

Оглавление

1	ПРЕДИСЛОВИЕ	5
2	Почему же всё-таки <i>SimInTech</i>.....	5
3	Этапы проектирования	6
4	Выбор двигателя.....	7
5	Механическая передача.....	8
6	Структура силового преобразователя	9
6.1	Выпрямитель	10
6.1.1	Диодный выпрямитель	10
6.1.2	Выпрямители с рекуперацией энергии	11
6.2	Звено постоянного тока	13
6.2.1	Силовой фильтр	13
6.2.2	Ограничитель зарядного тока.....	14
6.2.3	Гаситель энергии торможения.....	14
6.3	Мостовой трёхфазный инвертор	15
6.3.1	Силовые ключи	16
6.3.2	Драйверы.....	17
6.3.3	Снабберные конденсаторы	19
6.4	Фильтры	20
6.5	Датчики	21
7	Конструкция преобразователя	21
7.1	Силовой блок	21
7.2	Система управления	24
7.3	Раскладка проводов	24
7.4	Три совета начинающему конструктору (<i>наболело</i>).....	24
8	Структура системы управления.....	25

9	Выбор микроконтроллера	27
9.1.1	Требования к архитектуре микроконтроллера	27
9.1.2	Программные циклы контуров регулирования.....	27
9.1.3	Прерывания	29
9.1.4	Структура цикла программы управления.....	30
9.1.5	Рекомендации по выбору микроконтроллера.....	32
10	Синтез модели привода	33
10.1	Стандартная библиотека «Электропривод»	33
10.1.1	Модели двигателей и механической передачи	33
10.1.2	Элементы силовой схемы	36
10.1.3	Элементы системы управления.....	37
10.2	Структура модели	38
10.2.1	Модель исполнительной части привода.....	39
10.2.2	Модель СУ.....	39
10.3	Пример модели привода	40
11	Кодогенерация	43
11.1	Специализированная библиотека «Электропривод» ..	45
11.2	Инициализация микроконтроллера	48
11.3	Сервисные функции привода	54
11.4	Последовательный интерфейс.....	56
11.5	Преобразование модели в текст программы	60
11.5.1	Настройка кодогенератора	60
11.5.2	Кодогенерация	61
11.6	Компиляция и зашивка программы	61
11.7	Отладка программы	65
11.8	Как создать свой собственный блок	66
12	Краткое послесловие	70
	Список литературы	70

Тот Боян, исполнен дивных сил,
Пристипая к вещему напеву,
Серым волком по полю кружил,
Как орёл, под облаком парил,
Растекался мыслито по древу.

Н. Заболоцкий

1 ПРЕДИСЛОВИЕ

Здесь авторы не хотят, подобно вещему Бояну, «растекаться мыслию по древу».

На то есть много разных теоретически и дидактически правильных учебников...

Эту книжку можно рассматривать как продолжение книги «Основы регулируемого электропривода» Ю. Н. Калачёва и Д. В. Самохвалова, так как она посвящена практической реализации описанных там принципов.

Будем считать, что с основами электропривода читатель знаком, и перейдём непосредственно к практике его проектирования, а поможет нам в этом среда *SimInTech*.

Это отечественная программная среда, позволяющая моделировать и проектировать различные устройства, в том числе и электроприводы.

«А почему, например, не *Simulink*?» - спросите вы, и мы вам ответим: <Потому что ...!>

2 Почему же всё-таки *SimInTech*

Хватит жить чужим умом - мы предлагаем отечественный софт, который по ряду показателей превосходит зарубежные аналоги.

А тулбокс «Электропривод» *SimInTech* спроектирован разработчиками электроприводов себе же в помощь, именно так, как удобно самим этим разработчикам ... Более того, он и проектировался в процессе конкретных работ.

Очень интересным, на наш взгляд, является и практический опыт кодогенерации программы контроллера электропривода, описанный в данной книге.

А ещё разработчики среды *SimInTech* вполне адекватные и доступные люди, которые всегда готовы ответить на любой вопрос пользователя, и это действительно важно.

Также среди преимуществ *SimInTech* стоит упомянуть скорость счёта моделей и «лёгкость» среды с точки зрения требований к «железу».

3 Этапы проектирования

Любое проектирование начинается с анализа и корректировки технического задания (ТЗ).

Этот очень ответственный этап, так как часто изменить что-то после утверждения ТЗ уже невозможно.

