

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 4

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ САУ

Содержание практического занятия:

- 4.1. Функциональная схема САУ
- 4.2. Чувствительные элементы – датчики
- 4.3. Усилители
- 4.4. Исполнительные устройства и объекты управления
- 4.5. Корректирующие элементы
- 4.6. Сравнивающие устройства
- 4.7. Задания

4.1. Функциональная схема САУ

В общем случае функциональная схема системы автоматического управления имеет вид, представленный на рис. 2.1, где приняты следующие обозначения: УУ — управляющее устройство, включающее

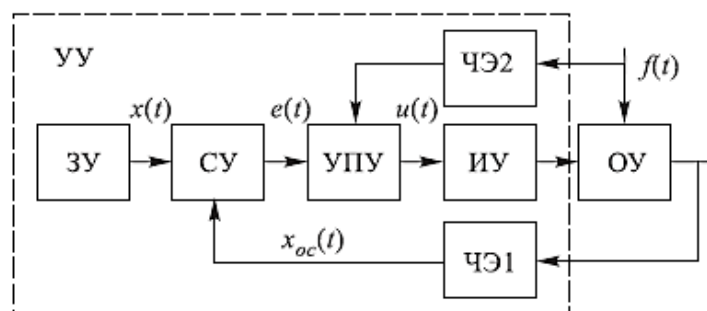


Рис. 2.1

в себя ЗУ — задающее устройство, вырабатывающее задающий сигнал $x(t)$; СУ — сравнивающее устройство, вырабатывающее сигнал ошибки $e(t) = x(t) - x_{oc}(t)$; УПУ — усилительно-преобразовательное устройство, включающее в себя помимо усилителя и преобразователь или корректирующее устройство, которое на основе сигнала ошибки $e(t)$ и измеренного возмущения $f(t)$ вырабатывает управляющее воздействие $u(t)$; ИУ — исполнительное устройство, непосредственно воздействующее на объект управления ОУ; ЧЭ1 и ЧЭ2 — чувствительные элементы (датчики), измеряющие управляемую переменную $y(t)$ и возмущение $f(t)$ и при необходимости преобразующие их в иную физическую переменную (например, механическую или тепловую в электрическую); ОУ — объект управления.

В данной главе рассматриваются задачи, связанные с математическим описанием (дифференциальными уравнениями и передаточными функциями) некоторых технических устройств, используемых в системах автоматического управления (САУ) в качестве упомянутых выше элементов.

4.2. Чувствительные элементы – датчики

Датчики линейных и угловых перемещений. В САУ для измерения линейных и угловых перемещений используются линейные и вращающиеся потенциометрические датчики (ПД). Для измерения угловых перемещений используются вращающиеся трансформаторы (ВТ) и сельсины (С). На этих элементах выполняют также и сравнивающие устройства (СУ). Принцип действия этих устройств, их схемы и основные характеристики рассматриваются в довольно обширной литературе [1, 2, 5–8, 10]. Упомянутые выше потенциометрические датчики, вращающиеся трансформаторы и сельсины при исследовании динамики считаются безынерционными звеньями с передаточной функцией

$$W(s) = k_d,$$

где k_d — передаточный коэффициент датчика.

Для потенциометрических датчиков и вращающихся трансформаторов коэффициент k_d определяется крутизной статической характеристики, но следует иметь в виду, что для вращающихся трансформаторов это верно при малых углах, иначе необходимо учитывать нелинейность характеристики. Передаточный коэффициент сельсина, работающего в трансформаторном режиме, также рассчитывается по крутизне характеристики, определяемой по следующей формуле:

$$k_d = \frac{dU_{\text{вых}}}{d\theta} \text{ при } |\theta| \leq 30^\circ.$$

Так, например, передаточная функция ПД типа ПП

$$W(s) = k_d = 0,08 \text{ В/град};$$

передаточная функция ВТ типа ВТ-5

$$W_{\text{ВТ}}(s) = k_d = 20 \text{ мВ/угл. мин.} = 1,2 \text{ В/град},$$

передаточная функция сельсина типа СГСМ-1

$$W_c(s) = k_d = 1,92 \text{ В/град}.$$

Для измерения угловой скорости используют тахогенераторы (ТГ) постоянного и переменного тока. Строго говоря, по динамическим свойствам их можно отнести к апериодическому звену второго порядка с передаточной функцией

$$W_{\text{ТГ}}(s) = \frac{U_{\text{ТГ}}(s)}{\omega(s)} = \frac{k_{\text{ТГ}}}{(1 + sT_1)(1 + sT_2)},$$

где $U_{\text{ТГ}}$ — напряжение на выходе ТГ, $T_1 = L_{\text{я}}/R_{\text{я}}$ — электрическая постоянная времени, $L_{\text{я}}$ — индуктивность обмотки якоря, $R_{\text{я}}$ — активное

сопротивление обмотки якоря, T_2 — электромеханическая постоянная времени. Но поскольку якорь ТГ соединен с валом двигателя, скорость которого он измеряет, его момент инерции учитывается при расчете электромеханической постоянной времени двигателя в суммарном моменте инерции. Учитывая, что $T_1 \ll T_2$, ТГ можно считать безынерционным звеном с передаточной функцией $W_{ТГ}(s) = k_{ТГ}$, где $k_{ТГ}$ — передаточный коэффициент ТГ, определяемый крутизной статической характеристики $U_{ТГ}(n)$.

Например, передаточная функция ТГ типа ТП-75

$$W_{ТГ}(s) = k_{ТГ} = 20 \text{ мВ} \cdot \text{мин./об.} = 0,19 \text{ В} \cdot \text{с/рад}$$

а для ТГ типа ДГ-3ТА

$$W_{ТГ}(s) = k_{ТГ} = 1 \text{ мВ} \cdot \text{мин./об.} = 0,0096 \text{ В} \cdot \text{с/рад}$$

Основные характеристики некоторых типов ТГ приведены в [2, 10].

Датчики температуры. Для измерения температуры в системах автоматического управления используются электротепловые датчики: термопары (ТП) и термосопротивления (ТС) [5, 6, 8, 10]. Датчики этого типа с точки зрения динамики являются апериодическим (инерционным) звеном первого порядка с передаточной функцией

$$W(s) = \frac{k_{ТД}}{1 + sT_{ТД}},$$

где $T_{ТД}$ — постоянная времени термодатчика, которая колеблется для некоторых типов датчиков от долей секунды до нескольких минут, $k_{ТД}$ — передаточный коэффициент термодатчика, который определяется крутизной статической характеристики.

4.3. Усилители

В САУ используются все известные типы усилителей: электрические, гидравлические и пневматические. В качестве электрических используются электронные (ЭУ) (полупроводниковые, тиристорные), магнитные (МУ) и электромашинные (ЭМУ).

Электронные усилители. Электронные усилители можно считать безынерционным звеном с передаточной функцией

$$W(s) = k_{ус},$$

по напряжению k_{yc} рассчитывается как отношение выходного напряжения усилителя $u_{вых}$ ко входному напряжению $u_{вх}$, $k_{yc} = u_{вых}/u_{вх}$.

