

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Санкт-Петербургский государственный университет водных коммуникаций



***Кафедра электропривода и электрооборудования
береговых установок***

Курсовая работа
по дисциплине
”Теория электропривода”
Моделирование динамических режимов
электромеханического преобразователя.

Специальность: 180400 “Электропривод и автоматика
промышленных установок и
технологических комплексов”

Вариант N15

Выполнил: Красовский А.В.

Преподаватель: Саушев А.В.

Санкт-Петербург

2009г.

Задание на курсовую работу по дисциплине "Теория электропривода"

Студент __Красовский А.В.____ Вар № __15__

Задание

Часть 1

- 1.1. Составить кинематическую, расчетную и эквивалентную динамическую схему механической части электропривода шахтной подъемной установки при нижнем положении загруженного скипа, приведя ее к трехмассовой и к двухмассовой системам.
- 1.2. Записать все моменты, действующие в трехмассовой системе и на основании основного уравнения движения составить ее математическое описание, используя при этом понятие механического сопротивления.
- 1.3. Составить структурную расчетную схему трехмассовой системы, представив ее в виде передаточных функций, а также цепную (лестничную) структурную схему.
- 1.4. Записать контурные уравнения трехмассовой системы относительно неизвестных угловых скоростей.
- 1.5. Записать узловые уравнения трехмассовой системы относительно неизвестных упругих моментов сопротивления.
- 1.6. Записать уравнения в пространстве состояний относительно угловых перемещений (углов закручивания валов φ_1 , φ_2 и φ_3) для полученной трехмассовой системы.

Часть 2

- 2.1. Составить математическое описание для заданного электромеханического преобразователя постоянного тока параллельного возбуждения.
- 2.2. Привести структурную схему преобразователя в виде передаточных функций.
- 2.3. Составить в пространстве состояний математическое описание для заданного асинхронного электромеханического преобразователя при питании его от источника напряжения.
- 2.4. Составить математическое описание в пространстве состояний и структурную схему для исследования разомкнутой электромеханической системы, состоящей из заданных электромеханического преобразователя постоянного тока и эквивалентной механической схемы привода в виде двухмассовой системы.

Часть 3

- 3.1. Осуществить моделирование разомкнутой электромеханической системы в интегрированной программной среде Mathcad. Получить графики зависимости изменения угловой скорости вала электродвигателя в функции времени при заданном законе изменения напряжения на якоре электродвигателя.
- 3.2. Проанализировать полученную зависимость и сделать выводы.

Исходные данные

1. Состав системы: электродвигатель, соединительная муфта (СМ1), редуктор, соединительная муфта (СМ2), барабан, канат, груз.
2. Данные для расчета механической части электропривода в системе единиц СИ приведены в таблице 1.
3. Данные электромеханического преобразователя постоянного тока с параллельным возбуждением приведены в методических указаниях.
4. Закон изменения напряжения – без задатчика интенсивности разгона (скачкообразно).

Задание выдано:

10 октября 2008 года

Срок исполнения

17 марта 2009 года

Руководитель

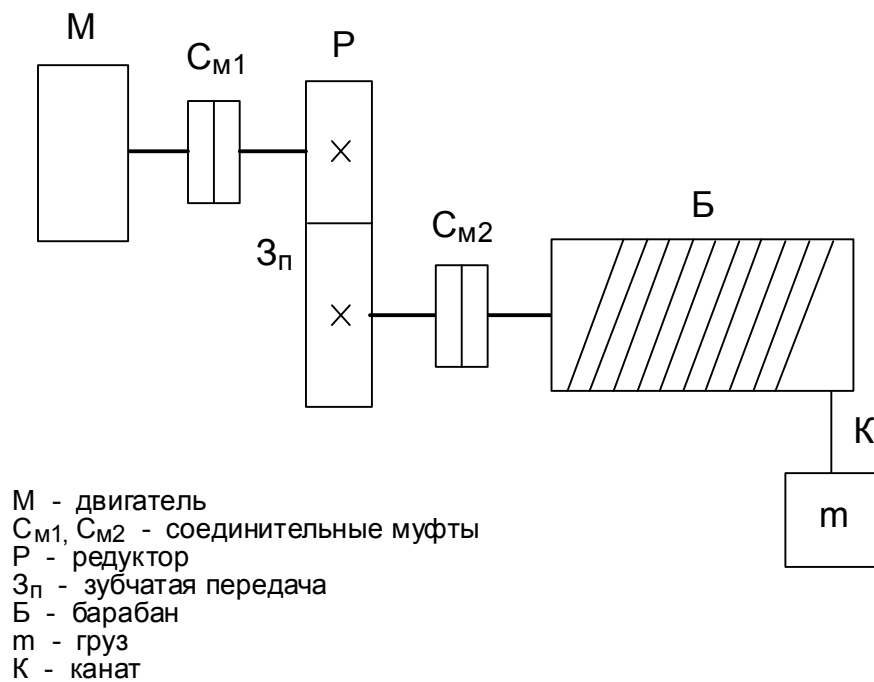
А.В. Саушев

Исходные данные для расчета механической части электропривода:

