

Контрольная работа № 1

Расчет параметров электропривода постоянного тока с отрицательной обратной связью по напряжению обмотки якоря

Функциональная схема системы ЭП с отрицательной обратной связью (ООС) по напряжению обмотки якоря приведена на рис.1.

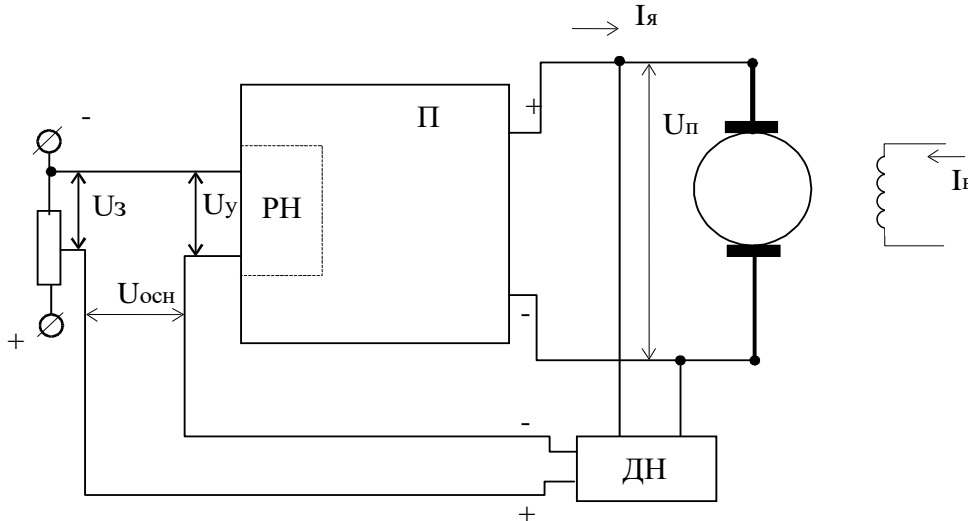


Рис. 1. Функциональная схема электропривода постоянного тока с отрицательной обратной связью по напряжению обмотки якоря

Исходные уравнения:

$$U_y k_{\Pi} = (U_3 - U_{\text{очн}}) k_{\Pi} = E_{\Pi}; \quad (1)$$

$$U_3 - U_{\text{очн}} = U_y;$$

$$U_{\text{очн}} = k_{\text{н}} U_{\text{я}} = k_{\text{н}} (E_{\Pi} - I_{\text{я}} R_{\Pi}), \quad (2)$$

где E_{Π} – ЭДС преобразователя;

$$E_{\Pi} = U_{\Pi} + I_{\text{я}} R_{\Pi},$$

$U_{\Pi} = U_{\text{я}}$ – напряжение, подаваемое на обмотку якоря;

U_y – результирующее напряжение управления на входе системы;

$k_{\Pi} = E_{\Pi} / U_y$ – коэффициент усиления преобразователя;

$k_{\text{н}} = U_{\text{очн}} / U_{\Pi}$ – коэффициент обратной связи по напряжению;

R_{Π} – активное сопротивление силовой цепи преобразователя;

$I_{\text{я}}$ – ток якоря двигателя постоянного тока;

$I_{\text{я}} R_{\Pi} = \Delta U_{\text{п.р}}$ – перепад напряжения на выходе преобразователя при разомкнутой обратной связи по напряжению.

Из (1) и (2) находим напряжение на выходе преобразователя при замкнутой обратной связи по напряжению

$$U_{\text{п.з}} = \left[U_3 k_{\Pi} / (1 + k_{\text{н}} k_{\Pi}) \right] - \left[I_{\text{я}} R_{\Pi} / (1 + k_{\text{н}} k_{\Pi}) \right] = U_{\text{по}} - \Delta U_{\text{п.з}}. \quad (3)$$

где $\left[I_{\text{я}} R_{\text{п}} / (1 + k_{\text{н}} k_{\text{п}}) \right] = \Delta U_{\text{п.з}}$ - перепад напряжения на выходе преобразователя при замкнутой обратной связи по напряжению.

