

О СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОМ СИНТЕЗЕ КОМПЛЕКТНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПРИВОДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОЛОЖЕНИЙ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В. А. Кондратьев (Новосибирск)

Проблема синтеза устройств и систем автоматического управления, в том числе и с электромагнитным приводом, была и остается актуальной в теории и практике автоматических систем [1]. Многие положения из этой области знаний получили развитие и применение в системотехнике, легли в основу автоматизированного проектирования [7].

Удовлетворение потребностей в компактном, энергоёмком и управляемом оборудовании привело к применению в различных отраслях производства и обеспечения жизнедеятельности специализированных приводов, свойства которых подчинены критерию качества технологического оборудования в целом и условиям конструктивной совместимости с ним. С указанной тенденцией проектирования связано и понятие комплектного электромагнитного привода (КЭМП) постоянного тока, используемого для представления свойств технической системы, состоящей из средств питания и управления (СПиУ), электромагнитного двигателя (ЭМД), рабочего органа (РО) и согласующих устройств (СУ), рис. 1.



Рис. 1. Структура комплектного электромагнитного привода

В представленной структурной схеме отражена возможность заведения сигналов датчиков обратных связей (ОС), которые учитывают только состояние механической части оборудования привода. При использовании электромагнитного механизма как компонента технологического оборудования через СПиУ организуется взаимодействие с этим оборудованием.

Свойства СПиУ влияют на выходные параметры КЭМП опосредованно через ЭМД. Создание СПиУ возможно на основе типовых схемотехнических решений и доступной полупроводниковой элементной базы.

В СУ могут быть применены рычаги, пружины, механические демпферы, ограничители перемещения якоря ЭМД и подвижных частей РО. Это известные механические узлы и элементы, использование которых в электромагнитных механизмах нацелено на изменение свойств процесса движения. Проектирование элементов и узлов СУ в большинстве практических случаев не связано с решением проблем научного характера.

Обеспечение требуемых свойств КЭМП при проектировании во многом зависит от конструктивных решений и качества описания процесса воспроизведения движения устройств, где происходит электромеханическое преобразование энергии. Понятие ЭМД призвано представлять более широкие возможности преобразования энергии постоянного тока, нежели это связано с понятием электромагнит в области создания про-

стейших устройств с релейной механической характеристикой РО. С учетом условий обеспечения высоких эксплуатационных показателей, ограничений конструктивно-технологического характера при изготовлении, а также встраивании в электромагнитный механизм конструкция ЭМД предполагает использование одной или двух электромагнитных систем (ЭМС) цилиндрического исполнения, как средств создания (возбуждения) магнитного потока и одного якоря. Намагничивающая сила обмотки, размеры элементов магнитопровода и якоря, форма воздушного пространства в расточке ЭМС определяют практически все свойства ЭМД. При проектировании возможно привлечение описаний влияния отдельных элементов ЭМД, выполненных по мере накопления опыта и знаний при создании релейно-контакторных аппаратов с электромагнитным приводом и специализированных электромагнитных механизмов, главным образом, ударного действия.

Особо следует подчеркнуть относительно высокую чувствительность электромагнитного механизма к механическим воздействиям. В отличие от двигателей вращательного движения, при кинематических воздействиях на корпус ЭМД возможно принудительное перемещение системы возбуждения, то есть ЭМС, относительно якоря. При этом ЭМД оказывается в аномальном режиме работы, который обусловлен принудительным изменением рабочего зазора, а также реакцией вихревых токов в массивных частях магнитопровода и возможного в его конструкции электромагнитного демпфера.

Электромагнитные механизмы с КЭМП не являются серийными изделиями, их разработка выполняется на неспециализированных предприятиях. Проектирование без макетирования и согласования компонентов привода между собой не позволяет в полной мере реализовать его потенциальные возможности по динамике, энергетике, весогабаритным и другим свойствам.

