# МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТИРИСТОРНОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА В СРЕДЕ MATLAB

***А.И. Волков; Я. Х. Каваре, асп.***

*СумГУ*

##### Как показано в [1], применение асинхронных электроприводов (АЭП) с тиристорным регулятором напряжения (ТРН) во многих случаях предпочтительно. К настоящему времени разработано множество алгоритмов управления такими электроприводами [2,3], но, не смотря на это, задача их исследования и поиск новых алгоритмов управления ими продолжают оставаться актуальными.

При анализе методов, применяемых для исследования АЭП с ТРН, приходится констатировать, что чисто аналитические методы дают довольно приближенные результаты, поскольку не позволяют учесть всей сложности протекающих в электроприводе процессов. Поэтому актуальным, на наш взгляд, является исследование таких электроприводов методами математического моделирования. В данной статье рассматриваются основные особенности построение модели АЭП с ТРН в широко распространенной среде MATLAB.

Модель электропривода состоит из набора основных и вспомогательных подсистем. Основными подсистемами являются: подсистема моделирования режимов работы асинхронного электродвигателя; подсистема моделирования ТРН; подсистема моделирования системы управления.

## СТРУКТУРА МОДЕЛИ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ, ПИТАЮЩЕГОСЯ ОТ ТИРИСТОРНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Моделирование двигателя при неизменной структуре силовой цепи не представляет существенной сложности. Достаточно, используя систему уравнений для трехфазного режима работы, например, [3], составить соответствующую структурную схему. Но при управлении АЭП от ТРН силовая цепь периодически меняет структуру и система уравнений претерпевает изменения [2]. Фактически необходимо составить четыре разных структурных схемы для моделирования четырёх разных режимов работы асинхронной машины (трехфазном и двухфазном). Наличие четырёх разных структурных схем существенно увеличивает размеры модели и, кроме этого, необходимо предусмотреть соответствующие переключения между отдельными моделями с сохранением предыдущих начальных условий, что затруднительно. Поэтому целесообразно составить одну структурную схему, предусмотрев в ней необходимые изменения и переключения между блоками.

Например, с целью моделирования АЭП при отключении фазы В используются уравнения, полученные для двухфазного режима [2]:

(1)

+

 (1)

где  - ЭДС фаз А и С сети; - токи статорных обмоток, подключенных к фазам А и С сети; - соответствующие токи ротора, приведенные к статору; - активное сопротивление, индуктивность рассеяния статора и взаимоиндукция статора и ротора;  - оператор дифференцирования.

Учитывая, что в таком двухфазном режиме , упростим (1), осуществив эту подстановку. В результате получим

. (2)

Аналогично описывается АЭП в двух других режимах двухфазной работі: при отключении фаз А и С. Модель АЭП построена как единая структура, а переключение режимов работы осуществляется с помощью стандартных в среде MATLAB блоков переключения – ключей Switch по сигналам состояния тиристоров, поступающих из подсистемы моделирования ТРН.

## МОДЕЛЬ ТИРИСТОРНОГО РЕГУЛЯТОРА НАПРЯЖЕНИЯ

Подсистема моделирования ТРН (рис. 1), как и реальный ТРН, состоит из шести моделей (блоков) тиристоров (блоки Th+ , Th-, Th+1 , Th-1, Th+ 2, Th-2). Каждая пара блоков моделирует пару встречно-параллельно включенных тиристоров, пропускающих соответственно положительную и отрицательную полуволну тока фаз А, В, С. Каждый из блоков (см. рис. 2) имеет два входа и один выход. На вход in\_1 каждого из блоков подается сигнал тока данной фазы с выхода модели асинхронного двигателя, а на вход in\_2 - управляющий импульс из подсистемы модели системы управления.



*Рисунок 1 – Підсистема моделирования ТРН*

Включение тиристора происходит при подаче на него управляющего импульса с устройства управления, однако в открытое состояние тиристор переходит, если через него протекает положительный по модулю и превышающий заданную величину ток (ток удержания). Блок «реле+1» служит для формирования единичного импульса на его выходе при наличии на входе положительной полуволны тока. Импульсы с обеих входов проходят через логический блок, выходная величина которого определяется таблицей истинности (табл. 1).

*Таблица 1*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| in\_1 | In\_2 | out\_1 |
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 1 |

Модель тиристора (рис.2), пропускающего отрицательную полуволну тока, имеет ту же структуру, что и вышеописанная модель, но блок «реле+1» формирует на выходе единицу в том случае, если на его входе отрицательная полуволна тока.



