

Содержание

| | |
|---|----|
| 1. Предисловие | 8 |
| 1.1 Раздел «Электропривод» среды SimInTech..... | 9 |
| 1.1.1 Кодогенерация | 9 |
| 1.1.2 Состав раздела..... | 9 |
| 1.1.3 Функции раздела..... | 10 |
| 1.1.4 Преимущества использования..... | 11 |
| 1.2 О целесообразности автоматической кодогенерации | 11 |
| 1.3 Прежде чем читать дальше... .. | 12 |
| 2. О векторном регулировании | 13 |
| 3. Преобразователи координат | 14 |
| 3.1 Обобщенный вектор и трехфазная система координат | 14 |
| 3.2 неподвижная декартова система координат..... | 15 |
| 3.3 Вращающаяся декартова система координат: XУ | 18 |
| 3.3.1 Геометрический вывод формул преобразований Парка | 18 |
| 3.3.2 Смысл системы координат XУ | 19 |
| 3.4 Преобразователи координат $ABC \Rightarrow dq$ и $dq \Rightarrow ABC$ | 20 |
| 4. Модели двигателей переменного тока | 22 |
| 4.1 Синхронный электродвигатель с постоянными магнитами (СДПМ) | 22 |
| 4.1.1 Принцип работы | 22 |
| 4.1.2 Векторная диаграмма и момент СДПМ..... | 23 |
| 4.1.3 Векторная диаграмма и момент СД с неявнополюсным ротором..... | 25 |
| 4.1.4 Уравнения равновесия статора СДПМ..... | 26 |
| 4.1.5 Модель электромагнитных процессов СДПМ | 28 |
| 4.1.6 Модель СДПМ в SimInTech..... | 29 |
| 4.2 Бесколлекторный электродвигатель постоянного тока (БДПТ) | 30 |
| 4.2.1 Конструкция и принцип работы БДПТ..... | 31 |
| 4.2.2 Уравнения равновесия статорных обмоток в системе ABC | 31 |
| 4.2.3 Вывод формулы для расчета электромагнитного момента..... | 36 |
| 4.2.4 Датчик положения ротора (ДПР) | 37 |
| 4.2.5 Модель БДПТ в SimInTech..... | 37 |
| 4.3 Модель синхронного двигателя в системе ABC | 38 |

| | |
|---|-----------|
| 4.4 Асинхронный двигатель (АД)..... | 40 |
| 4.4.1 Схема замещения асинхронного двигателя | 40 |
| 4.4.2 Векторная диаграмма асинхронного двигателя | 41 |
| 4.4.3 Уравнения равновесия статора и ротора | 43 |
| 4.4.4 Момент асинхронного двигателя | 44 |
| 4.4.5 Уравнения модели электромагнитных процессов | 45 |
| 4.4.6 Модель АД в SimInTech | 48 |
| 5. Широтно-импульсная модуляция..... | 49 |
| 5.1 Некоторые алгоритмы ШИМ..... | 52 |
| 5.1.1 Синусная ШИМ..... | 52 |
| 5.1.2 Алгоритмы ШИМ с полным использованием напряжения | 54 |
| 5.1.3 Немного о векторных алгоритмах ШИМ..... | 58 |
| 5.2 Рекомендуемые алгоритмы ШИМ | 59 |
| 6. Векторные системы управления моментом СДПМ и АД | 60 |
| 6.1 Контур тока статора в осях dq | 60 |
| 6.1.1 Структура контура тока | 60 |
| 6.1.2 Блок компенсации перекрестных связей СДПМ | 61 |
| 6.1.3 Блок компенсации перекрестных связей АД..... | 63 |
| 6.1.4 Вычислитель скорости..... | 64 |
| 6.1.5 Ограничитель напряжения в осях dq | 64 |
| 6.2 Управление моментом СДПМ (невнополюсный ротор)..... | 65 |
| 6.3 Управление моментом АД ($\psi_R = const$)..... | 67 |
| 6.3.1 Связь между моментом и скоростью скольжения | 68 |
| 6.3.2 Намагничивающая составляющая тока статора | 69 |
| 6.3.3 Моментобразующая составляющая статорного тока | 69 |
| 6.3.4 Выбор потока ротора | 70 |
| 6.3.5 Структура системы управления моментом | 72 |
| 7. Управление моментом БДПТ | 76 |
| 7.1 Самосинхронизация | 76 |
| 7.2 Структура системы управления моментом..... | 78 |
| 8. Управление скоростью | 81 |
| 9. Управление положением..... | 82 |
| 9.1 Трехконтурная структура | 82 |
| 9.2 Двухконтурная структура..... | 83 |
| 9.3 Формирователь траектории | 84 |

