

Министерство образования и науки Российской Федерации
Южно-Российский государственный политехнический
университет (НПИ) имени М.И Платова

Г.С. Галикян

Электромеханические системы

Учебно-методическое пособие к практическим занятиям

Новочеркасск
ЮРГПУ(НПИ)
2017

УДК 621.398

Рецензент – доктор техн. наук **С.Л. Кужеков**

Галикян Г.С.

Электромеханические системы: учебно-методическое пособие к практическим занятиям/ Г.С. Галикян; Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова. - Новочеркасск: ЮРГПУ (НПИ), 2017. - 44с.

Пособие содержит варианты задач по определению параметров и характеристик, передаточных функций двигателей постоянного и переменного тока, расчету мощности и выбору электродвигателей для систем автоматики по заданным условиям эксплуатации, параметрам и диаграммам нагрузки. Указаны пути и примеры решения задач.

Предназначено для практических занятий студентам очной формы обучения факультета информационных технологий и управления, обучающихся по программе академического бакалавриата.

УДК 621.398

© Южно-Российский государственный
политехнический университет
(НПИ) имени М.И Платова , 2017

Содержание

Практическое занятие №1	
Расчет статических параметров и характеристик исполнительных двигателей постоянного тока.....	4
Практическое занятие №2	
Расчет и анализ динамических характеристик и параметров исполнительных двигателей постоянного тока.....	11
Практическое занятие №3	
Расчет статических характеристик и параметров управляемого (двухфазного) асинхронного двигателя	16
Практическое занятие №4	
Расчет динамических характеристик и параметров управляемого (двухфазного) асинхронного двигателя	22
Практическое занятие №5	
Расчет статических характеристик и параметров трехфазного асинхронного двигателя	24
Практическое занятие №6	
Расчет динамических характеристик и параметров трехфазного асинхронного двигателя	28
Практическое занятие №7	
Расчет мощности и выбор электродвигателя для системы автоматики по заданным условиям эксплуатации, нагрузочной диаграмме и тахограмме	31
Библиографический список.....	43

Практическое занятие №1

Расчет статических параметров и характеристик исполнительных двигателей постоянного тока

Цель выполнения практических занятий: получить практические навыки решения задач, возникающих при выборе электромашинных устройств систем управления, расчёте и анализе их статических и динамических характеристик.

Задание

1. По данным технического паспорта заданного типа исполнительного микродвигателя постоянного тока рассчитать:
 - механическую характеристику двигателя;
 - КПД двигателя и обороты идеального холостого хода;
 - найти численные значения постоянных времени и коэффициента передачи, входящих в передаточную функцию двигателя;
 - максимальное значение тока якоря (или обмотки статора) при пуске двигателя и ориентировочное время пуска. При необходимости изменить схему пуска таким образом, чтобы пусковой ток не превышал допустимого значения;
 - величину пониженного по сравнению с номинальным напряжения на якоре двигателя постоянного тока, при котором двигатель переходит в рекуперативный (генераторный) режим торможения.
2. Построить механическую характеристику двигателя и нанести на неё точку номинального режима.

В таблицах № 1.1 — 1.2 приведены варианты исходных данных для выполнения задания.

Таблица 1.1 - Технические данные двигателей постоянного тока с независимым возбуждением серии МИ

№ варианта	Тип двигателя	Напряжение, В	Мощность на валу, кВт	Ток якоря, А	Скорость вращения, об/мин.	Мощность обмотки возбуждения, Вт	Момент инерции якоря $\cdot 10^{-3}$, кг·м ²	Сопротивление цепи якоря, Ом	Статический момент трения $\cdot 10^{-2}$, Н·м	Сопротивление обмотки возбуждения, Ом
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	МИ-11	60	0,12	2,86		19	1,53	0,46	10	223
2		60	0,1	2,27	3000	19	1,53	0,94	10	223
3		110	0,12	1,53	2000	19	1,53	1,48	10	642
4		110	0,1	1,22	3000 2000	19	1,53	3,0	10	642
5	МИ-12	60	0,2	4,57	3000	21	2,04	0,765	10	560
6		60	0,12	2,72	2000	21	2,04	1,74	10	560
7		110	0,2	2,46	3000	21	2,04	0,765	10	560
8		110	0,12	1,46	2000	21	2,04	1,74	10	560
9	МИ-21	60	0,25	5,5	3000	15	3,57	0,284	15	306
10		60	0,2	4,3	2000	15	3,57	0,645	15	306
11		110	0,25	3,05	3000	15	3,57	0,945	15	306
12		110	0,2	2,33	2000	15	3,57	2,2	15	306
13	МИ-22	60	0,37	8,2	3000	16	4,08	0,195	15	264
14		60	0,25	5,5	2000	16	4,08	0,36	15	264
15		60	0,12	2,6	1000	16	4,08	1,44	15	264
16		110	0,37	4,4	3000	16	4,08	0,546	15	934
17		110	0,25	2,9	2000	16	4,08	1,29	15	790
18		110	0,12	1,4	1000	16	4,08	4,58	15	790
19	МИ-31	60	0,45	10,3	3000	40	9,18	0,204	25	145
20		60	0,37	8,2	2000	40	9,18	0,405	25	145
21		60	0,2	4,4	1000	40	9,18	1,32	25	145
22		110	0,45	5,6	3000	40	9,18	0,585	25	460
23		110	0,37	4,4	2000	40	9,18	1,16	25	460
24		110	0,2	2,4	1000	40	9,18	3,93	25	460
25	МИ-32	110	0,76	8,2	2500	50	13,5	0,39	25	258
26		110	0,45	5,0	1500	50	13,5	0,97	25	258
27		110	0,37	4,2	1000	50	13,5	2,21	25	258
28		220	0,76	4,1	2500	50	13,5	1,36	25	950
29		220	0,45	2,5	1500	50	13,5	3,81	25	950
30		220	0,37	2,1	1000	50	13,5	8,37	25	950

Продолжение таблицы 1.1

31	МИ-41	110	1,6	19,2	2500	70	40,8	0,24	60	255
32		110	1,1	13,0	1500	70	40,8	0,67	60	255
33		110	0,76	9,0	1000	70	40,8	1,3	60	255
34		220	1,6	9,5	2500	70	40,8	0,93	60	670
35		220	1,1	6,4	1500	70	40,8	2,63	60	670
36		220	0,76	4,5	1000	70	40,8	5,32	60	670
37	МИ-42	110	2,2	36,3	2500	85	66,2	0,1	60	178
38		110	1,6	18,2	1500	85	66,2	0,32	60	178
39		110	1,1	12,6	1000	85	66,2	0,75	60	178
40		220	3,2	18,0	2500	85	66,2	0,37	60	715
41		220	1,6	9,1	1500	85	66,2	1,28	60	715
42		220	1,1	6,3	1000	85	66,2	2,95	60	715
43	МИ-51	220	3,0	27,2	2500	120	127	0,16	120	435
44		220	3,2	17,1	1500	120	127	0,46	120	435
45		220	1,6	8,7	1000	120	127	1,1	120	435
46	МИ-52	220	7,0	37,0	2500	160	153	0,09	120	312
47		220	4,5	23,3	1500	160	153	0,26	120	312
48		220	2,5	13,1	1000	160	153	0,56	120	312

Исполнительные электродвигатели постоянного тока серии МИ предназначены для работы в схемах автоматического управления при окружающей температуре от -50° до $+50^{\circ}$ С и при относительной влажности воздуха до 95%. Электродвигатели допускают вибрацию и тряску. Электродвигатели изготавливаются в закрытом водозащищенном исполнении со встроенным тахогенератором и без него. Двигатели допускают длительную работу на скоростях порядка 100 об/мин при номинальных значениях $I_{\text{д}}$, $I_{\text{в}}$. Если в паспорте двигателя отсутствует значение сопротивления обмотки якоря, то его можно оценить приблизительно с учетом того, что в номинальном режиме работы падение напряжения на активном сопротивлении якоря составляет порядка 5 процентов напряжения питания двигателя.

Таблица 1.2 - Технические характеристики двигателей постоянного тока параллельного возбуждения серии СЛ и ПН

№ варианта	Тип двигателя	Номинальное напряжение, В	Номинальная мощность, Вт	Номинальная частота вращения, об/мин	Ток якоря, А	Момент на валу $\cdot 10^{-4}$, Н·м	Сопروتивление якоря, Ом	Сопротивление обмотки возбуждения, Ом	Момент инерции $\cdot 10^{-4}$, кг·м ²	Коэффициент самодуляции якоря, мГн
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	СЛ-121	110	7,5	5000	0,14	140	215	1750	0,04	-
2	СЛ-161	110	8,5	4000	0,15	210	170	1770	0,05	-
3	СЛ-221	110	13	3600	0,35	350	115	2040	0,14	230
4	СЛ-261	110	24	3600	0,5	650	51	1400	0,2	140
5	СЛ-267	110	27	4000	0,8	650	10	1010	0,2	-
6	СЛ-321	110	38	3000	0,7	1250	27	1010	0,6	130
7	СЛ-327	110	28	3000	0,8	900	7,75	1010	0,6	-
8	СЛ-361	110	50	3000	0,55	1600	23,2	1160	0,7	115
9	СЛ-367	110	32	2500	0,9	1250	1,5	1160	0,7	-
10	СЛ-369	110	55	3600	0,8	1500	19	1160	0,7	90
11	СЛ-521	110	77	3000	1,1	2500	8,5	450	1,7	58
12	СЛ-561	110	170	3000	1,9	5500	-	-	-	-
13	СЛ-569	110	175	3600	2,2	4250	3,6	880	2,5	30
14	СЛ-661	110	230	2400	2,6	9250	1,73	580	9,35	25
15	СЛ-261А	110	24	2500	0,42	650	51	1375	0,2	140
16	СЛ-281	24	26	5200	2,4	500	1,15	92	0,2	0,5
17	СЛ-369А	110	55	3600	0,1	1500	15,2	1160	0,7	90
18	СЛ-521К	110	20	1000	0,5	2000	74	900	1,7	360
19	СЛ-569К	110	36	850	0,8	4200	40	492	2,7	290
20	СЛ-571К	24	95	2200	7	4200	0,31	29	2,7	2
21	СЛ-621	110	172	2400	2,3	7000	3	560	6,75	35
22	ПН-2,5	110	700	2870	8,5	-	-	-	30,6	-
23	ПН-2,5	110	250	1440	3,5	-	-	-	30,6	-
24	ПН-2,5	220	700	2870	4,3	-	-	-	30,6	-
25	ПН-2,5	220	250	1440	1,75	-	-	-	30,6	-
26	ПН-5	110	1000	2800	11,7	-	-	-	76,0	-

Продолжение таблицы 1.2

27	ПН-5	110	750	2000	9,0	-	-	-	76,0	-
28	ПН-5	110	520	1450	6,6	-	-	-	76,0	-
29	ПН-5	110	300	960	4,1	-	-	-	76,0	-

Пример решения задания

В настоящем пособии рассматриваются примеры решения задач с тремя типами исполнительных двигателей: постоянного тока, асинхронным управляемым (двухфазным), трёхфазным асинхронным с короткозамкнутым ротором.

На практических занятиях №1,2 рассмотрим решение задачи для исполнительного двигателя постоянного тока независимого возбуждения типа МИ-32 со следующими данными технического паспорта (приведены номинальные значения параметров):

- напряжение на якоре $U_{ян} = 220 В$;
- мощность на валу $P_H = 0,76 кВт$;
- ток якоря $I_{ян} = 4,1 А$;
- скорость вращения $n_H = 2500 об / мин$;
- момент инерции якоря $J = 13,5 \cdot 10^{-3} кг \cdot м^2$;
- мощность обмотки возбуждения $P_{BH} = 50 Вт$;
- сопротивление обмотки якоря $R_{я} = 1,36 Ом$;
- сопротивление обмотки возбуждения $R_{OB} = 950 Ом$;
- статический момент трения $M_{TP} = 25 \cdot 10^{-2} Н \cdot м$.

Примечание: вторая цифра в обозначении двигателей МИ указывает на число пар полюсов p , т.е. в рассматриваемом примере $p = 2$.

