

НЕКОТОРЫЕ ПОДХОДЫ К УПРАВЛЕНИЮ СИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ

Широкое применение синхронных двигателей с постоянными магнитами (СДПМ) основывается преимуществами, такими как высокая эффективность КПД и высокая удельная мощность [1]. Рассматриваются некоторые техники управления СДПМ, а также современные способы управления, как управление с прогнозирующими моделями (МРС).

В настоящее время наблюдается расширение области применения синхронных двигателей с постоянными магнитами (СДПМ). Это объясняется важными преимуществами, такими как высокая эффективность КПД и высокая удельная мощность [1]. Главное отличие между синхронным двигателем с постоянными магнитами (СДПМ) и асинхронным электродвигателем заключается в роторе. Проведенные исследования [2] показывают, что СДПМ имеет КПД примерно на 2 % больше, чем высокоэффективный асинхронный электродвигатель, где для управления используется один и тот же частотный преобразователь, а статор имеет одинаковую конструкцию.

Управление синхронными двигателями с постоянными магнитами реализуется с использованием частотных преобразователей и сервоконтроллеров. На рисунке 1 показано техники управления синхронными двигателями с постоянными магнитами.

Для решения несложных задач обычно используется трапецидальное управление по датчикам Холла (например - компьютерные вентиляторы). Для решения задач, которые требуют максимальных характеристик от электропривода, обычно выбирается векторное управление [3].

Скалярное управление отличается простотой и дешевизной. При низких скоростях вращения и переменной нагрузке на валу, такой метод не подходит. При превышении нагрузки предельного момента силы на валу, электрическая машина выходит из синхронного режима и становится неуправляемой.

Скалярный метод управления электродвигателем переменного тока, заключается в том, чтобы поддерживать постоянным отношение напряжение/частота (U/f) во всем рабочем диапазоне скоростей, при этом контролируется только величина и частота питающего напряжения.

Отношение U/f вычисляется на основе номинальных значений (напряжения и частоты) контролируемого электродвигателя переменного тока. Поддерживая постоянным значение отношения U/f мы можем поддерживать относительно постоянным магнитный поток в зазоре двигателя. Если отношение U/f увеличивается тогда электродвигатель становится перевозбуж-

денным и наоборот если отношение уменьшается двигатель находится в невозбужденном состоянии.

Векторное управление синхронным двигателем с постоянными магнитами реализуется 3 способами:

- Полеориентированное управление с датчиком положения позволяет осуществлять плавное регулирование частоты вращения и момента на валу, а также задавать точное положение ротора. В качестве датчиков применяются оптические, магнитные и магниторезистивные устройства, синусно-косинусные вращающиеся трансформаторы, индуктивные энкодеры и другие устройства. Такие схемы требуют наличия контроллеров и точной настройки. Их стоимость достаточно высока. Применять с датчиком положения векторного управления имеет смысл только в претенциозных электроприводах высокоточных станков, дозаторов и т.д.
- Полеориентированное управление синхронными машинами без датчика обратной связи. Принцип определения угла поворота ротора при таком методе основан на генерации электродвигателем противо ЭДС при вращении. Вычисление ее величины позволяет определить положение ротора в стационарной системе координат. Управление без датчика не подходит при невысоких скоростях вращения, так как величина обратной ЭДС слишком мала и не превышает уровень обычных электромагнитных шумов. Кроме того, при неподвижном роторе противо ЭДС не генерируется вовсе. Полеориентированное управление без датчика позволяет изменять характеристики электропривода СДПМ с явнополюсным ротором. При использовании синхронных машин другого типа диапазон регулировки сильно снижается. Для этой схемы необходим процессорный управляющий блок.
- Прямое управление моментом обеспечивает хорошие динамические характеристики электропривода и широкий диапазон регу-

лировки. Ограничивают ее применение значительная погрешность определения положения ротора и высокие пульсации тока статора и момента на валу. Кроме того, прямое управление создает высокую вычислительную нагрузку, для таких схем требуется мощное процессорное устройство [4].

