

УДК 62-83:621.313.32

## **МАТРИЧНАЯ СТРУКТУРА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ С СИНХРОННОЙ РЕАКТИВНОЙ МАШИНОЙ НЕЗАВИСИМОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ**

*В.П. Мацин, Н.В. Савостеенко*

Дана классификация существующих структур управления электроприводами переменного тока. Приведены результаты экспериментальных исследований на опытных образцах электропривода. Синтез системы управления электроприводом проводился посредством анализа числа степеней свободы, которые понимались как количество независимых управляющих воздействий. Анализ возможностей систем управления электроприводов с СРМНВ выполнялся в сопоставлении с традиционными регулируемые асинхронными и синхронными электроприводами.

Ключевые слова: матричная структура СРМНВ, синтез математических моделей, синхронная реактивная машина независимого возбуждения.

В асинхронных электроприводах количество независимых управляющих воздействий равно двум. Для достижения высоких регулировочных показателей в системах векторного управления воздействуют на активную и реактивную составляющие тока. Такой подход создает иллюзию независимого управления полем возбуждения и активным током ротора.

При перегрузках усиливается влияние перекрестных связей, что вызвано увеличенным углом поворота вектора тока ротора относительно вектора магнитного потока и снижением электромагнитного момента в зоне критических скольжений. Это вызывает значительные погрешности в классической модели асинхронного электропривода [1–4].

В электроприводе с СРД, подключенном к промышленной сети, число степеней свободы такое же, как и в асинхронном электроприводе, а векторные схемы управления строят так, что контуры регулирования возбуждения и активной составляющей предполагаются независимыми [5]. Между тем, эти составляющие связаны друг с другом общим уравнением связи, которое диктуется синусоидальной формой результирующего тока, так что рассматривать эти составляющие как независимые воздействия нельзя.

В идеальном электроприводе с СРМНВ за счет многофазности линейную плотность тока можно задать вдоль расточки статора любой формы [6–10]. В работах Н. Weh это представлено как дополнительное «управление реакцией якоря». Данное обстоятельство можно трактовать как еще одну степень свободы, которая может эффективно использоваться при формировании управляющих воздействий в зоне перегрузок. Указанные рас-

суждения строятся из предположения, что электромеханический преобразователь имеет бесконечное число фаз, а источники тока являются идеальными (с бесконечно большой полосой равномерного пропускания частот).

В реальном электроприводе с СРМНВ статорные обмотки имеют некоторое количество взаимных магнитных связей и питаются от источников с ограниченной полосой равномерного пропускания частот. Фазные зоны статорных обмоток при конечном числе фаз конечные, и при вращении ротора часть обмотки одной из фаз может находиться в зоне возбуждения, а часть - в зоне якоря. Это несколько снижает возможности независимого управления полем возбуждения и полем реакции якоря [11, 12].

В электроприводе с СРМНВ каждая фаза питается от индивидуального источника тока. Современные полупроводниковые преобразователи имеют широкую полосу равномерного пропускания, которая ограничивается либо несущей частотой (если  $f_{\text{шим}} < 5$  кГц), либо быстродействием микропроцессорной системы управления (конечным временем выполнения одного скана). В любом случае частота среза в контуре регулирования тока оказывается очень высокой и достигает 1300 рад/с. Контур регулирования фазных токов выполняют роль внутренних корректирующих устройств и тем самым резко подавляют влияние межфазных связей.

Если в электроприводе зафиксировать токи статора и поворачивать ротор вокруг оси, то угловая характеристика (зависимость электромагнитного момента от угла поворота) будет иметь два периода на один электрический оборот. Если количество фаз ограничено, то система работает по огибающей угловых характеристик (рис. 1, кривая 2). Если принять число фаз в электрической машине  $f > 6$ , то можно считать что пульсации момента не превышают допустимый уровень.

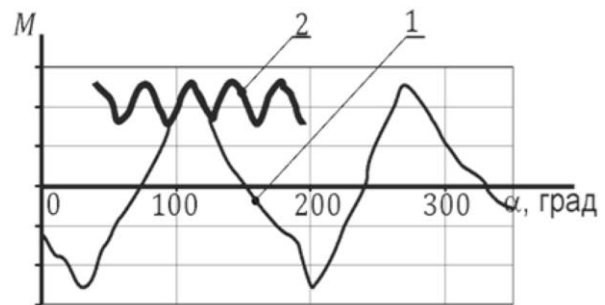


Рис. 1. Угловые характеристики СРМНВ (1), СРМНВ при переключении тока в функции угла поворота (2)

На рис. 2 представлена матричная структурная схема электропривода с СРМНВ. Основными управляющими воздействиями приняты составляющие тока статора  $I_{\text{ЗадЯ}}$ ,  $I_{\text{ЗадВ}}$ . Кроме того, матрицей **В** осуществляется регулируемое смещение вектора результирующего тока относительно углового положения ротора. Матрицей **М**, учитываются составляющие электромагнитного момента, которые создаются каждой из фаз в электрической машине, а в преобразователе  $T_{\text{г}}$  выполняется суммирование элементов матрицы **М**, результатом которого является электромагнитный момент двигателя  $M$ .