| | |
|--|-----------|
| 10. Пакетное построение моделей | 88 |
| 10.1 Модель непрерывной части электропривода | 88 |
| 10.2 Модель дискретной части (программы управляющего контроллера) | 89 |
| 10.3 Связь проектов модели | 89 |
| 10.4 Нормализация (переход к относительным единицам) | 89 |
| 10.5 Интерфейсные блоки и их модели | 89 |
| 10.5.1 Аналоговые датчики в SimInTech | 90 |
| 10.5.2 Цифровые датчики в SimInTech | 90 |
| 10.5.3 Блоки АЦП | 91 |
| 10.5.4 Блок нормализации | 91 |
| 10.6 Пример пакета проекта модели | 92 |
| 10.6.1 Модель дискретной системы управления | 92 |
| 10.6.2 Модель непрерывной части электропривода | 93 |
| 10.6.3 Совместная работа моделей в пакете | 94 |
| Список литературы | 96 |

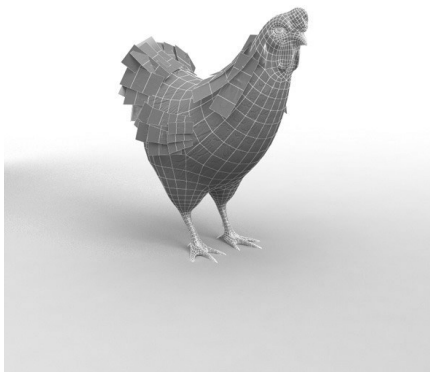
1

Предисловие

В давние времена мною, тогда студентом МВТУ, на лекции по автоматике была услышана следующая фраза: «Чтобы создать точную модель курицы, надо создать курицу». Она была приписана нашим лектором основоположнику кибернетики Норберту Винеру. Сказал это Винер или нет – ручаться не могу, но фраза в душу запала.

Работая впоследствии в области проектирования электроприводов, эту фразу я обычно произносил в полемике с приверженцами моделирования, обосновывая бесполезность их усилий неточностью используемых моделей. Сам же я долгое время оставался сторонником экспериментального исследования и оптимизации спроектированных и реально изготовленных систем. Надо заметить, однако, что путь эксперимента весьма небыстр и тернист. Он напоминает хождение по темному лабиринту, на полу которого разложены грабли с сучковатыми ручками. В лабиринте темно, и единственным источником света являются искры из глаз, возникающие при ударе граблями по лбу.

И вот искры очередного удара вызвали просветление, в результате которого стало ясно, что в современном мире наконец появились программы, позволяющие создать «почти курицу». Например, SimInTech.



Симинтек (SimInTech) – российская среда создания математических моделей, алгоритмов управления, интерфейсов управления и автоматической генерации кода для программируемых контроллеров.

История данной среды началась в 90-х годах прошлого века в МВТУ. Это не компиляция западных аналогов, а прямой их конкурент – со своими корнями, оригинальными подходами и богатым послужным списком.

1.1 РАЗДЕЛ «ЭЛЕКТРОПРИВОД» СРЕДЫ SIMINTECH

Данный раздел создан в помощь проектировщикам электроприводов.

Совместно с библиотеками, позволяющими моделировать автоматизацию, электрику, механику и т. д., раздел дает возможность создавать модели электроприводов, включающие в себя:

- систему управления
- силовой преобразователь
- двигатель
- элементы механики (различные передачи).

Важной особенностью нашей программы является возможность разделения модели электропривода на непрерывную и дискретную части.

К непрерывной части модели относятся модели силового преобразователя, двигателя, элементов механики и нагрузки.

Дискретная часть состоит из модели управляющего алгоритма, который в реальности обычно выполняется цифровым контроллером. Работа этого контроллера характеризуется дискретностью по времени и уровню.

Непрерывная и дискретная части системы могут моделироваться с разным шагом и даже с разными способами счета, при этом осуществляется их синхронизация. Такой подход к построению модели позволяет максимально точно моделировать поведение системы с учетом дискретности управления.

1.1.1 Кодогенерация

Инструмент генерации кода в SimInTech дает возможность автоматически транслировать модель алгоритма управления в текст программы процессора – управляющего контроллера на языке СИ.

Отмечу, что на уровне СИ-текста полученная программа открыта для пользователя, и он имеет возможность вносить изменения в элементы сгенерированного проекта.

1.1.2 Состав раздела

При создании раздела мы рассмотрели наиболее интересные и перспективные виды электропривода. Это векторно-регулируемые электроприводы переменного тока (синхронные и асинхронные), а также электропривод с бесколлекторным двигателем постоянного тока.