Анализ работы [5] электропривода с синхронным двигателем с постоянными магнитами при прямом управлении моментом показал, что в динамических режимах электропривод с СДПМ хорошо отрабатывает управляющие и возмущающие воздействия за счёт использования релейных регуляторов момента и потокосцепления. В статических режимах работы большие пульсации момента ухудшают показатели качества регулирования системы. Уменьшить пульсации момента в электроприводе при прямом управлении моментом возможно путём увеличения тактовой частоты переключения вентилей инвертора, что в свою очередь ограничено ресурсами микропроцессора системы управления.

Существует несколько принципов управления СДПМ, где выбор схемы осуществляется исходя из требований к электроприводе и экономической целесообразности. Настоящее время широко используется векторное управление, так как имеет больше преимуществ, как плавная и точная установка положения ротора (при с датчиком положение) и скорости вращения двигателя, большой диапазон регулирования, хорошие динамические характеристики. Также существует несколько способы управления СДПМ, которые используются вместе с векторным или иным управлением (рис.2).

Робастное управление — совокупность методов теории управления, целью которых является синтез такого регулятора, который обеспечивал бы хорошее качество управления (к примеру, запасы устойчивости), если объект управления отличается от расчётного или его математическая модель неизвестна.

Изменение тех или иных свойств системы, в частности, изменение её запаса устойчивости, вызванное вариациями её параметров, называется чувствительностью системы. Системы, сохраняющие при всех возможных вариациях параметров необходимый запас устойчивости, получили название робастных. Обычно робастные контроллеры применяются для управления объектами с неизвестной или неполной математической моделью и объектами с неопределённостями [1]. Для проектирования робастных систем управления используются различные методы оптимального и робастного синтеза, среди которых синтез контроллеров в пространствах H [6].

Для дифференциального управление, учет только основных особенностей синхронного двигателя с постоянными магнитами, определяю-

щих его свойства, позволило получить в работе [7] относительно простые дифференциальные уравнения электромагнитных и механических процессов в нем. Для синхронного электродвигателя с постоянными магнитами на роторе выведены дифференциальные уравнения, в которых учитываются главные факторы, определяющие свойства машины, — зависимость электромагнитных процессов и вращающего момента от скорости и углового положения ротора.

Метод дифференциального управления, описанный в [8], позволяет снизить пульсации момента. Он основан на рассмотрении знаков производных электромагнитного момента и модуля вектора потокосцепления статора. Недостатком метода является ухудшение характеристик при работе с максимальным напряжением.

Другим способом управления является применение систем со скользящими режимами (Sliding Mode Systems). Особенность этих систем, принадлежащих к системам с переменной структурой, состоит в том, что знак управления меняется при пересечении так называемой поверхности скольжения, представляющей собой специальным образом составленное уравнение, в которое в качестве переменных входят переменные состояния объекта. Недостатками такого метода являются возможная потеря устойчивости на участке достижения поверхности переключения; высокочастотные переключения, которые ведут к быстрому износу механических и электрических частей привода; высокие требования к преобразователю [9].

Синтезированная синергетическая система управления синхронным двигателем удовлетворяет введенным инвариантам и с высокой точностью отрабатывает заданные технологические вставки. Принцип управления, совмещенный с идентификацией, позволяет обеспечить астатизм по скорости электродвигателя, то есть практически полную инвариантность к возмущениям нагрузки на его валу. Синергетический подход, в отличие от классических методов теории управления, позволяет осуществлять высокоэффективное, «не силовое» управление, согласующееся с существенно нелинейной и многосвязной структурой синхронного электропривода [10].

