

УДК 62-52

Чебаненко А. В., Шеремет А. И.**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЛИНЕЙНОГО ПРИВОДА
ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПРОДОЛЬНЫХ ВИБРОПЕРЕМЕЩЕНИЙ**

Работа электромеханических систем в реальных условиях эксплуатации сопряжена с необходимостью выполнения ряда требований, определяемых областью применения данного класса технических систем и решаемыми технологическими задачами. Среди них могут быть требования:

- поддержания одного или нескольких выходных показателей на заданных уровнях при изменяющихся внешних воздействиях;
- изменения этих или других показателей по заданным алгоритмам в зависимости от времени или от других показателей;
- достижения в процессе работы экстремальных значений тех показателей, которые в данном случае определяют качество функционирования ЭМС;
- адаптации системы к изменяющимся внешним воздействиям.

На стадии проектирования принципиально новых ЭМС проводятся исследования перечисленных критериев с помощью моделей электромеханических систем, имеющих в своем составе несколько преобразователей энергии и информации, и решающих простейшие задачи регулирования.

В [1] приводится обоснование выбора оптимальной конструкции линейного двигателя (ЛД) для создания малых виброперемещений главного привода фрезерного станка с ЧПУ. Данные исследования базируются на магнитной модели ЭМС. Однако, для полного представления динамических процессов, протекающих в ЛД с возбуждением от постоянных магнитов, необходимо составить математическую модель данной системы.

Целью данной работы является создание математической модели линейного привода для исследования работы двигателя.

На рис. 1 показана конструкция ЛД с возбуждением от постоянных магнитов. Цифрами обозначено: 1 – сердечник, состоящий из постоянных магнитов набранных одноименными полюсами друг к другу; 2 – трехсекционная катушка якоря. Параметры проектируемого двигателя приведены в табл. 1.

Рассмотрим представленную конструкцию ЛД. В сердечнике двигателя, специфическое расположение постоянных магнитов создает магнитный поток синусоидальной формы. При подаче трехфазного напряжения на секции обмотки происходит смещение якоря в направлении состояния суперпозиции, при котором магнитодвижущие силы будут скомпенсированы. Скорость перемещения при этом будет зависеть от частоты трехфазной синусоиды:

$$v = 2\pi f \cdot \dots \quad (1)$$

А направление смещения – от чередования фаз. Таким образом, конструктивно данная машина похожа на линейный синхронный вентильный двигатель с возбуждением от постоянных магнитов.

Для описания процессов ЛД воспользуемся методикой, описанной в [2].

На рис. 2 показана схема подключения обмоток якоря при использовании метода пространственного вектора [3]. Здесь указаны вектора фазных напряжений совмещенные с подвижной системой координат d-q.

Таблица 1

Параметры ЛД с возбуждением от постоянных магнитов

Тяговое усилие $F_x, Н$	Длина Сердечника $L_c, мм$	Диаметр сердечника $D_c, мм$	Материал сердечника	Магнитная индукция сердечника $B_r, Тл$	Напряженность магнитного поля сердечника $H, А/М$	Число витков одной секции катушки якоря W	Индуктивность одной секции катушки якоря $L, мГн$	Активное сопротивление одной секции катушки якоря $R, Ом$
20	100	60	NdFeB	1,3	960	130	0,2269	0,769