Магнитные усилители. Наибольшее распространение в САУ получила схема двухтактного реверсивного МУ [5, 8–10]. По динамическим свойствам МУ этого типа эквивалентен апериодическому звену с передаточной функцией

$$W_{МУ}(s) = \frac{k_{МУ}}{(1 + sT_{МУ})}.$$

Для увеличения коэффициента усиления используют внутреннюю обратную связь. Постоянная времени $T_{МУ}$ для МУ с положительной обратной связью рассчитывается по следующей формуле:

$$T_{МУ} = \frac{R_n w_{yn}^2}{4f R_{yn}^0 w_p^2 (1 - \beta)},$$

где f — частота напряжения питания в Гц, R_n — активное сопротивление нагрузки, R_{yn}^0 — общее активное сопротивление цепи управления усилителя с учетом сопротивления источника управляющего сигнала в Ом, w_p и w_{yn} — число витков рабочей обмотки и обмотки управления соответственно, β — коэффициент положительной обратной связи. Коэффициент усиления по напряжению $k_{МУ}$ вычисляется по формуле

$$k_{МУ} = \frac{\Delta u_{вых}}{\Delta u_{вх}} = \frac{R_n i_n}{R_{yn}^0 i_{yn}},$$

где i_n — ток в нагрузке, i_{yn} — ток в обмотке управления.

Магнитные усилители рассчитываются для каждого отдельного случая, серийно промышленностью не выпускаются.

Электромашинные усилители. ЭМУ используются в САУ в случае наличия источника механической энергии (например, дизель и т. п.). Их применяют для управления двигателем постоянного тока, когда требуется высокий коэффициент усиления по мощности. Известны различные конструкции ЭМУ [3, 5, 6, 8, 10]. ЭМУ с поперечным полем описывается передаточной функцией апериодического звена второго порядка

$$W_{ЭМУ}(s) = \frac{U_{вых}(s)}{U_{вх}(s)} = \frac{k_{ЭМУ}}{(1 + sT_y)(1 + sT_k)},$$

где $k_{ЭМУ}$ — коэффициент усиления ЭМУ, равный

$$k_{ЭМУ} = k_1 k_2, \quad k_1 = m_1 / R_y, \quad k_2 = m_2 / R_k,$$

R_y и R_k — активные сопротивления обмотки управления и поперечной короткозамкнутой обмотки соответственно, m_1 — коэффициент пропорциональности между ЭДС в поперечной обмотке и током

управления, m_2 — коэффициент пропорциональности между выходной ЭДС и током в поперечной обмотке, $T_Y = L_Y/R_Y$ — постоянная времени цепи управления, L_Y — индуктивность обмотки управления, $T_K = L_K/R_K$ — постоянная времени поперечной цепи, L_K — индуктивность поперечной обмотки. Обычно $T_K \geq T_Y$, их значения колеблются от сотых до десятых долей секунды. Коэффициент усиления по мощности для этого типа ЭМУ достигает 10^4 .

4.4. Исполнительные устройства и объекты управления

Двигатели постоянного тока. Двигатель постоянного тока с независимым возбуждением может быть представлен структурной схемой, приведенной на рис. 2.2, где $W_u(s)$ — передаточная функция относительно управляющего воздействия u_y , $W_M(s)$ — передаточная функция относительно возмущения — момента нагрузки M_H .

Когда выходом является угловая скорость, передаточная функция двигателя по управляющему воздействию u_y

$$W_u(s) = W_{u\omega}(s) = \frac{\Omega(s)}{U_y(s)} = \frac{k_{d1}}{(T_Y T_M s^2 + T_M s + 1)}$$

и по возмущению M_H

$$W_M(s) = W_{M\omega}(s) = \frac{\Omega(s)}{M_H(s)} = \frac{k_{d2}(T_Y s + 1)}{(T_Y T_M s^2 + T_M s + 1)}.$$

Здесь $k_{d1} = \frac{1}{c_e} = \frac{\omega_{xx}}{u_{ном}}$ — передаточный коэффициент двигателя по управлению, c_e — постоянная, зависящая от потока возбуждения и конструкции двигателя, $\omega_{xx} = 1,5\omega_{ном}$ — скорость холостого хода, $\omega_{ном}$ — номинальная скорость, $T_Y = L_Y/R_Y$ — электрическая постоянная времени якоря, L_Y — индуктивность обмотки якоря, R_Y — активное сопротивление обмотки якоря, $T_M = JR_Y/c_e c_m$ — электромеханическая постоянная времени, J — приведенный к валу двигателя суммарный момент инерции вращающихся частей, $k_{d2} = \frac{R_Y}{c_e c_m} = \frac{M_{\Pi} R_Y}{u_{ном}}$ —

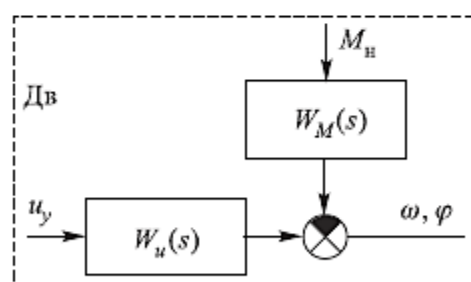


Рис. 2.2

передаточный коэффициент двигателя по возмущению (моменту нагрузки) M_H , c_m — постоянная, зависящая, как и c_e , от потока возбуждения и конструкции двигателя, $u_{ном}$ — номинальное напряжение управления, M_{Π} — пусковой момент.

Для большинства двигателей выполняется неравенство $T_{\text{Я}} \ll T_{\text{М}}$. Поэтому при расчете динамики САУ часто полагают $T_{\text{Я}} = 0$. При этом передаточные функции двигателя по управляющему воздействию $W_{u\omega}(s)$ и по возмущению $W_{M\omega}(s)$ соответственно принимают вид

$$W_{u\omega}(s) = \frac{\Omega(s)}{U_y(s)} = \frac{k_{\text{д1}}}{1 + sT_{\text{М}}}, \quad W_{M\omega}(s) = \frac{\Omega(s)}{M_{\text{н}}(s)} = \frac{k_{\text{д2}}}{1 + sT_{\text{М}}}.$$

Если за выходную величину двигателя принять угол поворота вала φ , то передаточные функции по управляющему воздействию $W_{u\varphi}(s)$ и по возмущению $W_{M\varphi}(s)$ имеют вид

$$W_{u\varphi}(s) = \frac{\varphi(s)}{U_y(s)} = \frac{k_{\text{д1}}}{s(1 + sT_{\text{М}})}, \quad W_{M\varphi}(s) = \frac{\varphi(s)}{M_{\text{н}}(s)} = \frac{k_{\text{д2}}}{s(1 + sT_{\text{М}})}.$$

Пример 2.1. Определить передаточные функции двигателя типа ДПМ-20-Н1/Н2-01.

Решение. Для двигателя данного типа $T_{\text{Я}} = 0,0007$ с, $T_{\text{М}} = 0,35$ с, $u_{\text{ном}} = 29$ В, $n_{\text{ном}} = 9000$ об/мин, $M_{\text{П}} = 60$ гсм, $R_{\text{Я}} = 218$ Ом.

Приведем единицы измерения параметров двигателя к системе СИ: $M_{\text{П}} = 60$ гсм = 0,0059 Нм, $\omega_{\text{ном}} = \frac{2\pi n_{\text{ном}}}{60} = 942$ рад/с.

Скорость холостого хода двигателя $\omega_{\text{хх}} = 1,5\omega_{\text{ном}} = 1413$ рад/с.

