

Министерство образования Республики Беларусь

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

Кафедра «Физика и электротехника»

А. В. Козлов

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

ПРАКТИКУМ

**по курсу «Электрические машины»
для студентов специальностей 1-43 01 03
«Электроснабжение (по отраслям)»
и 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация
энергооборудования организаций»
дневной и заочной форм обучения**

Гомель 2021

УДК 621.313.2(075.8)
ББК 31.261.5я73
К59

*Рекомендовано научно-методическим советом
энергетического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 8 от 26.05.2020 г.)*

Рецензент: доц. каф. «Электроснабжение» ГГТУ им. П. О. Сухого
канд. техн. наук, доц. *Ю. А. Рудченко*

Козлов, А. В.

К59 Электрические машины постоянного тока : практикум по курсу «Электрические машины» для студентов специальностей 1-43 01 03 «Электроснабжение (по отраслям)» и 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций» днев. и заоч. форм обучения / А. В. Козлов. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2021. – 44 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <https://elib.gstu.by>. – Загл. с титул. экрана.

Содержит два практических задания с индивидуальными вариантами и двенадцать вариантов тестовых заданий по электрическим машинам постоянного тока, которые могут быть использованы для контроля знаний и тренировки на практических занятиях.

Для студентов специальностей 1-43 01 03 «Электроснабжение (по отраслям)» и 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций» дневной и заочной форм обучения.

**УДК 621.313.2(075.8)
ББК 31.261.5я73**

© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2021

1. ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА НЕЗАВИСИМОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ

Задание к индивидуальной работе №1 по теме «Двигатель постоянного тока независимого возбуждения»

1. В соответствии с предложенным вариантом задания из таблицы 1.1 выбрать электродвигатель постоянного тока независимого возбуждения серии 2П.
2. Определить ток обмотки якоря $I_{аном}$, потребляемый электродвигателем из сети при номинальной нагрузке.
3. Определить номинальный электромагнитный момент, развиваемый на валу электродвигателя.
4. Рассчитать пусковой электромагнитный момент электродвигателя при пусковом токе $I_{ап} = 2I_{аном}$ (без учета реакции якоря) и соответствующее сопротивление пускового реостата.

5. Рассчитать и построить естественную механическую характеристику электродвигателя постоянного тока независимого возбуждения $\Omega = f(M)$.

6. Рассчитать и построить семейство искусственных механических характеристик электродвигателя при якорном регулировании частоты вращения при $\frac{U_a}{U_{аном}}$ равном 0,33; 0,67; 1,00 от номинального.

7. Рассчитать и построить искусственную механическую характеристику электродвигателя $\Omega = f(M)$ при введении в цепь якоря добавочного сопротивления равного $R_d = 9(R_a + R_{дп})$. При этом считать, что электромагнитный момент на валу электродвигателя остался неизменным и равным номинальному.

8. Считая характеристику холостого хода электродвигателя линейной, рассчитать и построить искусственную механическую характеристику $\Omega = f(M)$ при введении в цепь обмотки возбуждения добавочного сопротивления $R_{вд} = 0,3R_B$.

9. Рассчитать и построить семейство механических характеристик при реостатном пуске электродвигателя постоянного тока независимого возбуждения в диапазоне изменения момента $M = (1,2 \div 2,0)M_{ном}$. Определить скорости переключения, число ступеней пускового реостата и сопротивления его секций.

10. Нарисовать схему включения электродвигателя постоянного тока независимого возбуждения. Объяснить назначение добавочных сопротивлений в контурах машины.

11. Заключение сформулировать в виде пояснений по следующим вопросам:

– назвать основные элементы конструкции электрической машины постоянного тока;

– объяснить устройство щеточно-коллекторного узла, назначение коллектора и щеток в электродвигателе постоянного тока;

– охарактеризовать естественную механическую характеристику электродвигателя постоянного тока независимого возбуждения, указать причины уменьшения частоты вращения с ростом нагрузки;

– пояснить, каким образом осуществляется якорное регулирование частоты вращения электродвигателя постоянного тока независимого

возбуждения. Обосновать достоинства и недостатки данного способа регулирования;

- как реализуется реостатное регулирование частоты вращения электродвигателя постоянного тока независимого возбуждения. Дать характеристику реостатному регулированию частоты вращения, указав на его достоинства и недостатки;

- как реализуется полюсное регулирование частоты вращения электродвигателя постоянного тока независимого возбуждения; его достоинства и недостатки;

- назвать способы пуска электродвигателя постоянного тока;

- описать процесс реостатного пуска электродвигателя постоянного тока независимого возбуждения;

- пояснить по каким параметрам выбирается пусковой реостат;

- объяснить назначение добавочных сопротивлений в контурах электродвигателя постоянного тока.

**Технические данные двигателей постоянного тока
независимого возбуждения серии 2П с высотами осей
вращения 112 ÷ 315**

В таблице 1.1 приведены основные технические данные электродвигателей постоянного тока независимого возбуждения средней мощности с высотами оси вращения 112 ÷ 315 мм.

Таблица 1.1 Технические данные электродвигателей постоянного тока независимого возбуждения

№	Типоразмер двигателя	$P_{\text{ном}}$ кВт	U , В	n , $\frac{\text{об.}}{\text{мин.}}$	η , %	Сопротивления обмоток при 15 ⁰ С, Ом		
						R_a	$R_{\text{дп}}$	R_B
1	2	3	4	5	6	7	8	9
01.	2ПН112МУХЛ4	3,6	110	3150	78,5	0,084	0,089	33,6
02.	2ПН112ЛУХЛ4	5,6	110	3350	79,5	0,46	0,051	25,3
03.	2ПН132МУХЛ4	4,0	220	1500	79,0	0,564	0,336	134
04.	2ПН132МУХЛ4	7,0	220	2240	83,0	0,226	0,166	111

Продолжение таблицы 1.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
05.	2ПН132МУХЛ4	10,5	220	3000	84,0	0,140	0,094	111
06.	2ПН132ЛУХЛ4	5,5	220	1500	80,5	0,322	0,270	101
07.	2ПН132ЛУХЛ4	8,5	220	2200	84,0	0,167	0,124	89
08.	2ПН132ЛУХЛ4	14,0	220	3150	86,5	0,322	0,270	76
09.	2ПБ132МУХЛ4	3,7	110	2200	79,5	0,104	0,059	54,5
10.	2ПБ132МУХЛ4	4,5	110	3150	81,0	0,046	0,029	54,5
11.	2ПБ132ЛУХЛ4	3,2	110	1600	82,0	0,120	0,089	50
12.	2ПБ132ЛУХЛ4	4,5	220	2200	84,0	0,269	0,220	189
13.	2ПБ132ЛУХЛ4	5,3	220	3000	85,5	0,167	0,124	216
14.	2ПО132ЛУХЛ4	6,7	220	3000	86,0	0,120	0,089	138
15.	2ПФ132МУХЛ4	7,5	220	3000	85,0	0,140	0,094	111
16.	2ПФ132ЛУХЛ4	11,0	220	3000	85,5	0,080	0,066	76
17.	2ПН160МУХЛ4	13,0	220	2120	85,5	0,081	0,056	61,5
18.	2ПН160МУХЛ4	18,0	220	3150	87,0	0,037	0,024	53,1
19.	2ПН160ЛУХЛ4	11,0	220	1500	85,5	0,096	0,073	65,3
20.	2ПН160ЛУХЛ4	16,0	440	2360	87,5	0,71	0,131	13,4
21.	2ПН160ЛУХЛ4	24,0	220	3150	88,0	0,024	0,017	49,4
22.	2ПБ160МУХЛ4	4,2	220	1500	84,5	0,326	0,208	177
23.	2ПБ160МУХЛ4	6,0	220	2120	86,5	0,145	0,101	177
24.	2ПБ160ЛУХЛ4	8,1	220	3350	86,5	0,044	0,031	181
25.	2ПБ160ЛУХЛ4	7,5	220	2240	88,0	0,096	0,073	181
26.	2ПО160МУХЛ4	9,5	220	3000	87,5	0,081	0,056	148
27.	2ПБ180МУХЛ4	3,4	220	800	81,0	0,486	0,296	150

Продолжение таблицы 1.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
28.	2ПБ180МУХЛ4	12,0	220	3350	87,5	0,038	0,025	197
29.	2ПБ180ЛУХЛ4	5,6	440	1000	84,5	0,990	0,644	131
30.	2ПО180МУХЛ4	4,5	220	750	79,5	0,486	0,292	114
31.	2ПО180МУХЛ4	14,0	220	2120	89,0	0,058	0,037	98
32.	2ПО180МУХЛ4	17,0	220	3000	89,0	0,038	0,025	132
33.	2ПО180ЛУХЛ4	5,2	220	800	81,5	0,260	0,183	72,5
34.	2ПО180ЛУХЛ4	7,5	220	1000	84,0	0,168	0,110	72,5
35.	2ПО180ЛУХЛ4	16,0	440	2120	89,5	0,168	0,110	72,5
36.	2ПО180ЛУХЛ4	20,0	220	3000	90,0	0,025	0,018	98,5
37.	2ПФ180МУХЛ4	12,0	220	1060	82,0	0,150	0,092	49,2
38.	2ПФ180МУХЛ4	26,0	220	3150	89,0	0,022	0,015	49,2
39.	2ПФ180ЛУХЛ4	18,5	220	1500	87,0	0,065	0,044	46,7
40.	2ПФ180ЛУХЛ4	25,0	440	2200	89,5	0,136	0,084	46,0
41.	2ПФ180ЛУХЛ4	32,0	440	3150	90,5	0,065	0,044	46,7
42.	2ПН200МУХЛ4	8,5	220	800	82,0	0,188	0,116	61,6
43.	2ПН200МУХЛ4	13,0	220	1120	85,0	0,106	0,061	61,6
44.	2ПН200МУХЛ4	36,0	220	2200	88,5	0,026	0,016	46,0
45.	2ПН200МУХЛ4	60,0	440	3150	90,5	0,047	0,029	35,0
46.	2ПН200ЛУХЛ4	16,0	220	1000	86,0	0,083	0,053	55,0
47.	2ПН200ЛУХЛ4	53,0	440	2360	90,5	0,055	0,037	31,7
48.	2ПБ200ЛУХЛ4	6,0	220	800	84,5	0,220	0,150	137
49.	2ПБ200ЛУХЛ4	11,0	440	1500	89,0	0,286	0,168	137
50.	2ПФ200МУХЛ4	22,0	220	1600	87,5	0,047	0,029	46

