

64 с идентификация практически завершается и далее идет нормальный процесс регулирования с уточнением параметров объекта.

Таблица

t, с	$U_{\text{зад}}$	$Y_{\text{вых}}$	a1	a2	b1	b2
000	0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.1000	0.1000
16	1.00	1.4926	-0.0101	0.0000	0.1087	0.1934
32	0.00	0.6888	-1.0982	0.2810	0.1076	0.0767
48	1.00	1.2569	-1.1116	0.2934	0.1085	0.0738
64	0.00	0.0554	-1.1158	0.2978	0.1087	0.0732
80	2.00	2.0186	-1.1185	0.2999	0.1087	0.0730
96	0.00	0.0012	-1.1193	0.3009	0.1087	0.0729
112	2.00	2.0013	-1.1195	0.3010	0.1087	0.0729
(точные параметры объекта)			-1.1197	0.3012	0.1087	0.0729

Данный пример реализован на ЭВМ, в которой выходная реакция объекта рассчитывалась по точным параметрам путем решения разностного уравнения, составленного по дискретной передаточной функции объекта. Управляющее воздействие аperiodического регулятора рассчитывалось по идентифицированным параметрам. Таким образом можно было проверить точность идентификации как по качеству регулирования так и по степени приближения определяемых параметров к параметрам объекта.

Эти же алгоритмы применены в реальном масштабе времени для аналоговой электронной модели объекта, связанной с ЭВМ через аналого-цифровые преобразователи. Точность идентификации косвенно определялась по качеству регулирования, которое достаточно быстро приблизилось к качеству, характерному аperiodическим регуляторам.

Данный пример иллюстрирует процесс идентификации «неизвестного» объекта. Такой процесс занимает несколько десятков тактов квантования. В процессе регулирования уже «знакомому» объекту при медленном изменении его параметров процесс идентификации занимает значительно меньшее количество тактов.

Преимущества применения аperiodического регулирования перед дискретным аналогом ПИД-регулирования очевидны. Переходный процесс идентифицированного объекта на графике с 96 с начинается значительным ускоряющим воздействием $u(k)$, которое затем сменяется отрицательным замедляющим воздействием, хотя ошибка регулирования еще положительная. Значения ускоряющего и замедляющего воздействия рассчитываются так, что выходная величина к концу второго такта точно попадает в заданное значение и процесс регулирования заканчивается. Такое регулирование принципиально невозможно при ПИД-регулировании, которое работает от ошибки и не имеет алгоритмов точной подстройки параметров регулятора даже если точно известны параметры объекта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Теория автоматического управления / Под ред. А.А.Воронова. - М.: Высшая школа, 1986. - 504 с.
2. Автоматическое управление в химической промышленности: Учебник для ВУЗов. / Под ред. Е.Г.Дудникова. - М.: Химия, 1987. - 368с.
3. Острём К., Виттенмарк Б. Системы управления с ЭВМ: Пер. с англ. - М.: Мир, 1987. - 480 с., ил.

МОДЕЛИРОВАНИЕ БЕЗРЕДУКТОРНЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДВИЖЕНИЯ

В.И.Луковников

Гомельский политехнический институт им. П.О.Сухого (Гомель)

Развитие перспективных электроприводов, приводящих без применения редукторов рабочие органы машин в возвратно-поступательное, возвратно-вращательное, шаговое, колебательное или иное периодическое движение [1], сдерживалось отсутствием математической модели, достаточно точной и удобной для его анализа и синтеза.

Моделирование электрических машин однонаправленного движения имеет большую историю и, благодаря работам Парка Р.Г., Горева А.А., Крона Г., Уайта Д., Вудсона Г., Грузова Л.Н., Казовского Е.Я., Ковача К.П., Раца Н., Трещева И.И., Иванова-Смоленского А.В., Фильца Р.В., Копылова И.Т. и других исследователей [1-4], прошло путь от описания синхронных машин в одних координатных осях с симметричными параметрами по статору и ротору до

моделей электрических машин разных типов, получаемых по модели идеализированной обобщенной машины, описываемой в различных системах координат через результирующие пространственные вектора электромагнитных величин. Причем параметры электрических машин, а значит и коэффициенты их математических моделей, могли быть несимметричны и определялись на основе теории электромагнитного поля с учетом реальной геометрии машины, рассеяния потока, вытеснения тока в проводниках обмоток, насыщения, гистерезиса и вихревых токов в магнитопроводе.