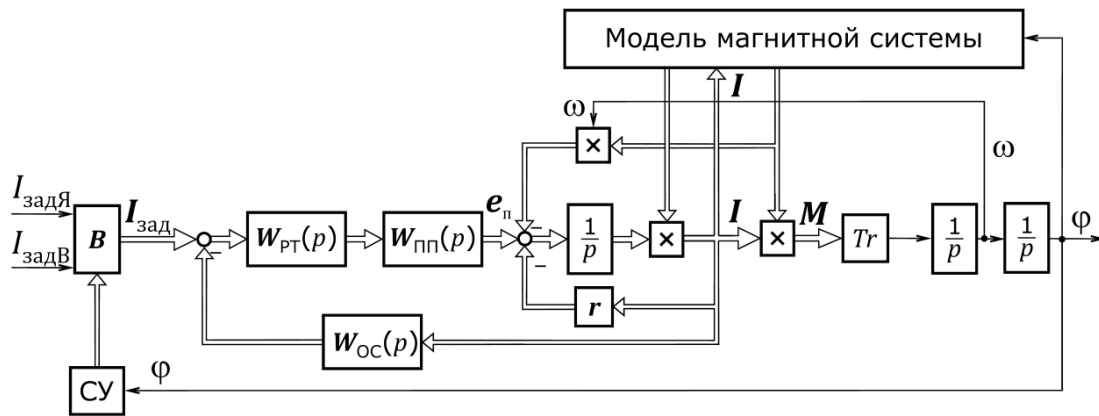


Рис. 2. Матричная структура системы управления электроприводом с СРМНВ

В электроприводах с СРМНВ, выполняемых по критерию минимальных затрат на компоненты электропривода, выгодно иметь стандартные трехфазные схемы силовых цепей. В этом случае при реализации предельных по быстродействию режимов новые качественные показатели дает схема управления с импульсно-векторным регулированием, более известная как схема с DTC-управлением, предложенная для асинхронных электроприводов. В схеме управления присутствует датчик положения ротора, который ограничивает предельные значения угла расхождения между пространственными составляющими результирующего вектора магнитного потока. Время изменения момента от 0 до  $M_H$  не превышает 10 мс [13]. Аналогичные результаты получаются в асинхронных электроприводах с DTC-управлением.

#### Библиографический список

1. Моделирование электропривода активного прицепа / Ю.С. Усынин, М.А. Григорьев, А.Н. Шишков и др. // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Энергетика». – 2013. – Т. 13. – № 2. – С. 106–114.
2. Григорьев, М.А. Удельные массогабаритные показатели электроприводов / М.А. Григорьев // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Энергетика». – 2013. – Т. 13. – № 1. – С. 111–117.
3. Grigorev, M.A. Theelectric Drivewith Field Regulated Reluctance Mashine / M.A. Grigorev // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Энергетика». – 2013. – Т. 13. – № 1. – С. 118–123.
4. Григорьев, М.А. Системы с переменной структурой для синхронных реактивных электроприводов с независимым управлением по каналу возбуждения / М.А. Григорьев // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Энергетика». – 2013. – Т. 13. – № 2. – С. 91–96.

5. Электроприводы с синхронной реактивной машиной независимого возбуждения для станов холодной прокатки труб / Ю.С. Усынин, С.П. Лохов, М.А. Григорьев, А.Н. Шишков, Е.В. Белоусов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Энергетика». – 2012. – Вып. 17. – № 16(275). – С. 107–110.

6. Параметрическая оптимизация частотнорегулируемых электроприводов / Ю.С. Усынин, М.А. Григорьев, А.Н. Шишков, А.М. Журавлев, С.П. Лохов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Энергетика». – 2012. – Вып. 18. – № 37(296). – С. 30–33.

7. Синтез системы управления электроприводом с синхронной реактивной машиной независимого возбуждения / Ю.С. Усынин, М.А. Григорьев, А.Н. Шишков, С.П. Гладышев, А.Н. Горожанкин // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Энергетика». – 2012. – Вып. 18. – № 37(296). – С. 38–41.

8. Дудкин, М.М. Частотно-широкоимпульсный адаптивный регулятор переменного напряжения с интегрирующей системой управления / М.М. Дудкин, О.Г. Брылина, Л.И. Цытович, А.В. Тюгаев // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: «Энергетика». – 2013. – Т. 13. – № 2. – С. 45–52.

9. Дудкин, М.М. Энергосберегающие технологии в испытательных стендах с использованием однофазных обратимых преобразователей / М.М. Дудкин // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: «Энергетика». – 2013. – Т. 13. – № 1. – С. 5–18.

10. Цытович, Л.И. Интегрирующее устройство синхронизации с псевдоследящей фиксацией точек естественной коммутации напряжения сети / Л.И. Цытович, М.М. Дудкин, О.Г. Брылина, А.В. Тюгаев // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: «Энергетика». – 2013. – Т. 13. – № 2. – С. 53–61.

11. Tsytovich, L.I. About the dynamics of some methods of integrating conversion of analog signal into digital code / L.I. Tsytovich, M.M. Dudkin, S.P. Lokhov, O.G. Brylina // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. – 2013. – Т. 13. – № 1. – С. 80–91.

12. Цытович, Л.И. Интегрирующий аналого-цифровой датчик нулевого тока / Л.И. Цытович, М.М. Дудкин, О.Г. Брылина, В.П. Мацин // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: «Энергетика». – 2012. – № 37 (296). – С. 93–96.

13. Лохов, С.П. О новом принципе интегрирующего аналого-цифрового преобразования с бестактовым поразрядным уравниванием / С.П. Лохов, Л.И. Цытович, М.М. Дудкин, О.Г. Брылина, Р.М. Рахматулин // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: «Энергетика». – 2012. – № 37 (296). – С. 97–106.

[К содержанию](#)