Продолжение таблицы 1.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
51.	2ПФ200МУХЛ4	30,0	440	2200	90,0	0,106	0,061	46
52.	2ПФ200МУХЛ4	40,0	440	3000	90,5	0,071	0,041	96
53.	2ПФ200ЛУХЛ4	42,0	440	2360	90,5	0,055	0,037	31,7
54.	2ПФ200ЛУХЛ4	55,0	440	3150	91,0	0,031	0,020	31,7
55.	2ПО200МУХЛ4	6,0	220	750	83,5	0,294	0,100	96,0
56.	2ПО200МУХЛ4	9,0	220	1060	86,0	0,143	0,073	96,0
57.	2ПО200МУХЛ4	14,0	220	1500	88,0	0,071	0,042	96,0
58.	2ПО200МУХЛ4	20,0	220	2360	89,5	0,026	0,016	74,0
59.	2ПО200ЛУХЛ4	11,0	220	1000	86,5	0,125	0,080	102
60.	2ПО200ЛУХЛ4	17,0	220	1500	89,0	0,055	0,037	102
61.	2ПН225МУХЛ4	7,5	220	1500	77,0	0,350	0,101	82,43
62.	2ПН225МУХЛ4	11,0	220	600	79,5	0,202	0,068	62,25
63.	2ПН225МУХЛ4	22,0	220	1000	82,0	0,086	0,043	62,25
64.	2ПН225ЛУХЛ4	30,0	440	1060	84,5	0,196	0,070	38,5
65.	2ПН250МУХЛ4	15,0	220	530	80,0	0,142	0,078	37,9
66.	2ПН250МУХЛ4	18,0	220	630	80,5	0,110	0,054	37,9
67.	2ПН250МУХЛ4	22,0	440	850	81,0	0,235	0,096	28,7
68.	2ПН250МУХЛ4	37,0	440	1060	85,0	0,152	0,078	28,7
69.	2ПН250МУХЛ4	50,0	440	1500	87,0	0,110	0,054	29,8
70.	2ПН250МУХЛ4	55,0	440	1700	87,0	0,059	0,026	20,2
71.	2ПН250ЛУХЛ4	22,0	340	630	82,0	0,158	0,093	33,4
72.	2ПН250ЛУХЛ4	28,0	440	750	83,0	0,260	0,110	33,4
73.	2ПН250ЛУХЛ4	45,0	220	1000	85,5	0,030	0,016	25,1

Продолжение таблицы 1.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
74.	2ПН250ЛУХЛ4	71,0	440	1500	88,5	0,065	0,031	31,2
75.	2ПФ250ЛУХЛ4	22,0	220	500	78,0	0,122	0,064	33,4
76.	2ПФ250ЛУХЛ4	26,5	440	600	81,5	0,380	0,195	34,7
77.	2ПФ250ЛУХЛ4	28,0	220	600	82,2	0,082	0,047	33,4
78.	2ПФ250ЛУХЛ4	30,0	220	750	84,3	0,050	0,031	33,4
79.	2ПФ250ЛУХЛ4	37,0	340	750	83,2	0,122	0,064	25,1
80.	2ПФ250ЛУХЛ4	45,0	340	1180	86,0	0,065	0,031	33,4
81.	2ПН280МУХЛ4	30,0	440	600	84,5	0,185	0,082	30,0
82.	2ПН280МУХЛ4	110	440	1500	89,5	0,034	0,015	30,0
83.	2ПН280ЛУХЛ4	37,0	440	600	86,0	0,147	0,069	26,6
84.	2ПН280ЛУХЛ4	132	440	1500	90,6	0,025	0,012	25,2
85.	2ПФ280МУХЛ4	75,0	220	1000	88,5	0,016	0,008	22,8
86.	2ПФ280МУХЛ4	110	220	1500	89,0	0,008	0,004	22,8
87.	2ПФ280ЛУХЛ4	55	220	750	87,5	0,025	0,012	25,2
88.	2ПФ280ЛУХЛ4	85	440	1000	88,7	0,050	0,025	19,7
89.	2ПН315МУХЛ4	100	440	1000	88,0	0,040	0,024	25,6
90.	2ПН315МУХЛ4	110	220	1000	89,0	0,008	0,005	18,8
91.	2ПН315МУХЛ4	160	220	1500	90,0	0,004	0,003	25,6
92.	2ПН315ЛУХЛ4	45	440	500	86,9	0,128	0,065	21,0
93.	2ПН315ЛУХЛ4	55	440	630	88,0	0,074	0,032	14,8
94.	2ПН315ЛУХЛ4	118	440	1000	89,0	0,032	0,016	21,0
95.	2ПН315ЛУХЛ4	132	440	1060	90,0	0,006	0,004	21,1
96.	2ПН315ЛУХЛ4	200	220	1500	91,0	0,003	0,002	21,0

Продолжение таблицы 1.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
97.	2ПФ315МУХЛ4	55	220	600	87,0	0,029	0,004	34,0
98.	2ПФ315МУХЛ4	160	440	1900	90,0	0,012	0,007	25,6
99.	2ПФ315ЛУХЛ4	90	220	750	88,0	0,013	0,008	21,0
00.	2ПФ315ЛУХЛ4	220	220	1500	91,0	0,003	0,002	21,0

Для электродвигателей постоянного тока независимого возбуждения установлена следующая структура обозначения типоразмера:

2П	Н	112	М	УХЛ	4
↓	↓	↓	↓	↓	↓
1	2	3	4	5	6

1 – серия электродвигателя постоянного тока независимого возбуждения –2П;

2 – конструктивное исполнение электродвигателя постоянного тока: «Н» – самовентилирующиеся электродвигатели; «Б» – электродвигатели с естественным охлаждением; «О» – с наружным обдувом электродвигателя от постороннего вентилятора; «Ф» – с независимой вентиляцией электродвигателя от постороннего вентилятора;

3 – высота оси вращения в миллиметрах. Государственными стандартами установлен следующий ряд высот оси вращения: 90, 100, 112, 132, 160, 180, 200, 225, 250, 280, 315 мм;

4 – условная длина сердечника якоря: «М» – первая длина, «L» – вторая длина;

5 – климатическое исполнение, «У» – электродвигатели, предназначенные для эксплуатации в районах с умеренным климатом; «ХЛ» – электродвигатели, предназначенные для эксплуатации в районах с холодным климатом;

6 – число полюсов электродвигателя.

Пример расчета

В соответствии с заданным преподавателем варианта из таблицы 1.1. выбираем электродвигатель постоянного тока независимого возбуждения типа 2ПН12МУХЛ4 со следующими номинальными данными:

– номинальная механическая мощность на валу электрического двигателя $P_{\text{НОМ}} = 3,6$ кВт;

– номинальное напряжение питающей сети постоянного тока $U_{\text{аНОМ}} = 110$ В;

– номинальная частота вращения якоря электродвигателя $n_{\text{НОМ}} = 3150$ об./мин.;

– номинальный коэффициент полезного действия электродвигателя $\eta_{\text{НОМ}} = 78,5$ %;

– электрическое сопротивление обмотки якоря при температуре окружающей среды 15°C $R_a = 0,084$ Ом;

– электрическое сопротивление обмотки добавочных полюсов $R_{\text{ДП}} = 0,089$ Ом;

– электрическое сопротивление обмотки возбуждения электродвигателя $R_{\text{В}} = 33,6$ Ом.

Ток, потребляемый обмоткой якоря электродвигателя постоянного тока из сети,

$$\begin{aligned} I_{\text{аНОМ}} &= \frac{P_{\text{НОМ}}}{\eta_{\text{НОМ}} U_{\text{аНОМ}}} = \\ &= \frac{3,6 \times 10^3}{0,785 \times 110} = 41,69 \text{ А.} \end{aligned}$$

Номинальный электромагнитный вращающий момент, развиваемый электродвигателем,

$$\begin{aligned} M_{\text{НОМ}} &= \frac{P_{\text{НОМ}} \times 30}{\pi n_{\text{НОМ}}} = \\ &= \frac{3,6 \times 10^3 \times 30}{3,14 \times 3150} = 10,92 \text{ Нм.} \end{aligned}$$

Для электродвигателя постоянного тока независимого возбуждения электромагнитный момент пропорционален току якорной обмотки. Поэтому электромагнитный пусковой момент при токе $I_{\text{ап}} = 2I_{\text{аНОМ}}$ будет равен

$$M_{\text{п}} = 2M_{\text{НОМ}} = 2 \times 10,92 = 21,84 \text{ Нм.}$$

Соответствующее сопротивление пускового реостата определится из формулы

$$I_{a\Pi} = \frac{U_{a\text{НОМ}}}{R_a + R_{\text{ДП}} + R_{\Pi}} = 2I_{a\text{НОМ}},$$

откуда

$$\begin{aligned} R_{\Pi} &= \frac{U_{a\text{НОМ}}}{2I_{a\text{НОМ}}} - R_a - R_{\text{ДП}} = \\ &= \frac{110}{2 \times 41,69} - 0,084 - 0,089 = 1,15 \text{ Ом}. \end{aligned}$$

Уравнение естественной механической характеристики электродвигателя имеет следующий вид

$$\Omega = \frac{U_a}{C_0\Phi} - \frac{(R_a + R_{\text{ДП}})}{C_0^2\Phi^2} M.$$

Произведение $C_0\Phi$ определим из уравнения равновесия напряжений якорной цепи

$$U_a = E_a + I_a(R_a + R_{\text{ДП}}).$$

Подставляя выражение для электродвижущей силы якоря $E_a = C_0\Phi\Omega$, получим

$$\begin{aligned} C_0\Phi &= \frac{U_{a\text{НОМ}} - (R_a + R_{\text{ДП}})I_{a\text{НОМ}}}{\Omega_{\text{НОМ}}} = \\ &= \frac{110 - (0,084 + 0,089) \times 41,69}{329,7} = 0,312, \end{aligned}$$

где

$$\Omega_{\text{НОМ}} = \frac{\pi n_{\text{НОМ}}}{30} =$$

$$= \frac{3,14 \times 3150}{30} = 329,7 \text{ рад./сек.}$$

Тогда уравнение естественной механической характеристики электродвигателя постоянного тока независимого возбуждения приобретает следующий вид

$$\begin{aligned} \Omega &= \frac{U_a}{C_0\Phi} - \frac{(R_a + R_{\text{ДП}})}{C_0^2\Phi^2} M = \\ &= 352,6 - 1,778M. \end{aligned}$$

Естественная механическая характеристика электродвигателя постоянного тока независимого возбуждения представлена на рисунке 1.1.