Рассчитаем передаточные коэффициенты двигателя по управлению и по возмущению:

$$k_{\text{д1}} = \frac{1413}{29} = 48,7 \frac{\text{рад}}{\text{Вс}}, \quad k_{\text{д2}} = \frac{0,0059 \cdot 218}{29} = 0,044 \frac{(\text{Нм})\text{Ом}}{\text{В}}.$$

Тогда получим передаточные функции двигателя

$$\begin{aligned} W_{u\omega}(s) &= \frac{48,7}{1 + 0,35s}, & W_{u\varphi}(s) &= \frac{48,7}{s(1 + 0,35s)}, \\ W_{M\omega}(s) &= \frac{0,044}{1 + 0,35s}, & W_{M\varphi}(s) &= \frac{0,044}{s(1 + 0,35s)}. \end{aligned}$$

Асинхронные двигатели. Наиболее распространен индукционный двухфазный двигатель [1, 3, 8–10]. В динамическом отношении асинхронный двигатель рассматривается относительно угловой скорости как апериодическое звено и по управляющему воздействию $W_{U\omega}(s)$ и по возмущению $W_{M\omega}(s)$:

$$\begin{aligned} W_{u\omega}(s) &= \frac{k_{\text{д1}}}{1 + sT_{\text{М}}}, & W_{M\omega}(s) &= \frac{k_{\text{д2}}}{1 + sT_{\text{М}}}, \\ W_{u\varphi}(s) &= \frac{k_{\text{д1}}}{s(1 + sT_{\text{М}})}, & W_{M\varphi}(s) &= \frac{k_{\text{д2}}}{s(1 + sT_{\text{М}})}, \end{aligned}$$

где параметры двигателя вычисляются по следующим формулам:

$$k_{д1} = \frac{\omega_{xx}}{u_{yном}}, \quad \omega_{xx} = 1,5\omega_{ном}, \quad k_{д2} = \frac{M_n}{i_{pn}}, \quad T_M = J_p \frac{\omega_{xx}}{M_n},$$

где i_{pn} — пусковой ток ротора, равный току, потребляемому от сети, J_p — момент инерции ротора.

Пример 2.2. Определить передаточные функции асинхронного двигателя типа АД-32Б. Технические характеристики двигателя этого типа: $T_M = 10$ мс = 0,01 с, $n_{xx} = 7000$ об/мин, $u_{yном} = 40$ В, $M_n = 75 \times 10^{-4}$ Нм, $i_{pn} = 3$ А.

Решение. Угловая скорость двигателя при холостом ходе

$$\omega_{xx} = \frac{2\pi n_{xx}}{60} = 732 \text{ рад/с.}$$

Рассчитаем передаточные коэффициенты двигателя:

$$k_{д1} = \frac{\omega_{xx}}{u_{yном}} = 18,3 \text{ рад/с}, \quad k_{д2} = \frac{M_n}{i_{pn}} = 25 \cdot 10^{-4} \frac{\text{Нм}}{\text{А}}$$

Тогда передаточные функции двигателя

$$W_{u\omega}(s) = \frac{18,3}{1 + 0,01s}, \quad W_{u\varphi}(s) = \frac{18,3}{s(1 + 0,01s)},$$

$$W_{M\omega}(s) = \frac{25 \cdot 10^{-4}}{1 + 0,01s}, \quad W_{M\varphi}(s) = \frac{25 \cdot 10^{-4}}{s(1 + 0,01s)}.$$

Генератор постоянного тока. Генератор постоянного тока описывается дифференциальным уравнением первого порядка и он эквивалентен апериодическому звену [6]:

$$W_{\Gamma}(s) = \frac{U_{\Gamma}(s)}{U_B(s)} = \frac{k_{\Gamma}}{1 + sT_{\Gamma}},$$

где u_{Γ} , u_B — выходное и входное напряжения генератора, $k_{\Gamma} = m_{\Gamma}/R_B$ — передаточный коэффициент по управляющему воздействию, R_B — активное сопротивление обмотки возбуждения, m_{Γ} — константа, определяющая зависимость между ЭДС генератора E_{Γ} и током возбуждения i_B , $T_{\Gamma} = L_B/R_B$ — постоянная времени генератора, L_B — индуктивность обмотки возбуждения.

Передаточная функция генератора относительно возмущения ($i_{я}$ — тока якоря)

$$W_i(s) = \frac{U_{\Gamma}(s)}{I_{я}(s)} = R_{я},$$

где $R_{я}$ — активное сопротивление цепи якоря.

4.5. Корректирующие элементы

При синтезе САУ для обеспечения ее устойчивости и требуемых показателей качества используют корректирующие элементы, в качестве которых применяют пассивные и активные четырехполюсники.

Пассивные четырехполюсники. Пассивные четырехполюсники представляют собой схемы из резисторов, конденсаторов и индуктивностей [5–7].

При вычислении передаточных функций четырехполюсников удобно воспользоваться операторными сопротивлениями: омическим R , индуктивным sL и емкостным $1/sC$. При этом пассивные четырехполюсники можно рассчитывать как схемы, составленные из одних омических сопротивлений. Общая схема пассивного четырехполюсника показана на рис. 2.3, где Z_1 и Z_2 — операторные сопротивления.

Передаточную функцию такого четырехполюсника можно записать следующим образом:

$$W(s) = \frac{U_2(s)}{U_1(s)} = \frac{Z_{\text{вых}}(s)}{Z_{\text{вх}}(s)} = \frac{Z_2(s)}{Z_1(s) + Z_2(s)}.$$

Пример 2.3. Рассчитать передаточную функцию четырехполюсника, показанного на рис. 2.4.

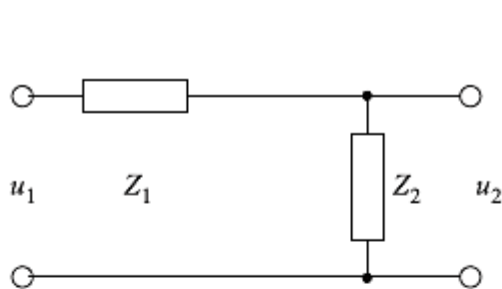


Рис. 2.3

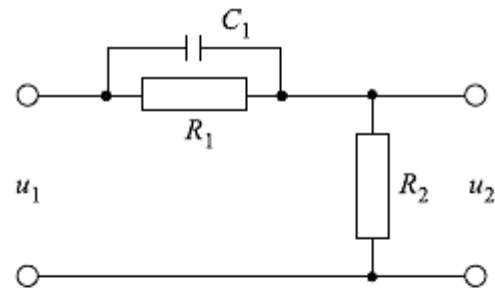


Рис. 2.4

Решение. В данном случае

$$Z_1(s) = \frac{1}{1/R_1 + sC_1} = \frac{R_1}{1 + sR_1C_1}, \quad Z_2(s) = R_2,$$

$$Z_{\text{вх}}(s) = Z_1(s) + Z_2(s) = \frac{R_1 + R_2 + R_1R_2C_1s}{1 + R_1C_1s}, \quad Z_{\text{вых}}(s) = R_2.$$

Поэтому

$$W(s) = \frac{Z_{\text{вых}}(s)}{Z_{\text{вх}}(s)} = k \frac{T_1s + 1}{T_2s + 1},$$

где $k = \frac{R_2}{R_1 + R_2} < 1$, $T_1 = R_1C_1$, $T_2 = \frac{R_1R_2}{R_1 + R_2}C_1 < T_1$.

Если соединить последовательно два пассивных четырехполюсника через разделительный усилитель (рис. 2.5), то передаточная функция этой цепи

$$W(s) = \frac{U_2(s)}{U_1(s)} = W_1(s)k_{yc}W_2(s),$$

где k_{yc} — коэффициент усиления усилителя, $W_1(s)$ и $W_2(s)$ — передаточные функции четырехполюсников, включенных на входе и выходе усилителя.

Эта формула справедлива при условии, что входное сопротивление усилителя достаточно велико.