$J_{\text{дв}} := 470 \quad \text{кг м}^2$	момент инерции электродвигателя
$J_{\text{см1}} := 5.4 \quad \text{кг м}^2$	момент инерции первой соединительной муфты (левой и правой ее частей)
$J_{\text{см2}} := 940 \quad \text{кг м}^2$	момент инерции второй соединительной муфты (левой и правой ее частей)
$J_{\text{ред1}} := 6.5 \quad \text{кг м}^2$	момент инерции высокоскоростной части редуктора
$J_{\text{ред2}} := 2250 \quad \text{кг м}^2$	момент инерции малоскоростной части редуктора
$J_{\text{б}} := 10.5 \cdot 10^4 \quad \text{кг м}^2$	момент инерции барабана
$m_{\text{гр}} := 0.56 \cdot 10^4 \quad \text{кг}$	масса поднимаемого груза
$C_{\text{см1}} := 7.2 \cdot 10^6 \quad \text{Н·м}$	жесткость связи между левой и правой частями первой соединительной муфты
$C_{\text{см2}} := 5.4 \cdot 10^8 \quad \text{Н·м}$	жесткость связи между левой и правой частями второй соединительной муфты
$C_{\text{см2б}} := 8.2 \cdot 10^8 \quad \text{Н·м}$	жесткость между правой частью второй соединительной муфты и барабаном
$C_{\text{кан}} := 1.8 \cdot 10^8 \quad \text{Н}$	жесткость одного метра подъемного каната
$i_{\text{ред}} := 8$	передаточное отношение редуктора
$\eta_{\text{ред}} := 0.9$	КПД редуктора
$D_{\text{б}} := 4.4 \quad \text{м}$	диаметр барабана
$\eta_{\text{б}} := 0.96$	КПД барабана
$L_{\text{к}} := 85 \quad \text{м}$	общая длина каната
$\beta_{\text{дв}} := 650$	коэффициент трения двигателя
$\beta_{\text{б}} := 0.85 \cdot 10^5$	коэффициент трения барабана
$\beta_{\text{к}} := 1.3 \cdot 10^6$	коэффициент трения каната (связь между барабаном и грузом)
$n := 1570 \quad \frac{\text{об}}{\text{мин}}$	частота вращения двигателя

Часть 1.

1.1 Составить кинематическую, расчетную и эквивалентную динамическую схему механической части данного электропривода.



Формулы приведения:

$i_{ред} = 8$ передаточное число редуктора

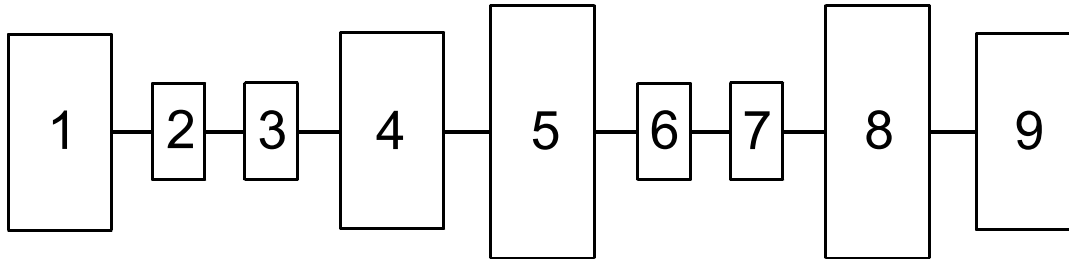
$D_б = 4.4$ м диаметр барабана

$$\rho := \frac{D_6}{2} \quad \rho = 2.2 \quad \text{м} \quad - \text{ радиус приведения}$$

$$J_{\text{при}} := \frac{J_i}{i_{\text{ред}}^2 \cdot \eta_i}$$

$$J_{\text{гр}} := m_{\text{гр}} \cdot \rho^2 \cdot \frac{1}{\eta_6}$$

$$C_{\text{при}} := \frac{C_i}{i_{\text{ред}}^2}$$



- 1 - моменты инерции электродвигателя
 2,3 - момент инерции первой соединительной муфты
 4 - момент инерции высокоскоростной части редуктора
 5 - приведенный момент инерции тихоходной части редуктора
 6,7 - приведенный момент инерции второй соединительной муфты
 8 - приведенный момент инерции барабана
 9 - приведенный момент инерции груза

$$J_{\text{гр}} := m_{\text{гр}} \cdot \rho^2 \cdot \frac{1}{\eta_6}$$

$$J_{\text{гр}} = 2.823 \times 10^4 \quad \text{кг} \cdot \text{м}^2$$

$$J_{\text{грпр}} := \frac{J_{\text{гр}}}{i_{\text{ред}}^2 \cdot \eta_{\text{ред}}}$$

$$J_{\text{грпр}} = 490.162 \quad \text{кг} \cdot \text{м}^2$$

$$J_{\text{бпр}} := \frac{J_6}{i_{\text{ред}}^2 \cdot \eta_{\text{ред}}}$$

$$J_{\text{бпр}} = 1.823 \times 10^3 \quad \text{кг} \cdot \text{м}^2$$

$$J_{\text{см2пр}} := \frac{J_{\text{см2}}}{i_{\text{ред}}^2 \cdot \eta_{\text{ред}}}$$

$$J_{\text{см2пр}} = 16.319 \quad \text{кг} \cdot \text{м}^2$$

$$J_{\text{ред2пр}} := \frac{J_{\text{ред2}}}{i_{\text{ред}}^2 \cdot \eta_{\text{ред}}}$$

$$J_{\text{ред2пр}} = 39.063 \quad \text{кг} \cdot \text{м}^2$$

$$C_{\text{см2пр}} := \frac{C_{\text{см2}}}{i_{\text{ред}}^2}$$

$$C_{\text{см2пр}} = 8.438 \times 10^6 \quad \text{Н} \cdot \text{м}$$

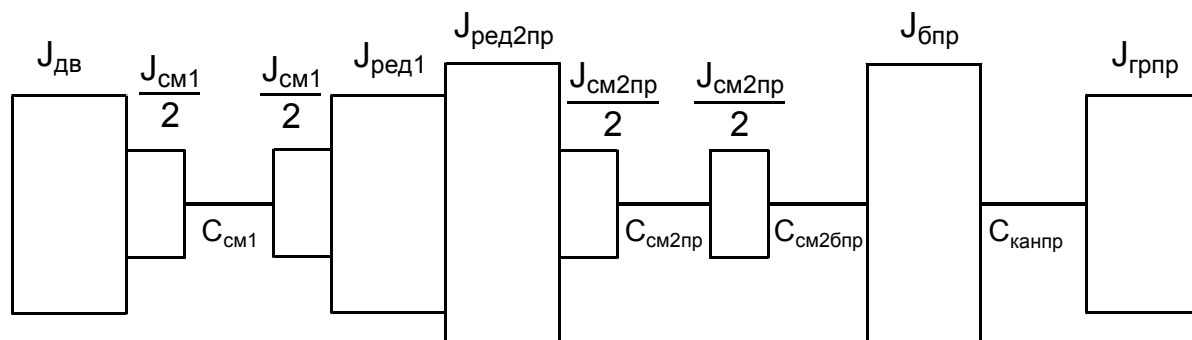
$$C_{\text{см2бпр}} := \frac{C_{\text{см2б}}}{i_{\text{ред}}^2}$$