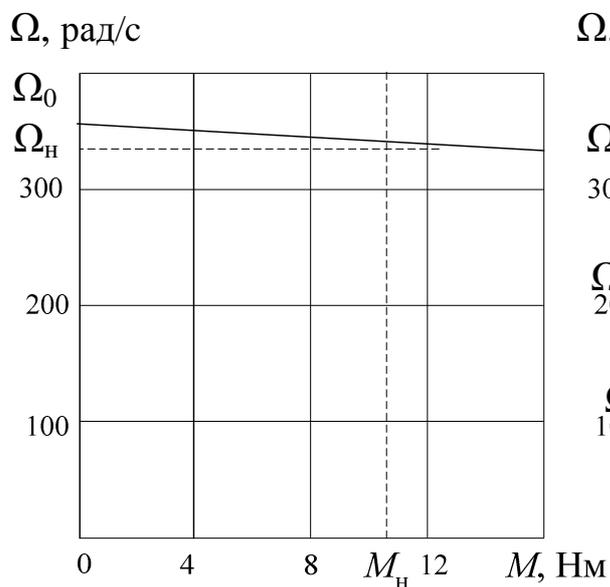


Рис.1.1

Естественная механическая характеристика ДПТ

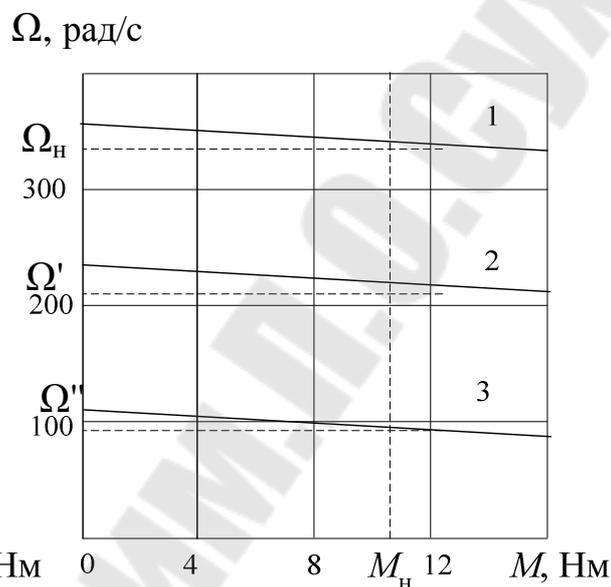


Рис. 1.2

Механические характеристики при якорном регулировании

При якорном регулировании электродвигателя постоянного тока независимого возбуждения наклон механической характеристики не изменится, а частота вращения холостого хода будет пропорциональна напряжению, приложенному к якорной обмотке электрической машины.

Таблица 1.2. Механические характеристики электродвигателя постоянного тока при якорном регулировании

U_a	$\frac{U_a}{U_{aном}}$	$1,00U_{ан}$	$0,67U_{ан}$	$0,33U_{ан}$
Ω_0	рад./сек.	352,8	236,4	116,4
$\Omega_{ном}$	рад./сек.	333,4	217,0	97,0

Семейство искусственных механических характеристик электродвигателя постоянного тока независимого возбуждения при якорном регулировании представлено на рисунке 1.2, где кривая 1 – естественная механическая характеристика для номинального напряжения сети $U_a = U_{аном}$; 2 – $U_a = 0,67U_{аном}$; 3 – $U_a = 0,33U_{аном}$.

При введении добавочного сопротивления в цепь обмотки якоря частота вращения холостого хода электродвигателя постоянного тока не изменится, а жесткость механической характеристики существенно уменьшится. Рассчитаем искусственную механическую характеристику электродвигателя постоянного тока независимого возбуждения для реостатного регулирования при добавочном сопротивлении в цепи якоря равном $R_d = 9(R_a + R_{дп})$

$$\begin{aligned} \Omega &= \frac{U_a}{C_0\Phi} - \frac{(R_a + R_{дп} + R_d)}{C_0^2\Phi^2} M = \\ &= \frac{110}{0,312} - \frac{[0,084 + 0,089 + 9(0,084 + 0,089)]}{0,312^2} M = \\ &= 352,6 - 17,78M. \end{aligned}$$

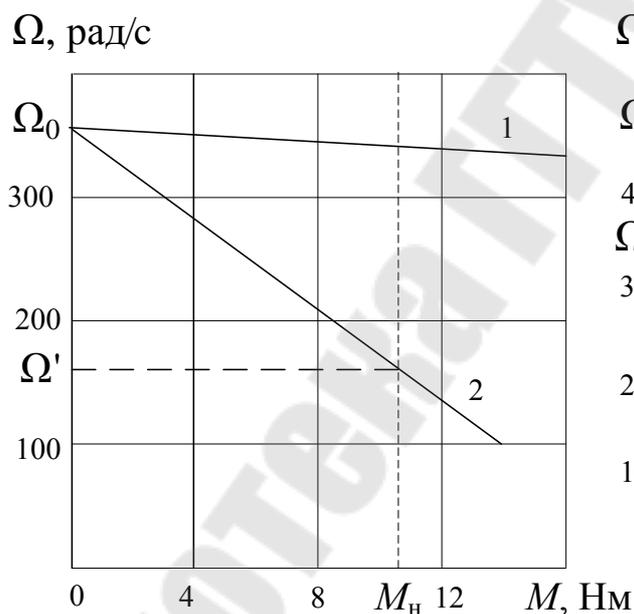


Рис. 1.3

Семейство механических характеристик ДПТ при реостатном регулировании

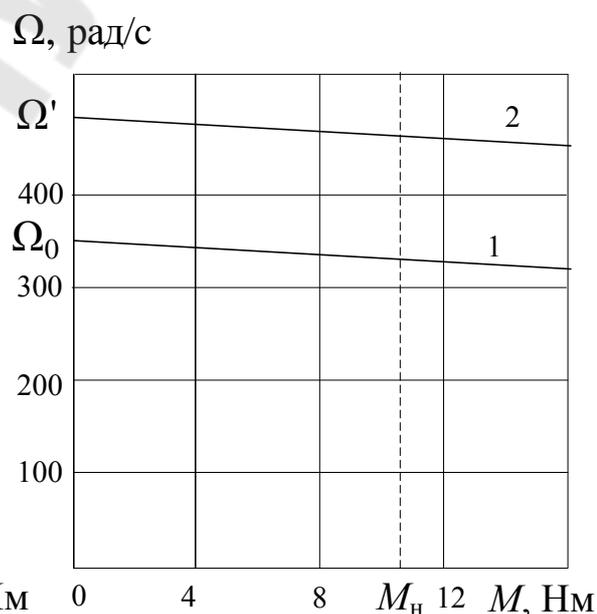


Рис. 1.4

Семейство механических характеристик ДПТ при полюсном регулировании

Семейство механических характеристик электродвигателя постоянного тока при реостатном регулировании его частоты вращения приведены на рисунке 1.3, где кривая 1 – естественная механическая характеристика двигателя; 2 – механическая характеристика при введении добавочного сопротивления $R_d = 9(R_a + R_{дп})$.

При введении добавочного сопротивления в цепь обмотки возбуждения уменьшается ток возбуждения и, следовательно, магнитный поток обмотки возбуждения машины. При ненасыщенной магнитной системе электродвигателя изменение магнитного потока возбуждения пропорционально изменению тока возбуждения. То есть при введении в цепь обмотки возбуждения добавочного сопротивления $R_{вд} = 0,3R_{в}$ ток и магнитный поток возбуждения уменьшатся в 0,77 раза, соответственно

$$\begin{aligned}\Omega &= \frac{U_a}{0,77C_0\Phi} - \frac{(R_a + R_{дп})}{0,77^2 C_0^2 \Phi^2} M = \\ &= \frac{110}{0,77 \times 0,312} - \frac{(0,084 + 0,089)}{(0,77 \times 0,312)^2} M = \\ &= 445,3 - 2,836M.\end{aligned}$$

Семейство механических характеристик электродвигателя постоянного тока независимого возбуждения для полюсного регулирования представлено на рисунке 1.4, где кривая 1 – естественная механическая характеристика двигателя при $\Phi = \Phi_{ном}$; 2 – механическая характеристика при введении добавочного сопротивления в цепь обмотки возбуждения ($\Phi = 0,77\Phi_{ном}$).

Построим механические характеристики электродвигателя постоянного тока независимого возбуждения при реостатном пуске. Процесс реостатного пуска заключается в том, что при достижении определенного значения развиваемого электродвигателем электромагнитного момента часть секций пускового сопротивления шунтируется. При полностью шунтированном пусковом реостате электродвигатель начинает работать на естественной механической характеристике и выходит на номинальный режим.

Пределы изменения момента при пуске электродвигателя определяются по следующим соображениям. Значение максимального момента при номинальном потоке электродвигателя обычно принимается по условиям коммутации равным $2 \div 2,5$. Что касается минимального момента, то его нужно принять, по крайней мере, на 10 ÷ 20% больше момента сопротивления механизма. Для построения реостатных характе-

ристик принимаем, что момент при пуске изменяется в пределах от $2M_{\text{НОМ}}$ до $1,2M_{\text{НОМ}}$.