Активные четырехполюсники постоянного тока. В таких четырехполюсниках используются операционные усилители (УПТ) с высоким коэффициентом усиления k_{yc} [4, 6, 7, 9]. Общая схема активного четырехполюсника показана на рис. 2.6. Передаточная функция такого элемента

$$W(s) = \frac{U_2(s)}{U_1(s)} = -\frac{Z_2(s)}{Z_1(s)} \text{ при } k_{yc} \gg 1.$$

Пример 2.4. Рассчитать передаточную функцию активного четырехполюсника, показанного на рис. 2.7.

Решение. В данном случае

$$Z_1(s) = R_1, \quad Z_2(s) = \frac{1}{1/R_2 + sC_2} = \frac{R_2}{1 + sR_2C_2},$$

Поэтому $W(s) = -\frac{Z_2(s)}{Z_1(s)} = -\frac{k}{1 + sT}$, $k = \frac{R_2}{R_1}$, $T = R_2C_2$.

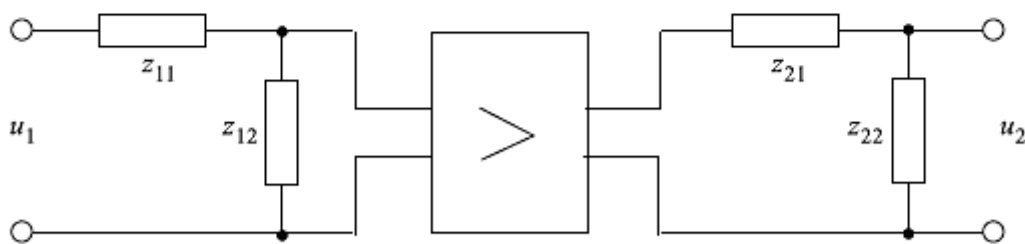


Рис. 2.5

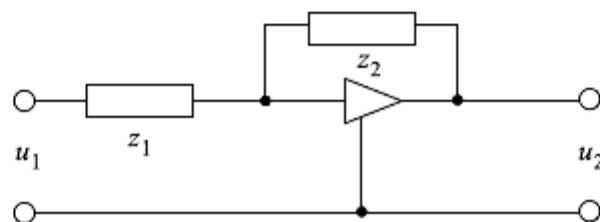


Рис. 2.6

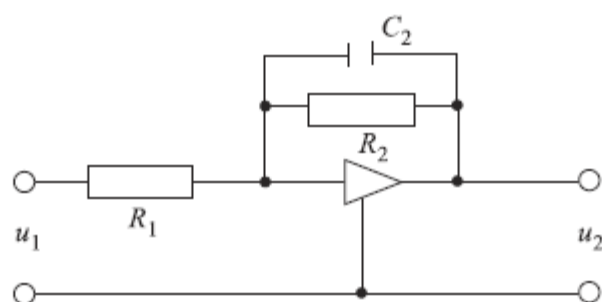


Рис. 2.7

4.6. Сравнивающие устройства

На рис. 2.8, а показана схема СУ, выполненная на линейных потенциометрах Π_1 и Π_2 , а на рис. 2.8, б — на кольцевых потенциометрах Π_1 и Π_2 .

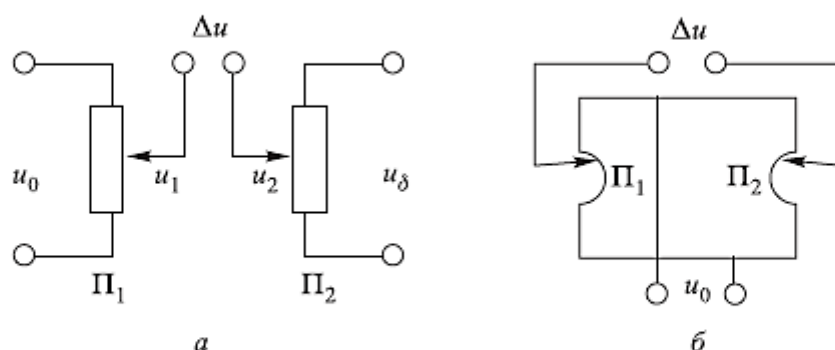


Рис. 2.8

В обеих схемах сигнал ошибки $\Delta u = 0$ при равенстве задающего сигнала u_1 и сигнала обратной связи u_2 .

На рис. 2.9 показана мостовая схема СУ.

В частном случае в плечи моста могут быть включены активные сопротивления R_1 , R_2 , R_3 и термосопротивление R_D . Если выполняется условие равновесия моста $R_1 R_D = R_2 R_3$, то сигнал ошибки $\Delta u = 0$. В общем случае в плечи моста могут быть включены, помимо активных сопротивлений, индуктивности и емкости.

Схема СУ может быть выполнена и на сельсинах, и на вращающихся трансформаторах. Принципиальная схема таких устройств может быть показана так, как на рис. 2.10.

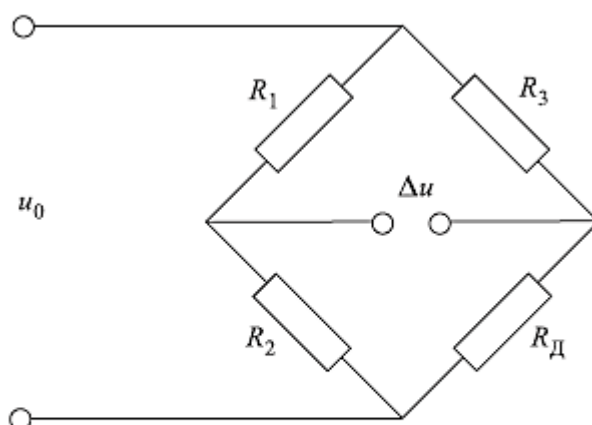


Рис. 2.9

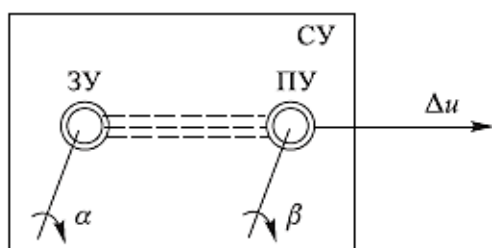


Рис. 2.10

В качестве задающего (ЗУ) и приемного (ПУ) устройств могут использоваться и сельсины (СД-сельсин-датчик, СП-сельсин-приемник) и вращающиеся трансформаторы (ВТ-1 и ВТ-2). Сигнал ошибки $\Delta u = 0$ при равенстве углов поворота задающей оси α и приемной

оси β .

На рис. 2.11 показана схема СУ, выполненная на операционном усилителе (активном четырехполюснике). Сигнал ошибки $\Delta u = 0$ при равенстве напряжений $u_1 = u_2$.

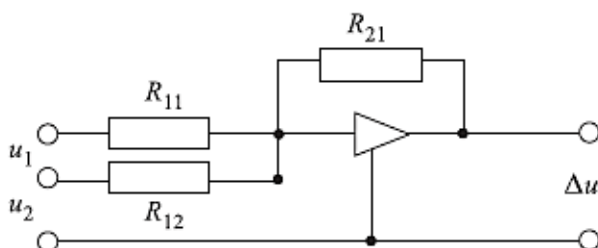


Рис. 2.11

Для всех приведенных выше схем СУ (рис. 2.8–2.11) структурная схема показана на рис. 2.12, где $x(t)$ — входной сигнал, $y(t)$ — сигнал обратной связи, $e(t) = k_{\text{СУ}}[x(t) - y(t)]$ — сигнал ошибки, $k_{\text{СУ}}$ — передаточный коэффициент СУ.