$$C_{\text{см2бпр}} = 1.281 \times 10^7 \quad \text{Н} \cdot \text{м}$$

$$C_{\text{канпр}} := \frac{C_{\text{кан}} \cdot \rho^2}{L_{\text{к}} \cdot i_{\text{ред}}^2}$$

$$C_{\text{канпр}} = 1.601 \times 10^5 \quad \text{Н} \cdot \text{м}$$

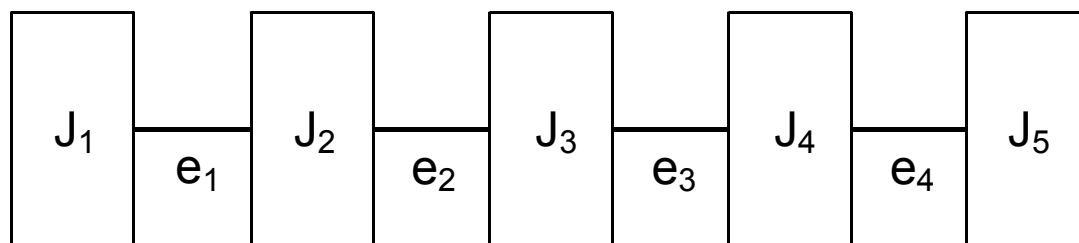
С учетом того, что жесткость связей между двигателем и левой частью первой соединительной муфты, правой частью первой муфты и высокоскоростной частью редуктора практически равна бесконечности, то в расчетах ей пренебрегаем. Так же пренебрегаем жесткостью связей в зубчатой передаче редуктора и между тихоходной частью редуктора и левой частью второй соединительной муфты. Значит, данная схема приходит к пятимассовой.



Введем понятие податливости

$$e := C^{-1}$$

Для пятимассовой расчетной схемы:



$$J_1 := J_{\text{дв}} + \frac{J_{\text{см1}}}{2}$$

$$J_1 = 472.7 \quad \text{кг} \cdot \text{м}^2$$

$$J_2 := \frac{J_{\text{см1}}}{2} + J_{\text{ред1}} + J_{\text{ред2пр}} + \frac{J_{\text{см2пр}}}{2}$$

$$J_2 = 56.422 \quad \text{кг} \cdot \text{м}^2$$

$$J_3 := \frac{J_{\text{см2пр}}}{2}$$

$$J_3 = 8.16 \quad \text{кг} \cdot \text{м}^2$$

$$J_4 := J_{\text{бпр}}$$

$$J_4 = 1.823 \times 10^3 \quad \text{кг} \cdot \text{м}^2$$

$$J_5 := J_{\text{грпр}}$$

$$J_5 = 490.162 \quad \text{кг} \cdot \text{м}^2$$

$$e_1 := \frac{1}{C_{\text{см1}}}$$

$$e_1 = 1.389 \times 10^{-7} \quad (\text{Н} \cdot \text{м})^{-1}$$

$$e_2 := \frac{1}{C_{\text{см2пр}}}$$

$$e_2 = 1.185 \times 10^{-7} \quad (\text{Н} \cdot \text{м})^{-1}$$

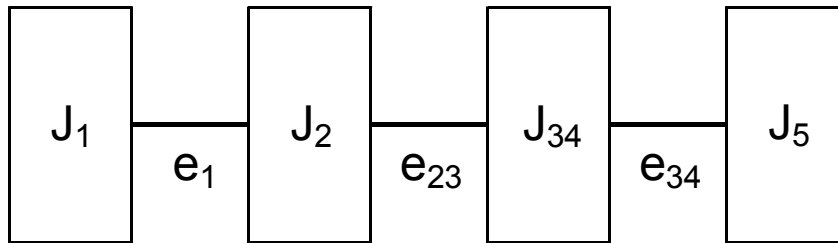
$$e_3 := \frac{1}{C_{\text{см2бпр}}}$$

$$e_3 = 7.805 \times 10^{-8} \quad (\text{Н} \cdot \text{м})^{-1}$$

$$e_4 := \frac{1}{C_{\text{канпр}}}$$

$$e_4 = 6.244 \times 10^{-6} \quad (\text{Н} \cdot \text{м})^{-1}$$

Для четырехмассовой расчетной схемы:



$$J_{34} := J_3 + J_4$$

$$J_{34} = 1.831 \times 10^3 \quad \text{кг} \cdot \text{м}^2$$

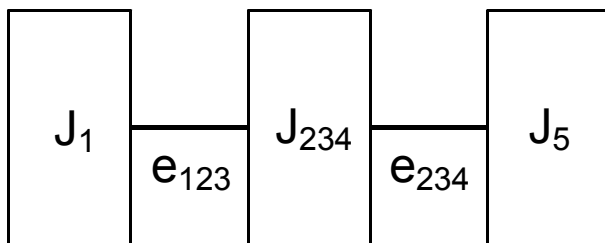
$$e_{23} := e_2 + e_3 \cdot \frac{J_4}{J_{34}}$$

$$e_{23} = 1.962 \times 10^{-7} \quad (\text{Н} \cdot \text{м})^{-1}$$

$$e_{34} := e_4 + e_3 \cdot \frac{J_3}{J_{34}}$$

$$e_{34} = 6.245 \times 10^{-6} \quad (\text{Н} \cdot \text{м})^{-1}$$

Для трехмассовой расчетной схемы:



$$J_{234} := J_2 + J_{34}$$

$$J_{234} = 1.887 \times 10^3 \quad \text{кг} \cdot \text{м}^2$$

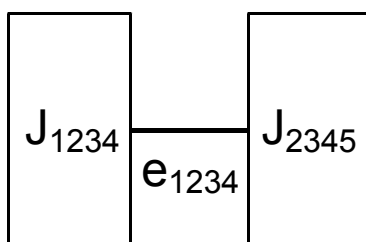
$$e_{123} := e_1 + e_{23} \cdot \frac{J_{34}}{J_{234}}$$

$$e_{123} = 3.292 \times 10^{-7} \quad (\text{Н} \cdot \text{м})^{-1}$$

$$e_{234} := e_{34} + e_{23} \cdot \frac{J_2}{J_{234}}$$

$$e_{234} = 6.25 \times 10^{-6} \quad (\text{Н} \cdot \text{м})^{-1}$$

Для двухмассовой расчетной схемы:

