7;9.	1;4;6; 9;10.	1;5;7; 6;2.	1;6;8; 7;3.	1;7;9; 8;4.	1;8;2; 9;5.	1;9;3; 2;6.	1;2;5; 3;7.	1;3;6; 4;8.	1;4;7; 5;9.	1;5;8; 6;10.	1;6;9; 7;3.	1;7;2; 8;4.	1;8;3; 9;6.

Задачи:

Задача 1

Двигатель постоянного тока независимого возбуждения имеет параметры (значения параметров даны в таблице 3.2): номинальная мощность двигателя $P_{ном}$, напряжение питания цепи якоря $U_{ном}$, напряжения питания цепи возбуждения U_v , частота вращения якоря в номинальном режиме $n_{ном}$, сопротивление цепи якоря Σr и цепи возбуждения r_v , приведенные к рабочей температуре, падения напряжения в щёточном контакте при номинальном токе $\Delta U_{щ}=2В$, номинальное изменение напряжения при сбросе нагрузки $\Delta n_{ном}=8,0 \%$, ток якоря в режиме холостого хода I_0 .

Требуется определить все виды потерь и КПД двигателя.

Таблица 3.2 - Варианты для задачи 1

Параметры	Вариант															
	*	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$P_{ном}, кВт$	25	40	53	75	16	11	15	18	42	40	80	63	54	47	32	28
$U_{ном}, В$	440	440	440	440	220	220	440	440	220	220	440	440	220	220	220	440
$U_v, В$	220	220	220	220	220	110	220	220	110	110	220	220	220	220	110	220
$I_0, А$	6	7.5	8	10.8	8.7	5.8	6.3	7.8	4.3	5.6	9.1	7.9	11	8.1	7.2	7.3
$\Sigma r, Ом$	0.3	0.17	0.12	0.17	0.18	0.27	0.12	0.13	0.15	0.3	0.16	0.26	0.15	0.22	0.3	0.16
$r_v, Ом$	60	55	42	40	60	27	88	73	88	65	40	48	77	61	80	63
$n_{ном}, об/мин$	2200	1000	2360	3150	1500	800	1500	1000	1200	2000	2300	2100	1800	1700	900	990

Решение варианта *

1 Частота вращения в режиме холостого хода:

$$n_0 = n_{ном}(1 + (\Delta n_{ном}/100)) = 2200(1 + 8/100) = 2376 \text{ об/мин}$$

2 ЭДС якоря в режиме холостого хода (падением напряжения в щеточном контакте пренебрегаем ввиду его незначительной величины в режиме х. х.):

$$E_{a0} = U_{ном} - I_0 \Sigma r = 440 - 6 * 0,3 = 438,2 \text{ В}$$

3 Момент в режиме холостого хода

$$M_0 = 9,55 E_{a0} I_0 / n_0 = 9,55 * 438,2 * 6 / 2376 = 10,6 \text{ Н*м}$$

4 Момент на валу двигателя в режиме номинальной нагрузки

$$M_{2ном} = 9,55 P_{ном} / n_{ном} = 9,55 * 25 * 10^3 / 2200 = 108,5 \text{ Н*м}$$

5 Электромагнитный момент двигателя при номинальной нагрузке

$$M_{ном} = M_0 + M_{2ном} = 10,6 + 108,5 = 119 \text{ Н*м}$$

6 Электромагнитная мощность двигателя в режиме номинальной нагрузки

$$P_{эм,ном} = 0,105 M_{ном} n_{ном} = 0,105 * 119 * 2200 = 27490 \text{ Вт}$$

7 ЭДС якоря в режиме холостого хода можно представить как

$$E_{a0} = c_e \Phi n_0,$$

Откуда $c_e \Phi = E_{a0} / n_0 = 438,2 / 2376 = 0,185$, но так как $c_M / c_e = 9,55$, то

$$c_M \Phi = 9,55 c_e \Phi = 9,55 * 0,185 = 1,77$$

Из выражения электромагнитного момента в режиме номинальной нагрузки

$$M_{ном} = c_M \Phi I_{аном}$$

Определим значение тока якоря в режиме номинальной нагрузки

$$I_{аном} = M_{ном} / (c_M \Phi) = 119 / 1,77 = 67 \text{ А}$$

8 Сумма магнитных и механических потерь двигателя пропорциональна моменту холостого хода

$$P_{магн} + P_{мех} = 0,105 M_0 n_0 = 0,105 * 10,6 * 2376 = 2644 \text{ Вт}$$

9 Электрические потери в цепи якоря

$$P_{a,з} = I_{аном}^2 \Sigma r = 67^2 * 0,3 = 1347 \text{ Вт}$$

10 Электрические потери в щеточном контакте

$$P_{щ,з} = I_{аном} * \Delta U_{щ} = 67 * 2 = 134 \text{ Вт}$$

11 Мощность, подводимая к цепи якоря, в номинальном режиме

$$P_{1аном} = U_{ном} * I_{аном} = 440 * 67 = 29480 \text{ Вт}$$

12 Ток в обмотке возбуждения

$$I_в = U_в / r_в = 220 / 60 = 3,7 \text{ А}$$

13 Мощность в цепи возбуждения

$$P_в = U_в I_в = 220 * 3,7 = 814 \text{ Вт}$$

14 Мощность, потребляемая двигателем в режиме номинальной нагрузки

$$P_{1ном} = P_{1аном} + P_в = 29480 + 814 = 30295 \text{ Вт или } 30,30 \text{ кВт}$$