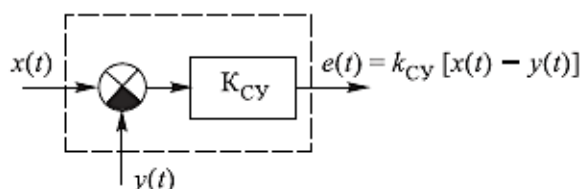


Рис. 2.12

4.7. Задания

Таблица 4.1

Варианты заданий

Вариант	Задание 1	Задание 2	Задание 3	Задание 4
1	4.1; 4.2	4.3.1	4.4.1	4.5
2	4.1; 4.2	4.3.2	4.4.2	4.6
3	4.1; 4.2	4.3.3	4.4.3	4.7
4	4.1; 4.2	4.3.4	4.4.4	4.8
5	4.1; 4.2	4.3.5	4.4.5	4.9
6	4.1; 4.2	4.3.6	4.4.6	4.10
7	4.1; 4.2	4.3.7	4.4.7	4.11
8	4.1; 4.2	4.3.8	4.4.8	4.12
9	4.1; 4.2	4.3.9	4.4.9	4.13
10	4.1; 4.2	4.3.10	4.4.10	4.14

4.1. Запишите дифференциальное уравнение и передаточные функции двигателя постоянного тока с независимым возбуждением типа ДПМ-20-Н1/Н2-04 по задающему сигналу и по возмущению для случаев, когда выходом являются угловая скорость и угол поворота.

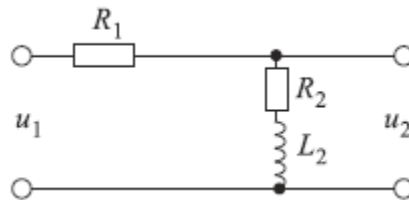
Технические характеристики двигателя: $T_M = 0,19$ с, $T_J = 0,0012$ с, $M_{\Pi} = 280$ Гсм, $R_J = 5,4$ Ом, $u_{\text{ном}} = 14$ В, $n_{\text{у ном}} = 4500$ об/мин.

4.2. Запишите передаточную функцию асинхронного двигателя типа АД-25В относительно угловой скорости и угла поворота по управляющему воздействию и по возмущению. Технические характеристики двигателя: $T_M = 17$ мс, $n_{\text{хх}} = 6500$ об/мин, $u_{\text{у ном}} = 40$ В, $M_{\Pi \text{ ном}} = 40 \times 10^{-4}$ Нм.

4.3. Составить передаточные функции для пассивных четырехполюсников, показанных на рисунках к заданиям 4.3.1–4.3.10.

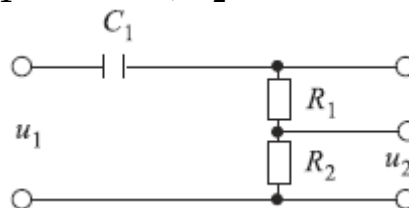
4.3.1. $R_1 = 15$ кОм, $R_2 = 5$ кОм, $L_2 = 20$ Гн.

4.3.2. $R_1 = 25$ кОм, $R_2 = 7$ кОм, $L_2 = 11$ Гн.



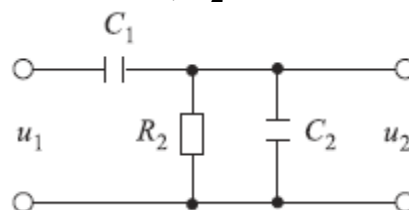
4.3.3. $C_1 = 5$ мкФ, $R_1 = 30$ кОм, $R_2 = 8$ кОм.

4.3.4. $C_1 = 16$ мкФ, $R_1 = 10$ кОм, $R_2 = 2$ кОм.



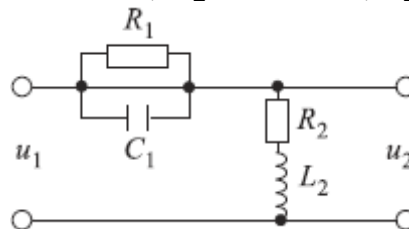
4.3.5. $C_1 = 4$ мкФ, $R_2 = 200$ кОм, $C_2 = 1$ мкФ.

4.3.6. $C_1 = 3$ мкФ, $R_2 = 110$ кОм, $C_2 = 1,5$ мкФ.



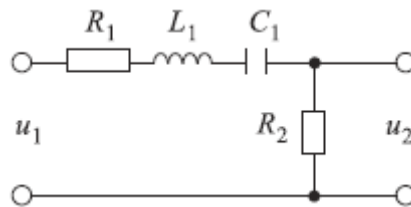
4.3.7. $R_1 = 5$ кОм, $C_1 = 20$ мкФ, $R_2 = 8$ кОм, $L_2 = 150$ Гн.

4.3.8. $R_1 = 8$ кОм, $C_1 = 16$ мкФ, $R_2 = 10$ кОм, $L_2 = 90$ Гн.



4.3.9. $R_1 = 35$ кОм, $R_2 = 12$ мкФ, $C_1 = 20$ мкФ, $L_1 = 80$ Гн.

4.3.10. $R_1 = 15$ кОм, $R_2 = 22$ мкФ, $C_1 = 10$ мкФ, $L_1 = 50$ Гн.



4.4. Определите передаточные функции активных четырехполюсников постоянного тока, показанных на рис. 4.13, а, б.

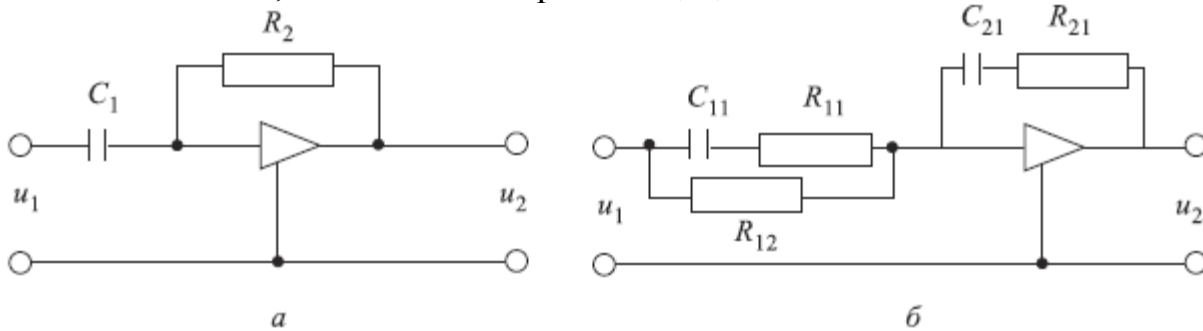


Рис. 4.13. Условие примера 4.4

Выполните задание при следующих исходных данных:

4.4.1. а) $R_2 = 20 \text{ кОм}$, $C_1 = 10 \text{ мкФ}$;

б) $R_{11} = 20 \text{ кОм}$, $C_{11} = 3 \text{ мкФ}$, $R_{12} = 40 \text{ кОм}$, $R_{21} = 30 \text{ кОм}$, $C_{21} = 10 \text{ мкФ}$;

4.4.2. а) $R_2 = 1 \text{ МОм}$, $C_1 = 1 \text{ мкФ}$;

б) $R_{11} = 10 \text{ кОм}$, $C_{11} = 1 \text{ мкФ}$, $R_{12} = 30 \text{ кОм}$, $R_{21} = 20 \text{ кОм}$, $C_{21} = 6 \text{ мкФ}$;

4.4.3. а) $R_2 = 0,1 \text{ МОм}$, $C_1 = 5 \text{ мкФ}$;

б) $R_{11} = 5 \text{ кОм}$, $C_{11} = 2 \text{ мкФ}$, $R_{12} = 15 \text{ кОм}$, $R_{21} = 35 \text{ кОм}$, $C_{21} = 3 \text{ мкФ}$;

