

Контрольная работа № 2

Расчет параметров электропривода постоянного тока с отрицательной обратной связью по скорости

Функциональная схема электропривода постоянного тока с отрицательной обратной связью (ООС) по скорости приведена на рис.1.

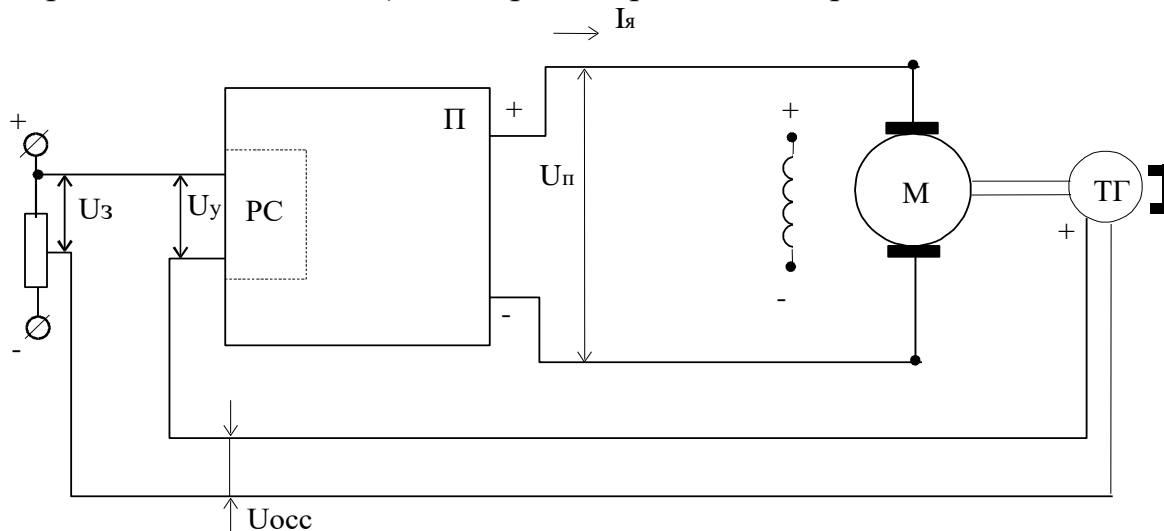


Рис.1. Функциональная схема электропривода постоянного тока с отрицательной обратной связью по скорости

Исходные уравнения:

$$\Phi = \Phi_n = \text{const};$$

$$U_{\text{ооc}} = k_c \Omega; \quad (1)$$

$$E_{\text{п}} = I_{\text{я}} R_{\text{я.ц}} + \frac{\Omega}{k_{\text{дв}}}. \quad (2)$$

Здесь $k_c = U_{\text{ооc}} / \Omega$ – коэффициент обратной связи по скорости;

$R_{\text{я.ц}} = R_{\text{п}} + R_{\text{я}}$ – суммарное сопротивление якорной цепи;

$R_{\text{п}}$ – сопротивления силовой цепи преобразователя;

$R_{\text{я}}$ – сопротивление обмотки якоря.

Решив совместно (1) и (2) получим уравнение статической скоростной характеристики :

$$\Omega_3 = U_3 k_{\text{п}} k_{\text{дв}} / (1 + k_c k_{\text{п}} k_{\text{дв}}) - I_{\text{я}} R_{\text{я.ц}} k_{\text{дв}} / (1 + k_c k_{\text{п}} k_{\text{дв}}) = \Omega_0 - \Delta \Omega_3, \quad (3)$$

где $k_{\text{дв}} = \frac{1}{k_e} = \frac{1}{C_e \Phi_n}$;

$\Omega_0 = U_3 k_{\text{п}} k_{\text{дв}} / (1 + k_c k_{\text{п}} k_{\text{дв}})$ – скорость идеального холостого хода в замкнутой системе;

$\Delta \Omega_3 = I_{\text{я}} R_{\text{я.ц}} k_{\text{дв}} / (1 + k_c k_{\text{п}} k_{\text{дв}})$ – перепад скорости в замкнутой системе.