Системы управления всех этих электроприводов строятся по определенным структурным схемам с конечным количеством вариантов. Кроме того, можно выделить типовые блоки, из которых данные структуры состоят. Модели этих типовых блоков и составляют содержание разработанного нами раздела.

Раздел состоит из пяти подразделов:

1) «ЭП» – электропривод

В данном подразделе помещены стандартные узлы, которые могут применяться в любом электроприводе, независимо от типа двигателя. Например: трехфазный мостовой инвертор, ПИ-регулятор, преобразователи координат, узлы ШИМ и т. д.

2) «АД» – асинхронный двигатель

В этом подразделе находятся элементы, из которых можно строить различные структуры векторно-управляемых электроприводов с асинхронным двигателем (АД). Например, это модель самого двигателя, блок компенсации перекрестных связей и т. д.

3) «СД» – синхронный двигатель

В этом подразделе находятся элементы, из которых можно строить различные структуры векторно-управляемых электроприводов с синхронным двигателем с постоянными магнитами на роторе (СД).

4) «БДПТ» – бесколлекторный двигатель постоянного тока

В этом подразделе находятся элементы, из которых можно строить синхронные электроприводы с бесколлекторным двигателем постоянного тока (БДПТ).

5) Демо (электроприводы)

В данном подразделе приведены примеры построения моделей электроприводов на базе элементов раздела.

1.1.3 Функции раздела

- Моделирование и настройка модели электропривода (позволяет оценить правильность алгоритмов управления и осуществить предварительную настройку параметров проектируемого электропривода).
- Автоматическая генерация программы управляющего контроллера (позволяет автоматически транслировать модель алгоритма управления в текст программы процессора – управляющего контроллера на языке СИ).
- Полунатурное моделирование.

Под полунатурным моделированием понимается наличие возможности совместной работы части модели с реальными узлами электропривода. Например, модели двигателя и нагрузки – с реальным управляющим контроллером.

Данный вид моделирования позволяет оценить качество выполнения алгоритма управления контроллером и уточнить параметры настройки системы.

Использование упомянутых выше функций может существенно снизить время разработки системы электропривода с одновременным повышением ее качества.

1.1.4 Преимущества использования

- Ускорение процесса проектирования изделий и более глубокая проработка вариантов рабочих и нестандартных ситуаций.
- Написание программы на языке СИ можно заменить построением системы в среде моделирования.
- Автоматическое создание документации на программу и, соответственно, сохранение преемственности при исчезновении (как это иногда бывает) программиста.

1.2 О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ

АВТОМАТИЧЕСКОЙ КОДОГЕНЕРАЦИИ

В необходимости моделирования сейчас убеждать никого не надо. Однако среди специалистов продолжается полемика по поводу целесообразности автоматической кодогенерации программы управляющего контроллера.

Аргументы критиков этого подхода сводятся в целом к двум тезисам, представленным ниже:

- не может глупая машина из картинке сгенерировать оптимальный по объему и быстродействию СИ-текст программы – это можно сделать только руками
- модель сложного электропривода со всеми защитами, интерфейсами и прочими наворотами превратится в нечитаемые каракули.

Ну что же, если доводить до абсурда, то сторонникам первого тезиса я посоветую написать программу прямо в кодах или хотя бы на ассемблере. Именно в этом случае программа будет оптимальна. Только ведь они откажутся.

Тем, кого пугают каракули, советую правильно иерархически структурировать систему, и проблем не будет.

Ну а если без крайностей, то автоматическая кодогенерация не отменяет программиста, а дает ему в руки инструмент, существенно облегчающий его работу. Где этот инструмент применить, а где нет – надо решать по месту.

Призываю коллег-оппонентов не стоять на пути прогресса и не отрицать, что скоро программы будут писаться другими программами ... –

диалектика, ...псс...

1.3 ПРЕЖДЕ ЧЕМ ЧИТАТЬ ДАЛЬШЕ...

- Приведенная ниже в данном сочинении информация является инструкцией по пониманию основных принципов построения систем электроприводов переменного тока и их моделей в среде SimInTech.
- Для того чтобы все было понятно, читайте материал по порядку.
- Для правильного использования библиотеки «Электроприводы», кроме нижеприведенного материала, обязательно читайте краткие пояснения «HELP» об элементах (двойной щелчок по элементу левой кнопкой мыши и знак «?» слева внизу).
- Ну и, конечно, надо знать общие правила работы в среде SimInTech.
- Часть материала взята автором из предыдущих книг.

***С наилучшими пожеланиями
читателю,
Ю. Н. Калачёв***