

Краткое описание работы схемы.

Данная схема является системой регулирования скорости. Скорость вращения двигателя преобразуется с помощью тахогенератора в напряжение обратной связи U_{m2} , которое сравнивается с задающим напряжением U_0 , соответствующее требуемому значению угловой скорости, изменяя которое можно задавать различную скорость двигателя. Разность $U_0 - U_{m2}$ через корректирующую RC цепочку подается на вход усилителя, выходная величина которого питает обмотку возбуждения электромашиного усилителя. В свою очередь электромашинный усилитель нагружен на обмотку возбуждения генератора. Поступающее с выхода генератора на двигатель напряжение U_5 , является управляющим воздействием, благодаря которому двигатель ликвидирует создавшееся отклонение ω . Изменение, создаваемого нагрузкой момента M_c представляет собой возмущающее воздействие.

Если нагрузка на валу двигателя увеличится, то скорость n в первый момент уменьшится, напряжение тахогенератора уменьшится, а напряжение на входе усилителя увеличится. Это, в свою очередь, приведет к увеличению напряжения на выходе ЭМУ и, следовательно, к увеличению скорости вращения двигателя.

По отношению к входному сигналу $u_0 = 1(t)$ и при отсутствии нагрузки предположим, что система является астатической, т.е. в установившемся режиме рассогласование u равно нулю. Тогда на выходе усилителя напряжение отсутствует и на

двигатель напряжение не поступает, и ротор неподвижен. В этом случае рассогласование $u = u_0 - u_1$ между входным сигналом u_0 и нулевым напряжением на выходе тахогенератора u_1 равно u_0 , т.е. не равно нулю, что противоречит исходному предположению. Тем самым рассогласование в установившемся режиме не равно нулю, и система является статической по отношению к входному сигналу $u_0 = 1(t)$.

Функциональная схема системы

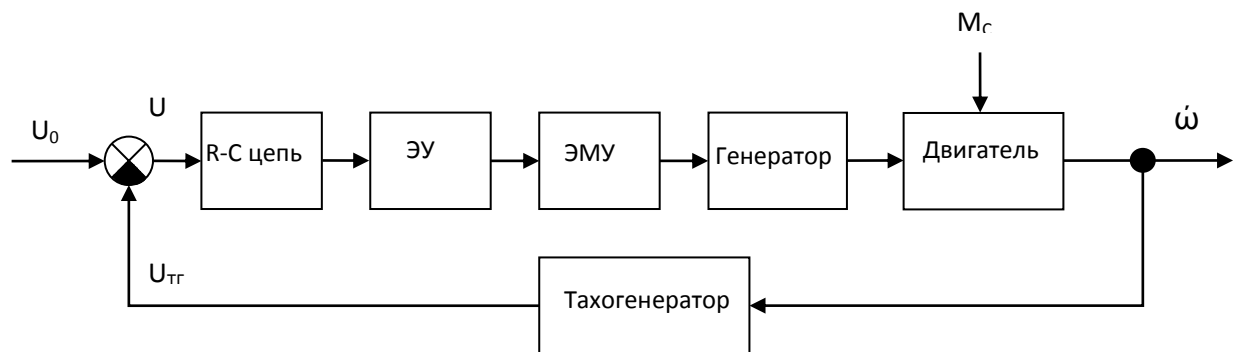


Рисунок 1

Расчёт САУ в линейном приближении

Вывод уравнений и определение передаточных функций функциональных Элементов

Усилитель

Усиливает разность напряжений задающего потенциометра и тахогенератора.



Рисунок 2

$$W_y(p) = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}} = k_y - \text{коэффициент усиления по напряжению}$$

R-C цепь (Дифференцирующее звено)

Передаточная функция форсирующей RC - цепи имеет вид

$$W_{\text{фц}}(p) = \frac{k_{\text{фц}}(T_1 p + 1)}{T_2 p + 1},$$

где $k_{\text{фц}} = R_0 / (R_0 + R)$, $T_1 = RC$, $T_2 = k_{\text{фц}} T_1$. Поскольку $k_{\text{фц}} < 1$, то выполняется неравенство $T_2 < T_1$.