Откуда нетрудно получить $\Delta U_{\text{п.р}} / \Delta U_{\text{п.з}} = 1 + k_{\text{н}} k_{\text{п}}$,

$k_{\text{н}} k_{\text{п}} = K_{\text{треб.}} = \Delta U_{\text{п.р}} / \Delta U_{\text{п.з}} - 1$ - коэффициент усиления (передачи) системы, необходимый для обеспечения заданного значения перепада напряжения $\Delta U_{\text{п.з}}$.
 $\Delta U_{\text{п.з}} = (\Delta U_{\text{п.з, \%}} / 100) U_{\text{яN}}$ - заданное значение перепада напряжения цепи обмотки якоря замкнутой по напряжению системы при номинальном режиме работы.

Разрешим (1) и (2) относительно ЭДС

$$E_{\text{п}} = (U_{\text{з}} + I_{\text{я}} R_{\text{п}} k_{\text{н}}) k_{\text{п}} / (1 + k_{\text{н}} k_{\text{п}}). \quad (4)$$

Как видно из (4), ОСН действует как комбинированная связь – отрицательная ОС по ЭДС преобразователя и положительная ОС по току якоря.

Откуда видно, что ЭДС $E_{\text{п}}$ растет из-за положительной ОС по току якоря.

Нетрудно видеть, что в замкнутой по напряжению системе падение напряжения $\Delta U_{\text{п.з}}$ при одинаковых нагрузках в $(1 + k_{\text{н}} k_{\text{п}})$ раз меньше, чем падение напряжения $\Delta U_{\text{п.р}}$ в разомкнутой системе.

Однако, поскольку система астатическая, то напряжение преобразователя $U_{\text{п}}$ даже при замыкании обратной связи по напряжению будет поддерживаться с ошибкой $\Delta U_{\text{п.з}}$, определяемой статизмом $S_{\text{хз}}$ внешней характеристики преобразователя.

$$S_{\text{хз}} = \Delta U_{\text{п.з}} / E_{\text{п.0}} = \left[\Delta U_{\text{п.р}} / E_{\text{п.0}} \right] / (1 + K_{\text{треб.}}), \quad (5)$$

Таким образом, статизм $S_{\text{хз}}$ (относительная ошибка замкнутой системы) зависит от коэффициента усиления преобразователя и коэффициента ОС по напряжению.

Чем больше диапазон регулирования напряжения $D = U_{\text{п.о max}} / U_{\text{п.о min}}$, тем больше статизм $S_{\text{хз}}$ внешней характеристики замкнутой системы, определяемый по формуле (6):

$$S_{\text{хз}} = \Delta U_{\text{п.з}} / U_{\text{п.0 min}} = \left[\Delta U_{\text{п.з}} / U_{\text{п.0 max}} \right] D / (1 + K_{\text{треб.}}) = S_{\text{х.р}} D / (1 + K_{\text{треб.}}), \quad (6)$$

где $S_{\text{х.р}}$ – статизм внешней характеристики разомкнутой системы.

Определим требуемый коэффициент усиления $K_{\text{треб.}}$, исходя из заданного статизма внешней характеристики и диапазона регулирования.

$$K_{\text{треб.}} = (S_{\text{х.р}} / S_{\text{хз}}) D - 1. \quad (7)$$

Уравнение (3) можно записать в таком виде:

$$U_{\text{п}} = U_{\text{з}} k_{\text{п.э}} - I_{\text{я}} R_{\text{п.э}}, \quad (8)$$

где $k_{\text{п.э}} = k_{\text{п}} / (1 + K_{\text{треб.}})$ и $R_{\text{п.э}} = R_{\text{п}} / (1 + K_{\text{треб.}})$ – эквивалентные значения коэффициента усиления и внутреннего сопротивления преобразователя

некоторой условной разомкнутой системы с теми же внешними характеристиками и теми же значениями напряжения задания U_3 , что и рассмотренная замкнутая система (подобного рода замены замкнутой системы эквивалентной ей по основным характеристикам разомкнутой системы будут использованы и далее).