15 Добавочные потери

$$P_{доб} = 0,01 * P_1 = 0,01 * 30295 = 303 \text{ Вт}$$

16 КПД двигателя в номинальном режиме.

$$\eta_{ном} = (P_{ном} / P_{1ном}) * 100 = (25 / 30,3) * 100 = 82,5 \%$$

Задача 2

Найти момент на валу двигателя постоянного тока, если известно что: $M_0=1,25 \text{ Нм}$; $C_M=50$; $\Phi=0,015 \text{ Вб}$; $I_a=30 \text{ А}$.

Задача 3

Двигатель постоянного тока параллельного возбуждения имеет параметры: $U=220 \text{ В}$, $E_a=210 \text{ В}$, $r_a=0,5 \text{ Ом}$, $\eta=85 \%$, $n=1500 \text{ об/мин}$. Найти потребляемую мощность, полезную мощность, момент на валу двигателя.

Задача 4

Найти номинальный и пусковой ток двигателя постоянного тока при реостатном пуске, если известно, что: $U=220 \text{ В}$, $r_a=0,061 \text{ Ом}$, $r_{\text{пр}}=0,2 \text{ Ом}$, $C_e=5$, $\Phi=0,015 \text{ Вб}$, $n=1500 \text{ об/мин}$.

Задача 5

Двигатель постоянного тока параллельного возбуждения номинальной мощностью $P_{\text{ном}}=75 \text{ кВт}$, работает от сети $U=220 \text{ В}$. КПД двигателя при номинальной нагрузке $\eta_{\text{ном}}=0,89$. Найти подводимую к двигателю мощность, ток потребляемый двигателем при номинальной нагрузке, суммарные потери.

Задача 6

Найти пусковые токи и моменты двигателя постоянного тока параллельного возбуждения при прямом и реостатном пуске, если: $U=220 \text{ В}$; $r_a=0,061 \text{ Ом}$; $r_{\text{пуск}}=0,2 \text{ Ом}$; $C_M=50$; $\Phi=0,015 \text{ Вб}$ (Магнитная система не насыщена $\Phi = \text{const}$).

Задача 7

Найти момент на валу двигателя постоянного тока параллельного возбуждения, если известно: $U=220 \text{ В}$; $r_a=0,061 \text{ Ом}$; $I_a=36 \text{ А}$; $\eta=90 \%$; $n=1500 \text{ об/мин}$.

Задача 8

Найти пусковой ток при прямом пуске двигателя постоянного тока параллельного возбуждения, а также сопротивление пускового реостата, чтобы $I_{\text{ап}}=2I_{\text{аном}}$, если: $r_a=0,1 \text{ Ом}$, $U=220 \text{ В}$, $E_a=210 \text{ В}$ при номинальном режиме.

Задача 9

Найти электромагнитную мощность, электромагнитный момент, противо-ЭДС двигателя постоянного тока, если известно: $U=220 \text{ В}$, $I_a=40 \text{ А}$, $n=2000 \text{ об/мин}$, $p=4$, $N=600$, $a=2$, $\Phi=0,01 \text{ Вб}$

Задача 10

Найти, потребляемую из сети двигателем постоянного тока, мощность, если известно: $M_2=10 \text{ Нм}$; $\eta=89 \%$; $n=1500 \text{ об/мин}$.

5.4 Оформить отчет.

5.5 Сделать вывод по работе.

6 Содержание отчета:

- 6.1 Название и цель работы.
- 6.2 Краткие теоретические сведения.
- 6.3 Расчеты параметров двигателей постоянного тока.
- 6.4 Ответы на контрольные вопросы.
- 6.5 Вывод по работе.

7 Контрольные вопросы:

- 7.1 Поясните, каковы особенности двигателя параллельного возбуждения.
- 7.2 Поясните, каковы особенности, двигателя последовательного возбуждения.
- 7.3 Поясните, каковы особенности двигателя смешанного возбуждения.
- 7.4 Перечислите и охарактеризуйте характеристики двигателя постоянного тока.
- 7.5 Охарактеризуйте основные способы регулирования частоты вращения двигателя постоянного тока.
- 7.6 Поясните, что такое универсальный коллекторный двигатель (УКД) и каковы его особенности.

Литература

- 1 Кацман М. М. Электрические машины: Учеб. для студентов средн. проф. учебных заведений. – 3-е изд., испр. - М.: - Высш. шк., 2001.- 463 с.: ил.
- 2 Шевчик Н. Е., Подгайский Г. Д. Электрические машины. - Мн.: Дизайн ПРО, 2000.- 256с.: ил.
- 3 Кацман М. М. Сборник задач по электрическим машинам: Учеб. для студ. учреждений сред. проф. образованию.-М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 160с.