Однако непосредственное использование такой цепочечно-полевой детализированной до уровня – зубец, паз, проводник, локальные магнитные поля и электромагнитные силы – модели электрической машины [2] для описания ее работы при периодических режимах затруднительно [4].

Это обусловлено наличием в таких режимах работы сложной несимметрии электропривода [1]:

а) несимметрия фаз источников электроэнергии, токи (напряжения) которых модулированы дискретно или аналогово по амплитуде, фазе, частоте, с целью создания в воздушном зазоре качающихся, шагающих, старт-стопных, ползучих и других магнитных полей периодического движения;

б) несимметрия магнитопровода и фазных обмоток электродвигателя, вызванная конструктивными особенностями и несимметрией типа «а»;

в) несимметрия электрических параметров обмоток, вызванная непрерывно изменяющейся эллиптичностью магнитного поля, зависимостью от типа последовательности токов, а также несимметриями типа «а» и «б».

Кроме того, в моделях, построенных на основе цепочечно-полевого подхода, неизбежны потери типа «большое видится издалека» из-за необходимости знать, как ведут себя магнитные и электрические свойства в динамике и «от точки к точке» электродвигателя.

В связи с этим нами при математическом моделировании непосредственных электроприводов периодического движения был использован цепочечный подход на основе записи исходной системы дифференциальных уравнений электрического равновесия по законам Кирхгофа [3]. Причем модели доводились до такого вида, когда возможно использование известных паспортных данных и параметров схем замещения электродвигателей для обычного вращательного движения.

Для построения моделей с несимметрией типа «а» плодотворной оказалась идея символической записи системы дифференциальных уравнений в гиперкомплексном виде на основе интегрального преобразования проф. Луковникова В.И., ориентированного на операции с модульными временными функциями [1].

В случае несимметрии «а» и «б» успешным было предварительное преобразование исходной системы уравнений с помощью пространственных векторов потокосцеплений, напряжений и токов при записи условий несимметрии по способу проф. Трещева И.И.

И, наконец, при общей несимметрии или только типа «в» оказалось удобным вернуться к известному методу симметричных составляющих. Причем пришлось использовать разложение как на пространственные симметричные составляющие (круговые прямое и обратное вращающиеся магнитные поля), так и на временные симметричные составляющие (гармонические функции времени равных амплитуд и кратных сдвигов фаз).

Здесь принципиальным для решения задачи моделирования было введение понятия симметричных составляющих для мгновенных значений переменных, когда модули и фазы пространственных и временных векторов симметричных составляющих изменяются во времени без нарушения условий симметрии [4].

Определение таких мгновенных симметричных составляющих удобно осуществлять с помощью упоминавшейся выше интегрального преобразования проф. Луковникова В.И.

Различные конкретные математические модели безредукторных электроприводов углового и линейного периодического движения с эксплуатациями по расчету коэффициентов через параметры схем замещения электродвигателей приводятся в работах [1, 4, 6, 5].

Они описывают электропривод колебательного движения в различных системах координат и с различными видами электрической и магнитной несимметрии [5], асинхронный электропривод шагового движения с различными функциями коммутации фазных напряжений и параметров обмоток [1], обобщенный электропривод периодического движения в мгновенных симметричных составляющих [4, 6].

Представлены полученные по указанным моделям частные методики инженерных расчетов показателей качества замкнутых автоматизированных колебательных электроприводов с регулированием амплитуды, фазы, частоты и формы колебаний [5, 6], закона шагового движения разомкнутого электропривода с короткозамкнутым симметричным ротором [6],

стартстопного режима асинхронного электродвигателя с массивным или двухслойным ротором, осуществляемого переводом из трехфазного в однофазный режим питания [6], синтеза электроприводов с заданным периодическим движением вала с формированием требуемых амплитудно-частотных характеристик за счет управления электрической жесткостью двигателя [1].