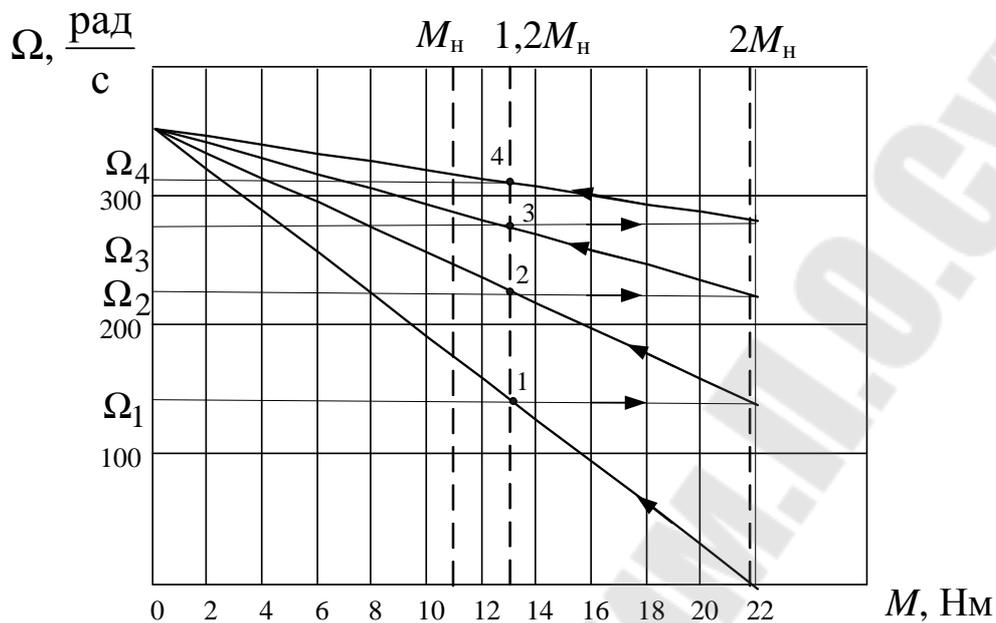


Рис. 1.5

Диаграмма пуска двигателя постоянного тока независимого возбуждения

Графически определяем скорости переключения секций пускового реостата при электромагнитном моменте на валу электродвигателя равном $1,2M_{\text{НОМ}}$ (точки 1, 2, 3, 4 на рисунке 1.5.):

$$\Omega_1 = 140 \text{ рад./сек.};$$

$$\Omega_2 = 225 \text{ рад./сек.};$$

$$\Omega_3 = 275 \text{ рад./сек.};$$

$$\Omega_4 = 310 \text{ рад./сек.}$$

По скорости переключения определим добавочные сопротивления для всех реостатных механических характеристик электродвигателя из формулы

$$\Omega = \frac{U_a}{C_0 \Phi} - \frac{(R_a + R_{\text{ДП}} + R_{\text{Д}})}{C_0^2 \Phi^2} M.$$

Для момента $M = 1,2M_{\text{НОМ}}$ получаем

$$R_{\text{Д}} = 2,437 - \frac{\Omega}{135,09}.$$

Заносим полученные результаты расчета в таблицу 1.3.

Таблица 1.3 Сопротивление секций пускового реостата

Ω	рад./сек.	310	275	225	140
$R_{д}$	Ом	0,142	0,401	0,771	1,401

Таким образом, имеем секционированный пусковой реостат, состоящий из четырех секций со следующими величинами сопротивлений секций:

$$R_{д1} = 1,401 - 0,771 = 0,630 \text{ Ом};$$

$$R_{д2} = 0,771 - 0,401 = 0,370 \text{ Ом};$$

$$R_{д3} = 0,401 - 0,142 = 0,259 \text{ Ом};$$

$$R_{д4} = 0,142 \text{ Ом}.$$

Пусковые реостаты предназначены для управления электродвигателями постоянного тока с параллельным или смешанным возбуждением. Пусковые реостаты осуществляют пуск электродвигателя постоянно-го тока путем ступенчатого изменения сопротивления в цепи обмотки якоря.

Они состоят из проволочных или ленточных резистивных элементов типов СН, СНл и ЦФ. Вместе с коммутирующим устройством они расположены в металлическом корпусе с естественным воздушным охлаждением.

Пусковыми реостатами можно производить только пуск и остановку электродвигателя. Недопустима их работа в длительном режиме. Они допускают два пуска электродвигателя подряд с паузой после каждого пуска, вдвое большей, чем время пуска. На частые пуски реостаты не рассчитаны.

Схема включения электродвигателя постоянного тока независимого возбуждения представлена на рисунке 1.6. Здесь: M – обмотка якоря электродвигателя постоянного тока; OB – независимая обмотка возбуждения; $R_{ВД}$ – добавочное сопротивление в цепи обмотки возбуждения, предназначенное для полюсного управления электродвигателем; $R_{Д}$ – добавочное сопротивление в цепи обмотки якоря для реостатного регулирования частоты вращения; $R_{Д1}, \dots, R_{Д4}$ – секции пускового реостата; K_1, \dots, K_4 – коммутаторы.

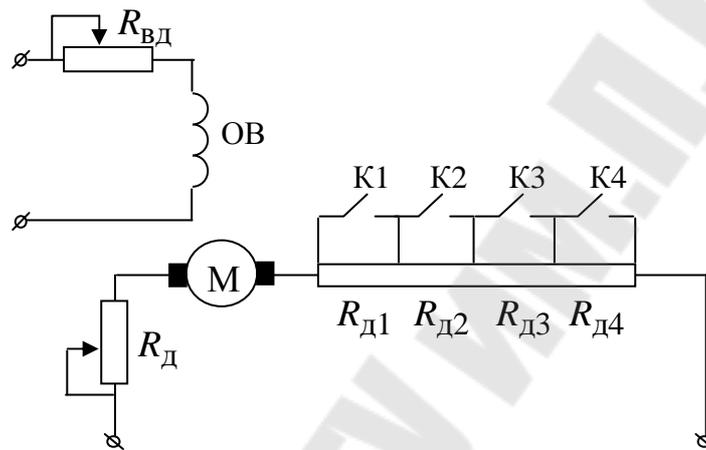


Рис. 1.6

Схема включения электродвигателя постоянного тока независимого возбуждения

2. ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ

**Задание к индивидуальной работе №2 по теме
«Двигатель постоянного тока последовательного
возбуждения»**

1. В соответствии с предложенным вариантом задания из таблицы 2.1 выбрать электродвигатель постоянного тока последовательного возбуждения.
2. Определить номинальный электромагнитный момент, развиваемый на валу электродвигателя.
3. Полагая, что магнитная система электродвигателя ненасыщенна, рассчитать и построить его естественную механическую характеристику $\Omega = f(M)$.
4. Рассчитать и построить семейство искусственных механических характеристик электродвигателя постоянного тока последовательного возбуждения при реостатном регулировании частоты вращения для до-

добавочного сопротивления в цепи обмотки якоря равном $R_{д1} = R_{\Sigma}$; $R_{д2} = 2R_{\Sigma}$; $R_{д3} = 3R_{\Sigma}$. При этом считать, что напряжение на зажимах обмотки якоря электродвигателя остается постоянным и равным номинальному.

5. Рассчитать и построить искусственную механическую характеристику электродвигателя постоянного тока последовательного возбуждения при уменьшении магнитного потока возбуждения в два раза путем шунтирования обмотки возбуждения добавочным сопротивлением $R_{дв}$. Как и в пункте 3 считать магнитную систему электродвигателя ненасыщенной.

6. Нарисовать электрическую схему подключения к сети электродвигателя постоянного тока последовательного возбуждения. Объяснить назначение добавочных сопротивлений в контурах электрической машины.

7. Сформулировать заключение в виде пояснений по следующим вопросам:

- назвать основные элементы конструкции электрической машины постоянного тока;

- объяснить устройство щеточно-коллекторного узла, назначение коллектора и щеток в электродвигателе постоянного тока;

- дать определение механической характеристики электродвигателя. Пояснить, что понимают под естественной и искусственными механическими характеристиками электродвигателя;

- объяснить вид естественной механической характеристики электродвигателя постоянного тока последовательного возбуждения. Указать на ее достоинства;

- перечислить способы регулирования частоты вращения электродвигателя постоянного тока;

- пояснить каким образом осуществляется реостатное регулирование частоты вращения электродвигателя постоянного тока последовательного возбуждения. Обосновать достоинства и недостатки данного способа регулирования;

- как реализуется полюсное регулирование частоты вращения электродвигателя постоянного тока последовательного возбуждения, его достоинства и недостатки;

- в чем отличие эксплуатационных характеристик электрических двигателей постоянного тока параллельного (независимого) и последовательного возбуждения.

Технические данные тяговых электродвигателей постоянного тока

В таблице 2.1 представлены основные технические данные тяговых электродвигателей постоянного тока последовательного возбуждения.

Таблица 2.1. Технические данные тяговых электродвигателей постоянного тока

№ п/п	Типо-размер двигателя	Режим работы	$P_{\text{ном}}$, кВт	$U_{\text{аном}}$, В	$n_{\text{ном}}$, об/мин	Сопротивление обмоток, Ом		
						R_a	$R_{\text{ГП}}$	$R_{\text{ДП}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
01.	ЭД-1,8	ПВ=40%	1,8	185	700	1,2	0,615	0,29
02.	ЭД-1,8	ПВ=40%	1,8	160	520	1,2	0,615	0,29
03.	ЭДР-5	часовой	5	80	1500	0,024	0,0248	-
04.	ДРТ-10	часовой	10	105	1500	0,045	0,045	0,0161
05.	ЭДР-10,2	часовой	10,2	250	500	0,167	0,063	0,229
06.	ЭДР-11,2	часовой	11,2	120	585	0,043	0,0408	0,0157
07.	ДРТ-12	часовой	12	250	500	0,052	0,061	0,0230
08.	ДПТР-12	часовой	12	130	615	0,042	0,044	0,016
09.	ДК-800БМ	часовой	12,2	250	480	6,193	0,204	-
10.	ДРТ-13	часовой	13	130	615	0,042	0,053	0,015
11.	ЭДР-15,6	часовой	15,6	160	515	0,05	0,0437	0,0207
12.	ДПТР-19	часовой	19	190	670	0,063	0,054	0,025
13.	НБ-431А	продолж.	21	3000	440	22,0	12,0	6,0
14.	ДРТ-23,5	часовой	23,5	185	900	0,065	0,058	0,029
15.	ЭДР-25	часовой	25	250	900	0,05	0,0437	0,0207

Продолжение таблицы 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
16.	ЭТ-31	часовой	31	250	1050	0,102	0,098	0,050
17.	ЭТ-46	часовой	46	250	1320	0,114	0,105	0,061
18.	ЭД-139У2	продолж.	132	550	1750	0,031	0,029	0,0175
19.	НБ-406	продолж.	470	1500	765	0,0473	0,0442	0,0237
20.	НБ-406	часовой	525	1500	735	0,0473	0,0442	0,0237
21.	ТЛ-2К1	продолж.	575	1500	830	0,0317	0,025	0,0356
22.	ТЛ-2К1	часовой	670	1500	790	0,0317	0,025	0,0356
23.	НБ-412К	продолж.	675	1450	925	0,031	0,0238	0,032
24.	НБ-412К	часовой	800	1450	880	0,031	0,0238	0,032

Здесь: R_a – электрическое сопротивление обмотки якоря электродвигателя; $R_{гп}$ – электрическое сопротивление катушек главных полюсов, включая переходный контакт «щетка – коллектор»; $R_{дп}$ – электрическое сопротивление катушек добавочных полюсов.