Решение

1. Механическая характеристика строится по аналитическому выражению [1]

$$\omega = (U_{я} / k_{ЭМ}) - (R_{я} / k_{ЭМ}^2) M ,$$

где $U_{я}$ – напряжение на обмотке якоря, В;

$R_{я}$ – сопротивление обмотки якоря (ОЯ), Ом;

ω – угловая скорость вала двигателя, $с^{-1}$;

$k_{ЭМ}$ – коэффициент, связывающий противо-ЭДС двигателя и его угловую скорость, В·с;

M – электромагнитный момент двигателя, Н·м.

Известно [2], что

$$k_{\text{ЭМ}} = (U_{\text{ЯН}} - I_{\text{ЯН}} R_{\text{Я}}) / \omega_{\text{Н}},$$

где индекс “н” указывает на номинальное значение параметра.

$$\omega_{\text{Н}} = 2\pi n_{\text{Н}} / 60,$$

$$\omega_{\text{Н}} = 2\pi \cdot 2500 / 60 = 261,67 \text{ с}^{-1},$$

$$\text{тогда } k_{\text{ЭМ}} = (220 - 4,1 \cdot 1,36) / 261,67 = 0,82 \text{ В} \cdot \text{с}.$$

Отрезки, отсекаемые механическими характеристиками на осях ω и M , соответственно равны:

$$\omega_{\text{ХХ}} = U_{\text{Я}} / k_{\text{ЭМ}} - \text{угловая скорость идеального холостого хода;}$$

$$M_{\text{П}} = U_{\text{Я}} k_{\text{ЭМ}} / R_{\text{Я}} - \text{статический пусковой момент.}$$

Каждой механической характеристике соответствует определённое значение $U_{\text{Я}}$. Найдём указанные отрезки для характеристики, соответствующей номинальному значению $U_{\text{ЯН}}$:

$$\omega_{\text{ХХ}} = 220 / 0,82 = 268,3 \text{ с}^{-1},$$

$$M_{\text{П}} = 220 \cdot 0,82 / 1,36 = 132,65 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

По определённым на осях ω , M отрезкам построена прямая 1 (рис.1.1). На неё по известному значению $\omega_{\text{Н}}$ нанесена точка номинального режима N , в которой $M_{\text{Н}} = 3,4 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

2. КПД двигателя η в номинальном режиме определяем по формуле

$$\eta = P_{\text{Н}} / (P_{\text{Н}} + I_{\text{ЯН}}^2 R_{\text{Я}} + P_{\text{ВН}} + M_{\text{ТР}} \omega_{\text{Н}}),$$

$$\eta = 760 / (760 + 4,1^2 \cdot 1,36 + 50 + 25 \cdot 10^{-2} \cdot 261,67) = 0,85.$$

3. Определим коэффициенты и постоянные времени, входящие в выражение передаточной функции двигателя:

$$W(S) = \omega(S) / U_{\text{Я}}(S) = (1 / k_{\text{ЭМ}}) / (T_{\text{Я}} T_{\text{М}} S^2 + T_{\text{М}} S + 1),$$

где $T_{\text{Я}}$ и $T_{\text{М}}$ – электромагнитная постоянная времени цепи якоря и электромеханическая постоянная соответственно. При этом

$$T_{\text{Я}} = L_{\text{Я}} / R_{\text{Я}},$$

где $L_{\text{Я}}$ – коэффициент самоиндукции ОЯ определяется по формуле

$$L_{\text{Я}} = 3U_{\text{ЯН}} / (\pi p n_{\text{Н}} I_{\text{ЯН}}).$$

$$L_{\text{Я}} = 3 \cdot 220 / (3,14 \cdot 2 \cdot 2500 \cdot 4,1) = 10,25 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}.$$

$$\text{Тогда } T_{\text{Я}} = 10,25 \cdot 10^{-3} / 1,36 = 7,54 \cdot 10^{-3} \text{ с}.$$

Электромеханическая постоянная определяется из выражения [1]

$$T_{\text{М}} = R_{\text{Я}} J / k_{\text{ЭМ}}^2.$$

$$T_M = 1,36 \cdot 13,5 \cdot 10^{-3} / 0,82^2 = 27,31 \cdot 10^{-3} \text{ с}.$$

Так как соотношение $T_M > 4T_{я}$ для апериодического переходного процесса не выполняется, то учтем в качестве добавочного сопротивления внутреннее сопротивление R_i источника питания, которое примем равным $R_{я}$. С учетом этого рассчитаем новые значения $T_{я}$, T_M , $k_{эм}$, которые выделим дополнительным нижним индексом 1.

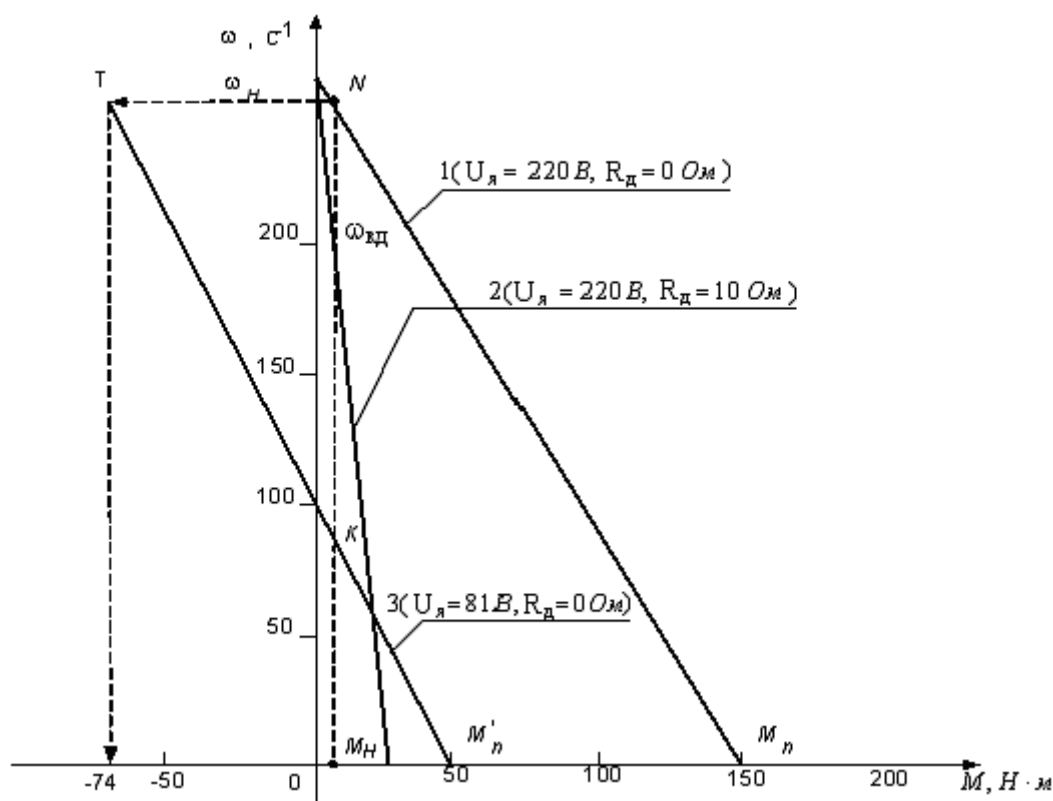


Рис.1.1. Семейство механических характеристик двигателя

$$k_{эм1} = [U_{яH} - I_{яH}(R_{я} + R_i)] / \omega_H;$$

$$k_{эм1} = [220 - 4,1 \cdot (1,36 + 1,36)] / 261,67 = 0,798 \text{ В} \cdot \text{с};$$

$$T_{я1} = L_{я} / (R_{я} + R_i); \quad T_{я1} = 10,25 \cdot 10^{-3} / (1,36 + 1,36) = 3,768 \cdot 10^{-3} \text{ с};$$

$$T_{M1} = (R_{я} + R_i) \cdot J / (k_{эм1})^2; \quad T_{M1} = (1,36 + 1,36) \cdot 13,5 \cdot 10^{-3} / 0,798^2 = 57,663 \cdot 10^{-3} \text{ с};$$

Условие апериодического характера переходного процесса изменения скорости вращения вала двигателя $T_{M1} > 4T_{я1}$ выполняется, т.к. $57,663 > 4 \cdot 3,768 \cdot 10^{-3}$.

Практическое занятие №2

Расчет и анализ динамических характеристик и параметров исполнительных двигателей постоянного тока

Задание

1. Определить максимальное значение динамического момента двигателя при пуске и допустимый коэффициент перегрузки двигателя по моменту.
2. Найти графически максимальную величину электромагнитного тормозного момента в рекуперативном режиме работы двигателя для одной из механических характеристик, соответствующей пониженному напряжению питания якоря.
3. Нарисовать принципиальную электрическую схему подключения двигателя к питающей сети в режиме пуска.
4. Нарисовать примерные графики изменения тока якоря и угловой скорости вращения вала при пуске двигателя.

В таблицах № 1.1 — 1.2 приведены варианты исходных данных задания, которое является логическим продолжением задания №1.

Пример решения задания

1. Передаточная функция двигателя имеет вид

$$W(S) = \omega(S)/U_{\text{я}}(S) = (1/k_{\text{эм1}})/(T_{\text{я1}}T_{\text{м1}}S^2 + T_{\text{м1}}S + 1),$$

$$W(S) = \frac{1/0,798}{3,768 \cdot 10^{-3} \cdot 57,663 \cdot 10^{-3} S^2 + 57,663 \cdot 10^{-3} S + 1}$$

2. Определение амплитудного значения тока якоря при пуске двигателя и ориентировочного значения времени пуска

Упрощенная схема подключения двигателя к источнику питания приведена на рис.2.1.

При пуске двигателя наблюдаются всплески тока якоря, которые необходимо ограничивать до уровня $5 I_{ян}$. Автоматический выключатель с электромагнитным расцепителем обладает высоким быстродействием и защищает двигатель при коротких замыканиях в его обмотках или замыканиях обмоток на заземлённый корпус двигателя. Плавкие вставки F1, FU2 обеспечивают защиту обмоток двигателя от теплового перегрева при длительных нагрузках, превышающих $1.15 P_{НОМ}$. Всплеск тока якоря ограничивается с помощью резисторов $R_{д1}, R_{д2}$ и контактов КТ1.2 и КТ1.3, замыкающихся с выдержкой времени. Максимальная выдержка времени при замыкании контакта КТ1.3 равна времени пуска двигателя.

Амплитуда тока якоря $I_{ЯМ}$ при пуске на холостом ходу определяется из выражения:

$$I_{ЯМ} = U_{ЯН} \left[e^{\alpha_1 t_m} - e^{\alpha_2 t_m} \right] / \left[L_{Я} (\alpha_1 - \alpha_2) \right], \quad (2.1)$$

где α_1, α_2 – корни характеристического уравнения, получающегося приравниванием к нулю знаменателя передаточной функции двигателя,

$$\alpha_{1,2} = \left(-T_M \pm \sqrt{T_M^2 - 4T_M T_J} \right) / 2T_J T_M.$$

$$\alpha_{1,2} = \frac{-57,663 \cdot 10^{-3} \pm \sqrt{(57,663 \cdot 10^{-3})^2 - 4 \cdot 57,663 \cdot 10^{-3} \cdot 3,768 \cdot 10^{-3}}}{2 \cdot 57,663 \cdot 10^{-3} \cdot 3,768 \cdot 10^{-3}}.$$

$$\text{Следовательно, } \alpha_1 = -18,6c^{-1}; \quad \alpha_2 = -246,663c^{-1}.$$

Время t_m достижения током якоря амплитудного значения вычисляем по формуле

$$t_m = \ln(\alpha_1 / \alpha_2) / (\alpha_2 - \alpha_1),$$

$$t_m = \ln(18,6 / 246,663) / (-246,663 + 18,6) = 11,34 \cdot 10^{-3} c.$$

Тогда согласно формуле (2.1)

$$I_{ЯМ} = \frac{220 \left(e^{-18,6 \cdot 11,34 \cdot 10^{-3}} - e^{-246,663 \cdot 11,34 \cdot 10^{-3}} \right)}{10,25 \cdot 10^{-3} (-18,6 + 246,48)} = 70,52 A.$$

Так как $5I_{ян}$ составляет 20,5А, то $I_{ЯМ} > I_{я.доп} = 5I_{ян}$. Поэтому для ограничения тока якоря до безопасного значения на время пусковой операции в цепь ОЯ необходимо включить добавочное сопротивление R_d (рис.2.1.).