Повышение качества проектирования КЭМП возможно выполнять со значительным сокращением временных и материальных затрат на доводку электромагнитного механизма, особенно по динамическим свойствам, если использовать концепцию имитационного моделирования. Для создания комплекса программных средств, позволяющих выполнять проектирование КЭМП более качественно, автору представлялось необходимым:

- при создании адекватных математических моделей исходить из современных достижений в области расчета электромагнитных сил в электрических машинах [4], использовать положения системного подхода, структурно-параметрического синтеза и структурного моделирования;

- для организации структурного синтеза прибегать к декомпозиции модели привода, как сложной системы, выбирать схемно-технические исполнения компонент, анализируя их свойства с учетом конструктивно-технологических ограничений изготовления, а также характеристик применяемых материалов и комплектующих элементов;

- для выполнения параметрического синтеза формировать обобщенный критерий оптимизации (функцию желательности [3, 5]) с учетом принимаемой концепции проектирования, а для определения рациональных параметров использовать методики факторного планирования эксперимента и регрессионного анализа с выявлением доминирующих факторов на стадии предпланирования;

- с целью систематизации свойств разработанных ранее электромагнитных механизмов сходного исполнения и применения в технических предложениях по реализации требований заказчика использовать положения теории подобия;

- доказательство адекватности моделей, созданных для оценки динамических свойств привода, выполнять с применением положений математической статистики [2, 6].

Описание структуры КЭМП любого электромагнитного механизма можно выполнить согласно рис. 2. Здесь в области разработчика детализированы атрибуты модели всех компонентов привода и указаны основные связи между ними. Взаимосвязь СПиУ с ЭМД учитывается через сопротивление R_0 , ЭДС e_0 и ток i_0 обмотки. Для отражения связи ЭМД с РО в СУ необходимо оперировать величинами рабочего зазора δ , скоростью смещения якоря $v_{см.я}$ и подвижных частей приводимого механизма (иначе – РО) $v_{п.м}$, тяговым усилием F_T . Как свойства внешнего устройства, диктуемые техническим заданием, представлены механическая характеристика РО $F_{п.м}(x_{п.м})$, мера инерции его подвижных частей $m_{п.м}$, а также информация о возможном проявлении сил вязкого трения $F_{п.м}(v_{п.м})$. Кинематические возмущающие воздействия представлены состоянием смещения основания механизма y_0 , силовые возмущающие воздействия – состоянием изменения силы сопротивления со стороны приводимого механизма $\Delta F_{п.м}$. Если силовое воздействие сопровождается изменением массы подвижных частей РО, то это учитывается одновременным её изменением на $\Delta m_{п.м}$. Формирование свойств КЭМП может выполняться с применением сигналов ОС по состоянию элементов СУ, РО, технологическим показателям работы оборудования, влиянию окружающей среды.

