

**IV Всероссийская молодежная
научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»**

222-1

18-20 ноября 2021 года

УДК 621.316

Мещеряков В.Н, д.т.н. профессор (ЛГТУ) г. Липецк

Марков А.С, аспирант (ЛГТУ) г. Липецк

Арнаутов А.В, магистр, (ЛГТУ) г. Липецк

**Повышение энергоэффективности асинхронного электропривода
с управлением по вектору потокосцепления ротора**

Аннотация:

Повышение энергоэффективности частотного асинхронного электропривода за счет использования системы коррекции, учитывающей взаимное положение векторов тока статора и главного потокосцепления, требует решения задачи определения угла между этими векторами на основании доступных для измерения сигналов, имеющихся в системе электропривода. В статье представлены основные формулы для определения данного угла, и на их базе составлена математическая модель в Matlab Simulink.

Цель работы: повышение энергоэффективности системы векторного управления асинхронным двигателем.

В настоящее время в промышленности всё более широкое применение находят системы ПЧ-АД, вытесняя двигатели постоянного тока. Векторная система управления двигателем позволяет получать динамические характеристики, не уступающие аналогичным для системы ТП-Д. В связи с этим становится всё более актуальной задача увеличения КПД данной системы.

В системах частотного управления асинхронным электроприводом возможно осуществить задание абсолютного скольжения, пропорционального частоте тока ротора. Подробно влияние абсолютного скольжения на другие переменные асинхронного двигателя рассмотрено в [1].

В системах векторного управления при изменении статического момента и статической скорости и скольжения происходит одновременное изменение модулей обобщенных векторов токов и угла между ними φ_0 . Соответственно изменяется и угол δ . Нахождение минимума функции тока статора при одновременном изменении углов φ_0 и δ в общем случае представляет сложную задачу. Угол δ - это угол между вектором ЭДС ротора E_2 и вектором приведенного тока ротора I_2' , определяется:

**IV Всероссийская молодежная
научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»**

222-2

18-20 ноября 2021 года

$$\delta = \operatorname{arctg}\left(\frac{x'_2}{R_2} s\right)$$

Как видно из таблицы [3] значение угла δ мало и лежит в пределах от 3° до 10° , среднее значение соответствует $\delta = 5,28^\circ$ и с учетом решенных тригонометрических уравнений [3] получим оптимальное значение угла

$$\varphi_{0\text{опт}} = \frac{1}{2} \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{\operatorname{tg}(\delta)}\right) = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{\operatorname{tg}(5,28)}\right) \approx 42,36^\circ$$

Далее необходимо определить оптимальное значение угла φ_0 между вектором тока I_1 и ψ_m , при котором обеспечивается минимальное значение

модуля тока статора $I_{1\text{min}}$ при постоянстве электромагнитного момента $M = \text{const}$ и достигается наименьшее значение потерь ΔP_{min} в обмотке двигателя. В ходе преобразований, получим среднее значение

$$\varphi_{0\text{опт}\Delta P} = 37,5^\circ$$

Оптимальное значение угла φ_0 лежит в пределах $36\text{-}39^\circ$ при среднем значении $37,5^\circ$, абсолютное скольжение, обеспечивающее минимум потерь энергии в меди двигателя, меньше оптимального абсолютного скольжения, обеспечивающее минимум тока статора. Это объясняется тем, что при регулировании частоты, и соответствующем изменении β , при условии сохранения на заданном уровне момента двигателя, уменьшение тока статора компенсируется увеличением тока ротора, с изменением взаимной ориентации векторов токов статора и ротора.

Таким образом, поддерживание в векторной системе управления постоянного угла между вектором тока статора и главным потокосцеплением в диапазоне $\varphi_0 = 36\text{-}45^\circ$, и поддержание на постоянном оптимальном уровне абсолютного скольжения приведет к снижению потерь энергии и, следовательно, к повышению энергетических показателей частотного электропривода.

