

## ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ АНАЛОГИИ

Дьяков В.А.

Научный руководитель – к.т.н., проф. Палагин В.А.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники  
(61166, Харьков, пр. Ленина, 14, каф. ТАПР, тел. (057) 702-14-86)

Method of electromechanical analogies (EMA) used for system, which consist elements with considered and dedicated useless and combined systems, combine other elements into.

Electromechanical analogies have practice using in modeling microelectromechanical systems (MEMS).

Метод электромеханических аналогий (ЭМА) применим к системам, содержащим элементы со сосредоточенными и распределенными постоянными, а также к комбинированным системам, включающим в себя те и другие элементы.

Электромеханические аналогии находят практическое применение при моделировании микроэлектромеханических систем (МЭМС).

Основной для совместного моделирования и проектирования являются сходные дифференциальные уравнения электротехники и теоретической механики, применимые к механическим, электрическим и электромеханическим системам.

В электрических системах уравнения формулируются в виде первого и второго законов Кирхгофа, а в механике – принципа Даламбера.

В МЭМС механические элементы выступают в виде обобщенной массы ( $m$ ), упругости ( $k$ ) и механических потерь ( $R_{\text{мех}}$ ).

Перемещения, деформации обычно выражаются в обобщенных координатах ( $q_i$ ), скорости и ускорения –  $\dot{q}_i, \ddot{q}_i$ .

При вращении, изгибе, кручении обобщенная масса имеет вид полярного момента инерции  $J_p$  или тензора инерции, обобщенная сила – момента  $M_i$ .

Идеальные механические элементы определяются соответствующими основными реакциями на действие обобщенных сил:

$$\bar{F} = m\bar{q}; \quad (\bar{M} = J \cdot \ddot{\bar{q}})$$

$$\bar{F} = k\bar{q}$$

$$\bar{F} = R_{\text{мех}}\dot{\bar{q}}$$

Действие силы  $\bar{F}$  в механической системе с последовательным соединением элементов  $m, k, R$  и напряжения  $\bar{U}$  в электрической цепи, содержащей  $R, L, C$  представлена на рис. 1а и 1б и описывается сходными уравнениями 1 и 2.

$$\bar{F} = (j\omega m + \frac{k}{j\omega} + R_{\text{мех}})\bar{\xi} \quad (1)$$

$$\bar{U} = (j\omega m + \frac{1}{j\omega c} + R) \cdot \bar{i} \quad (2)$$

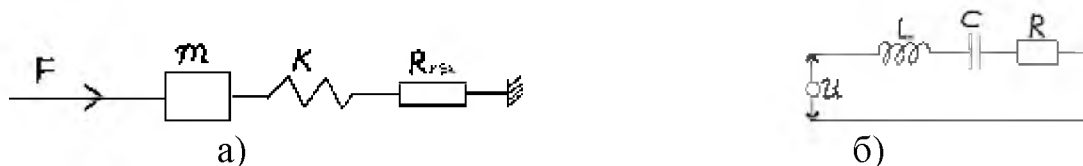


Рис 1. Первая система электромеханических аналогий

Параллельному соединению элементов соответствует рис. 2 и уравнения 3,4.

$$i(t) = \frac{U}{R} + \frac{1}{L} \int u dt + C \frac{du}{dt} \quad (3)$$

$$\frac{di(t)}{dt} = C \frac{d^2U}{dt^2} + \frac{du}{Rdt} + \frac{U}{L} \quad (4)$$

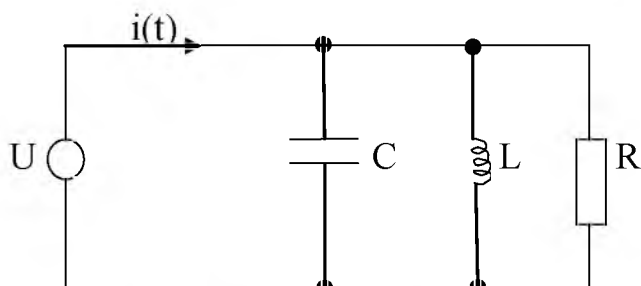


Рис 2. Вторая система электромеханических аналогий

Сводная система аналогий приведена в таблице.

Механические параметры систем		Электрические параметры	
		1-я система аналогий	2-я система аналогий
Обобщенная масса	$m$	$L$	$C$
Диссипативный коэффициент	$R_{\text{мех}}$	$R$	$1/R$
Упругость	$K = 1/C$	$1/C$	$1/L$
Обобщенная сила	$F$	$U$	$d_i/d_t$
Кинетическая энергия	$T = \frac{mq^2}{2}$	$\frac{Lq^2}{2}$	$\frac{CU^2}{2}$
Потенциальная энергия	$\Pi = \frac{kq^2}{2}$	$\frac{q^2}{2C}$	$\frac{U^2}{2L}$
Диссипативная функция Релея	$\tilde{R} = \frac{R_{\text{мех}}q^2}{2}$	$\frac{Rq^2}{2}$	$\frac{U^2}{2R}$

Использование ЭМА позволяет исследовать и моделировать системы, содержащие микромеханические и электронные устройства.