Тяговые электродвигатели постоянного тока последовательного возбуждения – это, как правило, электродвигатели специализированного назначения, применяемые для работы в электроприводах прокатных станов, металлургических, крановых, экскаваторных, рудничных механизмов, на железнодорожном и городском электротранспорте в условиях повышенной влажности (до 97%), высоких температур окружающей среды (в диапазоне $-50^{\circ} \div +40^{\circ}$), сильной запыленности воздуха (до $200 \div 300 \text{ мг/м}^3$) и существенных механических вибраций (уровень вибрации в горизонтальном направлении может достигать до 3g). Электродвигатели могут работать в продолжительном, часовом и повторно-кратковременном режиме с продолжительностью включения ПВ=40%. Нагрузка на тяговый электродвигатель может кратковременно превышать номинальную на 50 ÷ 70%. Тяговые электродвигатели надежно работают при повышении напряжения питания на 20 ÷ 30% и в режиме динамического рекуперативного торможения – на 27% сверх номинального напряжения электродвигателя.

Электродвигатели постоянного тока последовательного возбуждения допускают регулирование частоты вращения в широком диапазоне. Максимальная частота вращения якоря примерно в три раза может превышать номинальную. Тяговые электродвигатели постоянного тока последовательного возбуждения обладают высокими динамическими показателями (малые моменты инерции вращающихся частей и механические постоянные времени).

Применяются следующие условные обозначения в типоразмере тяговых электродвигателей постоянного тока: «Р» – рудничный электродвигатель постоянного тока; «Т» – тяговый электродвигатель постоянного тока; «П» – электродвигатель постоянного тока; «К» – коллекторный электродвигатель постоянного тока; в ряде серий электродвигателей последующие за буквами цифры указывают мощность электродвигателей, кВт, в часовом режиме; в конце обозначения – исполнение и категория размещения.

Пример расчета

В соответствии с предложенным преподавателем вариантом задания из таблицы 2.1 выбираем тяговый электродвигатель постоянного тока последовательного возбуждения со следующими номинальными данными:

– номинальная механическая мощность на валу электрического двигателя $P_{\text{НОМ}}=23,55$ кВт,

– номинальное напряжение питающей сети постоянного тока, прикладываемое к зажимам обмотки якоря электродвигателя $U_{\text{аНОМ}}=220$ В,

– номинальная частота вращения якоря электродвигателя $n_{\text{НОМ}}=900$ об/мин,

– суммарное электрическое сопротивление последовательной цепи обмотки якоря и полюсов $R_{\Sigma} = R_a + R_{\text{ГП}} + R_{\text{ДП}} = 0,174$ Ом,

где R_a – электрическое сопротивление обмотки якоря, $R_{\text{ГП}}$ – электрическое сопротивление катушек главных полюсов, $R_{\text{ДП}}$ – электрическое сопротивление катушек добавочных полюсов.

Номинальная частота вращения якоря заданного электродвигателя в рад./сек.

$$\Omega = \frac{\pi n_{\text{НОМ}}}{30} = \frac{3,14 \times 900}{30} = 94,2 \text{ рад./сек.}$$

Номинальный электромагнитный момент, развиваемый на валу электродвигателя

$$M_{\text{НОМ}} = \frac{P_{\text{НОМ}}}{\Omega_{\text{НОМ}}} = \frac{23,55 \times 10^3}{94,2} = 250 \text{ Нм.}$$

В общем виде уравнение механической характеристики электродвигателя постоянного тока

$$\Omega = \frac{U_{\text{аНОМ}}}{C\Phi} - \frac{(R_a + R_{\text{ГП}} + R_{\text{ДП}})}{C^2\Phi^2} M.$$

Электромагнитный момент, развиваемый электродвигателем постоянного тока

$$M = C\Phi I.$$

Для электродвигателей постоянного тока последовательного возбуждения ток обмотки якоря и магнитный поток возбуждения при ненасыщенной магнитной системе могут быть связаны следующим соотношением

$$I = K\Phi.$$

Тогда выражение для электромагнитного момента приобретает следующий вид

$$M = C\Phi I = CK\Phi^2,$$

или отсюда величина магнитного потока возбуждения

$$\Phi = \sqrt{\frac{M}{CK}}.$$

Подставляя выражение для магнитного потока возбуждения в выражение для механической характеристики электродвигателя постоянного тока, имеем

$$\Omega = \frac{U_{\text{аНОМ}}}{\sqrt{M} \times \sqrt{\frac{C}{K}}} - \frac{(R_{\Sigma} + R_{\text{Д}})}{\frac{C}{K}}.$$

Для упрощения выражения введем промежуточный коэффициент $A = \frac{C}{K}$, тогда

$$\Omega = \frac{U_{\text{аНОМ}}}{\sqrt{M} \times \sqrt{A}} - \frac{(R_{\Sigma} + R_{\text{Д}})}{A}.$$

Обозначив как $X = \sqrt{A}$, получаем

$$\Omega = \frac{U_{\text{аНОМ}}}{X\sqrt{M}} - \frac{(R_{\Sigma} + R_{\text{Д}})}{X^2}.$$

Разрешим линейное квадратное уравнение относительно искомой величины X

$$X^2 - \frac{U_{\text{аном}}}{\Omega\sqrt{M}} X + \frac{(R_{\Sigma} + R_{\text{д}})}{\Omega} = 0.$$

Решения квадратного уравнения имеют следующий вид

$$X_{1,2} = \frac{U_{\text{аном}}}{2\Omega\sqrt{M}} \pm \sqrt{\frac{U_{\text{аном}}^2}{4\Omega^2 M} - \frac{(R_{\Sigma} + R_{\text{д}})}{\Omega}}.$$

Численное значение корней квадратного уравнения определим из условия номинального режима работы электродвигателя ($U_{\text{аном}}, M_{\text{ном}}, \Omega_{\text{ном}}$)

$$\begin{aligned} X_{1,2} &= \frac{U_{\text{аном}}}{2\Omega_{\text{ном}}\sqrt{M_{\text{ном}}}} \pm \sqrt{\frac{U_{\text{аном}}^2}{4\Omega_{\text{ном}}^2 M_{\text{ном}}} - \frac{(R_{\Sigma} + R_{\text{д}})}{\Omega_{\text{ном}}}} = \\ &= \frac{220}{2 \times 94,2 \times \sqrt{250}} \pm \sqrt{\frac{220^2}{4 \times 94,2^2 \times 250} - \frac{0,174}{94,2}} = \\ &= 0,07386 \pm 0,06005. \end{aligned}$$

Таким образом, при решении получаем два корня квадратного уравнения

$$X_1 = 0,1339,$$

$$X_2 = 0,0138.$$

Механическая характеристика электродвигателя постоянного тока последовательного возбуждения для обоих корней выглядит следующим образом

$$\begin{aligned} \Omega &= \frac{U_{\text{аном}}}{0,1339\sqrt{M}} - \frac{(R_{\Sigma} + R_{\text{д}})}{0,1339^2} \text{ и} \\ \Omega &= \frac{U_{\text{аном}}}{0,0138\sqrt{M}} - \frac{(R_{\Sigma} + R_{\text{д}})}{0,0138^2}. \end{aligned}$$

Определим пусковой электромагнитный момент электродвигателя (при частоте вращения $\Omega = 0$) по обеим характеристикам. Получаем по первой механической характеристике пусковой момент $M'_{\text{п}} = 28643$ Нм, по второй – $M''_{\text{п}} = 303$ Нм. Из физических соображений выбираем первую механическую характеристику, так как электродвигатели постоянного тока последовательного возбуждения должны обладать большим пусковым моментом и, следовательно, большой перегрузочной способностью.

Таким образом, окончательно естественная механическая характеристика электродвигателя постоянного тока запишется следующим выражением

$$\Omega = \frac{U_{\text{аном}}}{0,1339\sqrt{M}} - \frac{(R_{\Sigma} + R_{\text{д}})}{0,1339^2}.$$

Рассчитаем естественную механическую характеристику электродвигателя постоянного тока последовательного возбуждения. Результаты расчета представлены в таблице 2.2. Здесь же приведем результаты расчета реостатных механических характеристик электродвигателя постоянного тока последовательного возбуждения для добавочных сопротивлений в цепи обмотки якоря равных $R_{\text{д1}} = R_{\Sigma}$; $R_{\text{д2}} = 2R_{\Sigma}$; $R_{\text{д3}} = 3R_{\Sigma}$. При этом полагаем, что в процессе изменения добавочного сопротивления в цепи обмотки якоря напряжение на зажимах якорной обмотки электродвигателя остается неизменным и равным номинальному $U_{\text{аном}}$.

Естественная характеристика и семейство искусственных механических характеристик электродвигателя постоянного тока последовательного возбуждения при реостатном регулировании частоты вращения для добавочного сопротивления $R_{\text{д}}$ равного 0; 0,174; 0,348; 0,522 Ом приведено на рисунке 2.1

Таблица 2.2. Семейство реостатных характеристик электродвигателя постоянного тока последовательного возбуждения

M	Нм	100	225	250	324	400	625	900	Примечание
Ω	рад./с	154,6	99,8	94,2	81,9	72,5	55,9	45,2	$R_{\text{д}} = 0$
Ω	рад/с	144,9	90,1	84,5	71,9	63,3	46,3	35,4	$R_{\text{д}} = 0,174$
Ω	рад/с	135,2	80,4	74,8	62,2	53,6	36,6	25,7	$R_{\text{д}} = 0,348$
Ω	рад/с	125,5	70,7	65,1	52,5	43,3	26,9	16,0	$R_{\text{д}} = 0,522$