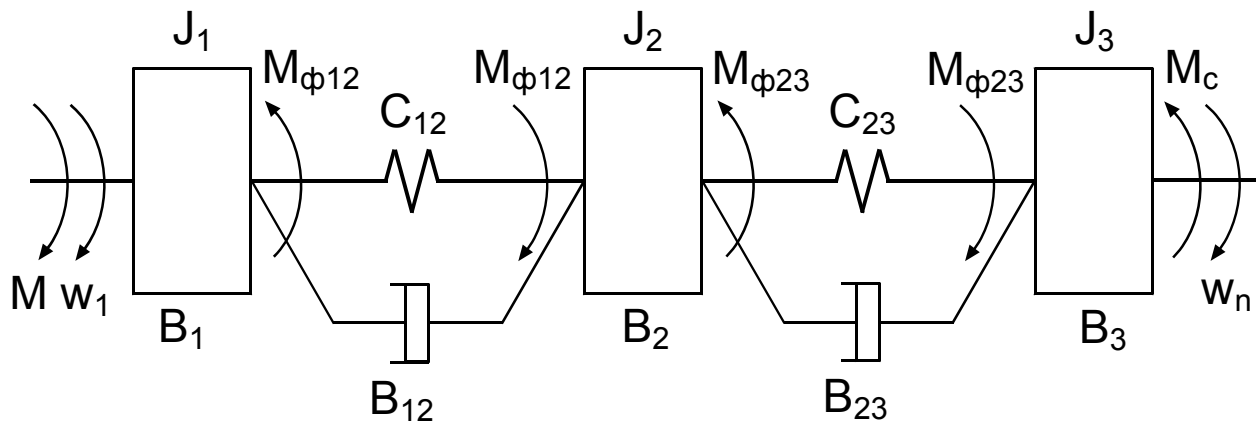


$$e_{1234} := e_{123} + e_{234} \quad e_{1234} = 6.58 \times 10^{-6} \quad (\text{Н} \cdot \text{м})^{-1}$$

$$J_{1234} := J_1 + J_{234} \cdot \frac{e_{234}}{e_{1234}} \quad J_{1234} = 2.266 \times 10^3 \quad \text{кг} \cdot \text{м}^2$$

$$J_{2345} := J_5 + J_{234} \cdot \frac{e_{123}}{e_{1234}} \quad J_{2345} = 584.611 \quad \text{кг} \cdot \text{м}^2$$

1.2 Записать все моменты, действующие в трехмассовой системе и на основании основного уравнения движения составить ее математическое описание, используя при этом понятие механического сопротивления.



$$J_1 := J_1 \quad J_1 = 472.7 \quad \text{кг} \cdot \text{м}^2$$

$$J_2 := J_{234} \quad J_2 = 1.887 \times 10^3 \quad \text{кг} \cdot \text{м}^2$$

$$J_3 := J_5 \quad J_3 = 490.162 \quad \text{кг} \cdot \text{м}^2$$

$$C_{12} := \frac{1}{e_{123}} \quad C_{12} = 3.037 \times 10^6 \quad \text{Н} \cdot \text{м}$$

$$C_{23} := \frac{1}{e_{234}} \quad C_{23} = 1.6 \times 10^5 \quad \text{Н} \cdot \text{м}$$

$$\beta_1 := \beta_{\text{дв}} \quad \beta_1 = 650 \quad \text{коэффициент трения двигателя}$$

$$\beta_2 := \beta_{\text{б}} \quad \beta_2 = 8.5 \times 10^4 \quad \text{коэффициент трения барабана}$$

$$\beta_3 := \beta_{\text{к}} \quad \beta_3 = 1.3 \times 10^6 \quad \text{коэффициент трения каната (связь между барабаном и грузом)}$$

Расчет нагрузки, действующей в данной схеме:

$$g := 9.81 \quad \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$G := m_{\text{гр}} \cdot g \quad G = 5.494 \times 10^4 \quad \text{Н}$$

Соответственно, приведенный к барабану момент нагрузки:

$$M_{\text{сн}} := G \cdot r \quad M_{\text{сн}} = 1.209 \times 10^5 \quad \text{Н} \cdot \text{м}$$

КПД второй массы (редуктора и барабана):

$$\eta_{\text{мех}} := \eta_{\text{ред}} \cdot \eta_{\text{б}} \quad \eta_{\text{мех}} = 0.864$$

Приведенный к валу двигателя момент нагрузки:

$$M_{\text{с}} := M_{\text{сн}} \cdot \frac{1}{\eta_{\text{мех}} \cdot i_{\text{ред}}^2} \quad M_{\text{с}} = 2.186 \times 10^3$$

Потенциальные (упругие) моменты:

$$\phi := \frac{d\omega}{dt} \quad p := \frac{d}{dt}$$

$$M_{\phi k_1.k} := C_{\phi k_1.k} \cdot (\phi_{k_1} - \phi_k) \quad M_{\phi k_1.k} := C_{\phi k_1.k} \cdot (\omega_{k_1} - \omega_k) \cdot \frac{1}{p}$$

$$M_{\phi k.k_1} := C_{\phi k.k_1} \cdot (\phi_k - \phi_{k_1}) \quad M_{\phi k.k_1} := C_{\phi k.k_1} \cdot (\omega_k - \omega_{k_1}) \cdot \frac{1}{p}$$

$$\omega := \frac{\pi \cdot n}{30} \quad \omega = 164.41 \quad \frac{1}{\text{с}}$$

$$\omega_1 := \omega \quad \omega_2 := \frac{\omega_1}{i_{\text{ред}}} \quad \omega_3 := \omega_2 \quad \omega_3 = 20.551 \quad \frac{1}{\text{с}}$$

$$M_{\phi 12} := C_{12} \cdot (\phi_{12} - \phi_2) \quad M_{\phi 12} := C_{12} \cdot (\omega_1 - \omega_2) \cdot \frac{1}{p}$$

$$M_{\phi 23} := C_{23} \cdot (\phi_{23} - \phi_3) \quad M_{\phi 23} := C_{23} \cdot (\omega_2 - \omega_3) \cdot \frac{1}{p}$$