По заданным численным значениям найдем

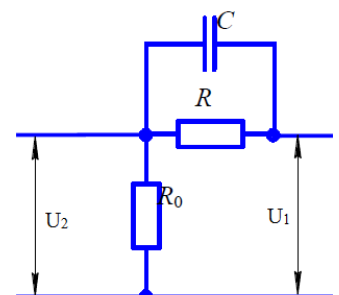


Рисунок 3

$$k_{\text{фц}} = \frac{4000}{4000 + 400000} = 0,01, T_1 = 400000 \cdot 10^{-6} = 0,4 \text{ с}, T_2 = 0,004 \text{ с}.$$

Поскольку постоянная времени T_2 значительно меньше постоянной времени T_1 и постоянных времени других функциональных элементов схемы, можно принять $T_2 \approx 0$. При этом упрощенная передаточная функция форсирующей RC - цепи имеет вид

$$W_{\text{фц}}(p) \approx k_{\text{фц}}(T_1 p + 1),$$

т.е. содержит производную от входного сигнала.

Отсюда получим:

$$W_{\text{дö}}(p) = 0,01(0,4p + 1)$$

Генератор постоянного тока

1. Уравнения статики для номинального режима генератора имеют вид

$$u_{\text{âí}} = R_{\text{ââ}} i_{\text{âí}},$$

$$\dot{a}_i = k_i i_{\text{âí}},$$

$$\dot{a}_i = u_{\text{ýí}} + R_{\text{ýâ}} i_{\text{ýí}},$$

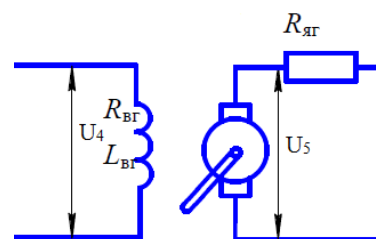


Рисунок 4

где $u_{\text{вн}}$ и $i_{\text{вн}}$ – номинальные напряжение и ток в обмотке возбуждения генератора, $e_{\text{н}}$ – номинальное значение э.д.с.; $u_{\text{ýí}}$ и $i_{\text{ýí}}$ – номинальные напряжение и ток в якорной обмотке генератора, $R_{\text{ââ}}$ – сопротивление управляющей обмотки возбуждения генератора; $R_{\text{ýâ}}$ – сопротивление якорной обмотки генератора; $k_i = k_1 \omega_0$ – коэффициент усиления по току, зависящий от угловой скорости вращения ω_0 якоря вспомогательного двигателя. В генераторах, предназначенных для усиления напряжения по мощности, $\omega_0 = \text{const}$.

Отсюда следует, что

$$\dot{a}_i = \frac{k_i}{R_{\text{ââ}}} u_{\text{âí}},$$

и с учетом паспортных значений найдем коэффициент усиления генератора

$$\frac{k_i}{R_{\text{ââ}}} = \frac{\dot{a}_i}{u_{\text{âí}}} = \frac{u_{\text{ýí}} + R_{\text{ýâ}} i_{\text{ýí}}}{R_{\text{ââ}} i_{\text{âí}}}.$$

Таким образом получим

$$\frac{k_i}{R_{\text{ââ}}} = \frac{725 + 0,03 \cdot 915}{8 \cdot 45} = 2,09.$$

2. Уравнения динамики генератора в схеме соединения имеют вид

$$u_{\hat{a}} = R_{\hat{a}}^* i_{\hat{a}} + L_{\hat{a}\hat{a}} \frac{di_{\hat{a}}}{dt},$$

$$\dot{\hat{a}} = k_i i_{\hat{a}},$$

где $u_{\hat{b}} = e_{\text{ЭМУ}}$, $R_{\hat{a}}^* = R_{\hat{a}\hat{a}} + R_{\hat{y}\hat{y}}$, $R_{\hat{y}\hat{y}}$ – сопротивление якоря ЭМУ; $u_{\hat{b}} = e_{\hat{y}}$,

С учетом преобразования Лапласа при нулевых начальных условиях получим $e = W_{\Gamma}(p)u_{\hat{b}}$ с передаточной функцией

$$W_{\Gamma}(p) = \frac{k_{\Gamma}}{T_{\hat{b}}p + 1},$$

где $k_{\Gamma} = k_i / R_{\hat{b}}^*$, $T_{\hat{a}} = L_{\hat{a}\hat{a}} / R_{\hat{a}}^*$.