Как следует из (3) при замыкании отрицательной обратной связью по скорости (ООС) жесткость статической скоростной характеристики повышается по

сравнению с разомкнутой в $(1 + k_c k_{\pi} k_{\text{дв}}) = (1 + K_{\text{треб}})$ раз. В пределе при $k_{\pi} \rightarrow \infty$ скорость вращения $\Omega \rightarrow U_3 / k_c = \text{const}$.

Требуемый коэффициент $K_{\text{треб}}$ при заданном диапазоне регулирования скорости вращения $D = \Omega_{\text{о max}} / \Omega_{\text{о min}}$ и заданном значении статизма скоростной характеристики в замкнутой системе $S_{\text{хз}} = \Delta\Omega_3 / \Omega_{\text{о min}}$ определим по формуле (4).

$$K_{\text{треб}} = (S_{\text{хр}} / S_{\text{хз}}) D - 1 = \Delta\Omega_{\text{р}} / \Delta\Omega_3 - 1; \quad (4)$$

где $S_{\text{хр}} = \Delta\Omega_{\text{р}} / \Omega_{\text{о max}}$ — статизм скоростной характеристики в разомкнутой системе.

Если известны значения коэффициентов k_{π} , $k_{\text{дв}}$ и $K_{\text{треб}}$, то можно определить значение коэффициента k_c :

$$k_c = \frac{K_{\text{треб}}}{k_{\pi} k_{\text{дв}}}. \quad (5)$$

Задание. Для заданного варианта задачи, приведенном в таблице 1, рассчитать требуемое значение коэффициента усиления преобразователя k_{π} и коэффициент обратной связи по скорости k_c . Построить скоростные характеристики разомкнутой и замкнутой по скорости системы ЭП.

Таблица 1. Варианты задач практического занятия № 2 и исходные данные

№ вар	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Тип ЭД	ДИ-12-1	ДИ-12-2	ДИ-12-3	ДИ-13-1	ДИ-13-2	ДПЦ Я-06	ДПЦ Я-07	ДПЦ Я-1,0	ДПЦ Я-3,0
R_{π} , Ом	0,3	0,7	3,0	0,1	0,3	0,05	0,05	0,14	0,01
$U_{\text{з max}}$, В	5,0	5,0	5,0	10,0	10,0	10,0	5,0	5,0	5,0
$\Delta\Omega_3, \%$	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,08	0,07

Продолжение таблицы 1

№ вар	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Тип ЭД	ДСП Я-04	ДСП Я-06	ДСП Я-08	ДСП Я-1,5	ДМП Я-0,37	ДМП Я-0,62	МИ-21-1	МИ-21-2	МИ-21-3
R_{π} , Ом	0,11	0,07	0,10	0,03	0,30	0,4	0,3	0,6	1,0
$U_{\text{з max}}$, В	10,0	5,0	5,0	5,0	10,0	10,0	10,0	5,0	5,0
$\Delta\Omega_3, \%$	0,06	0,05	0,04	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08

Продолжение таблицы 1

№ вар	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Тип ЭД	МИ-21-4	МИ-22-1	МИ-22-2	МИ-22-3	МИ-22-4	МИ-22-5	МИ-22-6	МИ-31-1	МИ-31-2
R_{Π} , Ом	2,0	0,2	0,4	1,5	0,6	1,3	4,5	0,2	0,4
$U_{3 \max}$, В	5,0	10,0	5,0	5,0	5,0	10,0	10,0	10,0	5,0
$\Delta\Omega_{3,\%}$	0,09	1,0	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6

Продолжение таблицы 1

№ вар	28	29	30	31	32	33
Тип ЭД	МИ-31-3	МИ-31-4	МИ-31-5	МИ-31-6	МИ-12-1	МИ-12-3
R_{Π} , Ом	1,1	0,6	1,0	4,0	0,2	0,7
$U_{3 \max}$, В	5,0	5,0	10,0	10,0	10,0	10,0
$\Delta\Omega_{3,\%}$	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2

где R_{Π} – активное сопротивление силовой цепи преобразователя;

$U_{3 \max}$ – максимальное напряжение задания;

$\Delta\Omega_{3,\%}$ - заданное относительное значение перепада скорости замкнутой системы при номинальной нагрузке ЭП.

