Динамические процессы в электроприводе

ЛЕКЦИЯ 1

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Энергетический подход к описанию электромеханических систем

Изучение электромеханических систем должно решить три главные задачи:

1) физическое описание системы

2) составление дифференциальных уравнений движения системы

3) решение уравнений с учетом конкретных условий задачи

План получения управлений движения

1. Повторение основных соотношений электромеханики

2. Анализ запасенной энергии системы

- с учетом механических сил в магнитном поле

- с учетом механических сил в электрическом поле

Фундаментальные соотношения в электромеханике

Уравнение динамического равновесия для k-го механического узла:

$$\sum_{i=1}(\dot{p}_{ki} - f_{ki}) = 0$$

где

$\dot{p}_{ki} = \dfrac{dp_{ki}}{dt} = \dfrac{d}{dt}(m_{ki}\dot{x}_{ki})$ – инерционная сила i-го узла, а m_{ki} – масса, x_{ki} – перемещение

f_{ki} – механическая сила, включая любые силы связи, приложенная к i-му узлу

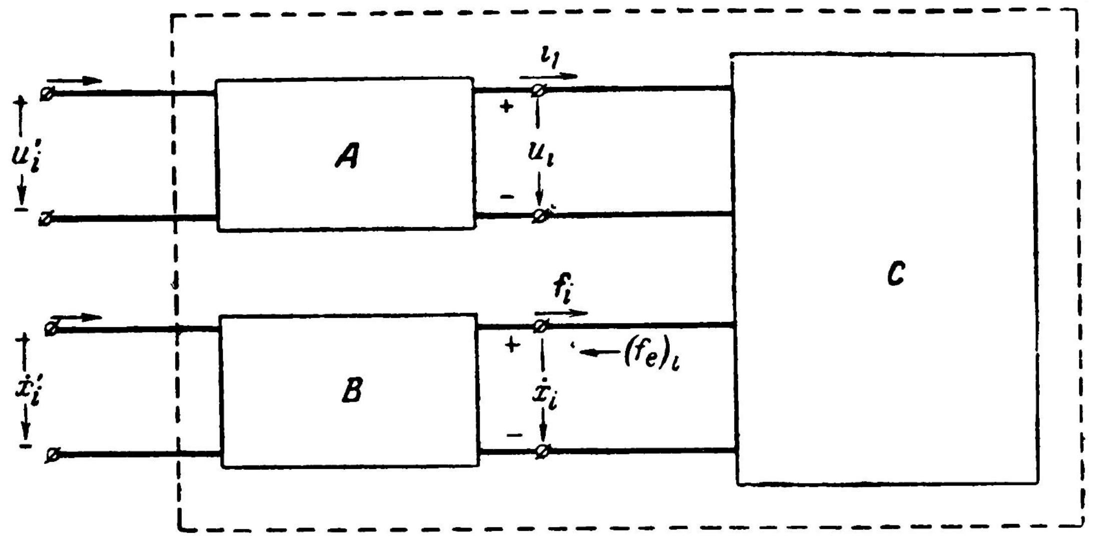
Принцип Даламбера из соотношения непрерывности пространства и законы Кирхгоффа:

$$\sum_{i=1}\dot{x}_{ki} = 0 \qquad \sum_{i=1}e_{ki} = 0 \qquad \sum_{i=1}i_{ki} = 0$$

где

e_{ki} – напряжение в k-м контуре, i_{ki} – i-й ток в k-м узле

ЭМП с учетом принципа возможных перемещений и закона сохранения энергии



A — электрическая схема, где уравнения движения получают из законов Кирхгофа;

B — механическая схема, где уравнения движения получают из принципа Даламбера

и соотношения непрерывности пространства; C — электромеханическая схема (представляет поля связи — электрическое и магнитное); уравнения движения получают из принципа возможных перемещений и закона сохранения энергии

Консервативная электромеханическая связанная схема

Полная накопленная энергия

$$W = W_e + W_m$$

где

W_e – энергия, запасенная в электрических полях

W_m – энергия, запасенная в магнитных полях

Электрические и магнитные переменные связаны:

$$q_k = \sum_{i=1}^{l} C_{ki} u_i \qquad \Psi_k = \sum_{i=l+1}^{n} L_{ki} i_i$$

$$i_k = \frac{dq_k}{dt} \qquad u_k = \frac{d\Psi_k}{dt}$$

Ограничения на электромеханическую систему

1. Параметры должны быть сосредоточенные. Они вычисляются в общем случае из электромагнитных полей
2. Должны быть однозначными следующие зависимости:

$$u_k = u_k\left(q_1, \dots, q_l, x_1, \dots, x_m\right)$$
$$q_k = q_k\left(u_1, \dots, u_l, x_1, \dots, x_m\right)$$
$$\Psi_k = \Psi_k\left(i_{l+1}, \dots, i_n, x_1, \dots, x_m\right)$$
$$i_k = i_k\left(\Psi_{l+1}, \dots, \Psi_n, x_1, \dots, x_m\right)$$
$$f_k = f_k\left(q_1, \dots, q_l, \Psi_{l+1}, \dots, \Psi_n, x_1, \dots, x_m\right)$$