$$R_{\hat{a}}^* = 8 + 0,2 = 8,2 \text{ } \hat{I} \hat{i} ; T_{\hat{a}} = \frac{6}{8,2} = 0,73; k_{\hat{a}} = 2,09 \frac{8}{8,2} = 2,039$$

$$W_{\hat{a}}(p) = \frac{2,039}{0,73p + 1}$$

Тахогенератор

1. Тахогенератор постоянного тока предназначен для измерения угловой скорости вращения якоря. Уравнения статики для номинального режима следуют из уравнений статики генератора без учета малого сопротивления $R_{\hat{y}\hat{a}}$:

$$u_{\hat{a}\hat{i}} = R_{\hat{a}\hat{a}} i_{\hat{a}\hat{i}},$$

$$u_{\hat{y}\hat{i}} = k_1 \omega_{0\hat{i}} i_{\hat{a}\hat{i}},$$

где $\omega_{0\hat{i}}$ – номинальные обороты якоря; $u_{\hat{a}\hat{i}} = \text{const}$.

Отсюда следует, что

$$u_{\hat{y}\hat{i}} = k_{\hat{o}\hat{a}} \omega_{0\hat{i}},$$

где

$$k_{\hat{o}\hat{a}} = \frac{k_1 u_{\hat{a}\hat{i}}}{R_{\hat{a}\hat{a}}} = \frac{u_{\hat{y}\hat{i}}}{\omega_{0\hat{i}}}.$$

Отсюда получим

$$k_{\hat{o}\hat{a}} = \frac{u_{\hat{y}\hat{i}}}{\omega_{0\hat{i}}} = \frac{120}{157,1} = 0,764 \text{ Вс/рад.}$$

2. Уравнения динамики тахогенератора имеют вид

$$u_{\hat{o}\hat{a}} = k_{\hat{o}\hat{a}} \omega.$$

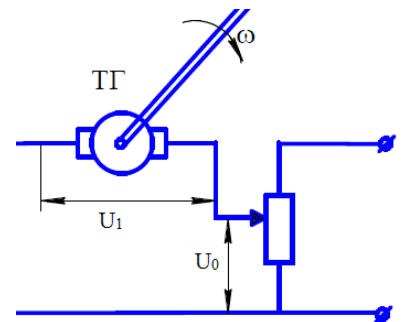


Рисунок 5

Тогда передаточная функция тахогенератора для схемы имеет вид

$$W_{\omega\ddot{\alpha}}(p) = k_{\omega\ddot{\alpha}} = 0,764.$$

Электромашинный усилитель

1. С учетом принятых допущений о полной компенсации реакции якоря в цепи нагрузки ЭМУ, уравнения статики для номинального режима имеют вид

$$u_{\text{BH}} = R_{\text{B}} i_{\text{BH}},$$

$$e_{\text{KH}} = k_1 \tilde{\omega}_0 i_{\text{BH}},$$

$$e_{\text{KH}} = R_{\text{K}} i_{\text{KH}},$$

$$e_{\text{ЭМУН}} = k_2 \tilde{\omega}_0 i_{\text{KH}},$$

$$\dot{a}_{\hat{\gamma} \text{ ó í}} = u_{\hat{\gamma} \text{ í}} + R_{\hat{\gamma}} i_{\hat{\gamma} \text{ í}},$$

где u_{BH} и i_{BH} – номинальные напряжение и ток в обмотке возбуждения; e_{KH} и i_{KH} – номинальные э.д.с. и ток в короткозамкнутой цепи; $e_{\text{ЭМУН}}$, $u_{\hat{\gamma} \text{ í}}$, $i_{\hat{\gamma} \text{ í}}$ и $R_{\hat{\gamma}}$ – номинальные э.д.с., напряжение, ток и сопротивление якорной цепи нагрузки ЭМУ соответственно; $\tilde{\omega}_0$ – постоянная угловая скорость вращения якоря вспомогательного двигателя.