3. В качестве добавочных сопротивлений $R_{д}$ рекомендуется взять постоянные проволочные резисторы типа ПЭВ или ПЭВТ (постоянные, проволочные, эмалированные, термостойкие), работающие в диапазоне рабочих температур от $-60^{\circ}C$ до $+155^{\circ}C$ с допустимыми отклонениями от номинальных значений сопротивлений $\pm 5\%$ или $\pm 10\%$ (табл. 2.1).

Таблица 2.1 - Шкала номинальных сопротивлений резисторов по ГОСТ 7113-77(ряд 12)

$\Delta R, \%$	$R_{ном}$ (Ом, кОм, МОм)
$\pm 5, \pm 10$	1,0; 1,2; 1,5; 1,8; 2,2; 2,7; 3,3; 3,9; 4,7; 5,6; 6,8; 8,2; 9,1

Любое из указанных в табл.2.1 значений может быть умножено на 10 или 100. Цифры, стоящие через дефис после буквенного обозначения типа резистора, указывают на номинальную мощность рассеивания резистора в Вт. Для указанных выше типов резисторов эти мощности составляют 3, 7.5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 75, и 100Вт. Номинальное значение мощности рассеивания $P_{ном}$ резистора $R_{д}$ должно составлять

$$P_{ном} = (0.2 - 0.3) I_{ян}^2 R_{д}.$$

При нечастых пусках двигателя такие резисторы допускают кратковременную перегрузку по току K_I , равную

$$K_I = 8 / \sqrt{t_{п}},$$

где $t_{п}$ – время пусковой операции в секундах.

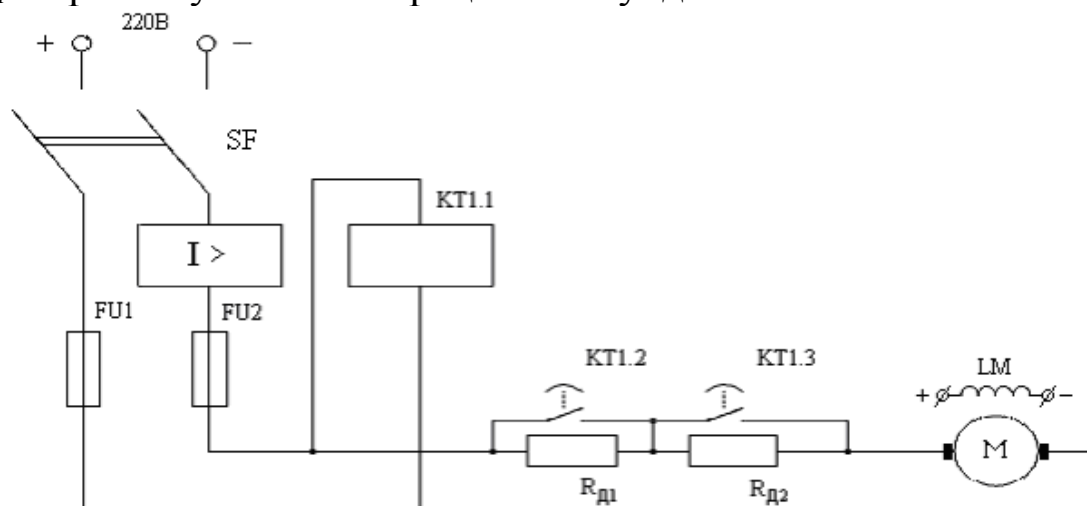


Рис.2.1. Схема пуска двигателя постоянного тока независимого возбуждения в функции времени: SF-пакетный выключатель; I> —автоматический выключатель с электромагнитным расцепителем; FU1,FU2—плавкие предохранители; KT1—реле времени; $R_{д1}, R_{д2}$ —токоограничивающие резисторы; М—якорь двигателя; LM—обмотка возбуждения.

В рассматриваемой конкретной задаче выберем в качестве ограничивающего резистор R_d типа ПЭВ с номиналом 8,2 Ом. Общее сопротивление цепи якоря с учетом R_d и внутреннего сопротивления источника питания R_i составит 10 Ом.

4. Механическая характеристика 2 (рис.1.2.) при включённом R_d имеет почти такое же значение ω_{xx} , что и характеристика при $R_d = 0$, но с ростом M падает более круто. Поэтому на характеристике 2 необходимо оценить угловую частоту ω_{rd} вала двигателя при номинальном значении момента двигателя M_H с целью уточнения параметра $k_{\Sigma M2}$ и соответствующей корректировке T_M и M_{II} . Несложно показать, что величина $k_{\Sigma M2}$ определяется по формуле

$$k_{\Sigma M2} = [U_{ЯH} - I_{ЯH}(R_{Я} + R_d)] / \omega_{rd},$$

$$\text{где } \omega_{rd} = \frac{2\pi}{60} \left[n_H - \frac{R_d}{R_{Я}} (n_{xx} - n_H) \right],$$

$$n_{xx} = 60\omega_{xx} / 2\pi,$$

$$n_{xx} = 60 \cdot 268,3 / 2\pi = 2562 \text{ об/мин},$$

$$\omega_{rd} = 2\pi[2500 - 10(2562 - 2500)/1,36] / 60 = 214,01 \text{ c}^{-1}.$$

$$T_{Я2} = L_{Я} / (R_{Я} + R_d); T_{Я2} = 10,25 \cdot 10^{-3} / (1,36 + 10) = 0,9023 \cdot 10^{-3} \text{ c},$$

$$k_{\Sigma M2} = [220 - 4,1(1,36 + 10)] / 214,01 = 0,8104 \text{ В} \cdot \text{c},$$

$$T_{M2} = (R_{Я} + R_d) J / k_{\Sigma M2}^2; T_{M2} = (1,36 + 10) \cdot 135 \cdot 10^{-3} / 0,8104^2 = 0,234 \text{ c}.$$

Вычисляем корни α_1 и α_2 характеристического уравнения при новых значениях $T_{Я}$, T_M и $k_{\Sigma M}$

$$\alpha_{1,2} = \frac{-0,234 \pm \sqrt{(-0,234)^2 - 4 \cdot 0,234 \cdot 0,9023 \cdot 10^{-3}}}{2 \cdot 0,9023 \cdot 10^3 \cdot 0,234},$$

$$\alpha_1 = -4,2924 \text{ c}^{-1}, \quad \alpha_2 = -1104 \text{ c}^{-1}.$$

Уточним время t_m достижения током якоря амплитудного значения

$$t_m = \ln(4,2924 / 1104) / (-1104 + 4,2924) = 0,005 \text{ c}.$$

Тогда согласно формуле (1)

$$I_{ЯM} = \frac{220(e^{-4,2924 \cdot 0,005} - e^{-1104 \cdot 0,005})}{10,25 \cdot 10^{-3}(-4,2924 + 1104)} = 19 \text{ А},$$

что несколько меньше $I_{Я.доп} = 5I_{ЯH} = 20,5 \text{ А}.$

5. Пусковой статический момент на характеристике 2 равен

$$M_{II} = 220 \cdot 0,8104 / (1,36 + 10) = 15,69 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Максимальное значение динамического момента двигателя при пуске

$$M_{\text{МАКС}} = I_{\text{ЯМ}} k_{\text{ЭМ}},$$

$$M_{\text{МАКС}} = 19 \cdot 0,8104 = 15,39 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Коэффициент перегрузки двигателя по моменту λ_M при пуске

$$\lambda_M = M_{\text{МАКС}} / M_H, \text{ т.е. } \lambda_M = 15,39 / 3,4 = 4,526, \text{ что допустимо.}$$

6. Если пренебречь постоянной времени T_J и считать переходный процесс изменения угловой скорости вала двигателя экспоненциальным, то, в первом приближении, время пуска двигателя t_{Π} составит порядка $4 T_{M2}$, т.е.

$$t_{\Pi} \approx 4 \cdot 0,234 = 0,936 \text{ с}.$$

Тогда допустимый коэффициент перегрузки по току K_I добавочного резистора и обмотки двигателя равен

$$K_I = 8 / \sqrt{0,936} = 8,27.$$

При пуске фактическое значение перегрузки двигателя по току $K_{I,\Phi}$ составит

$$K_{I,\Phi} = I_{\text{ЯМ}} / I_{\text{ЯН}} = 19 / 4,1 = 4,63.$$

7. Для перевода в режим рекуперативного торможения двигателя, работающего в номинальном режиме, необходимо скачком сбросить напряжение на якоре от номинального значения $U_{\text{ЯН}}$ ниже граничного значения $U_{\text{Я.ТОР}}$

$$U_{\text{Я.ТОР}} = U_{\text{ЯН}} (M_{\Pi} - M_H) / M_{\Pi},$$

где M_H — номинальный момент двигателя, $M_H = k_{\text{ЭМ}} I_{\text{ЯН}}$.

$$M_H = 0,82 \cdot 4,1 = 3,4 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$U_{\text{Я.ТОР}} = 220(132,65 - 3,4) / 132,65 = 214,36 \text{ В}.$$

Если, например, сбросить скачком напряжение на якоре МИ-41 с 220В до 81В, то, в силу инерционности якоря, в первый момент рабочая точка N на семействе механических характеристик двигателя (рис.1.1) при номинальной угловой скорости ω_H переместится в точку Т на характеристике 3, которая отсекает на осях ω , M соответственно отрезки:

$$\omega'_{\text{ХХ}} = 81 / 0,82 = 98 \text{ с}^{-1},$$

$$M'_{\Pi} = 81 \cdot 0,82 / 1,36 = 48,8 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Электромагнитный тормозной момент в точке Т составит $M_T = -74 \text{ Н} \cdot \text{м}.$

Уменьшение скорости вращения двигателя при торможении будет происходить по характеристике 3 и закончится в точке К, соответствующей номинальному моменту M_H и пониженной угловой скорости, равной примерно 60 рад/с.

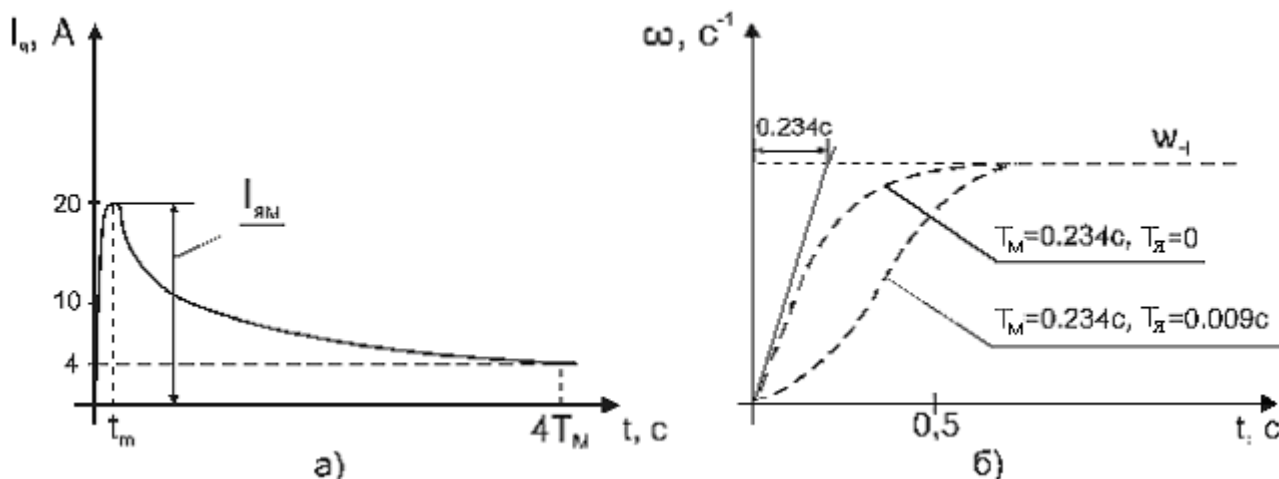


Рис.2.2. Примерные графики изменения при пуске двигателя: а – тока якоря; б – угловой скорости вала двигателя.

Практическое занятие №3

Расчет статических характеристик и параметров управляемого (двухфазного) асинхронного двигателя

Задание

- По данным технического паспорта заданного типа исполнительного микродвигателя рассчитать:
 - механическую характеристику двигателя;
 - КПД двигателя и обороты идеального холостого хода;
 - найти численные значения постоянных времени и коэффициента передачи, входящих в передаточную функцию двигателя;
 - максимальное значение тока обмотки статора при пуске двигателя и ориентировочное время пуска. При необходимости изменить схему пуска таким образом, чтобы пусковой ток не превышал допустимого значения;

– величину напряжения управления двухфазного асинхронного двигателя, при котором двигатель переходит в генераторный режим торможения.