Задание. Для заданного варианта задачи, приведенном в таблице 1, рассчитать требуемое значение коэффициента усиления преобразователя k_{Π} и коэффициент обратной связи по напряжению k_{Π} . Рассчитать и построить электромеханические характеристики системы ЭП при наличии и отсутствии обратной связи по напряжению обмотки якоря. Параметры двигателя приведены в Приложении.

Таблица 1. Варианты задач практического занятия №1 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
$U_{3 \max}$, В	5,0	5,0	5,0	10,0	10,0	10,0	5,0	5,0	5,0
$\Delta U_{\Pi.3, \%}$	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 Я1,5	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
$U_{3 \max}$, В	10,0	5,0	5,0	5,0	10,0	10,0	10,0	5,0	5,0
$\Delta U_{\Pi.3, \%}$	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
$\Delta U_{\Pi.3, \%}$	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

$U_{3 \max}, \text{В}$	5,0	5,0	10,0	10,0	10,0	10,0
$\Delta U_{\text{п.з.}, \%}$	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2

где $R_{\text{п}}$ – активное сопротивление силовой цепи преобразователя;

U_3 - напряжение задания;

$\Delta U_{\text{п.з.}, \%}$ - заданное падение напряжения на выходе преобразователя при замкнутой обратной связи по напряжению в процентах.

Основные расчетные соотношения:

$$E_{\text{пN}} = U_{\text{пN}} + I_{\text{яN}} R_{\text{п}};$$

$$U_{\text{пN}} = U_{\text{яN}};$$

$$E_{\text{яN}} = U_{\text{яN}} + I_{\text{яN}} R_{\text{я}};$$

$$\Delta U_{\text{п.з.}} = (\Delta U_{\text{п.з.}, \%} / 100) U_{\text{яN}};$$

$$I_{\text{я}} R_{\text{п}} = \Delta U_{\text{п.з.}};$$

$$k_{\text{н}} k_{\text{п}} = K_{\text{треб}} = \Delta U_{\text{п.з.}} / \Delta U_{\text{п.з.}} - 1;$$

$$k_{\text{п}} = \frac{E_{\text{пN}} + k_{\text{п}} k_{\text{н}} U_{\text{яN}}}{U_{3 \max}};$$

$$k_{\text{н}} = K_{\text{треб}} / k_{\text{п}}.$$

$$U_{\text{я}} k_{\text{п}} = (U_3 - U_{\text{осн}}) k_{\text{п}} = E_{\text{п}};$$

$$U_{\text{я}} = U_3 - U_{\text{осн}};$$

$$U_{\text{осн}} = k_{\text{н}} U_{\text{я}} = k_{\text{н}} (E_{\text{п}} - I_{\text{я}} R_{\text{п}});$$

$$k_{\text{н}} = U_{\text{осн}} / U_{\text{п}}.$$

Задавая значениями тока обмотки якоря в пределах от 0 до $I_{\text{яN}}$, выполнить расчет скоростной характеристики системы ЭП при наличии отрицательной обратной связи по напряжению обмотки якоря $\Omega_3 = f(I_{\text{я}})$.

$$\Omega_3 = \frac{[U_3 k_{\text{п}} / (1 + k_{\text{н}} k_{\text{п}})] - [I_{\text{я}} R_{\text{п}} / (1 + k_{\text{н}} k_{\text{п}})] - I_{\text{я}} R_{\text{я}}}{k_{\text{е}}}$$

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

$$k_{\text{е}} = \frac{U_{\text{яN}} - I_{\text{яN}} R_{\text{я}}}{\Omega_{\text{N}}}$$

Результаты расчета свести в таблицу 2.

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

$I_{\text{я}}, \text{А}$	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 напряжению следует рассчитать для напряжения задания U_3

равном U_{yN} . Напряжение U_{yN} определим, используя приведенные выше расчетные соотношения:

$$U_{yN} = U_{з \max} - U_{осн N}; \quad U_{осн N} = k_n U_{яN}; \quad k_n = K_{треб} / k_{п}; \quad k_n k_{п} = K_{треб} = \Delta U_{п.р} / \Delta U_{п.з} - 1.$$

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

$$\Omega_{раз} = \frac{U_{yN} k_{п} - I_{я} (R_{п} + R_{я})}{k_{е}}$$

Результаты расчета свести в таблицу 2.

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