4.4.4. а) $R_2 = 40 \text{ кОм}$, $C_1 = 5 \text{ мкФ}$;

б) $R_{11} = 0,1 \text{ МОм}$, $C_{11} = 5 \text{ мкФ}$, $R_{12} = 2 \text{ МОм}$, $R_{21} = 0,1 \text{ МОм}$, $C_{21} = 5 \text{ мкФ}$;

4.4.5. а) $R_2 = 20 \text{ кОм}$, $C_1 = 2 \text{ мкФ}$;

б) $R_{11} = 0,01 \text{ МОм}$, $C_{11} = 5 \text{ мкФ}$, $R_{12} = 0,02 \text{ МОм}$, $R_{21} = 0,5 \text{ МОм}$, $C_{21} = 1 \text{ мкФ}$;

4.4.6. а) $R_2 = 0,3 \text{ кОм}$, $C_1 = 15 \text{ мкФ}$;

б) $R_{11} = 12 \text{ кОм}$, $C_{11} = 8 \text{ мкФ}$, $R_{12} = 20 \text{ кОм}$, $R_{21} = 32 \text{ кОм}$, $C_{21} = 12 \text{ мкФ}$;

4.4.2. а) $R_2 = 1,3 \text{ МОм}$, $C_1 = 14 \text{ мкФ}$;

б) $R_{11} = 1 \text{ кОм}$, $C_{11} = 10 \text{ мкФ}$, $R_{12} = 50 \text{ кОм}$, $R_{21} = 2 \text{ кОм}$, $C_{21} = 3 \text{ мкФ}$;

4.4.3. а) $R_2 = 0,2 \text{ МОм}$, $C_1 = 10 \text{ мкФ}$;

б) $R_{11} = 7 \text{ кОм}$, $C_{11} = 2 \text{ мкФ}$, $R_{12} = 17 \text{ кОм}$, $R_{21} = 25 \text{ кОм}$, $C_{21} = 1 \text{ мкФ}$;

4.4.4. а) $R_2 = 30 \text{ кОм}$, $C_1 = 0,5 \text{ мкФ}$;

б) $R_{11} = 0,5 \text{ МОм}$, $C_{11} = 18 \text{ мкФ}$, $R_{12} = 5 \text{ МОм}$, $R_{21} = 0,12 \text{ МОм}$, $C_{21} = 2 \text{ мкФ}$;

4.4.5. а) $R_2 = 25 \text{ кОм}$, $C_1 = 4 \text{ мкФ}$;

б) $R_{11} = 0,03 \text{ МОм}$, $C_{11} = 11 \text{ мкФ}$, $R_{12} = 0,05 \text{ МОм}$, $R_{21} = 0,5 \text{ МОм}$, $C_{21} = 4 \text{ мкФ}$;

4.5. Для приведенной на рис. 4.14 блок-схемы последовательного соединения ЭМУ и двигателя постоянного тока с независимым возбуждением типа ДПМ-30-Н1/Н2-05 записать дифференциальное уравнение и передаточные

функции относительно: а) угловой скорости ω , б) угла поворота φ при следующих исходных данных:

для ЭМУ: $L_y = 60$ Гн, $R_y = 1,5$ кОм, $L_K = 0,3$ Гн, $R_K = 1$ Ом, $k_{ЭМУ} = 10$;

для двигателя: $T_J = 0,0012$ с, $T_M = 0,19$ с, $M_{\Pi} = 250$ Гсм, $R_J = 15,7$ Ом, $u_{y\text{ ном}} = 27$ В, $n_{\text{ном}} = 6000$ об/мин.

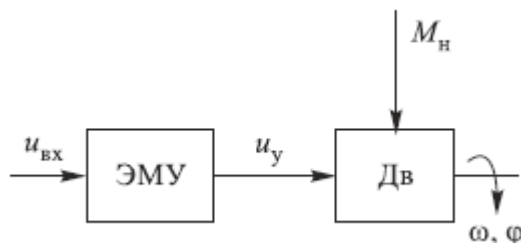


Рис. 4.14. Условие примера 4.5

4.6. Для последовательного соединения магнитного усилителя МУ, двигателя Дв постоянного тока с независимым возбуждением типа ДПМ-30-Н1/Н2-10А и тахогенератора ТГ типа ТГ-4 (рис. 4.15) запишите передаточную функцию.

Параметры МУ, выполненного по двухтактной реверсивной схеме, имеют следующие значения: $w_p = 200$ витков, $w_{y\Pi} = 550$ витков, $\beta = 0,95$, $R_H = 60$ Ом, $R_{y\Pi}^0 = 160$ Ом, $f = 400$ Гц, $k_{МУ} = 8$.

Технические характеристики двигателя: $T_M = 0,19$ с, $T_J = 0,0012$ с, $M_{\Pi} = 280$ Гсм, $R_J = 5,4$ Ом, $u_{y\text{ ном}} = 14$ В, $n_{\text{ном}} = 4500$ об/мин.

Крутизна характеристики ТГ типа ТГ-4 $k_T = 10$ мВ · мин/об.

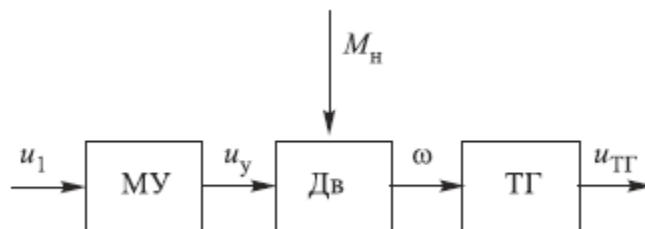


Рис. 4.15. Условие примера 4.6

4.7. Определить передаточную функцию для последовательного соединения двух пассивных четырехполюсников и операционного усилителя (рис. 4.16) при следующих значениях параметров: $R_{11} = 50$ кОм, $C_{11} = 20$ мкФ, $R_{12} = 20$ кОм, $R_{21} = 100$ кОм, $R_{22} = 15$ кОм, $C_{22} = 12$ мкФ, $R_{y1} = 1$ мОм, $R_{y2} = 20$ мОм.

Нарисуйте структурную схему.

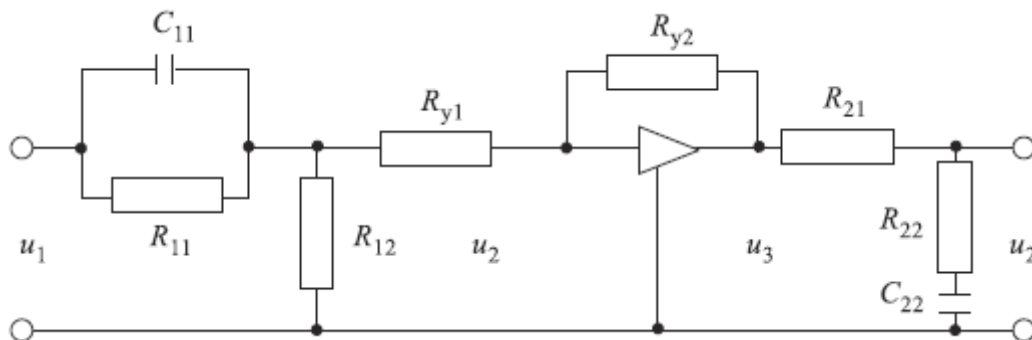


Рис. 4.16. Условие примера 4.7

4.8. Записать передаточную функцию для последовательного соединения пассивного четырехполюсника и операционного усилителя (рис. 4.17) при следующих значениях параметров: $R_1 = 10 \text{ кОм}$, $C_1 = 15 \text{ мкФ}$, $R_2 = 24 \text{ кОм}$, $C_2 = 21 \text{ мкФ}$, $R_3 = 5 \text{ кОм}$, $C_3 = 2 \text{ мкФ}$.