2. Построить механическую характеристику двигателя и нанести на неё точку номинального режима.

В таблице № 3.1 приведены варианты исходных данных для задания.

Таблица 3.1 - Технические характеристики двухфазных асинхронных двигателей серии АДП, ДНД

№ варианта	Тип двигателя	Номинальная частота, Гц	Номинальная мощность, Вт	Номинальная частота вращения,	Номинальный вращающий момент	Пусковой момент $\cdot 10^{-2}$, Н·м	Напряж. обмотки возбуждения, В	Емкость цепи возбуждения, мкФ	Макс. напряжение управления, В	Номинальный ток управления, А	Момент инерции ротора $\cdot 10^{-6}$, кг·м ²
1	АДП-1	500	3,7	9000	0,4	0,55	120	0,3	35	0,15	0,8
2	АДП-120	500	2,4	4000	0,6	1,0	110	0,25	110	0,18	0,8
3	АДП-123	500	4,1	4000	1,0	1,4	110	0,3	120	0,18	0,8
4	АДП-123Б	500	8,9	6000	1,45	1,7	110	6,5	110	0,22	0,8
5	АДП-262	50	9,5	1850	5,0	9,0	110	2,5	125	0,58	1,7
6	АДП-263	500	2,4	6000	4,0	5,9	52	1,38	165	0,37	1,7
7	АДП-263А	500	27,8	6000	4,5	6,55	35	0,9	270	0,51	1,9
8	АДП-362	50	19	1950	9,5	17	110	6,5	120	0,65	4,0
9	АДП-363	500	35	6000	5,7	7,0	110	6,6	120	1,2	3,0
10	АДП-363А	500	46,4	6000	7,5	8,5	36	6,6	240	0,65	4,9
11	АДП-562	50	41	2000	20	35	110	11,0	160	0,73	13,0
12	АДП-563А	500	70,5	6000	11,4	12	36	14,4	240	0,9	12,0

Продолжение таблицы 3.1

13	ДНД-05	400	0,3	9700	0,03	0,06	36	-	30	-	0,45
14	ДНД-1	400	1,0	9700	0,1	0,16	36	-	30	-	0,7
15	ДНД-2	400	2,0	10800	0,18	0,34	36	-	30	-	0,8
16	ДНД-3	400	3,0	5800	0,5	1,0	36	-	30	-	2,4
17	ДНД-5	400	5,0	4850	1,0	2,0	36	-	30	-	-

Пример решения задания

Решим задание при условии, что заданным типом исполнительного микродвигателя является асинхронный управляемый (двухфазный) двигатель, например АДП-123Б, со следующими параметрами технического паспорта:

- номинальная частота $f_1 = 500 \text{Гц}$;
- номинальная мощность $P_H = 8,9 \text{Вт}$;
- номинальная частота вращения $n_H = 6000 \text{об/мин}$;
- частота вращения холостого хода $n_{XX} = 7000 \text{об/мин}$;
- номинальный вращающий момент $M_H = 1,45 \cdot 10^{-2} \text{Н} \cdot \text{м}$;
- пусковой момент $M_{II} = 1,7 \cdot 10^{-2} \text{Н} \cdot \text{м}$;
- напряжение обмотки возбуждения (ОВ) $U_B = 110 \text{В}$;
- емкость конденсатора в цепи обмотки возбуждения $C = 0,5 \text{мкФ}$;
- номинальная мощность ОВ $P_B = 26 \text{Вт}$;
- максимальное напряжение обмотки управления (ОУ) $U_{Y.MAKC} = 110 \text{В}$;
- номинальный ток ОУ $I_Y = 0,22 \text{А}$;
- номинальная мощность ОУ $P_Y = 12 \text{Вт}$;
- момент трения $M_{TP} = 0,33 \cdot 10^{-2} \text{Н} \cdot \text{м}$;
- момент инерции ротора двигателя $J_D = 0,8 \cdot 10^{-6} \text{кг} \cdot \text{м}^2$.

Схема включения двухфазного двигателя при амплитудном управлении частотой вращения показана на рис.3.1.

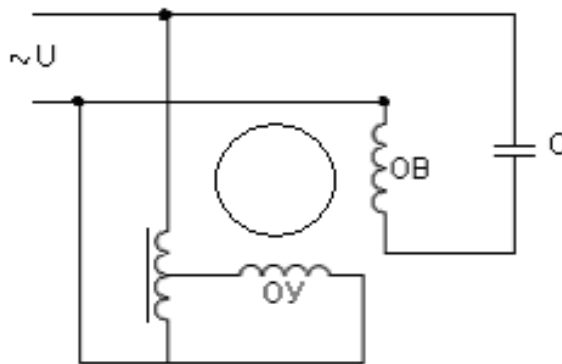


Рис.3.1. Схема включения двухфазного двигателя в однофазную сеть

Рассмотрим одно из возможных решений задачи.

1. Семейство механических характеристик асинхронного управляемого двигателя (АУД) можно построить по аналитическому выражению, которое легко получается из [2, с.269] :

$$\omega = \frac{2\omega_1\alpha}{1+\alpha^2} \left(1 - \frac{M}{M_{II}\alpha} \right), \quad (3.1)$$

где $\alpha = U_y/U_\phi$ – коэффициент сигнала, $0 \leq \alpha \leq 1$.

При построении каждой зависимости из семейства статических механических характеристик коэффициент α полагается величиной постоянной. Поэтому, как следует из выражения (3.1), все характеристики семейства представляют собой непараллельные прямые, отсекающие на оси ординат ω отрезки ω_{xx} , равные $2\omega_1\alpha/(1+\alpha^2)$, а на оси абсцисс M – отрезки, равные $M_{II}\alpha$.

Угловая частота ω_1 вращающегося магнитного поля (ВМП) определяется выражением

$$\omega_1 = 2\pi n_1 / 60, \quad (3.2)$$

где n_1 – скорость вращения ВМП, об/мин.

Известно, что

$$n_1 = 60f_1 / p,$$

где f_1 – частота питания двигателя, в нашем случае $f_1 = 500 \text{ Гц}$;

p – число пар полюсов статора двигателя.

Из справочных данных для АУД [1,2] следует, что номинальная скорость вращения $n_n \approx (0.4-0.6)n_1$. Поэтому с большой уверенностью можно предположить, что $n_1 = 15000 \text{ об/мин}$, т.е. $p=2$. Тогда согласно формуле (3.2)

$$\omega_1 = 2 \cdot 3,14 \cdot 15000 / 60 = 1570 \text{ с}^{-1}.$$

Построим механические характеристики по отрезкам, отсекаемым на осях ω и M для значений α , равных соответственно 0,1, 0,5 и 1. Численные значения указанных отрезков для двигателя АДП – 123Б сведены в табл.3.1, а характеристики семейства показаны на рис.3.2.

Таблица 3.1 - Значение отрезков на осях ω и M для построения семейства статических механических характеристик

Коэффициент сигнала α	Отрезки ω_{xx} на оси ω , c^{-1}	Отрезки на оси M , $10^{-2} \text{ Н} \cdot \text{м}$
1	1570	1,7
0,5	1256	0,85
0,1	310,9	0,17

Реальные механические характеристики не являются прямыми линиями, однако в диапазоне скоростей $0 < \omega < 0,5\omega_{xx}$ они могут быть аппроксимированы отрезками прямых. В нашем случае

$$0,5\omega_{xx} = 0,5 \cdot 2\pi \cdot 7000 / 60 = 366,3 c^{-1}$$

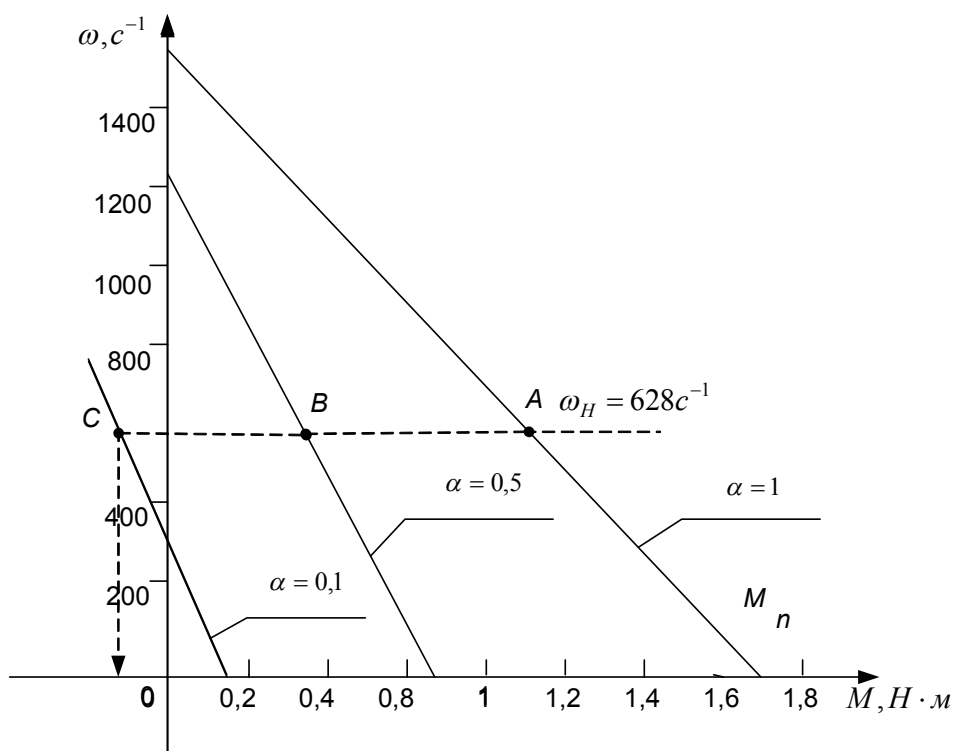


Рис.3.2. Семейство статических механических характеристик асинхронного управляемого двигателя

2. КПД двигателя определим для номинального режима работы:

$$\eta = P_H / (P_H + P_B + P_V + M_{TP}\omega_H),$$

где ω_H – номинальная угловая скорость вала двигателя

$$\omega_H = 2\pi \cdot 6000 / 60 = 628 \text{ с}^{-1}.$$

$$\eta = 8,9(8,9 + 26 + 12 + 0,33 \cdot 10^{-2} \cdot 628) = 0,182.$$

Таким образом КПД АУД существенно меньше, чем у трехфазных асинхронных двигателей.

3. Скорость вращения идеального холостого хода n_{xx} соответствует значению момента сопротивления на валу двигателя $M_c = M = 0$ и зависит от величины α . Она может быть определена по данным табл.3.1 по формуле

$$n_{xx} = 60\omega_{xx} / 2\pi.$$

Для $\alpha = 1$ $n_{xx} = 15000 \text{ об / мин.};$

для $\alpha = 0,5$ $n_{xx} = 60 \cdot 1256 / 6,28 = 12000 \text{ об / мин.};$

для $\alpha = 0,1$ $n_{xx} = 60 \cdot 310,9 / 6,28 = 2970 \text{ об / мин.}$

4. На механические характеристики нанесём точки А и В, соответствующие номинальной угловой скорости ω_H двигателя для $\alpha = 1$ и $\alpha = 0,5$. На характеристике, построенной для $\alpha = 0,1$ в двигательном режиме работы АУД, такая точка отсутствует. Двигательный режим работы АУД соответствует семейству его механических характеристик в первом квадранте системы координат ω, M .
5. Наибольшую величину пониженного напряжения U_y на обмотке управления, переводящего АУД в режим рекуперативного торможения, найдём из выражения для ω_{xx} , положив его равным ω_H ,

$$\omega_H = 2\omega_1 \alpha_T / (1 + \alpha_T^2). \quad (3.3)$$

Значение коэффициента сигнала α_T в режиме рекуперативного торможения найдём из решения квадратного относительно α_T уравнения, получаемого из выражения (3.3),

$$\alpha_T = \frac{\omega_1 - \sqrt{\omega_1^2 - \omega_H^2}}{\omega_H}. \quad (3.4)$$

Знак “+” в выражении (3.4) не имеет физического смысла, т.к. при этом получается величина $\alpha_T \gg 1$. Таким образом,

$$\alpha_T = \frac{1570 - \sqrt{1570^2 - 628^2}}{628} = 0,208.$$

Следовательно, режим рекуперативного торможения наступит, когда система управления АУД, работавшего при номинальной угловой

скорости, сбросит скачком напряжение управления ниже уровня U_{yT} , равного

$$U_{yT} = U_{y.MAKC} \alpha_T.$$

Для АДП-123Б это произойдет при напряжении управления

$$U_{yT} < 110 \cdot 0,208 = 22,88 \text{ В}.$$

Например, если напряжение управления U_y (в указанных условиях работы) будет сброшено до уровня $U_y = 110 \cdot 0,1 = 11 \text{ В}$, то это приведёт к возникновению электромагнитного тормозного момента M_T , который в первый момент времени торможения может быть определён аналитически из выражения (3.1) при подстановке в него значений $\omega = \omega_H = 628 \text{ с}^{-1}$ и $\alpha = 0,1 < \alpha_T$, или графически как отрицательная абсцисса точки С пересечения горизонтали $\omega = \omega_H = 628 \text{ с}^{-1} - \text{const}$ и механической характеристики АУД, соответствующей $\alpha = 0,1$. Значение тормозного момента M_T , определенное вторым способом из графиков рис.3.2, равно

$$M_T = -0,18 \cdot 10^{-2} \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Практическое занятие №4

Расчет динамических характеристик и параметров управляемого (двухфазного) асинхронного двигателя

Задание

1. Определить максимальное значение динамического момента двигателя при пуске и допустимый коэффициент перегрузки двигателя по моменту.
2. Найти графически максимальную величину электромагнитного тормозного момента в рекуперативном режиме работы двигателя для одной из механических характеристик, соответствующей пониженному напряжению питания якоря или управления (для двухфазного асинхронного двигателя).
3. Нарисовать принципиальную электрическую схему подключения двигателя к питающей сети в режиме пуска.
4. Нарисовать примерные графики изменения тока статора и угловой скорости вращения вала при пуске двигателя.