Основные расчетные соотношения:

Абсолютное значение перепада скорости замкнутой системы при номинальной нагрузке ЭП:

$$\Delta\Omega_3 = (\Delta\Omega_{3,\%}/100)\Omega_N;$$

Абсолютное значение перепада скорости разомкнутой системы при номинальной нагрузке ЭП:

$$\Delta\Omega_p = I_{яN}R_{я.ц}/k_c;$$

$$R_{я.ц} = R_{я} + R_{\Pi};$$

$$k_c = \frac{U_{яN} - I_{яN}R_{я}}{\Omega_N}.$$

$$k_{дв} = \frac{1}{k_c} = \frac{1}{C_e \Phi_n}.$$

Требуемый коэффициент усиления системы $K_{\text{треб}}$:

$$K_{\text{треб}} = k_c k_{\Pi} k_{дв} = \Delta\Omega_p / \Delta\Omega_3 - 1;$$

Определим значения k_c и k_{Π} .

$$k_{\Pi} = \left(E_{\Pi N} + \frac{K_{\text{треб}} \Omega_N}{k_{дв}} \right) / U_{3 \max}.$$

где $E_{\Pi N} = U_{яN} + I_{яN}R_{\Pi}$, а

$$k_c = K_{\text{треб}} / k_{\Pi} k_{дв}$$

Расчет скоростной характеристики системы ЭП при наличии отрицательной обратной связи по скорости

$$\Omega_3 = U_3 k_{\Pi} k_{\text{дв}} / (1 + k_c k_{\Pi} k_{\text{дв}}) - I_{\text{я}} R_{\text{я.ц}} k_{\text{дв}} / (1 + k_c k_{\Pi} k_{\text{дв}}) = \Omega_0 - \Delta\Omega_3,$$

Напряжение U_3 принять равным $U_{3\text{max}}$.

Задаваясь значениями тока обмотки якоря в пределах от 0 до $I_{\text{яN}}$, выполнить расчет скоростной характеристики системы ЭП при наличии отрицательной обратной связи по скорости. Результаты расчета свести в таблицу 2.

Таблица 2. Результаты расчета электромеханических характеристик системы ЭП при наличии и отсутствии отрицательной обратной связи по скорости

$I_{\text{я}}, \text{А}$	0	$0,5 I_{\text{яN}}$	$I_{\text{яN}}$
$\Omega_{\text{раз}}, \text{рад/с}$			
$\Omega_3, \text{рад/с}$			

Скоростную характеристику системы ЭП при отсутствии отрицательной обратной связи по скорости следует рассчитать для напряжения задания U_3 равном U_{yN} . Напряжение U_{yN} определим, используя приведенные выше расчетные соотношения:

$$U_{\text{yN}} = U_{\text{зmax}} - U_{\text{осcN}}; U_{\text{осcN}} = k_c \Omega_N; k_c = K_{\text{треб}} / k_{\Pi} k_{\text{дв}}; k_c k_{\Pi} k_{\text{дв}} = K_{\text{треб}} = \Delta\Omega_{\text{раз}} / \Delta\Omega_3 - 1.$$

Задаваясь значениями тока обмотки якоря в пределах от 0 до $I_{\text{яN}}$, выполнить расчет скоростной характеристики системы ЭП при отсутствии отрицательной обратной связи по скорости $\Omega_{\text{раз}} = f(I_{\text{я}})$.

$$\Omega_{\text{раз}} = \frac{U_{\text{yN}} k_{\Pi} - I_{\text{я}} (R_{\Pi} + R_{\text{я}})}{k_c}.$$

Результаты расчета свести в таблицу 2.

По результатам расчетов построить скоростные характеристики системы ЭП при наличии и отсутствии отрицательной обратной связи по скорости, $\Omega_3 = f(I_{\text{я}})$ и $\Omega_{\text{раз}} = f(I_{\text{я}})$, соответственно.