Исключая переменные e_{KH} и i_{KH} получим

$$\dot{a}_{\hat{\gamma} \text{ ó í}} = \frac{k_1 k_2 \tilde{\omega}_0^2}{R_{\hat{\gamma}} R_{\hat{\alpha}}} u_{\hat{\alpha} \text{ í}} = k_{\hat{\gamma} \text{ ó í}}^{\hat{\alpha}} u_{\hat{\alpha} \text{ í}}.$$

Отсюда найдем

$$k_{\hat{\gamma} \text{ ó}}^{\hat{\alpha}} = \frac{k_1 k_2 \tilde{\omega}_0^2}{R_{\hat{\gamma}} R_{\hat{\alpha}}} = \frac{\dot{a}_{\hat{\gamma} \text{ ó í}}}{u_{\hat{\alpha} \text{ í}}} = \frac{u_{\hat{\gamma} \text{ í}} + R_{\hat{\gamma}} i_{\hat{\gamma} \text{ í}}}{u_{\hat{\alpha} \text{ í}}}.$$

Получим

$$k_{\hat{\gamma} \text{ ó}}^{\hat{\alpha}} = \frac{u_{\hat{\gamma} \text{ í}} + R_{\hat{\gamma}} i_{\hat{\gamma} \text{ í}}}{R_{\hat{\alpha}} i_{\hat{\alpha} \text{ í}}} = \frac{200 + 0,2 \cdot 50}{35 \cdot 0,04} = 150.$$

2. Уравнения динамики ЭМУ в схеме соединения имеют вид

$$e_{\text{Y}} = R_{\text{B}}^* i_{\text{B}} + L_{\text{B}} \frac{di_{\text{B}}}{dt},$$

$$e_{\text{K}} = k_1 \tilde{\omega}_0 i_{\text{B}} - \text{для схем A, B};$$

$$e_{\text{K}} = R_{\text{K}} i_{\text{K}} + L_{\text{K}} \frac{di_{\text{K}}}{dt},$$

$$e_{\text{ЭМУ}} = k_2 \tilde{\omega}_0 i_{\text{K}},$$

$$\text{где } R_{\text{B}}^* = R_{\text{B}} + R_{\text{ВЫХ}}$$

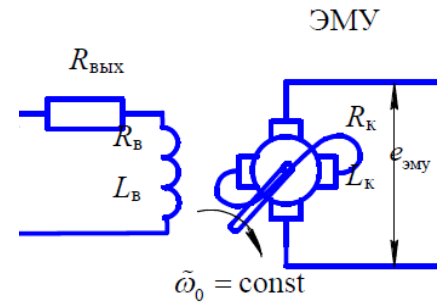


Рисунок 6

Отсюда с учетом преобразования Лапласа при нулевых начальных условиях найдем:

1) для схем А, В:

$$e_{\text{эму}} = W_{\text{эму}}(p)e_y$$

с передаточной функцией

$$W_{\text{эму}}(p) = \frac{k_{\text{эму}}}{(T_{\text{в}}p + 1)(T_{\text{к}}p + 1)},$$

где $k_{\text{эл}} = k_{\text{эл}}^i R_{\text{а}} / R_{\text{а}}^*$, $T_{\text{в}} = L_{\text{в}} / R_{\text{в}}^*$, $T_{\text{к}} = L_{\text{к}} / R_{\text{к}}$.

$$R_{\text{а}}^* = 35 + 10 = 45 \text{ } \hat{\text{I}} \text{ } ; k_{\text{эл}} = \frac{150 \cdot 35}{45} = 116,67; T_{\text{а}} = \frac{2}{45} = 0,04; T_{\text{е}} = \frac{0,06}{0,3} = 0,2$$

$$W_{\text{эл}}(p) = \frac{116,67}{(0,04p + 1)(0,2p + 1)}$$

Двигатель постоянного тока

1. Уравнения статики для номинального режима имеют вид

$$u_{\text{ян}} = R_{\text{яд}} i_{\text{ян}} + C_{\text{Е}} \omega_{\text{н}},$$

$$C_{\text{М}} i_{\text{ян}} = M_{\text{н}},$$

где $C_{\text{Е}}$ – коэффициент противо - ЭДС якоря, $C_{\text{М}}$ – коэффициент вращающего момента. При единице измерения $\omega_{\text{н}}$ рад/с в

системе единиц СИ выполняется равенство $C_{\text{Е}} = C_{\text{М}}$ с

размерностью $\text{В} \cdot \text{с} = \text{кг} \cdot \text{м}^2 / \text{А} \cdot \text{с}^2 = \text{Н} \cdot \text{м} / \text{А}$. Тем самым найдем

$$C_{\text{Е}} = \frac{u_{\text{ян}} - R_{\text{яд}} i_{\text{ян}}}{\omega_{\text{н}}}, \tilde{N}_1 = \tilde{N}_{\text{А}}.$$

$$C_{\text{Е}} = \frac{625 - 0,025 \cdot 800}{83,8} = 7,22 \text{ В} \cdot \text{с}, C_{\text{М}} = 7,22 \text{ Н} \cdot \text{м} / \text{А}.$$