В таблице № 3.1 приведены варианты исходных данных для задания.

Пример решения задания

Анализ переходных и установившихся режимов работы систем автоматического управления (САУ), как правило, проводят, представляя функциональные элементы и узлы САУ в виде тех или иных динамических звеньев. Каждое динамическое звено характеризуют передаточной функцией, представляющей собой отношение изображений по Лапласу выходной величины ко входной при нулевых начальных условиях. Реакцию выходной величины наблюдают при скачкообразном изменении входной. В семействе механических характеристик АУД входной переменной целесообразно принять напряжение U_y обмотки управления, а выходной величиной - угловую скорость ω вала двигателя. Тогда передаточная функция АУД примет вид [3]:

$$W(s) = \omega(s)/U_y(s) = k_{дв}/(Ts+1) ,$$

где $k_{дв}$ – коэффициент передачи двигателя, $k_{дв} = 2\omega_1/[U_B(1+\alpha^2)]$;

T – электромеханическая постоянная времени, $T = 2\omega_1 J/[(1+\alpha^2)M_{II}]$,
здесь J – эквивалентный момент инерции, который при отсутствии инерциальной нагрузки равен моменту инерции ротора АУД.

Определим для $\alpha=1$ численные значения указанных параметров.

$$k_{дв} = 2 \cdot 1570 / 110(1+1) = 14,27 c^{-1} / B ,$$

$$T = 2 \cdot 1570 \cdot 0,8 \cdot 10^{-6} / (1+1) \cdot 1,7 \cdot 10^{-2} = 0,0739 c.$$

Полученные численные значения параметров передаточной функции позволяют в первом приближении оценить длительность переходного процесса изменения скорости вращения ротора двигателя при скачкообразном изменении напряжения на управляющей обмотке, а также установившееся значение угловой скорости $\omega_{уст}$ при лю-

бом значении коэффициента сигнала α . Например, при $\alpha = 1$
 $\omega_{уст} = 14,27 \cdot 110 = 1570 c^{-1}$, а длительность переходного процесса

$$t_{III} \approx 3 \cdot 0,0739 = 0,222 c.$$

Управляемые асинхронные микродвигатели широко применяют в системах автоматического управления технологическими установками, приборных следящих системах, электрических исполнительных механизмах малой мощности.

Практическое занятие №5

Расчет статических характеристик и параметров трехфазного асинхронного двигателя

Задание

По данным технического паспорта заданного типа исполнительного микродвигателя рассчитать:

- механическую характеристику двигателя;
- КПД двигателя и обороты идеального холостого хода;
- найти численные значения постоянных времени и коэффициента передачи, входящих в передаточную функцию двигателя;
- максимальное значение тока обмотки статора при пуске двигателя и ориентировочное время пуска. При необходимости изменить схему пуска таким образом, чтобы пусковой ток не превышал допустимого значения;
- величину пониженного по сравнению с номинальным напряжением асинхронного двигателя, при котором двигатель переходит в генераторный режим торможения.

В таблице № 5.1 приведены варианты исходных данных для задания.

Таблица 5.1 - Технические характеристики трехфазных двигателей серии ДАТ и УАД для частоты 50 Гц

№ варианта	Тип двига- теля	U _{ном} , В	P _{ном} , Вт	I _{ном} , А	Номиналь- ная ско- рость вра- M _{ном} ·10 ⁻⁴ , Н·м	Момент инерции ·10 ⁻⁶ , кг·м ²	Пусковой момент ·10 ⁻⁴ , Н·м	КПД, %	
1	ДАТ 31271	220	6	0,16	2600	236	6	422	25
2	ДАТ 32271	220	10	0,18	2600	372	9,22	475	39
3	ДАТ 42271	220	16	0,2	2750	588	28,4	1570	50
4	ДАТ 51271	220	40	0,3	2700	1470	53,8	3400	58
5	ДАТ 53271	220	60	0,6	2750	2150	92,1	4950	63
6	ДАТ 53172	220	60	0,55	1280	4600	92,1	7350	58

Продолжение таблицы 5.1

7	ДАТ53172-2	220	60	0,55	1280	4600	92,1	7350	58
8	ДАТ 53182	380	60	0,32	1280	4600	92,1	7350	58
9	ДАТ53182-2	380	60	0,32	1280	4600	92,1	7350	58
10	УАД-12	220	1,5	0,06	2760	52	130	129	14
11	УАД-22	220	4	0,1	2760	138	432	207	22
12	УАД-32	220	7	0,11	2760	242	566	486	30
13	УАД-42	220	13	0,52	2760	450	1365	900	45
14	УАД-52	220	20	0,81	2760	690	1720	1380	51
15	УАД-62	220	40	1,5	2760	1385	4350	2080	60
16	УАД-72	220	70	2,7	2760	2420	6000	3630	65
17	УАД-24	220	1,2	0,08	1330	86	4320	129	9
18	УАД-34	220	2,5	0,16	1330	184	566	276	11

Пример решения задания

В этом примере приведен расчет характеристик и параметров трехфазного исполнительного двигателя ДАТ-42271, технический паспорт которого содержит следующие данные:

- частота питающей сети $f = 50 \text{ Гц}$;
- номинальная мощность двигателя $P_H = 25 \text{ Вт}$;
- линейное напряжение сети $U_{IH} = 220 \text{ В}$;
- номинальная частота вращения $n_H = 2700 \text{ об / мин}$;
- номинальный момент $M_H = 980 \cdot 10^{-4} \text{ Н} \cdot \text{м}$;
- пусковой момент $M_{II} = 1670 \cdot 10^{-4} \text{ Н} \cdot \text{м}$;
- коэффициент мощности $\cos \varphi = 0,7$;
- момент инерции $J = 28,4 \cdot 10^{-6} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$;
- номинальный ток $I_{IH} = 0,2 \text{ А}$.

Двигатель имеет короткозамкнутый ротор, обмотки статора двигателя соединены в звезду.

Решение

1. Механическая характеристика трехфазного асинхронного двигателя (АД) может быть построена по следующему выражению [3]:

$$M = \frac{2M_{MAX}(1+S_K)}{S/S_K + S_K/S + 2S_K}, \quad (5.1)$$

где M_{MAX} – максимальный электромагнитный момент АД;

S_K – критическое скольжение ротора, соответствующее M_{MAX} ;

S – скольжение ротора АД, $S = (n_1 - n) / n_1$;

здесь n_1 – частота вращающегося магнитного поля (ВМП), созданного статорными обмотками, $n_1 = 60f / p$;

p – число пар полюсов, образованных обмотками статора.

При $p=1$ и $f=50\text{Гц}$ $n_1 = 3000\text{об/мин}$. Если $p=2$, то $n_1 = 1500\text{об/мин}$.

В нашем случае номинальное скольжение

$$S_H = (3000 - 2700) / 3000 = 0,1.$$

Известно [1], что коэффициент перегрузки λ_M трехфазного двигателя по моменту равен:

$$\lambda_M = M_{MAX} / M_H = 2 \div 2,2.$$

Поэтому, задавшись $\lambda_M = 2,05$, получим

$$M_{MAX} = 2,05 \cdot 980 \cdot 10^{-4} \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Величина критического скольжения S_K связана со значениями S_H и λ_M следующим выражением [3]:

$$S_K = \frac{S_H \left[\lambda_M + \sqrt{\lambda_M^2 + 2S_H(\lambda_M - 1)} - 1 \right]}{1 - 2S_H(\lambda_M - 1)};$$

$$S_K = \frac{0,1 \left[2,05 + \sqrt{2,05^2 + 2 \cdot 0,1(2,05 - 1)} - 1 \right]}{1 - 2 \cdot 0,1 \cdot (2,05 - 1)} = 0,4933.$$

Подставляя значения M_{MAX} и S_K в (5.1), получим выражение для механической характеристики

$$M = \frac{2 \cdot 2009 \cdot 10^{-4} (1 + 0,4933)}{S / 0,4933 + 0,4933 / S + 2 \cdot 0,4933} = \frac{0,6}{2,027S + 0,4933 / S + 0,9866}. \quad (5.2)$$

Рассчитаем по выражению (5.2) значения номинального и пускового моментов АД

$$M_H(S_H = 0,1) = \frac{0,6}{0,1 / 0,4933 + 0,4933 / 0,1 + 0,9866} = 0,098 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$M_H(S = 1) = \frac{0,6}{1 / 0,4933 + 0,4933 / 1 + 0,9866} = 0,171 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Сравнивая полученные значения с данными технического паспорта, видим, что расчетная погрешность не превышает 2,4%, что вполне допустимо для инженерных расчетов.

Для построения механической характеристики АД рассчитаем значения M еще в двух – трех точках, соответствующих, например, $S = 0$ и $S = 0,75$.

При $S = 0$ $M = 0$, что соответствует принципу действия АД.

$$M(S=0,75) = \frac{0,6}{0,75/0,4933 + 0,4933/0,75 + 0,9866} = 0,1896 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Как следует из приведенных расчетов, при критическом скольжении $S_K = 0,4933$ значение

$$M = M_{MAX} = 0,2009 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Механическая характеристика АД, построенная по пяти точкам, приведена на рис.5.1. По оси ординат отложены значения не частоты (скорости) вращения ротора n , а его угловой скорости ω , связь между которыми осуществляется по известной формуле

$$\omega = 2\pi n / 60.$$

Угловые скорости можно также рассчитать для ряда значений S по формуле

$$\omega = \omega_I(1-S) = 2\pi n_I(1-S) / 60,$$

где ω_I - угловая скорость ВМП.

Результаты расчетов координат точек механической характеристики АД представлены в табл.5.1.

Таблица 5.1 - Координаты точек механической характеристики двигателя

S	0	0,1	0,4933	0,75	1	1,9
$\omega, \text{с}^{-1}$	314	282,6	154,9	78,5	0	-282,6
$M, 10^{-4} \text{ Н}\cdot\text{м}$	0	980	2009	1896	1710	1177

Механические характеристики построены для «прямого» (точки С, D, N, ω_I) и «обратного» (точки А, В, $-\omega_I$) направлений вращения ротора АД (рис.5.1). Точка N соответствует номинальному режиму АД, точка D – максимальному электромагнитному моменту, точка С — пусковому моменту, точка с координатами $(0, \omega_I)$ — режиму идеального холостого хода (х.х.) для прямого ВМП, а точка с координатами $(0, -\omega_I)$ — режиму идеального х.х. для обратного ВМП, тока В — пусковому моменту для обратного ВМП. Точка А соответствует режиму торможения противовключением.