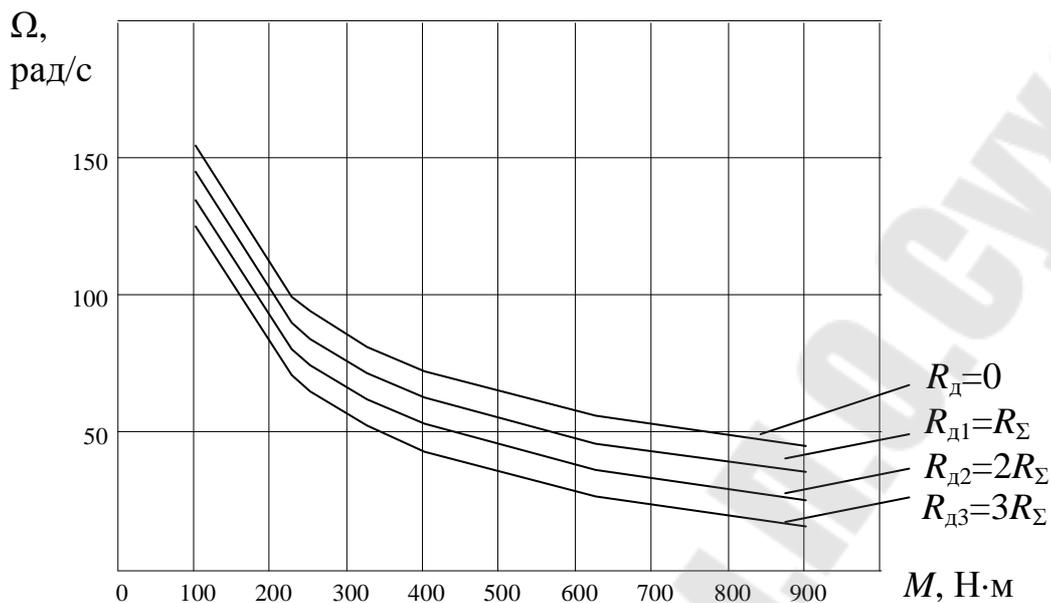


Рис. 2.1
Семейство механических характеристик
двигателя постоянного тока последовательного возбуждения
при реостатном регулировании

Так как в электродвигателе постоянного тока последовательного возбуждения один и тот же ток протекает по обмотке якоря и по обмотке возбуждения, электромагнитный момент определяется квадратом магнитного потока возбуждения, и, следовательно, при уменьшении магнитного потока возбуждения в два раза коэффициент X в выражении для механической характеристики уменьшится в $\sqrt{2}$ раз. Тогда выражение механической характеристики электродвигателя приобретет вид

$$\begin{aligned} \Omega &= \frac{U_{\text{аном}} \times \sqrt{2}}{0,1339\sqrt{M}} - \frac{R_{\Sigma} \times (\sqrt{2})^2}{0,1339^2} = \\ &= \frac{220}{0,09496\sqrt{M}} - \frac{0,174}{0,00897}. \end{aligned}$$

Естественная механическая характеристика электродвигателя постоянного тока последовательного возбуждения ($\Phi = \Phi$) и его искусственная характеристика при магнитном потоке возбуждения равном $\Phi' = 0,5\Phi$ приведены ниже в таблице 2.3 и рисунке 2.2

Таблица 2.3 Семейство механических характеристик электродвигателя постоянного тока последовательного возбуждения при полюсном регулировании

M	Нм	100	250	400	900	Примечание
Ω	рад/с	154,6	94,2	72,5	45,2	$\Phi = \Phi$
Ω	рад/с	212,3	127,2	96,5	57,8	$\Phi' = 0,5\Phi$

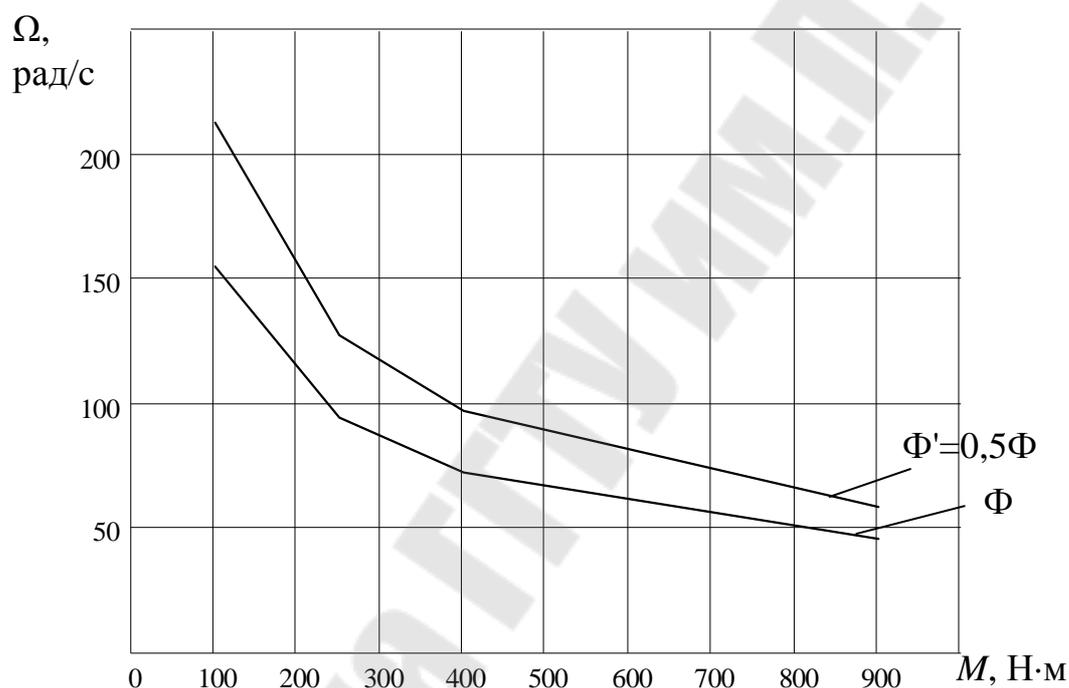


Рис. 2.2 Семейство механических характеристик электродвигателя постоянного тока последовательного возбуждения при полюсном регулировании

Электрическая схема включения электродвигателя постоянного тока последовательного возбуждения в сеть представлена на рисунке 2.3. Здесь: M – обмотка якоря электродвигателя постоянного тока; OB – последовательная обмотка возбуждения; R_d – добавочное электрическое сопротивление в цепи обмотки якоря для реостатного регулирования частоты вращения; $R_{дв}$ – добавочное электрическое сопротивление

тивление для полюсного регулирования частоты вращения, шунтирующее обмотку возбуждения.

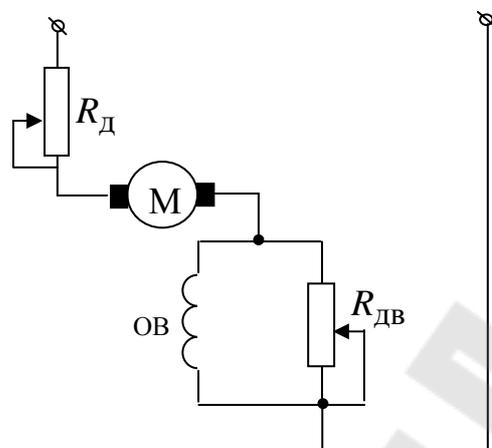


Рис.2.3

Схема включения электродвигателя постоянного тока последовательного возбуждения

**3. ТЕСТОВЫЕ ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ ПО
ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ МАШИНАМ
ПОСТОЯННОГО ТОКА**

ВАРИАНТ №1

1 В каком узле генератора постоянного тока переменная ЭДС преобразуется в постоянную ЭДС?

- 1 В коллекторе
- 2 В обмотке якоря
- 3 В главных полюсах
- 4 В дополнительных полюсах
- 5 В обмотке возбуждения

2 Выберите правильную формулу ЭДС генератора постоянного тока

- 1 $E = C_E n \Phi$
- 2 $E = d\Phi / dt$
- 3 $E = C_M I \Phi$
- 4 $E = C_M I^2 \Phi$
- 5 $E = C_E n^2 \Phi$

3 Как изменится напряжение генератора постоянного тока при уменьшении сопротивления в цепи возбуждения?

- 1 Уменьшится
- 2 Увеличится
- 3 Не изменится
- 4 Резко уменьшится до нуля
- 5 Однозначный ответ дать нельзя

4 Генератор какого возбуждения обладает самой жесткой внешней характеристикой?

- 1 Смешанного возбуждения с согласной серийной обмоткой возбуждения
- 2 Смешанного возбуждения со встречной серийной обмоткой возбуждения
- 3 Параллельного возбуждения
- 4 Независимого возбуждения
- 5 Последовательного возбуждения

5 При каком способе торможения двигателя постоянного тока электрическая энергия отдается в сеть?

- 1 Генераторном (рекуперативном)
- 2 Динамическом
- 3 Противовключением
- 4 Торможением внешним тормозным устройством
- 5 Простым отключением двигателя от сети

ВАРИАНТ №2

1 Укажите неправильный способ регулирования частоты вращения в двигателях постоянного тока.

- 1 Изменением тока якоря
- 2 тока возбуждения
- 3 Изменением напряжения на якоре
- 4 Введением добавочного сопротивления в цепь якоря
- 5 Изменением напряжения якоря

2 Почему на практике редко применяют генератор постоянного тока последовательного возбуждения?

- 1 Напряжение на зажимах генератора изменяется при изменении нагрузки
- 2 Напряжение на зажимах генератора не изменяется при изменении нагрузки
- 3 ЭДС увеличивается при увеличении нагрузки
- 4 ЭДС генератора не изменяется
- 5 Нет правильного ответа

3 При постоянном напряжении питания двигателя постоянного тока параллельного возбуждения магнитный поток возбуждения уменьшился. Как изменилась частота вращения?

- 1 Уменьшилась
- 2 Не изменилась
- 3 Увеличилась
- 4 Периодически изменяется
- 5 Резко падает до нуля

4 Регулировочная характеристика генератора постоянного тока независимого возбуждения - это зависимость

- 1 ЭДС генератора от тока возбуждения при $n = \text{const}$
- 2 Тока возбуждения от тока нагрузки при $n = \text{const}$
- 3 Тока нагрузки от ЭДС генератора $U_a = 0$
- 4 ЭДС генератора от тока нагрузки при $n = \text{const}$
- 5 Тока возбуждения от тока нагрузки при $U_a = 0$

5 Номинальный ток двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением $I_{\text{ном}} = 50 \text{ А}$. Чему равен ток обмотки возбуждения?

- 1 100 А
- 2 50 А
- 3 25 А
- 4 250 А
- 5 150 А

ВАРИАНТ №3

1 Почему сердечник якоря машины постоянного тока набирают из листов электротехнической стали, изолированных между собой?