Диссипативные моменты (трения):

$$M_{\text{трк_1.k}} := \beta_{\phi k_1.k} \cdot (\omega_{k_1} - \omega_k)$$

$$M_{\text{трк.k_1}} := \beta_{\phi k.k_1} \cdot (\omega_k - \omega_{k_1})$$

$$M_{\text{трк}} := \beta_k \cdot \omega_k$$

$$\beta_1 = 650 \quad M_{\text{трк1}} := \beta_1 \cdot \omega_1 \quad M_{\text{трк1}} = 1.069 \times 10^5$$

$$\beta_2 = 8.5 \times 10^4 \quad M_{\text{трк2}} := \beta_2 \cdot \omega_2 \quad M_{\text{трк2}} = 1.747 \times 10^6$$

$$\beta_3 = 1.3 \times 10^6 \quad M_{\text{трк3}} := \beta_3 \cdot \omega_3 \quad M_{\text{трк3}} = 2.672 \times 10^7$$

$$\beta_{12} := 0 \quad M_{\text{трк12}} := \beta_{12} \cdot (\omega_1 - \omega_2) \quad M_{\text{трк12}} = 0$$

$$\beta_{23} := 0 \quad M_{\text{трк23}} := \beta_{23} \cdot (\omega_2 - \omega_3) \quad M_{\text{трк23}} = 0$$

Кинематические (динамические) моменты:

$$M_{\text{дин}} := J_k \cdot p\omega_k$$

$$M_{\text{дин1}} := J_1 \cdot p\omega_1$$

$$M_{\text{дин2}} := J_2 \cdot p\omega_2$$

$$M_{\text{дин3}} := J_3 \cdot p\omega_3$$

На основании уравнения движения:

$$M - M_c := M_H$$

$$M_{\phi k_1.k} + M_{\text{трк}_1.k} - M_{\phi k.k_1} - M_{\text{трк}.k_1} := M_{\text{дин}} + M_{\text{трк}}$$

$$\left(C_{k_1.k} \cdot \frac{1}{p} + \beta_{k_1.k}\right) \cdot (\omega_{k_1} - \omega_k) - \left(C_{k.k_1} \cdot \frac{1}{p} + \beta_{k.k_1}\right) \cdot (\omega_k - \omega_{k_1}) := (J_k \cdot p + \beta_k) \cdot \omega_k$$

$$M - \left(\frac{C_{12}}{p}\right) \cdot (\omega_1 - \omega_2) := (J_1 \cdot p + \beta_1) \cdot \omega_1$$

$$\left(C_{12} \cdot \frac{1}{p}\right) \cdot (\omega_1 - \omega_2) - \left(C_{23} \cdot \frac{1}{p}\right) \cdot (\omega_2 - \omega_3) := (J_2 \cdot p + \beta_2) \cdot \omega_2$$

$$\left(C_{23} \cdot \frac{1}{p}\right) \cdot (\omega_2 - \omega_3) - M_c := (J_3 \cdot p + \beta_3) \cdot \omega_3$$

Для дальнейшего анализа МС введем понятие механического сопротивления.

Под механическим сопротивлением будем понимать отношение операторных изображений крутящего момента к угловой скорости соответствующего элемента.

$$z_{\text{мех}}(p) := z(p) \quad z(p) := \frac{M(p)}{\omega(p)}$$

Для k-ой вращающейся массы, имеющей момент инерции и потери на трение:

$$z_k(p) := J_k \cdot p + \beta_k$$

Для упругого элемента, расположенного между k-ой и (k+1)-ой массами:

$$z_{k.k_1}(p) := \frac{C_{k.k_1}}{p} + \beta_{k.k_1}$$

$$z_1(p) := J_1 \cdot p + \beta_1$$

$$z_2(p) := J_2 \cdot p + \beta_2$$

$$z_3(p) := J_3 \cdot p + \beta_3$$

$$z_{12}(p) := \frac{C_{12}}{p}$$

$$z_{23}(p) := \frac{C_{23}}{p}$$

Запишем уравнение движения k-ой массы используя понятие механического сопротивления:

$$z_{k_1.k} \cdot (\omega_{k_1} - \omega_k) - z_{k.k_1} \cdot (\omega_k - \omega_{k_1}) := z_k \cdot \omega_k$$

Получаем систему уравнений:

$$M - z_{12} \cdot (\omega_1 - \omega_2) := z_1 \cdot \omega_1$$

$$z_{12} \cdot (\omega_1 - \omega_2) - z_{23} \cdot (\omega_2 - \omega_3) := z_2 \cdot \omega_2$$