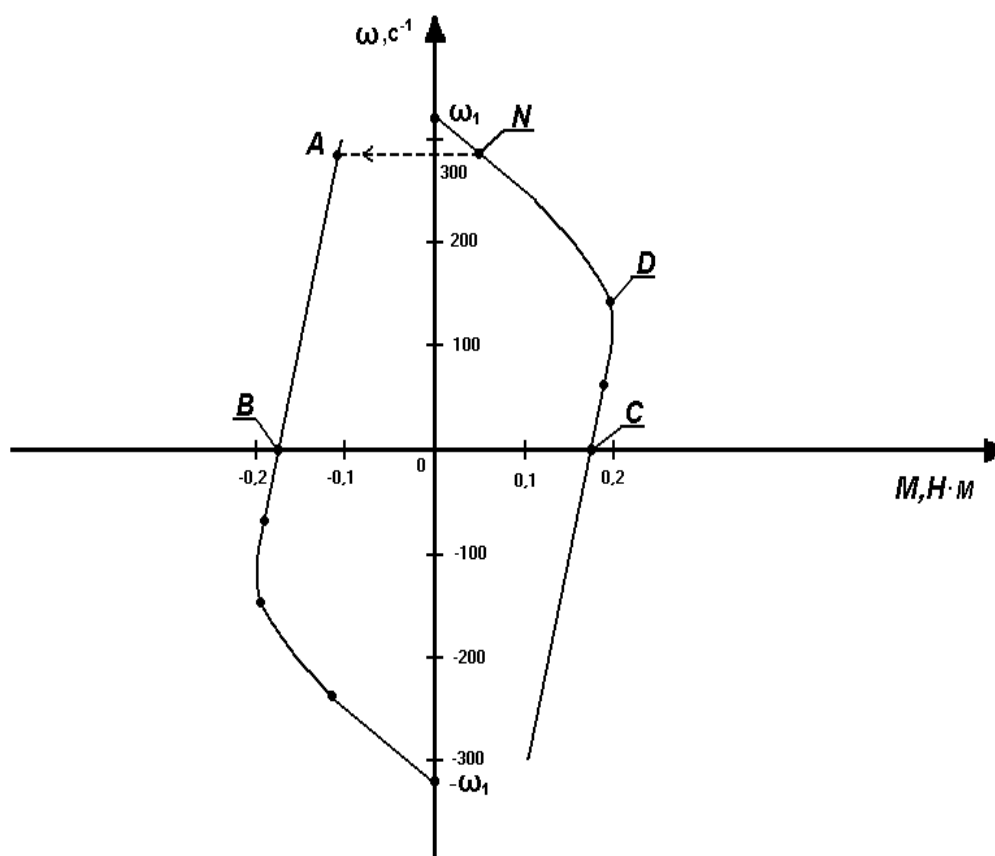


Рис.5.1. Механические характеристики для прямого (точки ω_1 , N, D, C) и обратного (точки $-\omega_1$, B, A) направлений вращения двигателя

2. КПД двигателя можно оценить по следующему выражению:

$$\eta = P_H / (\sqrt{3} \cdot U_{1H} I_{1H} \cos \varphi).$$

$$\eta = 25 / (\sqrt{3} \cdot 220 \cdot 0,2 \cdot 0,7) = 0,47.$$

Частота вращения ротора в режиме идеального холостого хода, когда $M=0$, совпадает с ω_1 и составляет $\omega_1 = 2\pi \cdot 3000 / 60 = 314 \text{ c}^{-1}$.

Практическое занятие №6

Расчет динамических характеристик и параметров трехфазного асинхронного двигателя

Задание

1. Определить тормозной момент трехфазного АД в режиме противовключения.

2. Определить передаточную функцию АД при управлении напряжением на статорных обмотках.
3. Определить время пуска на холостом ходу при номинальной нагрузке.

Пример решения задания

1. Для трёхфазных АД электромагнитное торможение путём снижения напряжения питания неэффективно и практически не применяется. Широкое применение имеет тормозной режим противовключением. Переход в этот режим трёхфазных АД, работающих в номинальном режиме, осуществляется переключением обмоток статора для другого (обратного) направления вращения ВМП и ротора. Для этого при кратковременном отключении двигателя от трёхфазной сети необходимо “поменять местами” выводы любых двух фаз статора. Известно, что кинетическая энергия ротора и нагрузки не позволяют скачком изменить величину и направление вращения, поэтому двигатель в первый момент времени и на всём участке торможения АВ работает как генератор и создаёт отрицательный (тормозной) электромагнитный момент (рис.5.1). Поэтому в первый момент торможения скольжение в точке А на характеристике обратного направления вращения составит

$$S_A = (-\omega_1 - \omega_A) / (-\omega_1)$$

$$S_A = \frac{-314 - 282,6}{-314} = 1,9.$$

Тогда тормозной момент в точке А равен

$$M = \frac{0,6}{1,9 / 0,4933 + 0,4933 / 1,9 + 0,9866} = 0,1177 \text{ Н} \cdot \text{М}.$$

Известно [3], что при скольжении, большем 1, токи обмоток статора превышают пусковые и примерно на порядок больше номинального значения. Поэтому для двигателя с короткозамкнутой обмоткой ротора режим торможения противовключением можно использовать только с целью быстрой остановки привода. При достижении нулевой угловой скорости двигатель должен быть отключен от сети (точка В). Отключение двигателя происходит, например, с помощью реле скорости вращения. При торможении противовключением двигателей с

фазным ротором в цепь ротора следует вводить сопротивление внешнего реостата для ограничения тока и повышения тормозного момента.

1. Передаточная функция АД при управлении напряжением имеет вид [1]

$$W(s) = \frac{\Delta\omega(s)}{\Delta U(s)} = \frac{k}{T_M s + 1},$$

где k – коэффициент передачи двигателя,

T_M – электромеханическая постоянная времени ротора.

Если момент сопротивления нагрузки не зависит от угловой скорости и регулирование ω ведётся при поддержании постоянным номинального момента двигателя, то

$$\begin{aligned} T_M &= JS_H \omega_1 / M_H; \\ k &= k_{ДВ} S_H \omega_1 / M_H, \end{aligned} \quad (6.1)$$

где $k_{ДВ} = \partial M / \partial U$.

Так как момент $M = c \cdot U^2$, где c – константа, зависящая от конструктивных параметров двигателя, то в точке номинального режима

$$\frac{\partial M}{\partial U} = 2 M_H / U_{1H}.$$

Подставляя последнее выражение в (6.1), получим

$$k = 2 S_H \omega_1 / U_{1H}.$$

Найдём численные значения T_M и k .

$$T_M = 28,4 \cdot 10^{-6} \cdot 0,1 \cdot 314 / 980 \cdot 10^{-4} = 9,1 \cdot 10^{-3} \text{ с},$$

$$k = 2 \cdot 0,1 \cdot 314 / 220 = 0,285 \text{ с}^{-1} \cdot \text{В}^{-1}.$$

2. Время пуска двигателя t_{II} определим по формуле [1]

$$t_n = \frac{J \omega_H}{M_{II} - M_C},$$

ω_H – номинальная угловая скорость, $\omega_1 = 282,6 \text{ рад}^{-1}$;

M_C – приведённый к валу двигателя момент сопротивления нагрузки.

В номинальном режиме $M_C = M_H = 0,098 \text{ Н} \cdot \text{м}$ и, следовательно,

$$t_{II} = 28,4 \cdot 10^{-6} \cdot 314 / (0,167 - 0,098) = 129,2 \cdot 10^{-3} \text{ с}.$$

На холостом ходу $M_C = 0$ и тогда

$$t_{II} = 28,4 \cdot 10^{-6} \cdot 314 / 0,167 = 53,4 \cdot 10^{-3} \text{ с}.$$

Практическое занятие №7

Расчет мощности и выбор электродвигателя для системы автоматики по заданным условиям эксплуатации, нагрузочной диаграмме и тахограмме

Задание

Рассчитать мощность и выбрать электродвигатель для системы автоматики по следующим исходным данным:

1. скорость вращения вала механизма нагрузки n_m , об/мин;
2. момент инерции механизма нагрузки J_m , кг·м²;
3. примерное значение КПД редуктора, соединяющего “тихоходный” вал нагрузки с “быстроходным” валом двигателя η_p , о.е.;
4. ориентировочное значение тепловой постоянной двигателя T_m , мин;
5. условия эксплуатации и диаграмма нагрузки.

После выбора двигателя необходимо:

1. Определить передаточное отношение и число ступеней редуктора, его КПД;
2. Определить оптимальное значение передаточного отношения редуктора, обеспечивающего максимальное ускорение вращения вала нагрузки;
3. Вычислить максимальное угловое ускорение ротора двигателя и определить соответствующее этому ускорению время пуска;
4. Определить время пуска двигателя на холостом ходу и под нагрузкой (для фактического значения передаточного отношения редуктора);
5. Начертить функциональную схему двигателя, обеспечивающую его пуск и плавное регулирование скорости вращения. Выбрать тахогенератор и рассчитать подключаемый к его выходу делитель напряжения.

В табл.7.1 приведены варианты исходных данных, а на рис.7.1— диаграммы нагрузок, необходимые для выбора двигателя.

Условия эксплуатации двигателя:

- для вариантов №1-10,31-40-система автоматизации стационарной установки с повторяющейся диаграммой нагрузки на рис.7.1а;
- для вариантов №11-20-бортовая система наземного подвижного объекта с диаграммой нагрузки на рис.7.1б(кратковременный режим);
- для вариантов №21-30,41-50-привод системы управления станка с диаграммой нагрузки на рис.7.1в(повторно-кратковременный режим);

Тепловая постоянная T_m нагрева двигателя для вариантов №1-10 равна 15 мин., для вариантов №11-20 — 12 мин. , для вариантов №21-30—10 мин., для вариантов №31-40—9 мин. и для вариантов №40-50 — 8мин.

Таблица 7.1 - Варианты исходных данных для выбора двигателя

Параметры нагрузки	№ варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
n_m ,об/мин	50	60	70	80	90	100	120	140	160	180
J_m ,кг · м ²	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,15	0,1	0,2	0,1
η_p	0,85	0,86	0,88	0,89	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95

Продолжение таблицы 7.1

Параметры нагрузки	№ варианта									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
n_m ,об/мин	40	50	60	70	80	90	100	120	140	160
J_m ,кг · м ²	0,05	0,04	0,03	0,02	0,1	0,05	0,3	0,2	0,15	0,05
η_p	0,85	0,86	0,88	0,89	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95

Продолжение таблицы 7.1

Параметры нагрузки	№ варианта									
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
n_m ,об/мин	40	50	60	70	80	90	100	120	140	160
J_m ,кг · м ²	0,1	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01
η_p	0,85	0,86	0,88	0,89	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95

Продолжение таблицы 7.1

Параметры нагрузки	№ варианта									
	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
n_m , об/мин	190	220	240	260	280	300	320	340	360	380
J_m , кг·м ²	0,1	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01
η_p	0.9	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99

Продолжение таблицы 7.1

Параметры нагрузки	№ варианта									
	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
n_m , об/мин	195	230	250	270	290	310	330	350	370	390
J_m , кг·м ²	0,1	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01
η_p	0.9	0,91	0,915	0,92	0,925	0,93	0,935	0,94	0,945	0,95

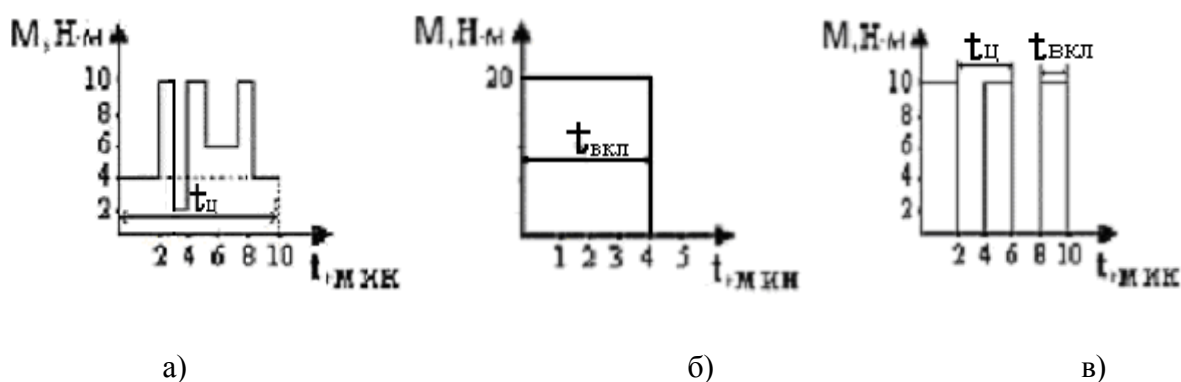


Рис. 7.1. Диаграммы нагрузок

Пример исходных данных задания.