На этом этапе работы необходимо согласовать с заказчиком требования к изделию, которые, с одной стороны, удовлетворят его желания, а с другой, будут реалистичны, как со стороны технической реализации, так и со стороны других немаловажных аспектов:

- финансов
- сроков разработки
- оборудования для испытаний
- сопроводительной документации
- сертификации
- и т.д.

В утверждённом ТЗ предварительно определяются такие параметры привода как напряжение питания и ток потребления, номинальная и максимальная мощность, момент или усилие на рабочем органе привода, КПД системы и т.д.

Следующий этап разработки – создание функциональной схемы привода. На этом этапе определяются тип и структура входящих в привод основных функциональных блоков, таких как:

- электродвигатель (тип, характеристики)
- силовой блок (тип и структура)
- датчиков (типы и варианты установки)
- система управления (структура).

Ну а далее - проработка принципиальных схем, разводка печатных плат, написание программ управления и связи, изготовление, испытания и ... исправление ошибок, снова испытания и т.д.

Наш путь тернист, и на нём часто возникают непредвиденные материальные и временные затраты, например, на реанимацию, или (не дай Бог) реинкарнацию взорвавшихся узлов ...

А начальство недовольно, оно-то думает: *«Чего там сложного – битики перещёлкивать?!!!»*.

Вот тут нам может здорово помочь моделирование. Оно позволяет обнаружить ошибки на ранних стадиях проектирования, не доводя до испытаний (и взрывов).

4 Выбор двигателя

Важными факторами при выборе типа двигателя являются его масса, габариты, КПД и стоимость.

Если говорить о двигателях переменного тока, то самыми дешёвыми являются асинхронные двигатели (далее АД).

Однако самый высокий КПД имеют синхронные двигатели с постоянными магнитами (далее СДПМ). Они же имеют лучшие массогабаритные показатели.

Тип выбираемого двигателя определяется тем фактором, который в конкретном случае важнее.

Основными требованиями, предъявляемыми к любому типу двигателя, являются:

- мощность
- момент
- рабочие скорости вращения

Идеальным является тот случай, когда двигатель специально проектируется под сформулированные в Т.З. на привод требования. Однако чаще бывает по-другому. Проектировщику приходится использовать уже существующие доступные двигатели, которые не всегда идеальны для решения поставленной задачи.

Однако чудес не бывает, как бы этого ни хотелось не очень компетентным начальникам.

Если требуется, например, высокая динамика и точность, глубокое регулирование с минимальными пульсациями момента, то, скорее всего, надо применять дорогой СДПМ с синусоидальной ЭДС.

А если требования к пульсациям момента не так строги, то можно применить и более дешёвый синхронный двигатель с трапецеидальной ЭДС.

Если требования к массе и габаритам позволяют, то можно использовать и асинхронный двигатель.

В некоторых случаях, при небольшой требуемой мощности и мало изменяющемся моменте нагрузки, идеальным выбором является шаговый двигатель.

Что касается двигателей постоянного тока, то их мы здесь не рассматриваем в силу того, что они, вследствие капризности щёточно-коллекторного механизма и дороговизны, применяются достаточно редко в основном – по старой памяти.

5 Механическая передача

Смысл использования механической передачи, как правило, заключается в повышении момента за счёт снижения скорости, ну и/или в преобразовании вращательного движения в возвратно-поступательное.

Наличие механической передачи в приводе предполагает сопутствующие неприятности: люфты, упругости, снижение КПД, необходимость дополнительного обслуживания (смазка).

Эти неприятности увеличивают стоимость привода, снижают его надёжность, точность и быстродействие.

Однако в некоторых случаях без редуктора не обойтись.

Например, при одинаковом моменте маломощный высокоскоростной двигатель с понижающим редуктором может иметь значительно меньшие габариты и массу, чем двигатель с большим количеством пар полюсов.

На больших мощностях картина часто обратная. Высокомомментный многополюсный двигатель может быть в несколько раз меньше, легче и дешевле, чем, например, 50-герцовый двигатель с понижающим редуктором, обеспечивающим нужную скорость и момент.



Выбор механической передачи (или её исключение за счёт выбора соответствующего двигателя) – это вопрос оптимизации структуры конкретного привода, при решении которого необходимо учитывать все требования соответствующего ТЗ.

6 Структура силового преобразователя

Питание силового преобразователя электропривода может осуществляться от источника постоянного напряжения (например, аккумулятора) или от внешней сети переменного тока.

Общий вид структуры преобразователя при питании от внешней сети переменного тока приведён на Рис. 6.1.