*Рисунок 2 – Модель тиристора*

Входы модели на рис. 1 предназначены для подключения следующих сигналов: in\_1, in\_5, in\_11 – токов в фазах А, В, С двигателя соответственно; in\_2, in\_6, in\_10 – ЭДС соответствующих фаз сети; in\_3, in\_4, in\_7, in\_8, in\_9, in\_12 – импульсов управления тиристорами, которые генерируются в подсистеме моделирования системы управления. На выходах out\_1, out\_3, out\_4 формируются напряжения, подаваемые на статорные обмотки двигателя, а на выходах out\_2, out\_5, out\_6 – логические сигналы, индуцирующие наличие этих напряжений. Эти сигналы предназначены для коммутаций модели двигателя в зависимости от режима – трехфазного, двухфазного или отключенного от сети.

Часть модели, состоящая из блоков 1, 2, 3 (внутренняя структура блоков приведена на рис. 3), логических элементов and27 - and32 и переключателей Switch13 – Switch15 предназначена для исключения физически нереального режима работы двигателя при подключении одной из его обмоток к фазе сети и отключенном состоянии двух других.



*Рисунок 3 - Внутренняя струк*

*тура блока наличия фазной ЭДС*

ПОДСИСТЕМА МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Подсистема моделирования системы управления (рис. 4) предназначена для формирования импульсов управления для моделей тиристоров подсистемы моделирования ТРН.

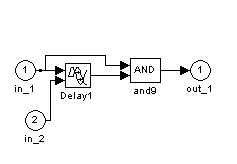


*Рисунок 4 - Подсистема моделирования системы управления*

Входы модели на рис. 4 предназначены для подключения следующих сигналов: in\_1, in\_2, in\_3 – синхронизирующих ЕДС фаз А, В, С сети (те же сигналы, что подаются на входы in\_2, in\_6, in\_10 модели на рис. 1); control – сигнала сдвига по фазе (задается в электрических градусах). На выходах out\_1 - out\_6 шестью одинаковыми блоками фазового регулирования (структура блоков представлена на рис. 5) формируются импульсы управления тиристорами, подаваемые на входы in\_3, in\_4, in\_7, in\_8, in\_9, in\_12 подсистемы моделирования ТРН.

В подсистеме на рис. 4 реализован принцип так называемого комбинированного квазичастотного управления [2], который заключается в том, что управляющие импульсы могут быть поданы на тиристоры тех фаз, знаки напряжений которых совпадают со знаками модулирующих напряжений. Источниками модулирующих напряжений в подсистеме являются блоки Ма, Мв, Мс1, выходными сигналами которых являются синусоиды с частотой, в n раз меньшей от частоты сети. Число n=1,2,3…, называется ступенью квазичастоты. Следует заметить, что, как показано в [2], наиболее эффективными с энергетической точки зрения являются ступени квазичастоты n=3(k-1)+1, где k=1,2,… т.е. при n=1,4,7 и т.д.

Таким образом, подсистема моделирования системы управления имеет два канала задания режима работы АЭП с ТРН: ступенчатое изменение n и плавное изменение угла регулирования (вход control) внутри выбранной ступени квазичастоты. При n=1 получаем модель АЭП с ТРН при традиционном фазовом регулировании напряжения статора АЭП.



*Рисунок 5 - Структура блока фазового управления*

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПРИМЕНЕНИЯ МОДЕЛИ АЭП С ТРН

Используя предлагаемое описание модели АЭП с ТРН, авторами были промоделированы режимы работы электроприводов с двигателями различных мощностей. Полученные результаты для статических режимов работы совпадают с данными, рассчитанными по формуляру, приведенному в [3], что является подтверждением правильности работы модели. Рассчитанные характеристики хорошо совпадают с паспортными данными двигателей серии 4А в области скольжений от нуля до критического. Как и следовало ожидать, пусковой момент рассчитанных механических характеристик двигателей получился меньше паспортного. Это связано с тем, что в модели не учтен эффект вытеснения тока в стержнях обмотки ротора. Моделирование характеристик АЭП с ТРН показало, что в установившемся режиме работы на различных ступенях квазичастоты наблюдаются существенные колебания развиваемого двигателем момента и соответственно скорости. Колебания скорости, естественно, зависят от приведенного к валу двигателя момента инерции механизма. Поэтому для определения области применимости квазичастотного способа управления АЭП следует провести дополнительные исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.И.Волков, Каваре Ясер Хусейн. Асинхронный энергосберегающий электропривод с тиристорным регулятором напряжения // Вісник СумДУ, 2002. - №12. – С.42-45.
2. Глазенко Т.А., Хрисанов В.И. Полупроводниковые системы импульсного асинхронного электропривода малой мощности. –Л. - Энергоатомиздат, 1983.
3. Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. Управление электроприводами. - Л.: Энергоиздат, 1982. - 392 с.

*Поступила в редакцию 13 октября 2003 г.*