Рассчитать мощность и выбрать электродвигатель для системы автоматизации по следующим исходным данным :

- скорость вращения вала механизма нагрузки $n_m = 100$ об/мин;
- момент инерции механизма нагрузки $J_m = 0,03$ кг·м²;
- примерное значение КПД редуктора, связывающего вал нагрузки с валом двигателя, $\eta_p = 0,82$;

- ориентировочное значение тепловой постоянной двигателя $T_H = 7$ мин;
- условия эксплуатации: система программного управления во взрывобезопасном помещении с непрерывно повторяющейся диаграммой нагрузки (рис. 7.2.).

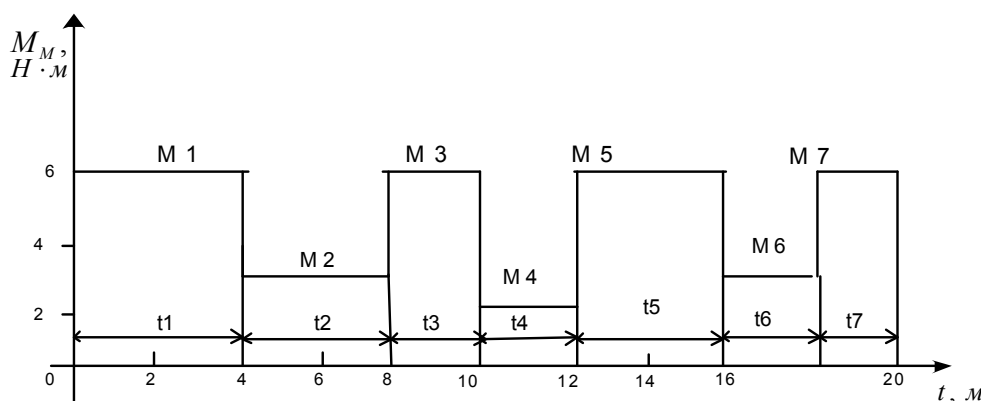


Рис.7.2. Диаграмма нагрузки двигателя

Необходимо:

1. Рассчитать мощность и выбрать тип двигателя;
2. Определить передаточное отношение и число ступеней сцеплений редуктора, а также его КПД;
3. Выполнить разбивку передаточного отношения редуктора по ступеням сцеплений “шестерня-колесо”;
4. Определить оптимальное значение передаточного отношения редуктора, обеспечивающего максимальное ускорение вращения вала нагрузки;
5. Вычислить максимальное ускорение вала двигателя и определить минимальное время пуска;
6. Определить время пуска двигателя на холостом ходу и под нагрузкой (для фактического значения передаточного отношения редуктора);
7. Начертить функциональную схему включения двигателя, обеспечивающую его пуск и плавное регулирование скорости вращения.

Пример решения задания

1. В соответствии с повторяющимся характером диаграммы нагрузки, а также величиной тепловой постоянной T_H двигатель надо выбирать как работающий в **длительном режиме работы с пере-**

менной нагрузкой. В этом случае расчетную мощность двигателя определяем по формуле

$$P = \frac{M_{\text{э}} \omega_M}{\eta_p}, \quad (7.1)$$

где $M_{\text{э}}$ – эквивалентное по нагреву значение момента нагрузки.

$$M_{\text{э}} = \sqrt{\frac{M_1^2 t_1 + M_2^2 t_2 + \dots + M_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}},$$

$$M_{\text{э}} = \sqrt{\frac{6^2 \cdot 4 + 3^2 \cdot 4 + 6^2 \cdot 2 + 2^2 \cdot 2 + 6^2 \cdot 4 + 3^2 \cdot 2 + 6^2 \cdot 2}{4 + 4 + 2 + 2 + 4 + 2 + 2}} = 4,96 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

ω_M – номинальная угловая скорость механизма нагрузки,

$$\omega_M = 2\pi n_M / 60.$$

$$\omega_M = 2 \cdot 3,14 \cdot 100 / 60 = 10,46 \text{ с}^{-1}.$$

$$P = \frac{4,96 \cdot 10,46}{0,82} = 63,27 \text{ Вт}.$$

2. По каталогу находим двигатель, удовлетворяющий условиям эксплуатации, с номинальной мощностью $P_H > P$. Выбираем двигатель постоянного тока параллельного возбуждения типа СЛ – 569 со следующими номинальными значениями параметров:

- номинальное напряжение якоря $U_H = 110 \text{ В}$;
- номинальная мощность $P_H = 175 \text{ Вт}$;
- номинальный ток якоря $I_{\text{яН}} = 2,2 \text{ А}$;
- номинальная частота вращения $n_D = 3600 \text{ об/мин}$;
- номинальный момент двигателя $M_{\text{ДВ}} = 0,425 \text{ Н} \cdot \text{м}$;
- пусковой момент двигателя $M_{\text{П}} = 1,05 \text{ Н} \cdot \text{м}$;
- сопротивление обмотки якоря $R_{\text{я}} = 3,6 \text{ Ом}$;
- сопротивление обмотки возбуждения $R_{\text{ов}} = 880 \text{ Ом}$;
- коэффициент самоиндукции якоря $L_{\text{я}} = 30 \text{ мГн}$;
- момент инерции якоря двигателя $J_D = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.
- масса двигателя $m = 4,5 \text{ кг}$;
- габаритные размеры $D \times L = 108 \text{ мм} \times 173 \text{ мм}$;

Передаточное отношение понижающего редуктора должно составлять

$$i = n_D / n_M ,$$

$$i = 3600 / 100 = 36.$$

Проверим выполнение необходимых условий работы двигателя

$$M_{ДВ} > M_{М.МАКС} / i \quad \text{и} \quad M_{П} > M_1 / i.$$

Указанные условия выполняются, т.к.

$$0,425 > 6/36 \quad \text{и} \quad 1,05 > 6/36.$$

В системах автоматики малой мощности, особенно в следящих системах (СС) с двухфазным асинхронным двигателем с полым ротором, большое значение имеет распределение общего передаточного отношения редуктора i между отдельными парами зубчатых колес из условия обеспечения наименьшего приведенного к валу двигателя момента инерции нагрузки. Недопустимо, чтобы момент инерции нескольких первых колес (шестерен) оказался соизмеримым или в несколько раз большим момента инерции ротора двигателя J_D . При одинаковых видах кинематических передач во всех ступенях редуктора для уменьшения ошибки “мертвого хода”, который может вызвать автоколебания в СС, необходимо выполнить условие

$$i_{1,2} < i_{3,4} < \dots < i_{m-1,m} < i = i_{1,2} \cdot i_{3,4} \cdot \dots \cdot i_{m-1,m} , \quad (7.2)$$

где $i_{1,2}, i_{3,4}, \dots, i_{m-1,m}$ - передаточные отношения соответственно первой, второй и т.д. пар “шестерня-колесо”.

Для получения минимальных габаритов редуктора близкое к оптимальному число $m_{онм}$ пар “шестерня-колесо” редуктора можно определить согласно [5]

$$m_{онм} = 1,85 \lg i.$$

Последнее выражение соответствует среднему значению передаточного отношения одной пары “шестерня-колесо”, равному 3,47.

В нашем случае

$$m_{онм} = 1,85 \lg 36 = 2,88 .$$

Округлим число ступеней редуктора $m_{онм}$ до целого числа 3.

Кинематическая схема электропривода с трехступенчатым понижающим редуктором показана на рис. 7.3.

На рис. 7.4. приведены номограммы [6] для определения передаточных отношений отдельных пар “шестерня-колесо” при заданном общем передаточном отношении редуктора. Кривые 1, 2, 3 и 4 соот-

ветствуют редукторам соответственно с двумя, тремя, четырьмя и пятью парами сцеплений “шестерня-колесо”, причем все шестерни редуктора имеют одинаковые диаметры и массу.

Из кривой 2 рис.7.4. для $i = 36$ определим передаточное отношение $i_{1,2}$ первой пары “шестерня-колесо”, $i_{1,2} = 2,14$.

Тогда общее передаточное отношение второй и третьей пар сцеплений редуктора

$$i_{3,6} = i_{3,4} \cdot i_{5,6} = i / i_{1,2}, \quad i_{3,6} = 36 / 2,14 = 16,8.$$

Из кривой 1 рис.7.4. для $i = 16,8$ определим $i_{3,4} = 3,06$, считая мысленно пару 3,4 первой в двухступенчатом редукторе. Тогда

$$i_{5,6} = i / (i_{1,2} \cdot i_{3,4}), \quad i_{5,6} = 36 / (2,14 \cdot 3,06) = 5,5.$$

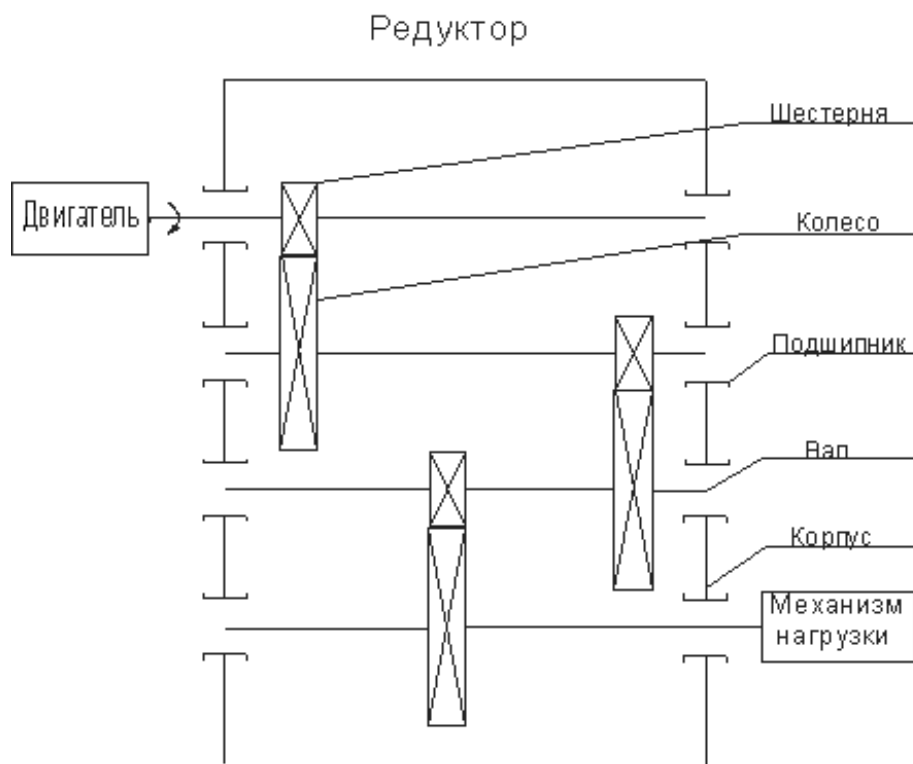


Рис.7.3. Кинематическая схема электропривода

Рекомендуемое неравенство (7.2) выполняется, т.к. $2,14 < 3,06 < 5,5$.

Если угловая скорость ω_M вала механизма нагрузки не остаётся постоянной, то её эквивалентное ω_{Σ} по нагреву двигателя значение может быть определено по тахограмме по формуле, аналогичной по структуре используемой для вычисления эквивалентного момента M_{Σ} . Это значение ω_{Σ} следует подставить в формулу (7.1) и найти уточнённую величину расчетной мощности двигателя P .