Нечеткое управление (fuzzy control) основано на понятиях нечеткой логики (fuzzy logic) и используется в системах управления сложными процессами. По аналогии с традиционными средствами управления системы на основе нечеткой логики могут использоваться для описания механизмов регулирования и участвовать в вычислении управляющего воздействия. Искусственная нейронная сеть является математической моделью, построенной по принципу организации и функционирования биологических нейронных сетей. Искусственные нейронные сети успешно используются в системах управле-

ния и регулирования, в том числе для настройки систем автоматического управления. Нечеткие нейронные сети (нейро-нечеткие системы) – это системы, которые комбинируют методы искусственных нейронных сетей и систем на нечеткой логике. Нейро-нечеткие системы являются комбинацией лингвистического стиля рассуждений нечетких систем с обучением и структурой нейронных сетей [11]. Главным недостатком применения нейросетевых и нечетких регуляторов является необходимость в большой вычислительной мощности, а также сложность алгоритмов.

Управление с прогнозирующими моделями (MPC).

В [12] работе представлено сравнение производительности шестифазного синхронного двигателя с постоянными магнитами на основе двух методов управления: непрерывного набора управления с прогнозирующей моделью (CCS-MPC) и конечного набора управления с прогнозирующей моделью (FCSMPC). Рассмотрены основные понятия, принципы работы систем управления синхронными двигателями с постоянными магнитами, исследованы их режимы работы для сравнения эффективности этих методов. Метод CCS-MPC впервые исследовано на имитационной модели синхронного двигателя с постоянными магнитами со сдвоенной трехфазной обмоткой, в отличие от ранее используемого метода управления FCS-MPC. Анализ полученных результатов показывает, что при использовании метода CCS-MPC точность управления переменными состояниями частотно-регулируемого электропривода выше, динамиче-

ские ошибки меньше, хотя быстродействие метода FCS-MPC выше.

Список литературы

1. Zhang Y., Xu D., Huang L. Generalized Multiple-Vector-Based Model Predictive Control for PMSM Drives // IEEE Transactions on Industrial Electronics. 2018.
2. Markus Lindegger. Economic viability, applications and limits of efficient permanent magnet motors.- Switzerland: Swiss Federal Office of Energy, 2009
3. Синхронный двигатель с постоянными магнитами - <https://engineering-solutions.ru>
4. Синхронный двигатель на постоянных магнитах своими руками - <https://avtika.ru/sinhronnyy-dvigatel-na-postoyannyh-magnitah-svoimi-rukami/>
5. Эль Вхаб А. Р. Моделирование и исследование электропривода на базе синхронного двигателя с постоянными магнитами при прямом управлении моментом
6. Робастное управления - <https://ru.wikipedia.org>
7. Коршунов А. Упрощенная математическая модель синхронного электродвигателя с возбуждением постоянными магнитами
8. В.Ф. Глазунов, В.В. Пикун, А.А. Репин, методика синтеза системы управления синхронным двигателем на основе синергетического подхода - «Вестник ИГ-ЭУ» Вып. 3, 2005 г.
9. Современные методы управления синхронными двигателями с постоянными магнитами - <http://www.orionmotor.narod.ru/privod4.htm>
10. Rvkin Sergey . Sliding mode for synchronous electric drive / Eduardo Palomar Lever–CRC Press–2011
11. А.Ю. Лабинский, С.А. Нефедьев, Е.Н. Бардулин. Использование нечеткой логики и нейронных сетей в системах автоматического управления
12. Рахим А. А., Кладиев С. Н., Саиди С. Имитационное исследование системы управления шестифазным синхронным двигателем с постоянными магнитами на основе прогнозирующей модели



Рис. 1 – Техники управления СДПМ



Рис. 2 – Некоторые способы управления СДПМ

Кашаганова Алтынай Узакбайевна, докторант кафедры САУ ЕНУ им. Л.Н.Гумилева
Научный руководитель: Сагнаева Сауле Кайроллиевна, кандидат ф.-м. н., доцент кафедры САУ ЕНУ им. Л.Н.Гумилева