3. Гистерезис не учитывается, но потери от гистерезиса могут быть учтены при помощи активного сопротивления, вынесенного за пределы связанной системы

Энергии, вовлекаемые в возможное перемещение

Энергия, поступающая на электрические зажимы:

$$\sum_{i=1}^{n} u_i i_i dt$$

Энергия, поступающая на механические зажимы:

$$-\left(f_e\right)_k \dot{x}_k dt = -\left(f_e\right)_k dx_k$$

Отсюда, согласно закона сохранения энергии, получим изменение запасенной энергии:

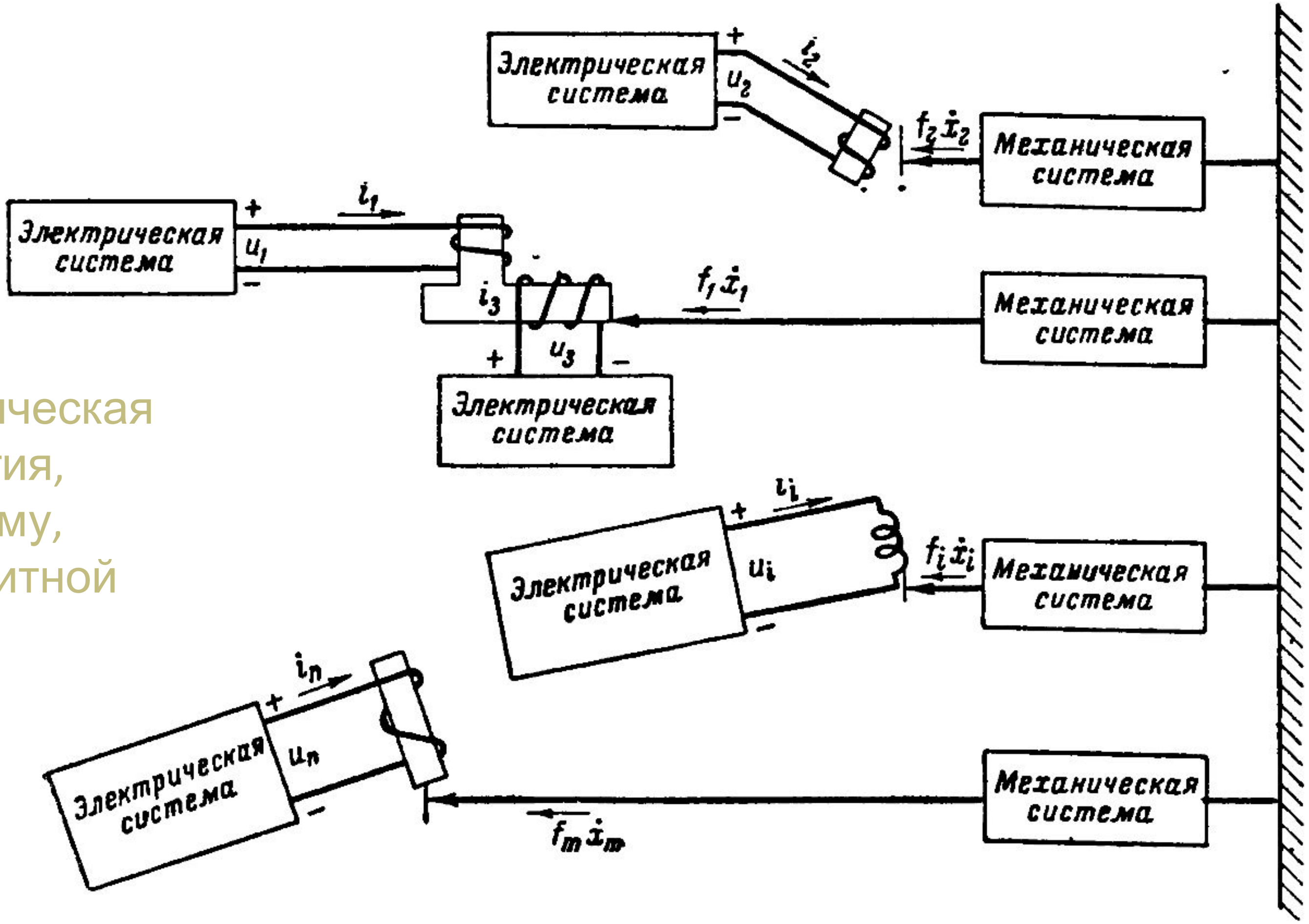
$$dW = \sum_{i=1}^{n} u_i i_i dt - \left(f_e\right)_k dx_k$$