2. Уравнения динамики двигателя в схеме соединения имеют вид

$$e_{\Gamma} = R_{\text{я}}^* i_{\text{я}} + L_{\text{я}}^* \frac{di_{\text{я}}}{dt} + C_{\text{Е}} \omega,$$

$$J \frac{d\omega}{dt} = C_{\text{М}} i_{\text{я}} - M_{\text{с}}^*,$$

где $R_{\text{я}}^* = R_{\text{яд}} + R_{\text{яг}}$, $L_{\text{я}}^* = L_{\text{яг}} + L_{\text{яд}} \approx 0$; при этом $M_{\text{с}}^* = M_{\text{с}}$.

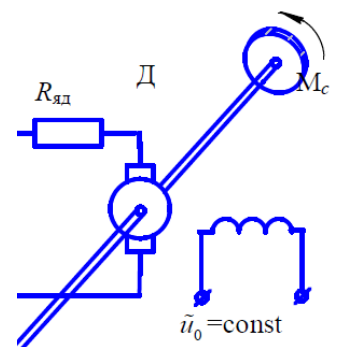


Рисунок 7

Отсюда с учетом преобразования Лапласа при нулевых начальных условиях найдем:

$$\omega = W_{\text{дв}}(p)e_{\Gamma} - W_{\text{дв}}^{\text{f}}(p)M_{\text{с}}^*,$$

$$\text{где } W_{\text{дв}}(p) = \frac{k_{\text{дв}}}{T_{\text{дв}}p + 1}, W_{\text{дв}}^{\text{f}}(p) = \frac{k_{\text{дв}}^{\text{f}}}{T_{\text{дв}}p + 1}, k_{\text{дв}} = 1/C_E, T_{\text{дв}} = JR_{\text{я}}^*/C_{\text{м}}C_E,$$

$$k_{\text{дв}}^{\text{f}} = R_{\text{я}}^*/C_{\text{м}}C_E.$$

получим

$$k_{\text{дв}} = 1/C_E = 1/7,22 = 0,14 \text{ (В} \cdot \text{с)}^{-1},$$

$$k_{\text{дв}}^{\text{f}} = R_{\text{я}}^*/C_{\text{м}}C_E = \frac{0,025 + 0,03}{7,22^2} = 0,001 \text{ (Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с)}^{-1}$$

$$T_{\text{дв}} = JR_{\text{я}}^*/C_{\text{м}}C_E = \frac{360 \cdot (0,025 + 0,03)}{7,22^2} = 0,38 \text{ с.}$$

$$W_{\text{дв}}(p) = \frac{0,14}{0,38p + 1}$$

$$W_{\text{дв}}^{\text{f}}(p) = \frac{0,001}{0,38p + 1}$$

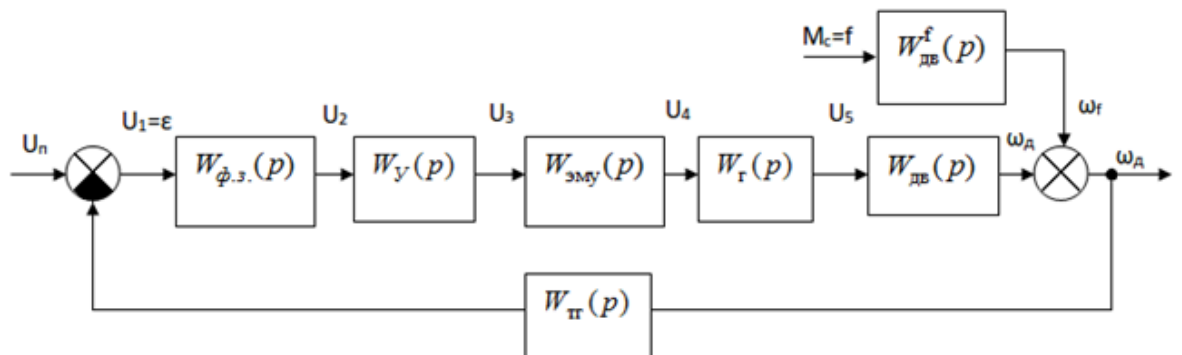


Рисунок 13