- 1 Для уменьшения потерь от вихревых токов
- 2 Из конструктивных соображений
- 3 Для уменьшения магнитного сопротивления потоку возбуждения
- 4 Для шумопонижения
- 5 Из экономических соображений

2 Генератор постоянного тока смешанного возбуждения это генератор, имеющий:

- 1 Параллельную обмотку и обмотку добавочных полюсов
- 2 Последовательную обмотку и независимую обмотку возбуждения
- 3 Параллельную и последовательную обмотки возбуждения
- 4 Одну независимую обмотку возбуждения и две обмотки добавочных полюсов
- 5 Ни один из вариантов не подходит

3 Каково назначение реостата в цепи обмотки возбуждения двигателя постоянного тока?

- 1 Ограничить пусковой ток
- 2 Регулировать напряжение на зажимах
- 3 Увеличивать пусковой момент
- 4 Регулировать скорость вращения
- 5 Регулировать КПД

4 Мощность, потребляемая двигателем постоянного тока из сети $P_1 = 1,5$ кВт. Полезная мощность, отдаваемая двигателем в нагрузку, $P_2 = 1,125$ кВт. Определить КПД двигателя в %.

- 1 80%.
- 2 75%.
- 3 85%.
- 4 90%
- 5 95%

5 Что произойдет с ЭДС генератора параллельного возбуждения при обрыве цепи возбуждения?

- 1 ЭДС увеличится
- 2 ЭДС не изменится.
- 3 ЭДС снизится до $E_{ост}$
- 4 ЭДС станет равной нулю
- 5 Нет правильного ответа

ВАРИАНТ №4

1 Пусковой ток двигателя постоянного тока превышает номинальный ток из - за:

- 1 Отсутствия противоЭДС в момент пуска.
- 2 Малого сопротивления обмотки якоря
- 3 Большого сопротивления обмотки возбуждения
- 4 Малого сопротивления обмотки возбуждения
- 5 Нет правильного ответа

2 Чем объясняется вид внешней характеристики генератора независимого возбуждения?

- 1 Падением напряжения на обмотке возбуждения
- 2 Уменьшением тока возбуждения
- 3 Уменьшением скорости вращения
- 4 Падением напряжения на сопротивлении нагрузки
- 5 Падением напряжения в цепи якоря и влиянием реакции якоря

3 Рассчитайте номинальный момент(в Н·м), развиваемый ДПТ по следующим данным: $U_n=220$ В; $I_n=133$ А; $n_n=1000$ об/мин; к.п.д.=85,5%

- 1 24,3 Н·м
- 2 239 Н·м
- 3 338 Н·м
- 4 34,4 Н·м
- 5 2,48 Н·м

4 Какие величины поддерживаются постоянными при снятии регулировочной характеристики генератора параллельного возбуждения?

- 1 Ток возбуждения и скорость
- 2 Сопротивление цепи возбуждения
- 3 Ток нагрузки
- 4 Ток возбуждения и напряжение генератора.
- 5 Напряжение генератора и скорость

5 Какие потоки, при согласном включении обмоток возбуждения (в генераторе смешанного возбуждения) имеют одинаковое направление? Индексы в обозначениях: с-серийная, ш-шунтовая, д-дополнительных полюсов, я-якоря

- 1 $\Phi_{я}$ и $\Phi_{ш}$
- 2 $\Phi_{ш}$ и $\Phi_{с}$
- 3 $\Phi_{а}$ и $\Phi_{с}$
- 4 $\Phi_{я}$ и $\Phi_{д}$
- 5 $\Phi_{д}$ и $\Phi_{ост}$

ВАРИАНТ №5

1 Каково назначение дополнительных полюсов в машине постоянного тока?

- 1 Создание основного магнитного потока (возбуждения)
- 2 Улучшение коммутации
- 3 Выпрямление тока
- 4 Подвод (или отвод) тока в обмотке якоря
- 5 Выравнивание кривой индукции под главным полюсом

2 За счет чего при параллельном возбуждении при повышении тока нагрузки напряжение на якоре уменьшается более резко, чем при независимом возбуждении?

- 1 Из-за падения напряжения в обмотке якоря
- 2 Из-за увеличения тока возбуждения
- 3 Из-за уменьшения тока возбуждения
- 4 Из-за падения напряжения в обмотке доп. полюсов
- 5 Из-за влияния реакции якоря.

3 Какие магнитные потоки в двигателе смешанного возбуждения при встречном включении обмоток направлены навстречу друг другу? Индексы в обозначениях: с-серийная, ш-шунтовая, д- дополнительных полюсов, якоря

- 1 $\Phi_{я}$ и $\Phi_{ш}$
- 2 $\Phi_{ш}$ и $\Phi_{с}$
- 3 $\Phi_{а}$ и $\Phi_{с}$
- 4 $\Phi_{я}$ и $\Phi_{д}$
- 5 $\Phi_{д}$ и $\Phi_{ост}$

4 Какие потери существенно изменяются при изменении нагрузки на валу и оказывают значительное влияние на к.п.д. двигателя?

- 1 Электрические потери в обмотке якоря
- 2 Электрические потери в обмотке возбуждения
- 3 Механические потери
- 4 Магнитные потери
- 5 Добавочные потери

5 Какая из перечисленных причин объясняет аварийное возростание двигателя последовательного возбуждения?

- 1 Уменьшение магнитного потока из-за размагничивающего действия реакции якоря
- 2 Насыщение магнитной цепи
- 3 Уменьшение падения напряжения в цепи якоря
- 4 Увеличение потока из-за ослабления действия реакции якоря
- 5 Уменьшение магнитного потока из-за уменьшения тока возбуждения

ВАРИАНТ №6

1 Назначение обмотки якоря и требования, предъявляемые к ней.

- 1 Индуктирование ЭДС и тока
- 2 Создание основного магнитного потока
- 3 Создание электрических потерь
- 4 Обеспечение высокого КПД
- 5 Обеспечение высокого коэффициента мощности

2 Как осуществить компенсацию реакции якоря в машине постоянного тока?

- 1 Необходимо применить компенсационную обмотку
- 2 Изменить направления вращения
- 3 Изменить полярность напряжения обмотки якоря
- 4 Увеличить ток якоря
- 5 Нет правильного ответа

3 Как осуществить компенсировать действие реакции якоря в генераторе постоянного тока?

- 1 Максимально уменьшить сопротивление щеточно-коллекторного узла
- 2 Изменить направления вращения
- 3 Изменить полярность напряжения обмотки якоря
- 4 Увеличить ток якоря
- 5 Нет правильного ответа

4 Какая характеристика называется внешней характеристикой генератора постоянного тока?

- 1 $U = f(I)$ при $i_B = \text{const}$, $n = \text{const}$
- 2 $U = f(i_B)$ при $I = \text{const}$, $n = \text{const}$
- 3 $I = f(i_B)$ при $U = \text{const}$, $n = \text{const}$
- 4 $i_B = f(I)$ при $U = \text{const}$, $n = \text{const}$
- 5 $U = f(I)$ при $i_B = \text{const}$, $\Phi = \text{const}$

5 Какая характеристика называется регулировочной характеристикой генератора постоянного тока?

- 1 $U = f(I)$ при $i_B = \text{const}$, $n = \text{const}$
- 2 $U = f(i_B)$ при $I = \text{const}$, $n = \text{const}$
- 3 $I = f(i_B)$ при $U = \text{const}$, $n = \text{const}$
- 4 $i_B = f(I)$ при $U = \text{const}$, $n = \text{const}$
- 5 $U = f(I)$ при $i_B = \text{const}$, $\Phi = \text{const}$

ВАРИАНТ №7

1 Какая характеристика называется характеристикой холостого хода генератора постоянного тока?

- 1 $E = f(i_B)$ при $I = 0, n = \text{const}$
- 2 $U = f(I)$ при $i_B = 0, n = \text{const}$
- 3 $I = f(i_B)$ при $U = 0, n = \text{const}$
- 4 $U = f(i_B)$ при $I = 0, n = \text{const}$
- 5 $U = f(I)$ при $i_B = \text{const}, \Phi = \text{const}$

2 Какая характеристика называется характеристикой холостого хода генератора постоянного тока?

- 1 $E = f(i_B)$ при $I = 0, n = \text{const}$
- 2 $U = f(I)$ при $i_B = 0, n = \text{const}$
- 3 $I = f(i_B)$ при $U = 0, n = \text{const}$
- 4 $U = f(i_B)$ при $I = 0, n = \text{const}$
- 5 $I = f(i_B)$ при $U = 0, n = \text{const}$

3 Какая характеристика называется нагрузочной характеристикой генератора постоянного тока?

- 1 $U = f(i_B)$ при $I = \text{const}, n = \text{const}$
- 2 $U = f(i_B)$ при $I = 0, n = \text{const}$
- 3 $U = f(I)$ при $i_B = \text{const}, n = \text{const}$
- 4 $U = f(I)$ при $i_B = 0, n = \text{const}$
- 5 $I = f(i_B)$ при $U = 0, n = \text{const}$

4 Какая характеристика называется механической характеристикой двигателя постоянного тока?

- 1 $n = f(M)$
- 2 $I = f(M)$
- 3 $n = f(I)$
- 4 $I = f(n)$
- 5 $I = f(\Phi)$

5 Какая характеристика называется электромеханической характеристикой двигателя постоянного тока?

- 1 $n = f(M)$
- 2 $I = f(M)$
- 3 $n = f(I)$
- 4 $I = f(n)$
- 5 $I = f(\Phi)$

ВАРИАНТ №8

1 Как изменится частота вращения двигателя постоянного тока, если уменьшить ток возбуждения?

- 1 Увеличится
- 2 Уменьшится
- 3 Не изменится
- 4 Ток возбуждения изменять нельзя
- 5 Однозначно нельзя дать ответ

2 Назовите условия самовозбуждения генератора постоянного тока.

- 1 Наличие остаточного магнитного потока, создание обмоткой возбуждения потока, согласного с остаточным, сопротивление цепи обмотки возбуждения должно быть меньше критического, наличие достаточной частоты вращения
- 2 Наличие номинального тока возбуждения, номинального тока якоря, номинальной ЭДС обмотки якоря
- 3 Наличие главных и добавочных полюсов
- 4 Наличие остаточного магнитного потока, создание обмоткой возбуждения потока, встречного с остаточным, сопротивление цепи обмотки возбуждения должно быть больше критического, наличие достаточной частоты вращения
- 5 Все ответы неточные

3 Каково назначение добавочных полюсов в машине постоянного тока?