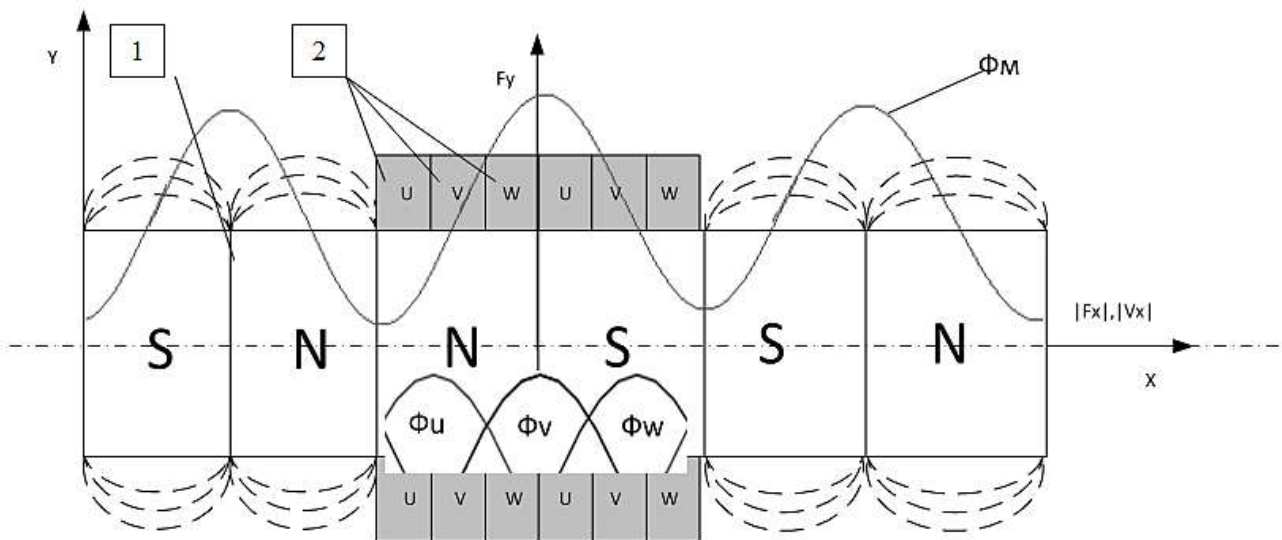


Рис. 1. Конструкция ЛД с возбуждением от постоянных магнитов

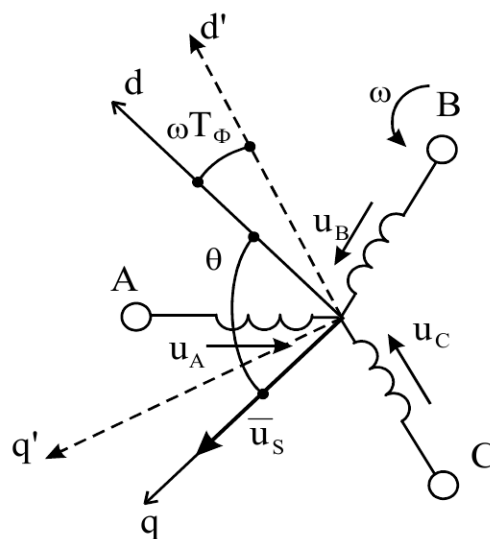


Рис. 2. Схема подключения обмоток якоря

Уравнения для мгновенных значений напряжений, токов и потокосцеплений составлены при допущении:

- активные сопротивления, собственные и взаимные индуктивности секций обмотки не зависят от величины, частоты и формы протекающих в них токов;
- соединительные провода между отдельными секциями катушки якоря не имеют магнитной связи с электрическими контурами, а их собственные параметры учитываются в параметрах фазных обмоток;
- фазные обмотки ЛД симметричные, то есть имеют одинаковую конструкцию и одинаковые пространственные смещения друг относительно друга;
- не учитывается краевой эффект, обусловленный конечным числом катушек обмотки ЛД;
- не учитывается изменение намагничивающей силы постоянных магнитов, обусловленное влиянием магнитного поля катушек обмотки ЛД;
- не учитывается влияние вихревых токов, наводимых в материале катушек обмотки ЛД.