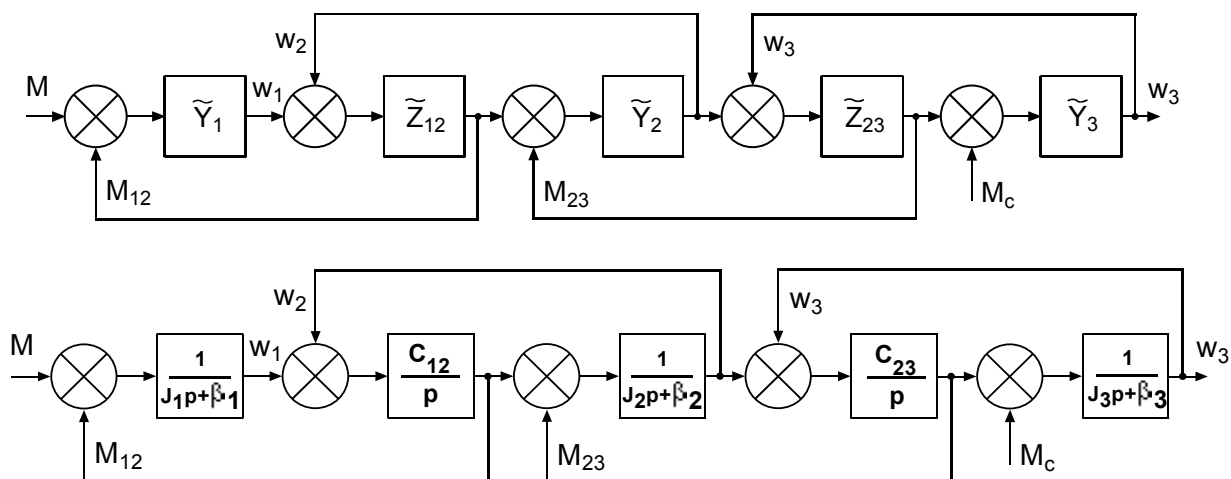
$$z_{23} \cdot (\omega_2 - \omega_3) - M_c := z_3 \cdot \omega_3$$

1.3 Составить структурную расчетную схему трехмассовой системы, представив ее в виде передаточных функций, а также цепную (лестничную) структурную схему.

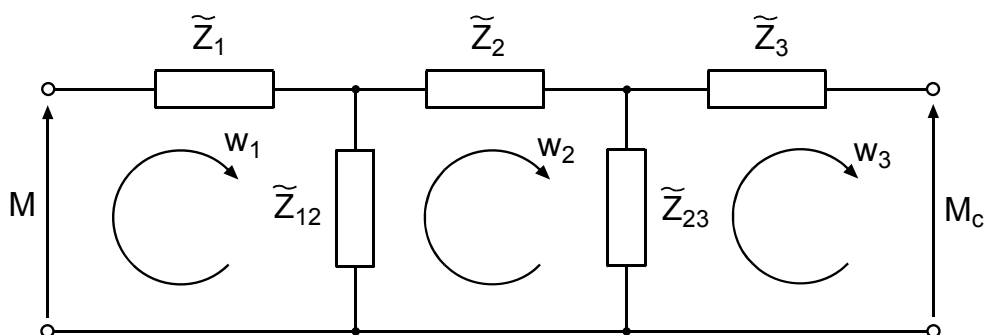
Введем в рассмотрение понятие механической проводимости:

$$Y_{\text{мех}}(p) := Y(p) \quad Y(p) := \frac{1}{z(p)}$$

Расчетная структурная схема:



Лестничная (цепная) структурная схема:



1.4 Записать контурные уравнения трехмассовой системы относительно неизвестных угловых скоростей.

На основе лестничной схемы по аналогии с МКТ запишем систему уравнений:

$$(z_1 + z_{12}) \cdot \omega_1 - z_{12} \cdot \omega_2 := M$$

$$-z_{12} \cdot \omega_1 + (z_{12} + z_2 + z_{23}) \cdot \omega_2 - z_{23} \cdot \omega_3 := 0$$

$$-z_{23} \cdot \omega_2 + (z_{23} + z_3) \cdot \omega_3 := -M_c$$

1.5 Записать узловые уравнения трехмассовой системы относительно неизвестных упругих моментов сопротивления.

$$Y_1 := \frac{1}{z_1} \quad Y_1 := (J_1 \cdot p + \beta_1)^{-1}$$

$$Y_2 := \frac{1}{z_2} \quad Y_2 := (J_2 \cdot p + \beta_2)^{-1}$$

$$Y_3 := \frac{1}{z_3} \quad Y_3 := (J_3 \cdot p + \beta_3)^{-1}$$

$$Y_{12} := \frac{1}{z_{12}} \quad Y_{12} := \left(\frac{C_{12}}{p} \right)^{-1}$$

$$Y_{23} := \frac{1}{z_{23}} \quad Y_{23} := \left(\frac{C_{23}}{p} \right)^{-1}$$

$$Y1 := Y_1 + Y_2 + Y_{12}$$

$$Y2 := Y_2 + Y_3 + Y_{23}$$

$$Y1 \cdot M_{12} - Y2 \cdot M_{23} := Y1 \cdot M$$

$$-Y2 \cdot M_{12} + Y2 \cdot M_{23} := -Y3 \cdot M_c$$

1.6 Записать уравнения в пространстве состояний относительно угловых перемещений (углов закручивания валов $\phi_1 \phi_2 \phi_3$) для полученной трехмассовой системы.

$$M - M_{12} := J_1 \cdot \frac{d\omega_1}{dt} + \beta_1 \cdot \omega_1$$

$$M_{12} - M_{23} := J_2 \cdot \frac{d\omega_2}{dt} + \beta_2 \cdot \omega_2$$

$$M_{23} - M_c := J_3 \cdot \frac{d\omega_3}{dt} + \beta_3 \cdot \omega_3$$

$$\frac{d\phi_1}{dt} := \omega_1$$

$$\frac{d\phi_2}{dt} := \omega_2$$

$$\frac{d\phi_3}{dt} := \omega_3$$

$$\frac{d\omega_1}{dt} := \frac{M}{J_1} - \frac{M_{12}}{J_1} - \frac{\beta_1 \cdot \omega_1}{J_1}$$

$$\frac{d\omega_2}{dt} := \frac{M_{12}}{J_2} - \frac{M_{23}}{J_2} - \frac{\beta_2 \cdot \omega_2}{J_2}$$

$$\frac{d\omega_3}{dt} := \frac{M_{23}}{J_3} - \frac{M_c}{J_3} - \frac{\beta_3 \cdot \omega_3}{J_3}$$

Часть 2.

2.1 Составить математическое описание для заданного электромеханического преобразователя постоянного тока параллельного возбуждения.