- 1 Для улучшения коммутации
- 2 Увеличение магнитного потока главных полюсов
- 3 Увеличение мощности машины
- 4 Повышение КПД машины
- 5 Повышение коэффициента мощности

4 Чему равна ЭДС якоря двигателя в первый момент пуска?

- 1 $E_{я} = 0$
- 2 $E_{я} = E_{я\max}$
- 3 $E_{я} > 0$
- 4 $E_{я} = E_{яном}$
- 5 Нет правильного ответа

5 При каких условиях наблюдается максимальный КПД машины?

- 1 При равенстве постоянных и переменных потерь
- 2 При отсутствии потерь мощности в машине
- 3 На холостом ходе машины
- 4 В режиме короткого замыкания машины
- 5 Нет правильного ответа

ВАРИАНТ №9

- 1 Каким образом можно уменьшить частоту вращения якоря двигателя?
 - 1 Уменьшением питающего напряжения
 - 2 Уменьшением в цепи якоря добавочного сопротивления
 - 3 Уменьшением в цепи обмотки возбуждения регулировочного сопротивления
 - 4 Все способы не подходят
 - 5 Все способы подходят

- 2 Каким образом можно увеличить частоту вращения якоря двигателя?
 - 1 Уменьшением питающего напряжения
 - 2 Уменьшением в цепи якоря добавочного сопротивления
 - 3 Уменьшением в цепи обмотки возбуждения регулировочного сопротивления
 - 4 Все способы не подходят
 - 5 Все способы подходят

- 3 Как нагрузить двигатель постоянного тока?
 - 1 К валу двигателя приложить тормозной момент
 - 2 Увеличить питающее напряжение
 - 3 Увеличить ток возбуждения
 - 4 Увеличить скорость вращения
 - 5 Нет правильного ответа

- 4 Почему пуск двигателя последовательного возбуждения невозможен в режиме холостого хода?
 - 1 Двигатель идет «в разнос»
 - 2 Пусковой момент отсутствует
 - 3 Пусковой ток отсутствует
 - 4 Пусковой ток стремится к бесконечности
 - 5 Нет правильного ответа

- 5 Какие потери в машине постоянного тока называют переменными?
 - 1 Электрические потери в цепи обмотки якоря
 - 2 Электрические потери в цепи обмотки возбуждения
 - 3 Механические потери
 - 4 Потери в стали
 - 5 Потери от вихревых токов

ВАРИАНТ №10

1 Каким образом включают компенсационную обмотку относительно цепи обмотки якоря?

- 1 Обмотку включают последовательно и согласно в цепь обмотки якоря
- 2 Обмотку включают параллельно в цепь обмотки якоря.
- 3 Эту обмотку нельзя подключать к обмотке якоря
- 4 Обмотку включают последовательно согласно в цепь обмотки возбуждения
- 5 Обмотку включают последовательно и встречно в цепь обмотки якоря

2 Что понимают под режимом короткого замыкания генератора?

- 1 Когда клеммы обмотки якоря замкнуты накоротко, $U = 0$
- 2 Когда скорость вращения якоря равна нулю, $n = 0$.
- 3 Когда ток обмотки якоря равен нулю, $I = 0$
- 4 Когда ток обмотки возбуждения равен нулю, $i_b = 0$.
- 5 Нет правильного ответа

3 Для чего в цепь якоря двигателя параллельного возбуждения включают добавочное сопротивление в момент пуска?

- 1 Для уменьшения пускового тока обмотки якоря
- 2 Для увеличения магнитного потока главных полюсов
- 3 Для уменьшения искрения щеток
- 4 Для уменьшения нагрева двигателя
- 5 Для повышения КПД двигателя

4 Перечислите способы торможения двигателя постоянного тока.

- 1 Рекуперативное, динамическое, противовключением
- 2 Электромагнитным и колодочным тормозами
- 3 Отключением питающего напряжения и тока якоря
- 4 Правильного ответа нет
- 5 Конденсаторное, противовключением

5 В чем сущность явления реакции якоря машины постоянного тока?

- 1 Воздействие магнитного поля якоря на магнитный поток главных полюсов
- 2 Уменьшение магнитного потока главных полюсов из-за изменения активного сопротивления в цепи возбуждения
- 3 Увеличение магнитного потока главных полюсов из-за изменения активного сопротивления в цепи возбуждения
- 4 Взаимодействие магнитных потоков главных и добавочных полюсов
- 5 Нет правильного ответа

ВАРИАНТ №11

1 С какой целью компенсационную обмотку включают последовательно с обмоткой якоря?

- 1 Для компенсации потока якоря при любых нагрузках
- 2 Цель – повышение технологичности изготовления машины
- 3 Увеличение коэффициента мощности и КПД
- 4 Снижение уровня электромагнитного шума машины
- 5 Нет правильного ответа

2 Якорем называется (дать неправильный ответ):

- 1 Вращающаяся часть электрической машины
- 2 Часть электрической машины, в обмотке которой наводится ЭДС
- 3 Часть электрической машины, обмотка которой создает основной магнитный поток
- 4 Подвижная часть электрической машины
- 5 Часть машины, вращающаяся вместе с коллектором

3 Индуктором называется (дать правильный ответ):

- 1 Вращающаяся часть электрической машины
- 2 Часть электрической машины, в обмотке которой наводится ЭДС
- 3 Часть электрической машины, обмотка которой создает магнитный поток добавочных полюсов
- 4 Неподвижная часть электрической машины
- 5 Часть машины, вращающаяся вместе с коллектором

4 Основной магнитный поток машины постоянного тока создается:

- 1 Обмоткой возбуждения
- 2 Обмоткой якоря
- 3 Обмоткой добавочных полюсов
- 4 Компенсационной обмоткой
- 5 Обмоткой дополнительных полюсов

5 Основной магнитный поток машины постоянного тока регулируется изменением:

- 1 Тока якоря
- 2 Сопротивления цепи якоря
- 3 Тока возбуждения
- 4 Полярности напряжения обмотки возбуждения
- 5 Полярности напряжения обмотки якоря

ВАРИАНТ №12

1 Щеточно-коллекторный узел генератора постоянного тока служит для:

- 1 Выпрямления ЭДС
- 2 Повышения КПД машины
- 3 Поддержания направления и выравнивания величины момента
- 4 Поддержания полярности и выравнивания величины напряжения
- 5 Повышения надежности в эксплуатации машины

2 Компенсационные обмотки применяются в машинах постоянного тока с целью

- 1 Обеспечения требуемого качества коммутации
- 2 Повышения мощности машины
- 3 Снижения нагрева машины
- 4 Устранения пульсаций напряжения якоря
- 5 Снижения пусковых токов машины

3 У двигателя постоянного тока при малом моменте сопротивления на валу произошел обрыв в цепи обмотки возбуждения. Каковы могут быть последствия?

- 1 Произойдет чрезмерное повышение частоты вращения и выход из строя обмоток якоря по этой причине
- 2 Произойдет уменьшение тока якоря
- 3 Произойдет увеличение тока якоря
- 4 Двигатель остановится
- 5 Двигатель перейдет работать в режим холостого хода

4 В чем сущность явления реакции якоря машины постоянного тока?

- 1 Воздействие магнитного поля главных полюсов на магнитный поток якоря
- 2 Увеличение магнитного потока главных полюсов из-за изменения активного сопротивления в цепи возбуждения
- 3 Уменьшение магнитного потока главных полюсов из-за изменения активного сопротивления в цепи возбуждения
- 4 Взаимодействие магнитных потоков главных и добавочных полюсов
- 5 Нет правильного ответа

5 Какая характеристика называется электромеханической характеристикой двигателя постоянного тока?

- 1 $U = f(M)$
- 2 $I = f(M)$
- 3 $n = f(I)$
- 4 $I = f(n)$
- 5 $I = f(\Phi)$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вольдек А.И. Электрические машины. Учебник для вузов / А.И. Вольдек. - М.: Энергия, 1978. – 832 с.
2. Иванов-Смоленский А.В. Электрические машины: Учебник для вузов / А.В. Иванов-Смоленский. - М.: Энергия, 1980. – 928 с.
3. Копылов Н.П. Электрические машины. Учебник для вузов / Н.П. Копылов. - М.: Энергоиздат, 1986. – 360 с.
4. Мезин Е.К. Судовые электрические машины. Учебник для вузов / Е.К. Мезин. - Ленинград: Судостроение, 1985. – 320 с.
5. Костенко М. П. Электрические машины: в 2 ч. / М. П. Костенко, Л. М. Пиотровский. – 3-е изд., перераб. – Ленинград: Энергия, 1972. – ч.1 : Машины постоянного тока. Трансформаторы : учеб. для студентов высш. техн. учеб. заведений. – 544 с.
6. Костенко М. П. Электрические машины: в 2 ч. / М. П. Костенко, Л. М. Пиотровский. – 3-е изд., перераб. – Ленинград: Энергия, 1973. – ч.2 : Машины переменного тока : учеб. для студентов высш. техн. учеб. заведений. – 648 с.
7. Китаев В. Е. Электрические машины: в 2ч. / В. Е. Китаев, Ю. М. Корхов, В. К. Свирин/ Под ред. В.Е. Китаева. – М.: Высш. школа, 1978. – ч.1 : Машины постоянного тока. Трансформаторы. – 184с.
8. Китаев В. Е. Электрические машины: в 2ч. / В. Е. Китаев, Ю. М. Корхов, В. К. Свирин/ Под ред. В. Е. Китаева. – М.: Высш. школа, 1978. – ч.2 : Машины переменного тока. – 184с.
9. Токарев Б. Ф. Электрические машины: учеб. пособие для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 624с.

СОДЕРЖАНИЕ

1 Электродвигатель постоянного тока независимого возбуждения. Индивидуальное задание и пример расчета	3
2 Электродвигатель постоянного тока последовательного возбуждения. Индивидуальное задание и пример расчета	19
3 Тестовые варианты заданий по электрическим машинам постоянного тока	30
Список литературы	43
Содержание	44

Козлов Андрей Владимирович

**ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ
ПОСТОЯННОГО ТОКА**

**Практикум
по курсу «Электрические машины»
для студентов специальностей 1-43 01 03
«Электроснабжение (по отраслям)»
и 1-43 01 07 «Технологическая эксплуатация
энергооборудования организаций»
дневной и заочной форм обучения**

Подписано к размещению в электронную библиотеку
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного
учебно-методического документа 23.11.21.

Рег. № 60Е.

<http://www.gstu.by>