ЛИТЕРАТУРА

1. Грачев С.А., Луковников В.И. Безредукторный электропривод периодического движения.- Минск: Высшая школа, 1991.- 160 с.
2. Иванов-Смоленский А.В. и др. Универсальный метод расчета электромагнитных процессов в электрических машинах.- М.: Энергоатомиздат, 1986.- 216 с.
3. Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин.- М.: Высшая школа, 1987.- 248 с.
4. Луковников В.И., Середа В.П., Тодарев В.В. Моделирование периодических режимов асинхронных электродвигателей безредукторного привода // Электричество.- 1992.- № 5 - с. 31-35.
5. Луковников В.И. Электропривод колебательного движения.- М.: Энергоатомиздат, 1984.- 152 с.
6. Луковников В.И., Середа В.П. Динамические режимы работы асинхронного электропривода. - М. ВЭИ, 1990. - 210 с.

ОПТИМИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКИХ ВИБРОСИСТЕМ

В.И.Луковников, М.Н.Погоуляев

Гомельский политехнический институт им. П.О.Сухого (Гомель)

Электромеханические преобразователи (ЭМП), работающие в колебательном режиме, входят в состав многих вибрационных систем, применяемых в сейсморазведке, испытательной технике и других отраслях промышленности. Дальнейшее развитие таких систем идет по пути наращивания виброусилия и расширения частотного диапазона в сторону верхних частот. Первое направление реализуется за счет применения гидроусилителей, а второе - за счет повышения быстродействия электромеханического преобразователя, расположенного в электрогидросистеме между электронными и гидравлическими блоками. Для обеспечения устойчивой работы такого электрогидравлического вибратора (ЭГВ) собственная частота ЭМП должна в 2,5 - 3 раза превышать верхнюю частоту гидросистемы. Поэтому, исходя из необходимости удвоения верхней частоты (150-180 Гц) современных ЭГВ, можно считать актуальной задачу разработки и создания ЭАП, быстродействие которых определяется собственной частотой $f_0 \geq 1000$ Гц. Причем мобильность и автономность ЭГВ накладывает на ЭМП дополнительные требования обеспечивать во всем частотном диапазоне амплитуду усилия не менее 100 Н и амплитуду колебаний золотника не менее 0,1 мм при потребляемой мощности не более 100 ВА.

Нами был произведен обзор современных маломощных быстродействующих ЭМП среди электродвигателей постоянного тока с гладкими, дисковыми и полыми якорями, асинхронных электродвигателей с полым немагнитным ротором, синхронных электродвигателей с катящимся ротором, электромагнитных и электродинамических вибраторов, шаговых, респонсионных и пьезоэлектрических преобразователей.

Критический анализ технических характеристик отобранных по высокой собственной частоте ЭМП показал (таблица), что по собственной частоте и собственному ускорению ЭМП электромагнитного типа превосходят остальные, несколько уступая по абсолютному и электромагнитному усилию. Показатели, приведенные в таблице для ЭМП электромагнитного типа, кажутся достаточными для решения сформулированной задачи, но это не так, поскольку они получены без учета нагрузки. Например, при нагружении ЭМП золотником массой в 25 грамм, собственная частота уменьшается почти до 500 Гц.

Задача повышения собственной частоты нагруженных электромагнитных ЭМП решалась по двум направлениям: разработка новых конструктивных решений и оптимизация синтеза ЭМП традиционного мостового исполнения с поляризацией постоянными магнитами.

Для решения задачи оптимизации была создана математическая модель ЭМП, которая выгодно отличается от известных тем, что позволяет учесть ограниченность источника электроэнергии по полной мощности, влияние на собственную частоту ЭМП электрической упругости, ЭДС движения, потерь на гистерезис и вихревые токи, то есть те эффекты, которые определяют особенности работы ЭМП в высокочастотных автономных ЭГВ.

По математической модели были получены расчетные соотношения, связывающие конструктивные параметры ЭМП, показатели источника электроэнергии и нагрузки через резонансную собственную частоту, амплитуды колебаний якоря, тока в обмотке, электромаг-