

УДК 621.318.3

О МОДЕЛИРОВАНИИ ДИНАМИКИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО МЕХАНИЗМА С КОМБИНИРОВАННЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ

В.А. Кондратьев

Новосибирский государственный технический университет

Рецензент В.Ф. Калинин

Ключевые слова и фразы: проектирование электромагнитных приводов постоянного тока; структурное моделирование электромагнитного механизма; оценка влияния вихревых токов; электромагнитные двигатели.

Аннотация: Сформированы положения определения динамических свойств электромагнитного механизма, в котором магнитный поток создается обмоткой и постоянным магнитом.

Одним из путей удовлетворения потребностей в создании управляемых устройств автоматики с поступательным движением рабочего органа (РО) является проектирование электромагнитных приводов постоянного тока, комплектуемых с механическим оборудованием в виде электромагнитного механизма (ЭММ). Электромагнитные двигатели (ЭМД) таких устройств выполняются с втягивающимися, либо притягивающимися якорями. Для обеспечения чувствительности к полярности управляющего сигнала, либо фиксации якоря при обесточенном состоянии ЭММ в электромагнитной системе (ЭМС) ЭМД могут быть применены постоянные магниты. Целью статьи является изложение разработанного автором подхода к оценке динамических свойств ЭММ комбинированного возбуждения с использованием приемов структурного моделирования средствами вычислительной среды MatLab.

Преобразование энергии в ЭМД характеризуется свойствами электрических контуров с применением теории электрических цепей, а преобра-

Кондратьев В.А. – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика» Новосибирского государственного технического университета.

зование механической энергии описывается с учетом всех сил сопротивления движению и масс составных элементов при допущении, что каждый узел конструкции ЭММ имеет только одну степень свободы. В качестве электрического параметра состояния ЭМД принимается ток намагничивания обмотки i_0 . Параметрами механического состояния ЭМД служат его рабочий воздушный зазор δ и скорость движения якоря $v_{\text{я}}$. При наличии в конструкции ЭМД массивных (неразрезных, нешихтованных) элементов ток намагничивания i_0 является частью тока обмотки i . Разница величин i и i_0 – это приведенный к параметрам обмотки ток вихревых контуров. Существенное влияние на свойства ЭМД оказывает и насыщение магнитопровода. В [1] автором обоснована возможность расчета электромагнитного усилия ЭМД на основе характеристик потокоцепления обмотки $\Psi(i_0, \delta)$ в виде

$$F_{\text{ЭМ}}(i_0, \delta) = -\frac{\Psi(i_0, \delta) K(i_0, \delta)}{2 L(i_0, \delta)}, \quad (1)$$

где $L(i_0, \delta)$ и $K(i_0, \delta)$ – частные производные от характеристик потокоцепления, соответственно, по току намагничивания и зазору.

Величины $L(i_0, \delta)$ и $K(i_0, \delta)$ определяют не только мгновенное значение электромагнитного усилия $F_{\text{ЭМ}}(i_0, \delta)$, но и значение ЭДС самоиндукции обмотки, обусловленное скоростями изменения тока намагничивания и зазора

$$e = -\frac{d\Psi(i_0, \delta)}{dt} = -\left[L(i_0, \delta) \frac{di_0}{dt} + K(i_0, \delta) \frac{d\delta}{dt} \right]. \quad (2)$$

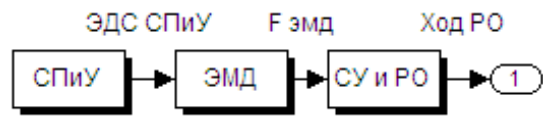
При структурном моделировании свойств ЭММ интерполированные характеристики $\Psi(i_0, \delta)$, $L(i_0, \delta)$ и $K(i_0, \delta)$ могут быть использованы для параметрического задания свойств ЭМД. Это позволяет существенно ускорить процесс интегрирования дифференциальных уравнений привода. Очевидно, что точность оценки динамики ЭММ в существенной мере зависит от качества представления этих характеристик и в первую очередь – потокоцепления. Получение характеристик $\Psi(i_0, \delta)$ является целью электромагнитного расчета. При комбинированном возбуждении ЭМД это можно выполнить методами теории поля, используя для этого, например, программные средства пакета *ELCUT* [2]. Для моделирования динамики ЭММ с применением (1) и (2) нужны только значения потокоцепления, однако при разработке конструкции ЭМД может быть целесообразен ана-

лиз величин магнитной индукции и статических электромагнитных сил при отдельных (обычно крайних) положениях якоря и предельно допустимой по условиям нагревания обмотки силе тока в ней. Электромагнитный расчет ЭМД носит поверочный характер, поэтому для него следует задаваться размерами и свойствами элементов ЭМС и якоря. Если в конструкции ЭММ с комбинированным возбуждением используется две ЭМС с общим якорем, то электромагнитный расчет необходимо выполнять для всего пространства, проводящего магнитный поток. Необходимость этого обусловлена тем, что по мере перемещения якоря под влиянием намагничивающей силы одной из обмоток перераспределение магнитного потока постоянных магнитов отражается на состоянии магнитопровода обеих ЭМС.