Справочные данные по электрическим двигателям постоянного тока

Таблица 3 Двигатели серий СЛ, МИ, ДИ, ДВИ, ДПЦЯ, ДСПЯ, ДДЯ, ПЯ, ДПУ

Тип ЭД	$P_{\text{дN}}, \text{Вт}$	$n_{\text{N}}, \text{об/мин}$	$U_{\text{яN}}, \text{В}$	$I_{\text{яN}}, \text{А}$	$R_{\text{я}}, \text{Ом}$	$L_{\text{я}}, \text{мГн}$	$J_{\text{д}} \cdot 10^{-6}, \text{кгм}^2$
СЛ-121	5,0	4800	110	0,21	130	—	-
СЛ-221	13	3700	110	0,35	117	230	-14
СЛ-261	24	3600	110	0,5	51	140	20
СЛ-281	26	5200	24	2,4	1,15	0,5	20

СЛ-321	38	3000	110	0,7	25,8	130	60
СЛ-361	50	3000	110	0,85	20,5	115	70
СЛ-521	77	3000	110	1,2	8,5	58	170
СЛ-569	175	3400	110	2,2	3,6	30	270
СЛ-621	172	2400	110	2,3	3,0	35	675
СЛ-661	230	2400	110	2,9	1,75	25	935
Двигатели серии МИ							
МИ-11-1	120	3000	60	2,86	0,46	–	1500
МИ-11-2	100	2000	60	2,27	0,94	–	1500
МИ-11-3	120	3000	110	1,53	1,48	–	1500
МИ-11-4	100	2000	110	1,22	3,6	–	1500
МИ-12-1	200	3000	60	4,57	0,23	–	2000
МИ-12-2	120	2000	60	2,72	0,52	–	2000
МИ-12-3	200	3000	110	2,46	0,765	–	2000
МИ-12-4	120	2000	110	1,46	1,74	–	2000
МИ-21-1	250	3000	60	5,6	0,284	–	3500
МИ-21-2	200	2000	60	4,3	0,645	–	3500
МИ-21-3	250	3000	110	3,05	0,945	–	3500
МИ-21-4	200	2000	110	2,33	2,2	–	3500
МИ-22-1	370	3000	60	8,2	0,195	–	4000
МИ-22-2	250	2000	60	5,5	0,36	–	4000
МИ-22-3	120	1000	60	2,6	1,44	–	4000
МИ-22-4	370	3000	110	4,4	0,546	–	4000
МИ-22-5	250	2000	110	2,9	1,29	–	4000
МИ-22-6	120	1000	110	1,4	4,58	–	4000
МИ-31-1	450	3000	60	10,3	0,204	–	9000
МИ-31-2	370	2000	60	8,2	0,406	–	9000
МИ-31-3	200	1000	60	4,4	1,32	–	9000
МИ-31-4	450	3000	110	5,6	0,585	–	9000
МИ-31-5	370	2000	110	4,4	1,16	–	9000
МИ-31-6	200	1000	110	2,4	3,96	–	9000

Двигатели серии ДИ							
Тип ЭД	$P_{дN}$, Вт	n_N , об/мин	$U_{яN}$, В	$I_{яN}$, А	$R_{я}$, Ом	$L_{я}$, мГн	$J_{д} \cdot 10^{-6}$ кгм ²
ДИ-12-1	1200	6000	110	13,6	0,29	–	1800
ДИ-12-2	800	4000	110	9,05	0,67	–	1800
ДИ-12-3	400	2000	110	4,75	3,0	–	1800
ДИ-13-1	2400	6000	110	25	0,11	–	3000