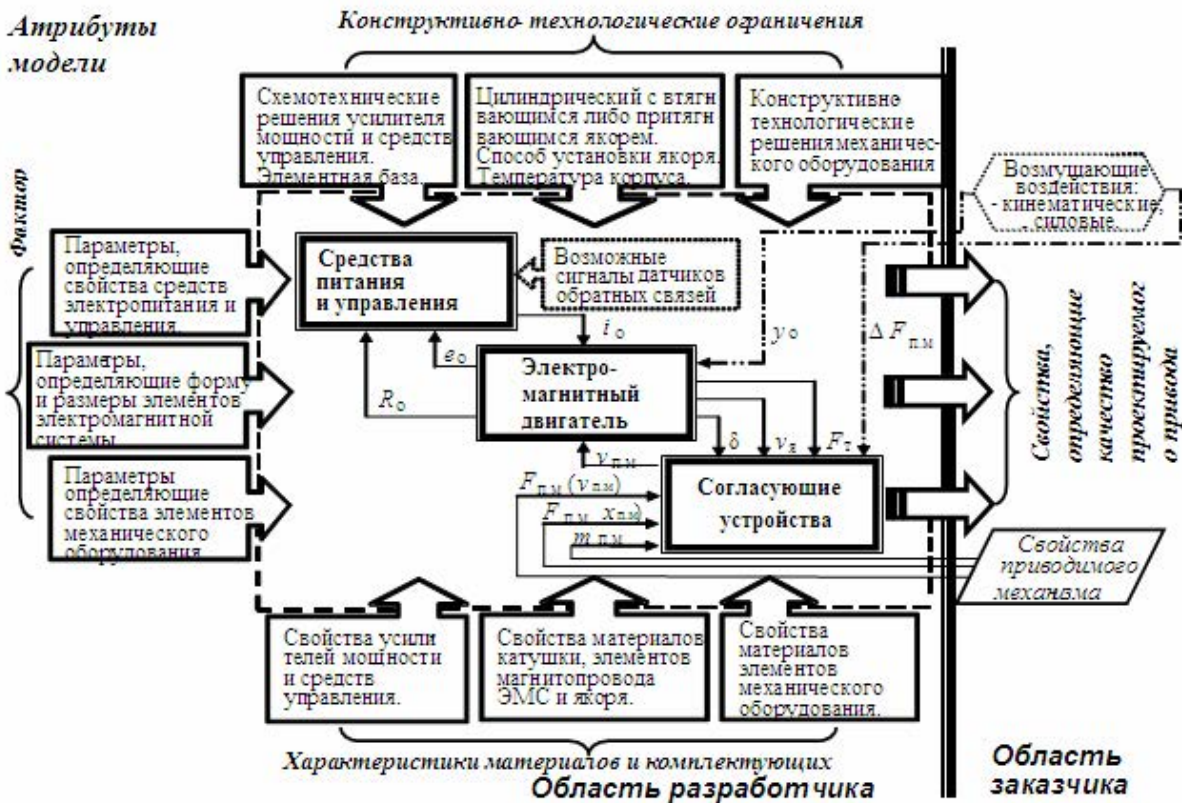


Рис. 2. Детализированная структура модели КЭМП для проектирования

В электромеханических системах невозможно составить модель, в которой число взаимно независимых соотношений, уравнений и функций соответствовало бы числу определяемых параметров, поэтому инженерный структурно-параметрический синтез КЭМП реально можно выполнять только через анализ его свойств при фиксированных конструктивно технологических (непараметрических) атрибутах математической модели. Построение структурированной модели всего привода, как сложной системы, призвано обеспечить объединение моделей его компонент (подсистем) с подчинением их конечной цели проектирования. При этом модели подсистем должны адекватно от-

ражать свойства компонент реального устройства в обобщенном алгоритме воспроизведения динамики КЭМП. Способность к модернизации компонент модели КЭМП должна обеспечивать её универсальность и возможность учета особенностей каждого электромагнитного механизма, а также задач, решаемых путем итераций при существенном изменении исходных данных.

Разработанные автором положения инженерного синтеза модели КЭМП проверены экспериментально [6] и доведены до практического использования в созданном комплексе программных средств, частичное описание которых представлено в [4, 5].

На основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что автоматизированное проектирование электромагнитных механизмов целесообразно выполнять, используя положения структурно-параметрического синтеза с имитацией различных ситуаций не только в работе КЭМП, но и в возможностях его реализации. Для этого в созданном автором программно-методическом комплексе предусмотрены широкие возможности удовлетворения запросов проектировщиков (детализированный ввод исходных данных, изменение структуры модели КЭМП и конструкции ЭМД, устойчивость при ошибочных действиях и т. п.). Предлагаемое использование методик факторного планирования эксперимента с предварительным выявлением доминирующих факторов позволяет не только реально осуществлять параметрический синтез модели привода, но и получать информацию о мере чувствительности привода к разбросу параметров.

Литература

1. **Востриков А. С.** Синтез нелинейных систем методом локализации/А. С. Востриков. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 1990. – 120 с.
2. **Гультияев А. К.** Визуальное моделирование в среде MATLAB: учебный курс/А.К. Гультияев. – СПб: Питер, 2000. – 432 с.
3. **Карташова Т. М.** Обобщенный критерий оптимизации – функция желательности/Т. М. Карташова, Б. И. Штаркман//Информ. материалы. – М.: Изд-во Науч. совета по комплексной проблеме «Кибернетика» АН СССР, 1979. – № 8 (45). – С. 55–63.
4. **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.
5. **Кондратьев В. А.** Программно-методический комплекс для проектирования привода на основе электромагнита постоянного тока/В. А. Кондратьев//Информ. системы и технологии: тр. Междунар. науч.-техн. конф. Т. 1. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. – С. 177–182.
6. **Кондратьев В. А.** Оценка адекватности математической модели электромагнитной удароиспытательной системы/В. А. Кондратьев//Актуальные проблемы электронного приборостроения. АПЭП – 2004: тр. VII Междунар. науч.-техн. конф. Т. 3. Секция «Проектирование устройств автоматики и систем управления». – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004. – С. 178–181.
7. **Норенков И. П.** Основы автоматизированного проектирования: учебник для вузов/И. П. Норенков. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2000. – 360 с.