2. Определение угла между векторами тока статора и главного потокосцепления

Разработка системы коррекции частотного асинхронного электропривода, учитывающей взаимное положение векторов тока статора и главного потокосцепления, требует решения задачи определения угла между этими векторами на основании доступных для измерения сигналов, имеющихся в системе электропривода. Аналитически угол между векторами тока статора и главного потокосцепления φ_0 может быть определен, на основании использования векторной диаграммы (рис. 1)

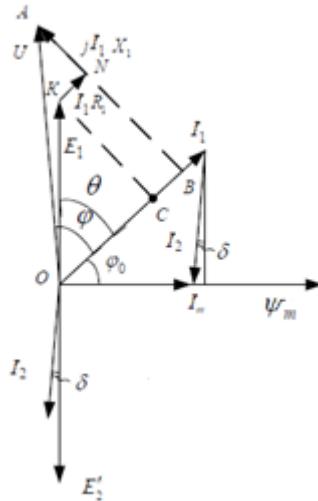


Рис. 1 – Векторная диаграмма для определения угла φ_0

Угол между векторами тока статора и главного потокосцепления определяется:

$$\varphi_0 = 90^\circ - \theta = 90^\circ - \arctg\left(\frac{U_1 \cdot \sin\varphi - I_1 R_1}{U_1 \cdot \cos\varphi - I_1 R_1}\right)$$

В качестве эксперимента возьмем асинхронный электропривод с управлением по вектору потокосцепления ротора, функциональная схема которого представлена на рис. 2. [2]

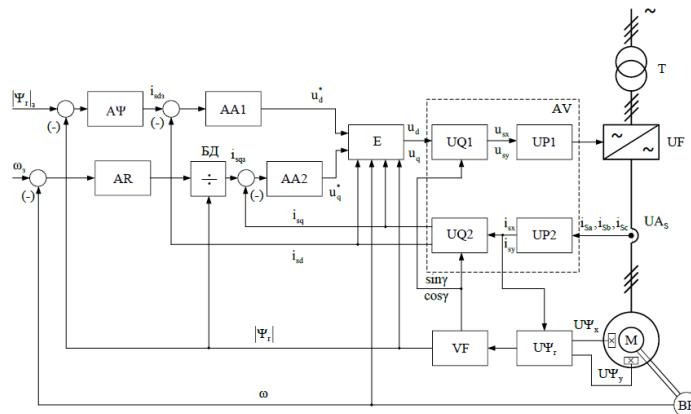


Рис. 2 Функциональная схема асинхронного электропривода с управлением по вектору потокосцепления ротора

Блок UP1 выполняет преобразование сигналов управления u_{sx} и u_{sy} из двухфазной системы координат в сигналы управления u_{sa} , u_{sb} и u_{sc} в трехфазной системе координат. Подсистема векторных преобразований состоит из блока вектор-фильтра VF и двух блоков поворота координат UQ1 и UQ2. Вектор-фильтр вычисляет модуль вектора потокосцепления ротора $|\Psi_r|$ и единичные тригонометрические функции $\sin(\gamma)$ и $\cos(\gamma)$, которые позволяют определить мгновенное фазовое положение

вращающихся осей координат (d, q), ориентированных по направлению вектора ψ_r . Для вычисления ψ_r используются составляющие вектора ψ_{0x} и ψ_{0y} главного потокосцепления по осям x и y , измеренные с помощью двух датчиков Холла, установленных в воздушном зазоре между статором и ротором со сдвигом в 90° и проекции токов статора, измеренные датчиком тока U_{As} и преобразованные в $UP2$. Блок поворота координат $UQ2$ служит для преобразования токов статора системы координат (x, y) в токи статора подвижной системы координат (d, q) , а блок $UQ1$ – для преобразования сигналов управления u_d и u_q подвижной системы координат в сигналы управления u_{sx} и u_{sy} неподвижной системы координат. Канал управления ω содержит внутренний контур регулирования намагничивающей составляющей тока статора i_{sd} с помощью регулятора $AA2$ и внешний контур регулирования скорости вращения с помощью регулятора AR . Поскольку на выходе регулятора скорости получается сигнал пропорциональный электромагнитному моменту двигателя, то для более точного выделения задающего сигнала i_{sq} в контур включен блок деления BD .