ДИ-13-2	1600	4000	110	16,6	0,252	–	3000
Малоинерционные ЭД с дисковыми и цилиндрическими якорями							
ДПЦЯ-0,6	600	3000	23	40	0,06	–	360
ДПЦЯ-0,7	700	3100	20	45	0,06	–	560
ДПЦЯ-1,0	970	3000	40	29,3	0,149	–	400
ДПЦЯ-1,5	1500	4900	110	16,5	–	–	360
ДПЦЯ-3,0	2900	3000	22	190	0,007	–	2600
ДПЦЯ-5,0	5000	2800	220	29	–	–	10500
ДСПЯ-0,4	4000	3000	27	24	0,12	–	150
ДСПЯ-0,6	600	3000	27	40	0,08	–	210
ДСПЯ-0,8	800	3000	26	44	0,1	–	300
ДСПЯ-1,5	1500	4000	23	95	0,03	–	470
ДМПЯ-0,37	370	3000	35	13,6	0,32	–	320
ДМПЯ-0,62	620	3000	39	22	0,32	–	620
ДДЯ-500	500	3000	110	–	–	–	1270
ДДЯ-900	900	3000	127	–	–	–	1270
ПЯ-50	50	3000	12	7,5	–	–	17
ПЯ-125	125	3000	24	7,3	–	–	70
ПЯ-250	250	3000	36	9,6	–	–	290
ПЯ-500	500	3000	48	13,8	–	–	770
Мо4500	4300	3000	220	21	0,45	–	9000
Мо1000	1120	3000	100	13	0,44	–	2440
ДПУ160-180-3	180	3000	36	7,0	0,5	–	217
ДПУ200-550-3	550	3000	140	5,5	2,2	–	884
ДПУ240-1100-3	1100	3000	122	11	0,53	–	1880
Двигатели серии ДВИ. Номинальное напряжение возбуждения 27 В							
ДВИ-111-02	40	6000	27	2,6	3,8	–	7
ДВИ-121-02	60	6000	27	3,6	2,5	–	12
ДВИ-211-02	120	6000	27	7,4	1,3	–	23
ДВИ-221-02	180	6000	27	10,8	0,8	–	32
ДВИ-311-02	250	6000	27	14,2	0,6	–	45
ДВИ-321-02	370	6000	27	20,5	0,4	–	66

Таблица 4. Двигатели серии МИГ

Тип ЭД	$P_{дN}$, Вт	n_N , об/мин	$U_{яN}$, В	$I_{яN}$, А	$R_{я}$, Ом	$L_{я}$, мГн	$J_{д} \cdot 10^{-6}$ кгм ²
МИГ-10 Б	10	6000	12	1,4	2,5	–	0,25
МИГ-25 Б	25	6000	12	3,2	0,9	–	0,68
МИГ-60 Б	60	6000	27	3,0	1,5	–	3,6
МИГ-90 Б	90	6000	27	4,1	0,7	–	7,9

МИГ–40 ДТ	40	6000	27	2,73	2,2	–	2,9
МИГ–90 ДТ	90	6000	27	4,6	0,73	–	11,0
МИГ–180 ДТ	180	6000	27	9,2	0,33	–	17,0
МИГ–370 ДТ	370	6000	27	17,0	0,12	–	48,0
МИГ–550 ДТ	550	6000	110	6,2	1,2	–	145,0

Таблица 5. Двигатели серии ДПР

Возбуждение от постоянных магнитов							
Тип ЭД	$P_{дN}$, Вт	n_N , об/мин	$U_{яN}$, В	$I_{яN}$, А	$R_{я}$, Ом	$L_{я}$, мГн	$J_{д} \cdot 10^{-6}$ кгм ²
ДПР–32НІ–01	1,9	9000	27	0,14	37	–	0,2
ДПР–42НІ–01	4,7	9000	27	0,29	13	–	0,57
ДПР–52НІ–01	9,4	9000	27	0,53	3,6	–	1,7
ДПР–62НІ–01	12,6	9000	27	1,0	2,0	–	3,6
ДПР–72НІ–01	18,8	4500	27	1,0	2,9	–	7,8
ДПР–82НІ–01	25,1	6000	27	1,35	1,7	–	7,8

Таблица 6. Высокомоментные двигатели

Возбуждение от постоянных магнитов							
Тип ЭД	$M_{дN}$, Нм	n_N , об/мин	$U_{яN}$, В	$I_{яN}$, А	$R_{я}$, Ом	$L_{я}$, мГн	$J_{д} \cdot 10^{-4}$ кгм ²
ПБВ100 М	7,16	1000	52	18	0,222	1,18	100
ПБВ100	10,5	1000	56	24	0,139	0,8	130
ПБВ112	14	750	44	31,5	0,109	0,732	350
ПБВ112М	17,3	600	47	29	0,123	0,898	420
ПБВ132	47,7	600	70	50	0,070	0,554	2380
ПБВ132М	35	600	53	50	0,057	0,422	1880
ПБВ160М	76,4	500	66	78,5	0,031	0,337	2420
ПБВ160	105	500	78,5	90	0,034	0,405	2280
ДК1–1,7	11,9	1000	36	8	0,75	–	16
ДК1–2,3	16,1	1000	48	7,5	0,95	–	20,5
ДК1–5,2	36,4	1000	110	6,5	2,1	–	35