Уравнения напряжений ЛД, имеющего трехфазную обмотку якоря, имеют вид соответственно методике [3]:

$$\begin{aligned} u_A &= R_A \cdot i_A + L_A \frac{di_A}{dt} + M \frac{di_B}{dt} + M \frac{di_C}{dt} + \frac{d\psi_{Af}}{dt}; \\ u_B &= R_B \cdot i_B + L_B \frac{di_B}{dt} + M \frac{di_A}{dt} + M \frac{di_C}{dt} + \frac{d\psi_{Bf}}{dt}; \\ u_C &= R_C \cdot i_C + L_C \frac{di_C}{dt} + M \frac{di_B}{dt} + M \frac{di_A}{dt} + \frac{d\psi_{Cf}}{dt}, \end{aligned} \quad (2)$$

где $u_A, u_B, u_C, i_A, i_B, i_C$ – мгновенные значения фазных напряжений и токов;

R, L, M – активные сопротивления, собственные и взаимные индуктивности фазных обмоток;

$\psi_{Af}, \psi_{Bf}, \psi_{Cf}$ – потокосцепления фазных обмоток, обусловленные полем возбуждения.

Так как индуктор не имеет обмоток, то уравнения равновесия ЭДС в обмотках статора в неподвижной системе координат:

$$\begin{cases} u_A = R_A i_A + \frac{d\psi_A}{dt}, \\ u_B = R_B i_B + \frac{d\psi_B}{dt}, \\ u_C = R_C i_C + \frac{d\psi_C}{dt}, \end{cases} \quad (3)$$

где $R_A = R_B = R_C = R_S$ – активное сопротивление фаз якоря.

Потокосцепление обмоток якоря:

$$\begin{cases} \psi_A = L_A i_A + M i_B + M i_C, \\ \psi_B = L_B i_B + M i_A + M i_C, \\ \psi_C = L_C i_C + M i_A + M i_B, \end{cases} \quad (4)$$

где L_A, L_B, L_C – собственные индуктивности соответствующих обмоток;

M – взаимные индуктивности.

С учетом гармонического распределения магнитного потока вдоль индуктора:

$$\begin{cases} \psi_A = L_A i_A + \Phi_0 \cos \omega t, \\ \psi_B = L_B i_B + \Phi_0 \cos \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right), \\ \psi_C = L_C i_C + \Phi_0 \cos \left(\omega t + \frac{2\pi}{3} \right). \end{cases} \quad (5)$$

Уравнение механического движения для линейного двигателя можно представить в виде:

$$m \frac{dv}{dt} = F - F_C, \quad (6)$$

где m – суммарная масса движущихся частей, кг;

v – линейная скорость, м/с;

F – сила тяги;

F_C – сила сопротивления движению.

Учитывая, что магнитный поток в индукторе не изменен, $\frac{d\Phi_0}{dt} = 0$.

Математическая модель двигателя в координатах $\alpha - \beta$:

$$\begin{cases} u_{S\alpha} = r_S i_{S\alpha} + L_S \frac{di_{S\alpha}}{dt} - v \Phi_{0\beta}, \\ u_{S\beta} = r_S i_{S\beta} + L_S \frac{di_{S\beta}}{dt} - v \Phi_{0\alpha}, \\ F = \frac{3}{2} p (\Phi_{0\alpha} i_{S\beta} - \Phi_{0\beta} i_{S\alpha}), \\ m \frac{dv}{dt} = F - F_C. \end{cases} \quad (7)$$

ВЫВОДЫ

Полученная математическая модель линейного привода может быть использована для исследования работы двигателя в режиме фиксации изменения продольной нагрузки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чебаненко А. В. Система управления электроприводом шпинделя фрезерного станка QD-6090 на базе программного продукта NCSTUDIO / А. В. Чебаненко, А. И. Шеремет // *Електромеханічні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації* : збірник наукових праць XIV Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених і спеціалістів у місті Кременчук 14–15 квітня 2016 р. – Кременчук, КрНУ, 2016. – С 321.
2. Разработка математической модели привода с линейным синхронным двигателем для исследования переходных режимов / А. Н. Зайцев, В. Э. Воскобойник, С. В. Комаров, А. С. Ворошилов // *Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. – 2004. – Вип. 5. – С. 72–77. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vdnuzt_2004_5_17.
3. Герман-Галкин С. Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0 : учеб. пособ. / С. Г. Герман-Галкин. – СПб. : КОРОНА принт., 2001. – 320 с.