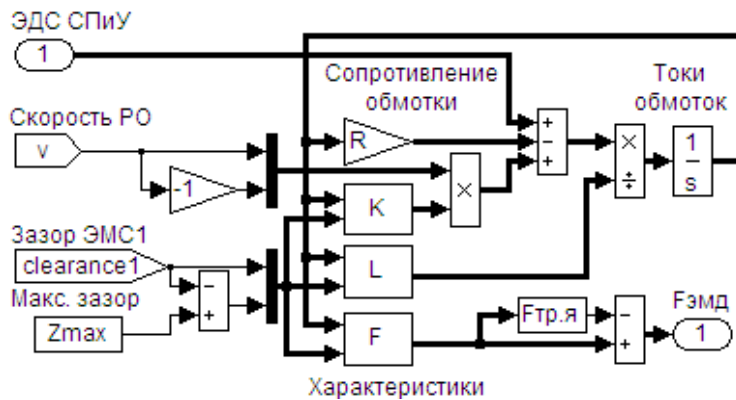
Некоторые рекомендации практического характера по расчету вихревых токов в ЭМД имеются в [3]. Когда к динамике ЭММ предъявляются повышенные требования, целесообразно применение шихтованного ярма магнитопровода ЭМС прямоугольного сечения, а в якоре – выполнение углублений, повышающих сопротивление вихревым токам.

Программно-инструментальными средствами *Simulink* вычислительной среды *MatLab* блок-диаграммы могут быть составлены практически в соответствии со структурной схемой моделируемого привода. В качестве иллюстрации ниже приведены блок-диаграммы, составленные для воспроизведения движения реверсивного ЭММ с двумя ЭМС без детализации блоков средств питания и управления (СПиУ). В блоке, воспроизводящем свойства согласующего устройства (СУ) и РО, учитываются только условия ограничения хода якоря, масса подвижных частей всего привода, силы сопротивления движению, обусловленные конструкционным трением и весом подвижных частей. В иллюстрируемых блок-диаграммах представление свойств рычагов и пружин отсутствует, силы трения в РО в неподвижном состоянии приняты 20 Н, а при движении – 10 Н. Свойства ЭМД представлены характеристиками электромагнитных сил F , переменных коэффициентов токовой L и скоростной K частей ЭДС обмотки. Влияние контуров с вихревыми токами в блок-диаграммах ЭМД не учтено, но предусмотрен учет сил трения, обусловленных некомпенсированными силами магнитного притяжения якоря как доли величины электромагнитного усилия (при неподвижном состоянии – 0,2, при движении – 0,1).

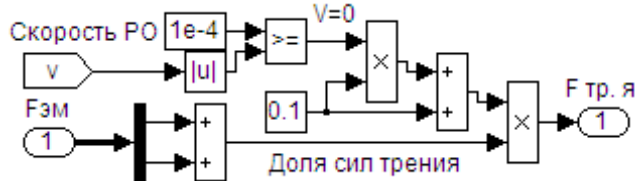
Для реверсивного ЭММ с комбинированным возбуждением требуется учет специфических условий управления им. Это обусловлено тем, что движение якоря в магнитном поле, создаваемым постоянными магнитами, приводит к появлению в обмотке сопряженной ЭМС тока, замыкающегося через обратный диод. Для этого целесообразно во время движения якоря цепь этой обмотки принудительно размыкать.



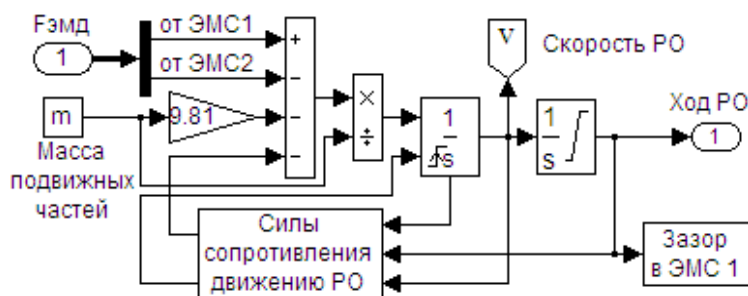
а)



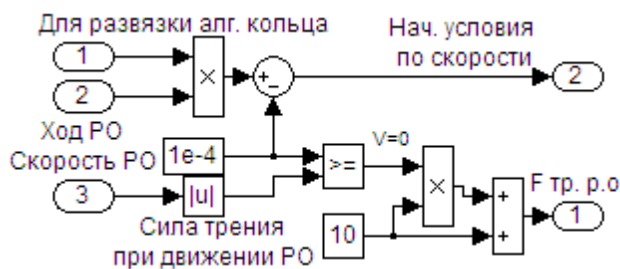
б)



в)



г)



д)

Блок-диаграммы:

а – ЭММ в целом; б – ЭМД с двумя ЭМС; в – блока расчета сил трения в ЭМД; г – блока СУ и РО; д – блока, представляющего силы сопротивления движению РО

Список литературы

1 Кондратьев, В.А. О методе расчета характеристик электромагнитных устройств / В.А. Кондратьев // Актуальные проблемы электронного приборостроения: Сб. тр. V Междунар. конф. АПЭП-2000. В 7 т. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2000. – Т. 3. – С. 178–181.

2 Дубицкий, С.Д. ELCUT 5.1 – платформа разработки приложений анализа полей / С.Д. Дубицкий // Exponenta Pro. Математика в приложениях. – 2004. – №1(5). – С. 20–26.

3 Клименко, Б.В. Форсированные электромагнитные системы / Б.В. Клименко. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 159 с.

About Modeling of Dynamics of Electromagnetic Device with Combined Excitation

V.A. Kondratyev

Novosibirsk State Technical University

Key words and phrases: designing of electromagnetic drives of direct current; electromagnetic engines; structural modeling of electromagnetic device; evaluation of eddy current effect.

Abstract: The ways of determining dynamic properties of electromagnetic device, in which the current is produced by winding and permanent magnet are found out.

© В.А. Кондратьев, 2006