Запишем уравнения обобщенной машины в осях ($\alpha - \beta$):

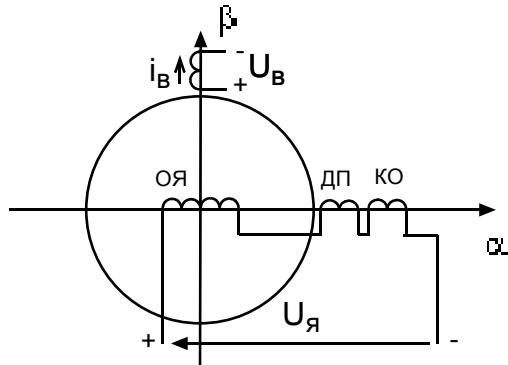
$$u_{1\alpha} := i_{1\alpha} \cdot R_1 + \frac{d\psi_{1\alpha}}{dt}$$

$$u_{1\beta} := i_{1\beta} \cdot R_1 + \frac{d\psi_{1\beta}}{dt}$$

$$u_{2\alpha} := i_{2\alpha} \cdot R_2 + \frac{d\psi_{2\alpha}}{dt} + \omega_{эл} \cdot \psi_{2\beta} \quad (1)$$

$$u_{2\beta} := i_{2\beta} \cdot R_2 + \frac{d\psi_{2\beta}}{dt} - \omega_{эл} \cdot \psi_{2\alpha}$$

$$M := p_{\Pi} \cdot L_0 \cdot (i_{1\beta} \cdot i_{2\alpha} - i_{1\alpha} \cdot i_{2\beta})$$



Из схемы модели ЭД следует:

$$\begin{aligned} u_{1\alpha} &:= 0 & i_{1\alpha} &:= 0 & R_1 &:= R_B \\ u_{1\beta} &:= u_B & i_{1\beta} &:= i_B & R_2 &:= R_{яц} \\ u_{2\alpha} &:= u_я & i_{2\alpha} &:= i_я \\ u_{2\beta} &:= 0 & i_{2\beta} &:= 0 \\ \psi_{1\alpha} &:= 0 \\ \psi_{1\beta} &:= L_B \cdot i_B + 0 \\ \psi_{2\alpha} &:= L_я \cdot i_я + 0 \\ \psi_{2\beta} &:= 0 + L_0 \cdot i_B \end{aligned}$$

Подставим полученные значения переменных состояния в систему (1):

$$u_B := R_B \cdot i_B + L_B \cdot \frac{di_B}{dt}$$

$$u_я := R_я \cdot i_я + L_я \cdot \frac{di_я}{dt} + L_0 \cdot \omega_{эл} \cdot i_B$$

$$M := p_{\Pi} \cdot L_0 \cdot i_B \cdot i_я$$

$$u_B := R_B \cdot i_B + L_B \cdot \frac{di_B}{dt}$$

$$u_я := R_я \cdot i_я + L_я \cdot \frac{di_я}{dt} + K \cdot \Phi \cdot \omega$$

$$M := K \cdot \Phi \cdot i_я$$

2.2 Привести структурную схему преобразователя в виде передаточных функций

$$u_B := i_B \cdot (R_B + L_B \cdot p) \quad u_B := \frac{R_B}{K_{\Phi}} \cdot (1 + T_B \cdot p) \cdot \Phi$$

$$u_{\text{я}} := i_{\text{я}} \cdot (R_{\text{я}} + L_{\text{я}} \cdot p) + K \cdot \Phi \cdot \omega$$

$$M := K \cdot \Phi \cdot i_{\text{я}}$$

$$T_{\text{в}} := \frac{L_{\text{в}}}{R_{\text{в}}}$$

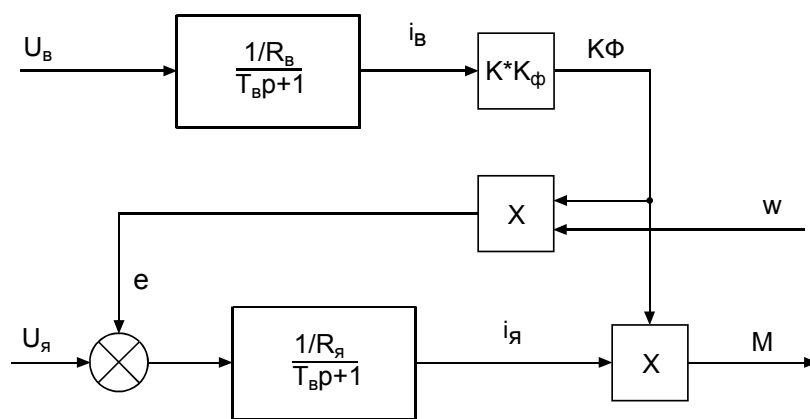
постоянная времени обмотки возбуждения

$$T_{\text{я}} := \frac{L_{\text{я}}}{R_{\text{я}}}$$

электромагнитная постоянная времени цепи якоря

$$K_{\Phi} := \frac{\Phi}{i_{\text{в}}}$$

коэффициент соответствующий линейной части кривой намагничивания



2.3 Составить в пространстве состояний математическое описание для заданного асинхронного ЭМП при питании его от источника напряжения

Математическое описание процессов электрохимического преобразования энергии в АД:

$$U_1 := R_1 \cdot L_2' \cdot A \cdot \psi_1 - R_1 \cdot L_0 \cdot A \cdot \psi_2 + \frac{d\psi_1}{dt} - j \cdot \omega_{0\text{эл}} \cdot \psi_1$$

$$0 := R_2' \cdot L_1 \cdot A \cdot \psi_2 - R_2' \cdot L_0 \cdot A \cdot \psi_1 + \frac{d\psi_2}{dt} - j \cdot (\omega_{0\text{эл}} - \omega_{\text{эл}}) \cdot \psi_2$$

$$M := \frac{3}{2} \cdot p_{\text{п}} \cdot A \cdot L_0 \cdot \text{Im}(\psi_1 \cdot \psi_2)$$