Для компенсации внутренних обратных связей двигателя и учета эдс вращения в схему введен блок Е компенсации и развязки контуров.

К существующей модели добавим устройство для определения угла между векторами тока статора и главного потокосцепления в Matlab Simulink. Функциональная схема устройства для определения угла между векторами тока статора и главного потокосцепления с асинхронным электроприводом с управлением по вектору потокосцепления ротора представлена на рис. 3

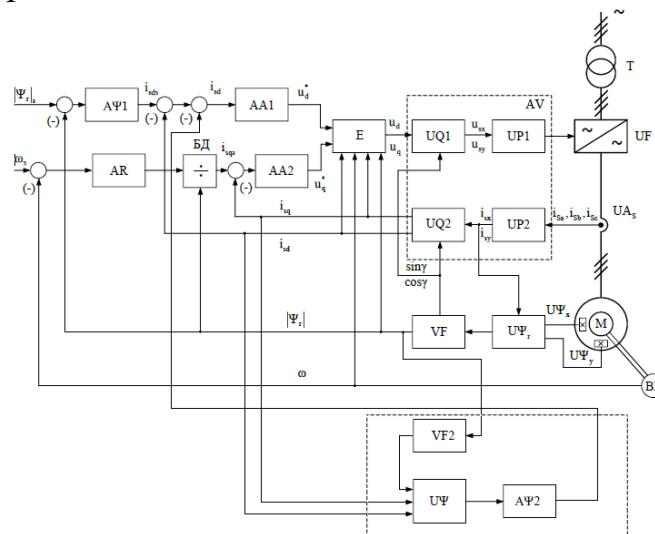


Рис. 3 – Функциональная схема устройства для определения угла между векторами тока статора и главного потокосцепления

**IV Всероссийская молодежная
научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»**

222-5

18-20 ноября 2021 года

Устройство состоит из блока вектор-фильтра VF2 датчик составляющих главного потокосцепления $U\Psi$ и модуля магнитного потокосцепления $A\Psi 2$

По итогу работы были представлены основные формулы для определения угла между векторами тока статора и главного потокосцепления. Разработана функциональная схема асинхронного электропривода с управлением по вектору потокосцепления ротора с системой коррекции для определения угла между векторами тока статора и главного потокосцепления.

Список литературы:

1. Шпиганович А.Н. Электрические машины и трансформаторы систем электроснабжения предприятий металлургической и горной промышленности [Текст]: учеб. пособие/ А.Н. Шпиганович, Д.И. Шишин – Липецк: ЛГТУ, 2006. – 340 с
2. Левин, П.Н. Управление электроприводами [Текст]: методические указания для студентов / П.Н. Левин. – Липецк: изд. ЛГТУ, 2014. – 79 с.
3. Мещеряков В.Н. Оптимизация взаимного положения векторов тока статора и главного потокосцепления асинхронного двигателя при векторном управлении / Вести высших учебных заведений Черноземья. - 2011. - №

Информация об авторах:

Мещеряков Виктор Николаевич, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой электропривода, ЛГТУ, 398055, г. Липецк, ул. Московская, д. 30. Mesherek@yandex.ru

Марков Алексей Сергеевич, аспирант, ЛГТУ, 398055, г. Липецк, ул. Московская, д. 30. Malex0796@gmail.com

Арнаутов Артем Владимирович, магистр, ЛГТУ, 398055, г. Липецк, ул. Московская, д. 30 arnautof.artem@yandex.ru