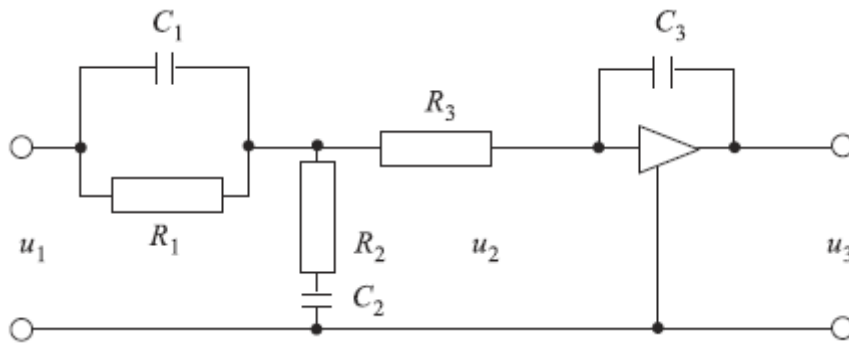


Рис. 4.17. Условие примера 4.8

4.9. Для схемы, являющейся последовательным соединением термопары ТП и активного четырехполюсника (операционного усилителя), показанного на рис. 4.18, определить передаточную функцию. Составить структурную схему. Записать дифференциальное уравнение.

Передаточный коэффициент ТП $k_{\text{ТП}} = 4 \text{ В/град}$, постоянная времени ТП $T_{\text{ТП}} = 0,9 \text{ с}$, параметры операционного усилителя имеют следующие значения: $R_1 = 100 \text{ кОм}$, $C_1 = 1 \text{ мкФ}$, $R_2 = 5 \text{ кОм}$, $R_3 = 40 \text{ кОм}$.

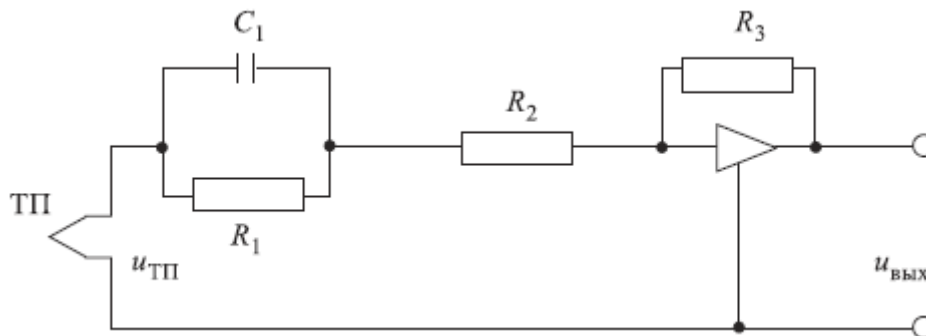


Рис. 4.18. Условие примера 4.9

4.10. Для последовательного соединения активного четырехполюсника, электромашинного усилителя (ЭМУ) и двигателя (Дв) постоянного тока с независимым возбуждением типа ДПМ-20-Н1/Н2-11 (рис. 4.19) рассчитать передаточную функцию и составить структурную схему, записать дифференциальное уравнение. За выходную величину принять угол поворота φ .

Исходные данные:

параметры операционного усилителя: $R_1 = 100 \text{ кОм}$, $C_1 = 5 \text{ мкФ}$, $R_2 = 80 \text{ кОм}$;

параметры ЭМУ: $L_y = 40 \text{ Гн}$, $R_y = 1,5 \text{ кОм}$, $R_K = 3 \text{ Ом}$, $L_K = 0,4 \text{ Гн}$, $k_{\text{ЭМУ}} = 20$;

параметры двигателя ДПМ-20-Н1/Н2-11: $T_M = 0,35 \text{ с}$, $T_J = 0,7 \times 10^{-3} \text{ с}$, $M_{\text{П}} = 60 \text{ Гсм}$, $R_J = 10 \text{ Ом}$, $u_{y \text{ ном}} = 12 \text{ В}$, $n_{\text{ном}} = 9000 \text{ об/мин}$.

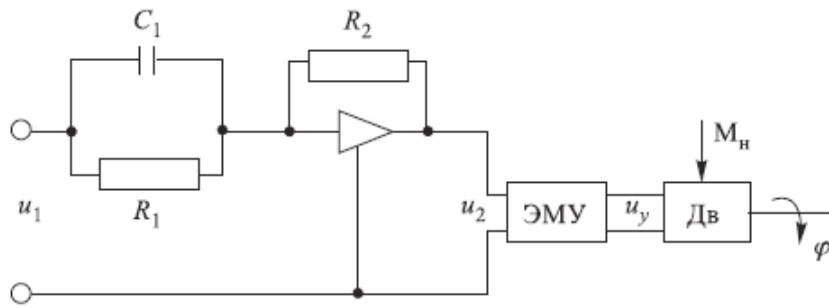


Рис. 4.19. Условие примера 4.10

4.11. Запишите передаточную функцию электронного усилителя, охваченного отрицательной обратной связью (рис. 4.20) при следующих значениях параметров: $R_3 = 20 \text{ кОм}$, $C_3 = 20 \text{ мкФ}$, $k_{yc} = 50$, $R_{11} = R_{12} = R_{22} = 1 \text{ МОм}$.

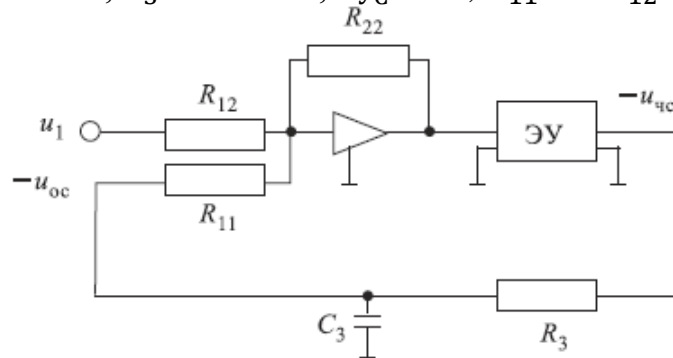


Рис. 4.20. Условие примера 4.11

4.12. Запишите передаточные функции каждого элемента системы, показанной на рис. 4.21. Приведите структурную схему системы. Запишите передаточную функцию системы и ее дифференциальное уравнение. В данной системе используется в качестве исполнительного двигателя (ИДв) асинхронный двигатель типа АД-32Б, в качестве усилителя – электронный усилитель с передаточной функцией $W_{yc}(s) = k_{yc}$. Объект регулирования (ОР) – камера, внутри которой поддерживается температура t_0 , в качестве датчика используется термомпара (ТП).

Исходные данные: $R_1 = 20 \text{ кОм}$, $C_1 = 16 \text{ мкФ}$, $R_2 = 10 \text{ кОм}$, $k_{yc} = 100$, $k_{ТП} = 0,5$, $T_{ТП} = 1 \text{ с}$.

Параметры АД-32Б: $T_M = 10 \text{ мс}$, $n_{xx} = 7000 \text{ об/мин}$, $u_{y \text{ ном}} = 40 \text{ В}$, $M_{\Pi} = 75 \cdot 10^{-4} \text{ Нм}$.