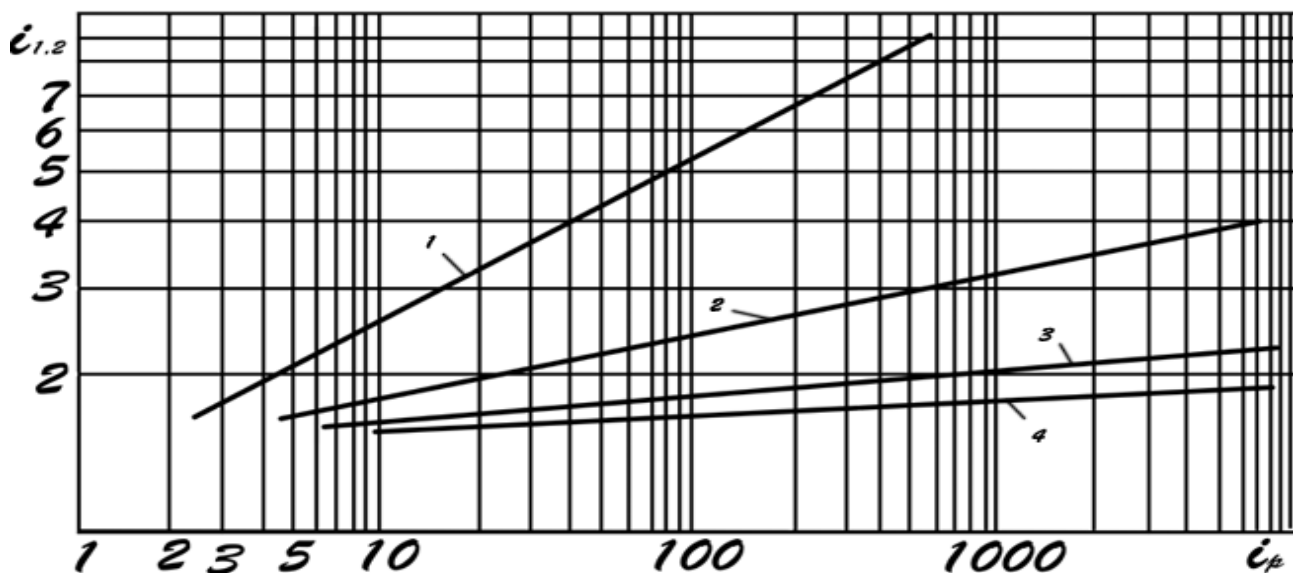


Рис.7.4. Номограммы для определения передаточных отношений пар шестерня-колесо редуктора

Уточним КПД редуктора по кинематической схеме рис.7.3, считая что все три зубчатые передачи в редукторе выполнены прямозубыми цилиндрическими шестернями и колесами, а все четыре его вала опираются на подшипники качения. Значение КПД различных видов кинематических передач приведены в табл. 7.2.

В нашем случае

$$\eta = 0,95^3 \cdot 0,99^4 = 0,8236.$$

Так как уточненное значение КПД редуктора отличается от принятого ранее ориентировочного значения менее чем на 3%, то вычислять новое значение расчетной мощности двигателя по формуле (7.1) не требуется.

Таблица 7.2 - Средние значения КПД кинематических передач

Тип передачи	Переда- точное число	КПД	
		В масляной ванне	Открытая передача
1. Зубчатые передачи:			
прямозубая с цилиндрическими колесами	0,2-6	0,98-0,92	0,9
косозубая с цилиндрическими колесами	0,2-6	0,98-0,92	0,9
с коническими зубчатыми колесами	0,3-5	0,98-0,9	0,85

Продолжение таблицы 7.2

2. Планетарные редукторы	3	0,98	
	8	0,96	
	50	0,85	
	100	0,7	
	200	0,5	
	400	0,3	
	1000	0,02	
3. Волновые зубчатые редукторы прибор- ных механизмов:			
	50-250 (2-50)•10 ³	0,9-0,7 0,8-0,5	
4. Червячная с цилиндрическим червяком при числе заходов червяка:			
	1	0,7-0,75	
	2	0,76-0,83	
	3	0,84-0,86	
	4	0,87-0,92	
5. Ременная передача			
	• клиноременная • плоскоременная	≤10 ≤6	0,94 0,97
6. Пара подшипников:			
	• скольжения (до 500 об/мин) • качения (до 5000 об/мин)		0,91 0,99
7. Цепная передача (втулочно роликовая или зубчатой цепью)	≤8	0,97-0,95	0,9
8. Фрикционная передача цилиндрически- ми или коническими роликами:	≤7	0,95-0,9	0,88-0,7

3. Определим оптимальное передаточное отношение редуктора $i_{опт}$, обеспечивающее максимальное ускорение вала нагрузки и, следовательно, максимальное быстродействие системы управления [2],

$$i_{опт} = \frac{M_{\mathcal{E}}}{M_{дв}\eta_P} + \sqrt{\left(\frac{M_{\mathcal{E}}}{M_{дв}\eta_P}\right)^2 + \frac{J_M}{\eta_P J_{дР}}},$$

где $J_{дР}$ – момент инерции двигателя и редуктора,
 $J_{дР} = (1,1 \div 1,15)J_{д}$.

$$i_{опт} = \frac{4,96}{0,425 \cdot 0,82} + \sqrt{\left(\frac{4,96}{0,425 \cdot 0,82}\right)^2 + \frac{0,3}{0,82 \cdot 1,15 \cdot 2,5 \cdot 10^{-4}}} = 32,4$$

Так как i_{OPT} отличается от ранее полученного передаточного отношения i редуктора на 9%, то возвращаться к выбору нового двигателя из каталога не следует.

4. Определим максимальное угловое ускорение вала двигателя $\varepsilon_{ДВ.МАКС}$ и соответствующее ему ориентировочное значение времени пуска [1].

$$\varepsilon_{ДВ.МАКС} = \frac{\lambda_M M_{ДВ} - M_M / i}{\delta J_{Д} + J_M / i^2},$$

где λ_M – допустимый коэффициент перегрузки двигателя по моменту. В соответствии с рекомендациями [1] принимаем $\lambda_M=2$, поскольку из физических соображений $\lambda_M < M_{П} / M_{ДВ}$, т.е. $\lambda_M < 1,05 / 0,425 = 2,47$.

$$\varepsilon_{ДВ.МАКС} = \frac{2 \cdot 0,425 - 6 / 36}{1,15 \cdot 2,5 \cdot 10^{-4} + 0,03 / 36^2} = 2097 \text{ с}^{-2},$$

или в других единицах изменения $\varepsilon_{ДВ.МАКС} = \frac{2097,7}{2\pi} = 333 \text{ об/сек}^2$.

Если бы разгон двигателя до номинальной частоты вращения n_H происходил равноускоренно с ускорением $\varepsilon_{ДВ.МАКС}$, то время пуска $t_{П}$ двигателя составило

$$t_{П} = \frac{2\pi n_H}{60 \varepsilon_{ДВ.МАКС}}.$$

$$t_{П} = \frac{6,28 \cdot 3600}{60 \cdot 2097,7} = 0,18 \text{ с}.$$

5. Определим время пуска двигателя под нагрузкой и на холостом ходу [1]. При подключённой нагрузке

$$t_{П} = \frac{\delta J_{Д} i^2 + J_M}{\lambda_M M_{ДВ} i - M_M} \omega_M,$$

$$t_{П} = \frac{1,15 \cdot 2,5 \cdot 10^{-4} \cdot 36^2 + 0,03}{2 \cdot 0,425 \cdot 36 - 6} \cdot \frac{2\pi \cdot 100}{60} = 0,171 \text{ с}.$$

На холостом ходу полагаем $M_M = 0$, $J_M = 0$. В этом случае

$$t_{II} = \frac{1,15 \cdot 2,5 \cdot 10^{-4} \cdot 36^2}{2 \cdot 0,425 \cdot 36} \cdot \frac{2\pi \cdot 100}{60} = 0,127 \text{ с.}$$

6. На рис.7.5. представлена функциональная схема, обеспечивающая плавное регулирование скорости вращения двигателя. В рассматриваемой задаче такая схема обеспечит поддержание неизменной угловой скорости вала двигателя при изменениях момента механизма нагрузки в соответствии с диаграммой нагрузки. Датчиком угловой скорости вала двигателя выбираем тахогенератор постоянного тока типа СЛ-221 с максимальной частотой вращения 3700 об/мин, удельной ЭДС 1,5 В/(об/с) и сопротивлением обмотки якоря $R_{ЯТГ} = 117 \text{ Ом}$ [1].

Делитель напряжения ДН, как правило, выполняют Г-образным на двух резисторах, номинальные значения сопротивлений, которых и их допустимые мощности рассеяния легко рассчитать, полагая входное сопротивление нормирующего усилителя НУ, близким к бесконечности.

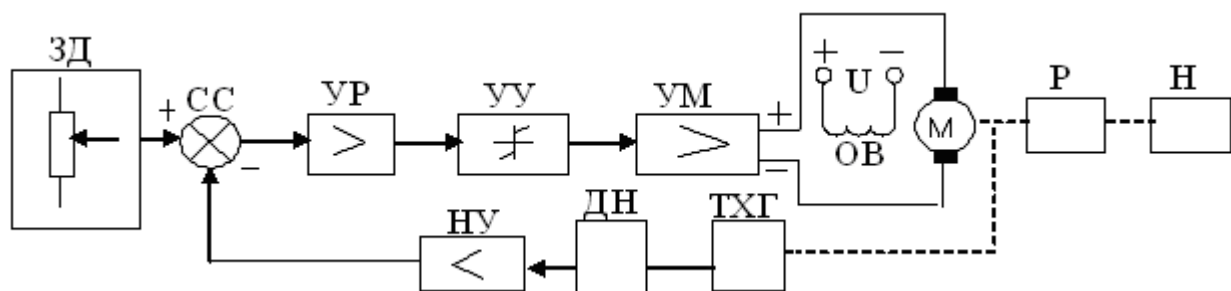


Рис. 7.5. Функциональная схема управления двигателем постоянного тока

На функциональной схеме использованы следующие обозначения:

ЗД – задающее устройство; СС – схема сравнения;

УР – усилитель рассогласования; УУ – управляющее устройство;

УМ – усилитель мощности; М – двигатель (мотор);

ОВ – обмотка возбуждения двигателя постоянного тока независимого возбуждения; Н – механизм нагрузки; ТХГ – тахогенератор постоянного тока;

ДН – делитель напряжения; НУ – нормирующий усилитель; Р – редуктор.

Объем и оформление практических заданий

Практические задания оформляются в виде расчетно-пояснительной записки объемом 4-5 страниц на стандартных листах формата А4. Записка должна иметь титульный лист, оглавление, формулировку условий и исходных данных заданного варианта, необходимые расчеты, схемы и графики, заключение, список использованной литературы.

Страницы, рисунки, таблицы пояснительной записки нумеруются. Номера страниц проставляются внизу по центру, номера рисунков вместе с подрисуночными подписями – ниже рисунка. Номера таблиц ставятся сверху слева над таблицей и пишутся вместе со словом “Таблица”. Все условные обозначения, используемые в записке, должны иметь соответствующие пояснения. В тексте записки необходимо давать ссылки на использованную литературу (цифрами в квадратных скобках согласно библиографическому списку литературы).

Все графики строятся в масштабах. По координатным осям указываются обозначения соответствующих величин и через занятую их размерности.

Расчеты должны быть выполнены с использованием размерностей системы СИ и в соответствии с требованиями ГОСТов единой системы конструкторской документации (ЕСКД). В частности, численные значения параметров подставляются в формулы в той последовательности, в которой они входят в соответствующую формулу в символьной форме. Результат вычисления по формуле приводится без промежуточных вычислений и сопровождается своей размерностью в системе СИ.

Библиографический список

1. Волков Н.И., Миловзоров В.П. Электромашинные устройства автоматики. М. : Высш. шк., 1986. – 335с.
2. Подлесный Н.И., Рубанов В.Г. Элементы систем автоматического управления и контроля. Киев: «Выща школа», 1991. – 461с.
3. Сабинин Ю.А. Электромашинные устройства автоматики. Л. : Энергоатомиздат, 1988. - 408с.
4. Галикян Г. С., Сабадашев В.П. Электрические машины. Уч. пособие для дистанционного обучения. Новочеркасск:ЦОП, 2002.- 67с.
5. Копылов И. П. Электрические машины: учебник для вузов; 4-е изд., испр. -М.:Высш. шк., 2004. -607 с.

Учебно-методическое издание

Галикян Геннадий Саркисович

ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Учебно-методическое пособие к практическим занятиям

Редактор Н.А Юшко

Подписано в печать 3.07.2017.

Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная. Печать цифровая.

Усл. печ. л. 2,75. Уч.-изд. л. 2,9. Тираж 50. Заказ №46-1224.

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И Платова

Редакционно-издательский отдел ЮРГПУ (НПИ)
346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132

Отпечатано в ИД «Политехник»
346428, г. Новочеркасск, ул. Первомайская, 166
mdp-npi@mail.ru