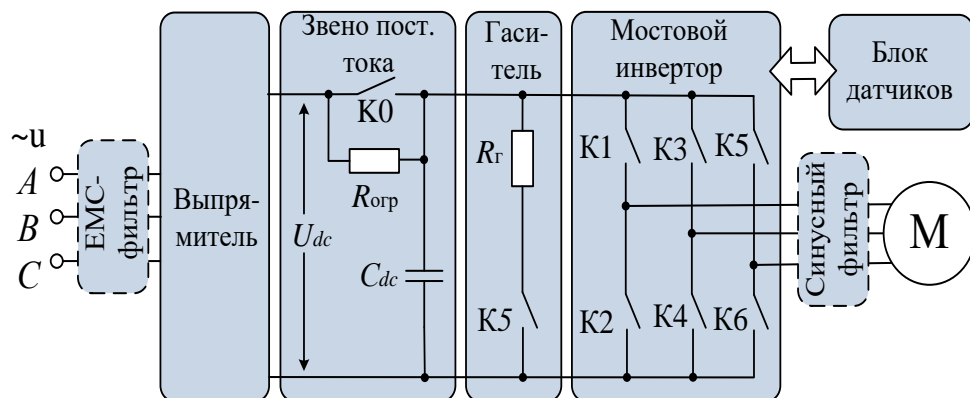


Рис. 6.1

Рассмотрим структуру преобразователя более подробно.

В его состав входят:

- выпрямитель
- звено постоянного тока
- гаситель энергии торможения
- мостовой инвертор
- датчики
- при необходимости фильтры (EMC и синусный).

В зависимости от требований ТЗ структура силового преобразователя может меняться. Например, при питании от сети постоянного тока не понадобится выпрямитель, а если привод работает только в двигательном режиме, то и тормоз-гаситель не нужен.

При работе привода от аккумуляторной батареи также можно отказаться от гасителя, обеспечив при торможении режим рекуперации энергии в батарею.

На малых мощностях или при отсутствии соответствующих требований ТЗ не используют и входные/выходные фильтры.

6.1 Выпрямитель

6.1.1 Диодный выпрямитель

Самым простым является диодный выпрямитель, однофазный или трёхфазный.

Важно помнить, что при работе диодного выпрямителя на конденсатор звена постоянного тока (C_{dc} на Рис. 6.1) токи фаз силовой сети носят ярко выраженный импульсный характер. Эти токи могут по амплитуде во много раз превосходить средний ток, потребляемый инвертором электропривода. Такой характер потребления может плохо сказываться на форме питающего напряжения – создавать в сети дополнительные гармоники.

Дабы несколько сгладить этот неприятный эффект, иногда применяют три дросселя, которые устанавливают в фазы перед выпрямителем, или один дроссель, между выпрямителем и фильтром звена постоянного тока (см. Рис. 6.2).

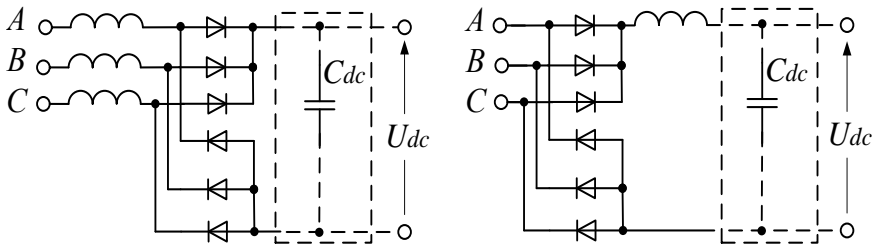


Рис.6.2

Диоды выпрямителя выбираются с учётом работы в импульсном режиме, с хорошим запасом по току. Величину импульсного тока можно оценить аналитически или более точно получить на модели.

Обычно заказчик указывает в ТЗ ссылку на стандарты, которым должно соответствовать разрабатываемое устройство. Например, современный стандарт IEC-1000-3-2 налагает жёсткие ограничения на уровень гармоник, создаваемых в сети электропитания любыми устройствами мощностью свыше 75 Вт.

Дроссели на Рис. 6.2 немного уменьшают уровень высших гармоник тока и напряжения сети, но не решают проблему радикально, так как для хорошего сглаживания они должны иметь достаточно большую индуктивность, что часто приводит к недопустимому возрастанию их габаритов, веса и стоимости.

Соблюдя требования стандарта помогают различные схемы корректоров мощности.

БОЛЕЕ ПОДРОБНО о корректорах мощности можно почитать в книге: В. Милешин, Д. Овчинников, Управление транзисторными преобразователями электроэнергии, Техносфера, Москва 2011.