Передаточная функция ОР: $W_0(p) = \frac{k_0}{1+pT_0}$, где $k_0 = 2$, $T_0 = 2 \text{ с}$.

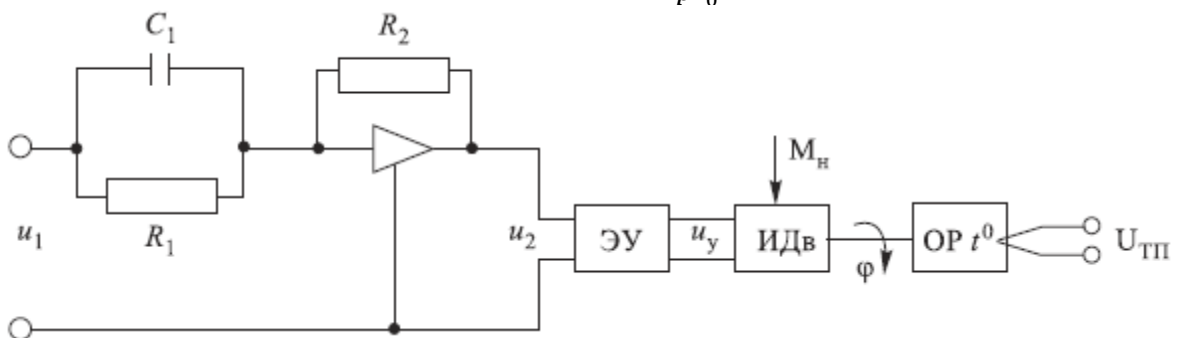


Рис. 4.21. Условие примера 4.12

4.13. На рис. 4.22 показана блок-схема следящей системы дистанционной передачи угла. В схеме приняты следующие обозначения: СУ – сравнивающее устройство, выполненное на сельсинах СД и СП, работающих в трансформаторном режиме; ЭМУ – электромашинный усилитель, ИДв – исполнительный двигатель типа ДПМ-25-Н1/Н2-04, выходным сигналом которого является угол поворота вала β ; Ред – редуктор и РМ – рабочий механизм. Передаточный коэффициент СУ: $k_{\text{су}} = 20$ мВ/град.

Параметры ДПМ-25-Н1/Н2-04: $T_{\text{М}} = 0,21$ с, $T_{\text{Я}} = 0,001$ с, $M_{\text{П}} = 80$ Гсм, $R_{\text{Я}} = 107$ Ом, $u_{\text{у ном}} = 27$ В, $n_{\text{ном}} = 2500$ об/мин.

Передаточное число редуктора $i = 500$.

Параметры ЭМУ принять следующими: $T_{\text{У}} = 0,035$ с, $T_{\text{К}} = 0,4$ с, $k_{\text{ус}} = 104$.

Требуется: определить передаточные функции всех элементов системы; составить структурную схему; записать передаточные функции разомкнутой и замкнутой системы; записать дифференциальное уравнение системы.

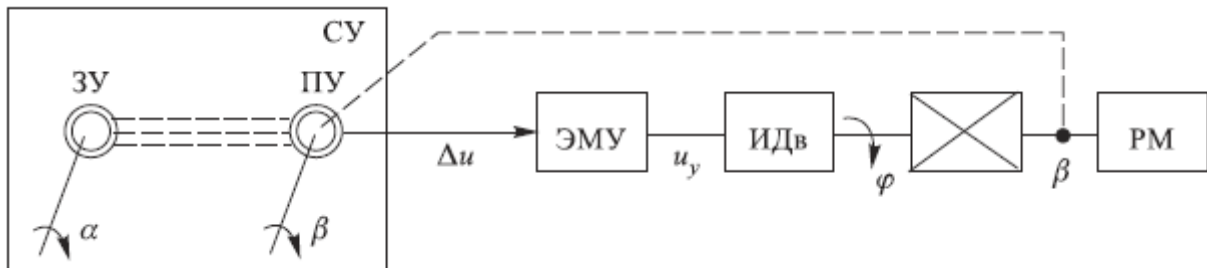


Рис. 4.22. Условие примера 4.13

4.14. На рис. 4.23 приведена система автоматического регулирования температуры, которая включает в себе сравнивающее устройство (СУ), построенное по мостовой схеме, в одно из плеч которого включено термосопротивление R_t – датчик температуры; электронный усилитель (ЭУ); исполнительный двигатель (ИД) постоянного тока с независимым возбуждением типа ДПМ-30-Н1/Н2-08, редуктор (Ред), объект управления (ОУ), камера, внутри которой регулируется температура t_0 , клапан (Кл) – регулирующий орган объекта, который меняет приток теплого или холодного воздуха для управления температурой в камере.

Исходные данные:

передаточный коэффициент СУ $k_{\text{су}} = 2$, коэффициент усиления ЭУ $k_{\text{эу}} = 30$,

параметры ДПМ-30-Н1/Н2-08: $T_{\text{М}} = 0,19$ с, $T_{\text{Я}} = 0,0012$ с, $M_{\text{П}} = 350$ Гсм, $R_{\text{Я}} = 1,5$ Ом, $u_{\text{у ном}} = 12$ В, $n_{\text{ном}} = 9000$ об/мин;

передаточное число редуктора $i = 103$;

передаточная функция ОУ: $W_0(p) = \frac{k_0}{1+pT_0}$, где $k_0 = 5$, $T_0 = 2$ с.

Требуется: определить передаточные функции всех элементов системы, составить структурную схему, записать передаточные функции разомкнутой системы и замкнутой относительно выходного сигнала и сигнала ошибки, записать дифференциальное уравнение замкнутой системы.

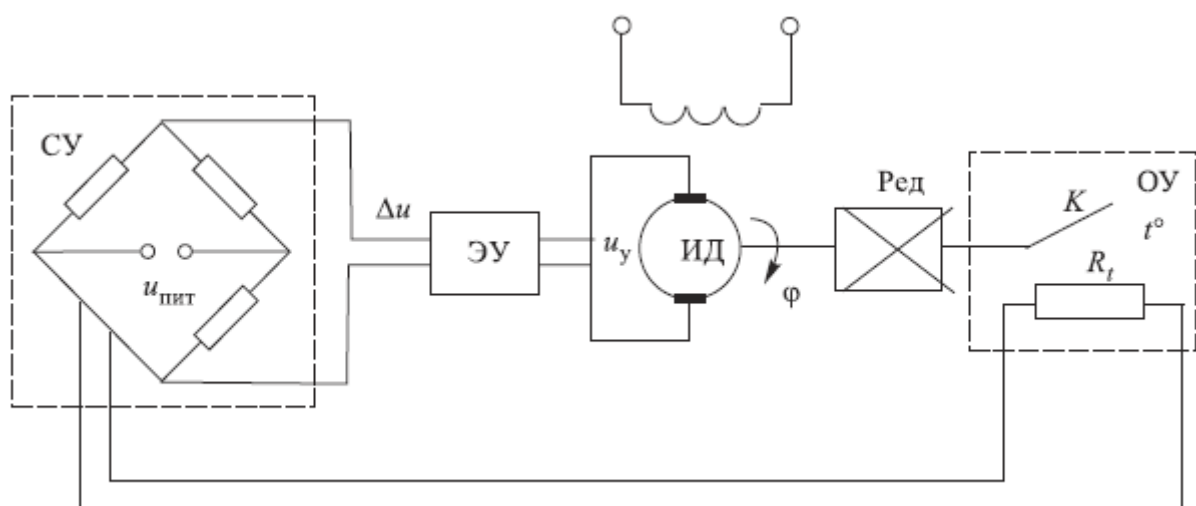


Рис. 4.23. Условие примера 4.14