Полученные уравнения представим в виде проекций на оси (x-y) и приведем к форме Коши:

$$\frac{d\psi_{1x}}{dt} := U_{1x} - R_1 \cdot L_2' \cdot A \cdot \psi_{1x} + R_1 \cdot L_0 \cdot A \cdot \psi_{2x} + \omega_{0\text{эл}} \cdot \psi_{1y}$$

$$\frac{d\psi_{1y}}{dt} := U_{1y} - R_1 \cdot L_2' \cdot A \cdot \psi_{1y} + R_1 \cdot L_0 \cdot A \cdot \psi_{2y} - \omega_{0\text{эл}} \cdot \psi_{1x}$$

$$\frac{d\psi_{2x}}{dt} := -R'_2 \cdot L_1 \cdot A \cdot \psi_{2x} + R'_2 \cdot L_0 \cdot A \cdot \psi_{1x} + (\omega_{0эл} - \omega_{эл}) \cdot \psi_{2y}$$

$$\frac{d\psi_{2y}}{dt} := -R'_2 \cdot L_1 \cdot A \cdot \psi_{2y} + R'_2 \cdot L_0 \cdot A \cdot \psi_{1y} - (\omega_{0эл} - \omega_{эл}) \cdot \psi_{2x}$$

$$M := \frac{3}{2} \cdot p_{\Pi} \cdot A \cdot L_0 \cdot (\psi_{1y} \cdot \psi_{2x} - \psi_{1x} \cdot \psi_{2y})$$

$$A := \frac{1}{L_1 \cdot L_2 - L_0^2}$$

2.4 Составить математическое описание в пространстве состояний и структурную схему для исследования разомкнутой электромеханической системы, состоящей из данных ЭМП постоянного тока и эквивалентной механической схемы привода в виде двухмассовой системы

$$M - M_{12} - M_{c1} := J_1 \cdot p \cdot \omega_1$$

$$u_B := \frac{R_B}{K_{\Phi}} \cdot (1 + T_B \cdot p) \cdot \Phi$$

$$M_{12} - M_{c2} := J_2 \cdot p \cdot \omega_2$$

$$u_{я} := R_{я} \cdot (1 + T_{я} \cdot p) \cdot i_{я} + K \cdot \Phi \cdot \omega$$

$$M := K \cdot \Phi \cdot i_{я}$$

Объединив системы уравнений для механической и электромеханической частей получим систему уравнений:

$$u_B := \frac{R_B}{K_{\Phi}} \cdot (1 + T_B \cdot p) \cdot \Phi$$

$$u_B := \frac{R_B}{K_{\Phi}} \cdot (1 + T_B \cdot p) \cdot \Phi$$

$$u_{я} := R_{я} \cdot (1 + T_{я} \cdot p) \cdot i_{я} + K \cdot \Phi \cdot \omega_1$$

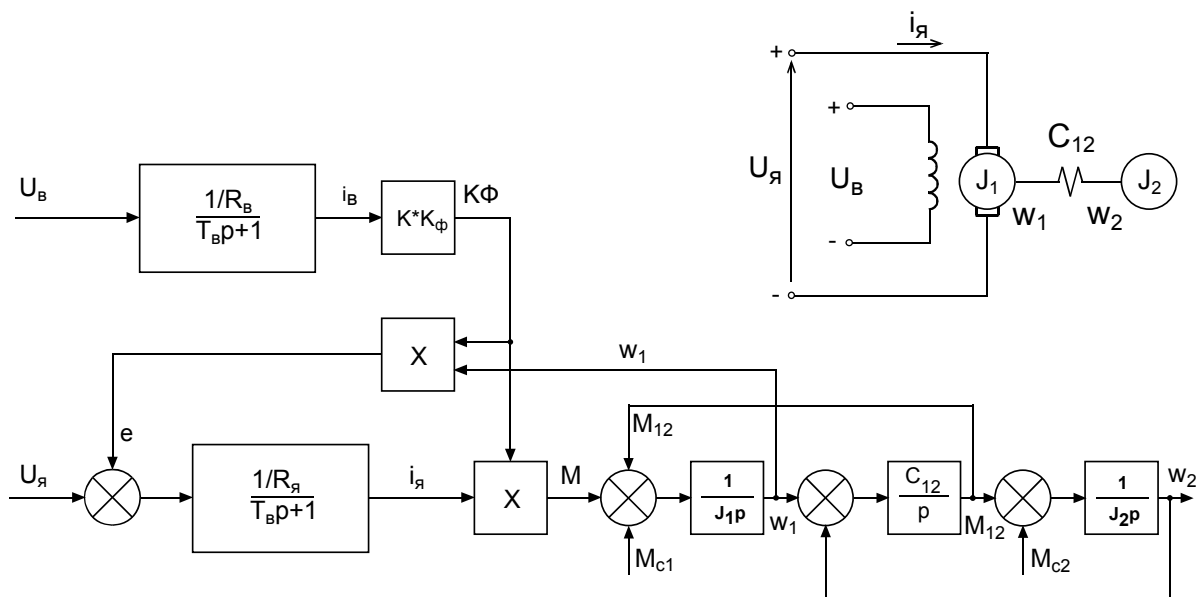
$$u_{я} := R_{я} \cdot (1 + T_{я} \cdot p) \cdot i_{я} + K \cdot \Phi \cdot \omega_1$$

$$K \cdot \Phi \cdot i_{я} - C_{12} \cdot (\phi_1 - \phi_2) - M_{c1} := J_1 \cdot p \cdot \omega_1$$

$$K \cdot \Phi \cdot i_{я} - C_{12} \cdot (\omega_1 - \omega_2) \cdot \frac{1}{p} - M_{c1} := J_1 \cdot p \cdot \omega_1$$

$$C_{12} \cdot (\phi_1 - \phi_2) - M_{c2} := J_2 \cdot p \cdot \omega_2$$

$$C_{12} \cdot (\omega_1 - \omega_2) \cdot \frac{1}{p} - M_{c2} := J_2 \cdot p \cdot \omega_2$$



Список использованной литературы

1. Курс лекций по предмету «Теория электропривода»
2. А.В.Саушев Учебное пособие «Моделирование динамических режимов электромеханического преобразования энергии»
Санкт-Петербург 2003г
3. С.А.Ковчин Ю.А.Сабинин «Теория электропривода»
Энергоатомиздат Санкт-Петербург 1994г