К корректорам мощности можно отнести и активный выпрямитель, который, кроме снижения уровня гармоник, ещё обеспечивает и рекуперацию энергии. О нём речь пойдёт далее.

6.1.2 Выпрямители с рекуперацией энергии

Активный выпрямитель обеспечивает активный характер тока сети по отношению к её напряжению, что идеально с точки зрения минимизации уровня гармоник, возникающих в сети при выпрямлении.

Кроме того, с помощью этого устройства энергию генераторного торможения двигателя можно отдавать обратно в силовую сеть (рекуперировать). Структуру выпрямителя поясняет Рис. 6.3.

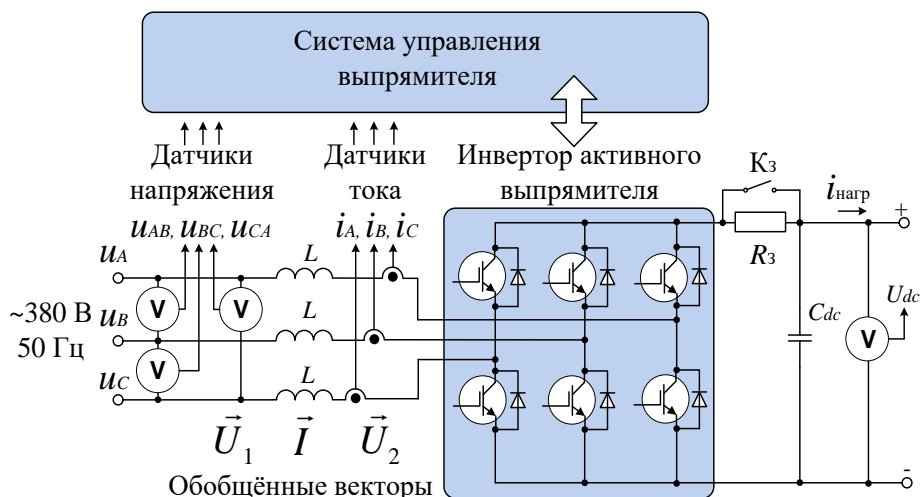


Рис. 6.3

Состоит активный выпрямитель из мостового инвертора, подключаемого к сети через дроссели (см. Рис. 6.3) и системы управления.

При включении выпрямителя инвертор, работающий в режиме повышающего преобразователя, заряжает ёмкость C_{dc} до напряжения U_{dc} , величина которого несколько выше амплитуды питающего напряжения сети.

После этого U_{dc} можно рассматривать как источник напряжения, из которого инвертор с помощью ШИМ способен формировать трёхфазные напряжения различной амплитуды и фазы относительно нулевой (средней) точки силовой сети.

На Рис. 6.3 вектор напряжения сети имеет обозначение \vec{U}_1 , а \vec{I} и \vec{U}_2 – это вектор тока трёхфазного дросселя и вектор напряжения, формируемого инвертором.

ПОДРОБНО об обобщённых пространственных векторах читайте в разделе 4 книги «Основы регулируемого электропривода» Ю. Н. Калачёва и Д. В. Самохвалова.

Измеряя фазу вектора силовой сети (\vec{U}_1) и управляя с помощью инвертора с ШИМ фазой вектора \vec{U}_2 , можно менять фазу вектора тока дросселей \vec{I} относительно \vec{U}_1 . А управляя амплитудой вектора \vec{U}_2 , можно менять амплитуду \vec{I} , поддерживая постоянным напряжение U_{dc} .

Таким образом, можно обеспечить синфазность векторов \vec{U}_1 и \vec{I} при потреблении энергии из сети или их противофазность при передаче энергии в сеть, что и соответствует активному режиму обмена энергией между преобразователем и сетью.

Заметим, что возможность передачи энергии в сеть обеспечивается тем, что, как уже было сказано, поддерживаемое U_{dc} несколько превышает амплитуду напряжения сети.

За счёт повышения тактовой частоты ШИМ в схеме выпрямителя удаётся снизить индуктивность, а следовательно, массу и габариты дросселей при обеспечении синусоидальной формы токов фаз и малых токовых ШИМ-пульсациях.

Кроме активного выпрямителя для рекуперации энергии в преобразователях иногда применяются тиристорные выпрямители. Они, как и активный выпрямитель, могут обеспечить плавный заряд фильтра и рекуперацию, однако не обеспечивают активного характера обмена энергией с сетью.