Это даст нам уравнение для силы электромеханической связи:

$$\left(f_e\right)_k = \frac{1}{dx_k}\left(\sum_{i=1}^{n} u_i i_i dt - dW\right)$$

Представление связанных обтекаемых током катушек

Получается, что и электрическая и механическая энергия, поступающие в систему, запасаются в виде магнитной энергии



Запасенная энергия в магнитных полях для определения силы

Запасенная магнитная энергия:

$$W_m\left(\Psi_1,\dots,\Psi_n,x_1,\dots,x_m\right)=\int\limits_{0,\dots,0}^{\Psi_1,\dots,\Psi_n}\sum_{i=1}^{n}i'_i\left(\Psi'_1,\dots,\Psi'_n,x_1,\dots,x_m\right)d\Psi'_i$$

где

i_i' и Ψ_i' – токи и потокосцепления для некоторого фиксированного положения системы, для которого $x_j=\mathrm{const}$

С другой стороны изменения запасенной магнитной энергии с учетом связи i_i и Ψ_i:

$$dW_m\left(i_1,\dots,i_n,x_1,\dots,x_m\right)=\frac{\partial W_m}{\partial x_k}dx_k+\sum_{i=1}^{n}\frac{\partial W_m}{\partial i_i}di_i$$

Тогда из уравнения для силы электромеханической связи получим:

$$\left(f_e\right)_k dx_k=\sum_{i=1}^{n}i_i d\Psi_i-dW_m$$

Запасенная энергия в магнитных полях для определения силы

Перегруппируем:

$$\left(f_e\right)_k dx_k = \left(-\frac{\partial W_m}{\partial x_k} + \sum_{i=1}^{n} i_i \frac{\partial \Psi_i}{\partial x_k}\right) dx_k + \sum_{i=1}^{n}\left(-\frac{\partial W_m}{\partial i_i} + \sum_{r=1}^{n} i_r \frac{\partial \Psi_r}{\partial i_i}\right) di_i$$

Поскольку сила $(f_e)_k$ не зависит от i_i и Ψ_i, коэффициент di_i должен равняться нулю:

$$\sum_{i=1}^{n}\left(-\frac{\partial W_m}{\partial i_i} + \sum_{r=1}^{n} i_r \frac{\partial \Psi_r}{\partial i_i}\right) = 0$$

Тогда получим уравнение для силы электромеханической связи:

$$\left(f_e\right)_k = \frac{\partial W'_m\left(\Psi_1, \dots, \Psi_n, x_1, \dots, x_m\right)}{\partial x_k} - \sum_{i=1}^{n} \Psi_i \frac{\partial i_i\left(\Psi_1, \dots, \Psi_n, x_1, \dots, x_m\right)}{\partial x_k}$$

Уравнения электромагнитного момента электрических машин

Для двигателя постоянного тока:

$$M = p_n L_{12} i_в i_я$$

Для асинхронного двигателя:

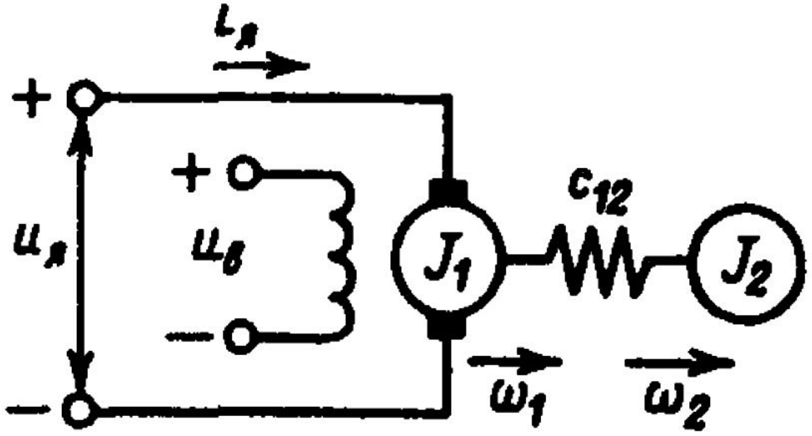
$$M = p_n(\psi_{1d} i_{1q} - \psi_{1q} i_{1d}) \qquad M = p_n \frac{L_m}{L_2}(i_{1q}\psi_{2d} - i_{1d}\psi_{2q})$$

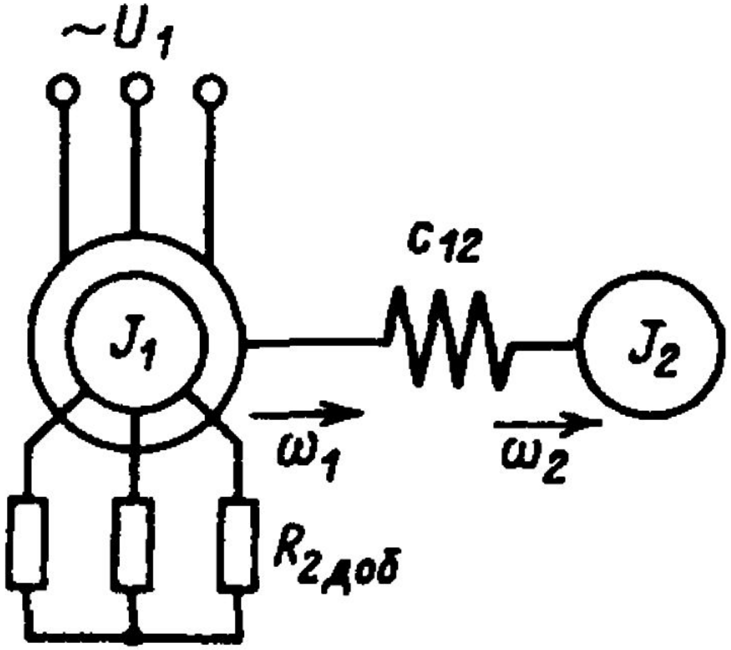
$$M = p_n L_m (i_{1q} i_{2d} - i_{1d} i_{2q}) \qquad M = p_n \frac{L_m}{L_1 L_2 - L_m^2}(\psi_{1q}\psi_{2d} - \psi_{1d}\psi_{2q})$$

Для синхронного двигателя:

$$M = p_n \left(i_{1q} \left(L_{1d} i_{1d} + L_{12} i_{2d} \right) - i_{1d} L_{1q} i_{1q} \right)$$

Модели электромеханических систем с сосредоточенными параметрами





Примеры описания обобщенного электромеханического преобразователя

На базе АД

На базе ДПТ

$$\begin{cases} \dfrac{d\omega_1}{dt} = \dfrac{1}{J_1}(M - \quad {}_{12}) \\ \dfrac{d\omega_2}{dt} = \dfrac{1}{J_2} M_{12} \\ \dfrac{dM_{12}}{dt} = C_{12}(\omega_1 - \omega_2) \end{cases}$$

Контрольный срез!

Исходя из уравнений ОЭМ выведите уравнение момента

$$u_{i\,эл} = R_i i_i + \sum_{j=1\alpha}^{2q} L_{i,j}\frac{di_j}{dt} + \omega \sum_{j=1\alpha}^{2q} \frac{dL_{i,j}}{d\varphi_{эл}} i$$

$$\left.\begin{aligned}
\psi_{1\alpha} &= i_{1\alpha}L_{1\alpha,1\alpha} + i_{1\beta}L_{1\alpha,1\beta} + i_{2d}L_{1\alpha,2d} + i_{2q}L_{1\alpha,2q}\\
\psi_{1\beta} &= i_{1\alpha}L_{1\beta,1\alpha} + i_{1\beta}L_{1\beta,1\beta} + i_{2d}L_{1\beta,2d} + i_{2q}L_{1\beta,2q}\\
\psi_{2d} &= i_{1\alpha}L_{2d,1\alpha} + i_{1\beta}L_{2d,1\beta} + i_{2d}L_{2d,2d} + i_{2q}L_{2d,2q}\\
\psi_{2q} &= i_{1\alpha}L_{2q,1\alpha} + i_{1\beta}L_{2q,1\beta} + i_{2d}L_{2q,2d} + i_{2q}L_{2q,2q}
\end{aligned}\right\}$$

$$L_{1\alpha,2d\,эл} = L_{2d,1\alpha} = L_{12}\cos\varphi$$

$$L_{1\alpha,2q\,эл} = L_{2q,1\alpha} = L_{12}\cos(\varphi_{эл} + 90°) = -L_{12}\sin\varphi$$

$$L_{1\beta,2d\,эл} = L_{2d,1\beta} = L_{12}\sin\varphi$$

$$L_{1\beta,2q\,эл} = L_{2q,1\beta} = L_{12}\cos\varphi$$

$$M = \frac{1}{2}\sum_{i=1\alpha}^{2q} i_i \frac{\partial\psi_i}{\partial\varphi_{эл}}$$