БОЛЕЕ ПОДРОБНО:

- принципы работы активного выпрямителя описаны в книжке: Ю. Н. Калачёв, Д. В. Самохвалов, «Основы регулируемого электропривода (Антиучебник)», ДМК Пресс, раздел 8.
- о тиристорных выпрямителях можно почитать в старой, но хорошей книжке: В. И. Преображенский, «Полупроводниковые выпрямители», второе издание, переработанное и дополненное, Москва, Энергоатомиздат, 1986, разделы 3, 4, 5.

6.2 Звено постоянного тока

Звено постоянного тока состоит из силового конденсаторного фильтра и ограничителя зарядного тока.

При необходимости в его состав входит также гаситель энергии генераторного торможения.

6.2.1 Силовой фильтр

В качестве конденсаторов фильтра в звене постоянного тока обычно применяются электролитические или плёночные конденсаторы большой ёмкости.

К выбору этих конденсаторов надо подходить осознанно.

Электролиты надо использовать только специализированные (импульсные), с низким эквивалентным последовательным сопротивлением (*ESR*). В них меньше потерь. Например, отечественные серии К50-84 или импортные *EPCOS* серии *B43509*.

Потери в плёночных конденсаторах, по сравнению с электролитами, существенно меньше.

Допустимое напряжение конденсаторов фильтра выбирается с некоторым запасом, исходя из максимально возможного напряжения питающей сети и возможного повышения U_{dc} при генераторном торможении двигателя.

Кроме допустимого напряжения, важнейшим параметром для выбора конденсатора является допустимое среднеквадратичное значение его тока (I_{rms}), которое обычно приводится в справочных данных.

В двигательном режиме работы привода конденсатор заряжается через выпрямитель и разряжается в инвертор. При этом значение I_{rms} сильно зависит от формы тока через конденсатор и рассчитать его аналитически затруднительно.

Хорошим инструментом в выборе ёмкости фильтра является модель привода. При этом среднеквадратичное значение тока фильтрующего конденсатора в модели можно оценивать на периоде питающей силовой сети.

При одинаковой ёмкости значение допустимого I_{rms} плёночных конденсаторов в разы выше, чем у электролитических.

В последнее время, в силу лучших частотных свойств, в приводах, особенно мощных, в фильтре звена постоянного тока чаще применяются плёночные конденсаторы, хотя они несколько дороже электролитов.

6.2.2 Ограничитель зарядного тока

Ток заряда силового фильтра, возникающий в момент подключения преобразователя к силовой сети, надо ограничивать, как минимум, на уровне допустимых ударных токов диодов выпрямителя.

При мощностях свыше одного киловатта в качестве ограничителя зарядного тока обычно применяется контактор (иногда твердотельное реле) с запараллеленным зарядным резистором ($K0$ и $R_{огр}$ на Рис. 6.1).

В момент подключения преобразователя к сети ток заряда конденсатора C_{dc} ограничивается величиной резистора $R_{огр}$. После завершения заряда ключ $K0$ замыкается.

Требуемую мощность рассеяния резистора можно посчитать аналитически, а можно оценить при моделировании. Для обеспечения некоторого запаса по мощности резистор обычно рассчитывают на несколько непрерывных циклов заряда/разряда ёмкости фильтра.



При небольших мощностях привода (до сотен Вт) иногда отказываются от контактора, а для ограничения зарядного тока применяют термисторы (NTC) – резисторы, которые резко уменьшают своё сопротивление при нагревании. Термистор включается вме-

сто сопротивления $R_{огр}$ между выпрямителем и фильтром. В момент подключения преобразователя к сети термистор холодный и величина его сопротивления ограничивает зарядный ток. В дальнейшем при работе привода происходит нагрев термистора, его сопротивление уменьшается, и он перестаёт существенно влиять на работу преобразователя.

6.2.3 Гаситель энергии торможения

Ключ $K5$ на Рис. 6.1 обеспечивает рассеяние энергии в случае перехода двигателя в генераторный режим, например, при торможении.

Генерируемая при этом электрическая энергия передаётся в конденсатор фильтра, диоды выпрямителя закрываются, и начинается рост U_{dc} . При достижении этим напряжением заданного порога включается ключ $K5$ и происходит разряд конденсатора через балластный резистор $R_{г}$.

Выключение $K5$ должно происходить с некоторым гистерезисом относительно включения, иначе может начаться высокочастотный процесс переключения ключа $K5$, приводящий к выходу его из строя.

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru