

В. Ю. ОСТРОВЛЯНЧИК, д.т.н., профессор, зав. каф. АЭП и ПЭ (СибГИУ)
И. Ю. ПОПОЛЗИН, аспирант, ст. преподаватель каф. АЭП и ПЭ (СибГИУ)

Г. Новокузнецк

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ ОБЗОР СПОСОБОВ УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ

Асинхронные двигатели с фазным ротором (АД ФР) составляют значительную часть парка асинхронных машин в промышленности. Как правило, это двигатели средней и большой мощности, используемые в электроприводах, для которых необходимы высокие значения пускового момента и достаточно широкий диапазон регулирования скорости вращения ротора. К числу таких электроприводов относятся, например, электроприводы шахтных подъемных установок. Основным способом регулирования скорости для таких двигателей является изменение сопротивления роторной цепи, осуществляемое с помощью роторной станции.

Как отмечается в [1], [3] и [5], основной проблемой при регулировании скорости асинхронного двигателя, особенно в широких пределах, является непроизводительная потеря мощности скольжения [5].

При частотном управлении асинхронным двигателем с преобразователем частоты в цепи статора недостатком является большая потребляемая мощность преобразователя, которая не всегда достижима. Кроме того, для полноценной реализации частотного управления необходимы специальные асинхронные двигатели, так как магнитные и механические свойства машин обычного исполнения (рассчитанных на частоту питающего напряжения 50 Гц) ухудшаются при снижении частоты.

Исходя из вышеуказанных причин, перспективным видится использование схем управления АД ФР с питанием со стороны ротора.

Рассмотрим способы регулирования скорости асинхронного двигателя с питанием со стороны ротора подробнее.

1. Трехфазная коллекторная машина (двигатель Шраге-Рихтера)

Хронологически данная схема является первой из всех схем с питанием со стороны ротора и, в наиболее известном варианте, требует машины специальной конструкции [4]. При использовании данной схемы машина питается со стороны ротора, обмотка ротора является первичной 1 (рисунок 1), обмотка статора 2 является вторичной и соединяется с подвижными щетками, расположенными на коллекторе. В конструкции машины также присутствует коллекторная обмотка 3, электрически

соединенная с коллектором, а также связанная через магнитное поле с обмоткой ротора.

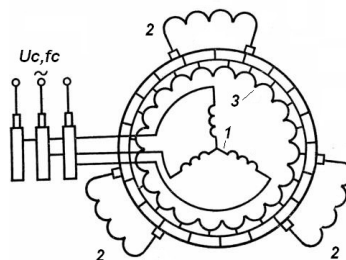


Рисунок 1. Принципиальная схема двигателя Шраге-Рихтера

Данная схема позволяет регулировать частоту вращения ротора путем введения в цепь ротора добавочной ЭДС частоты скольжения, при этом коллектор выполняет функцию преобразования частоты сети в частоту скольжения. Механическим перемещением щеток можно регулировать величину добавочной ЭДС, и, как следствие, скорость вращения ротора. Как правило, диапазон регулирования скорости для такой схемы не превышает 3:1 [4]. В настоящее время данный тип асинхронных двигателей не применяется, поскольку, помимо сложной и ненадежной конструкции, он обладает тяжелыми условиями коммутации, из-за чего мощность таких машин не превышает 200-250 кВт. Теоретически возможно включение любого АД ФР по схеме Шраге-Рихтера (с ограничениями, обусловленными отсутствием коллекторной обмотки и подвижных щеток), однако упоминаний о таких схемах найти не удалось.

2. Вентильно-машинный каскад

В вентильно-машинных каскадах мощность скольжения передается обратно в питающую сеть. Для этого используется вентильный преобразователь в цепи статора, подключенный к машинному преобразователю, состоящему из двигателя постоянного тока и механически соединенного с ним синхронного генератора (рисунок 2) [1]. При этом цепь якоря двигателя постоянного тока питается выпрямленным напряжением ротора АД ФР через неуправляемый выпрямитель 1В (рисунок 2).

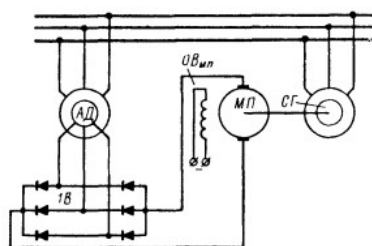


Рисунок 2. Принципиальная схема вентильно-машинного каскада

В данной схеме возможно управление скоростью ротора АД ФР с помощью регулирования величины противо-ЭДС двигателя постоянного тока. Энергия скольжения передается от ротора АД ФР на двигатель постоянного тока, а от него – на синхронный генератор и далее в питающую сеть. Таким образом, в вентильно-машинном каскаде происходит двукратное электромеханическое преобразование (сеть – ротор АД ФР; цепь ротора АД ФР – двигатель постоянного тока) и двукратное механоэлектрическое преобразование энергии (ротор АД ФР – вентильный преобразователь; синхронный генератор – питающая сеть).

Достоинством данной схемы является возможность плавного регулирования скорости АД ФР. Недостатками данной схемы являются ее громоздкость и необходимость использования двух дополнительных электрических машин. Кроме того, многократное преобразование энергии влечет уменьшение КПД использование мощности скольжения.

3. Вентильно-машинный электромеханический каскад

В вентильно-машинных каскадах мощность скольжения не отдается в сеть, а используется для питания рабочей машины постоянного тока [1] (рисунок 3).

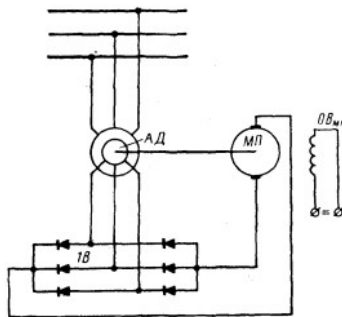


Рисунок 3. Принципиальная схема вентильно-машинного каскада

Как видно из схемы, приведенной на рисунке 3, в данном каскаде мощность скольжения используется для формирования дополнительного момента. При этом характерной особенностью данного каскада является распределение суммарного момента: при работе асинхронного двигателя с номинальным скольжением основной момент развивается им, а при снижении скорости – двигателем постоянного тока (т.н. каскад постоянного момента). Регулирование скорости в данном каскаде осуществляется изменением напряжения возбуждения двигателя постоянного тока.

Достоинством данной схемы является рост развиваемого и перегрузочного момента при уменьшении скорости, т.е. относительное постоянство механической мощности на валу [1]. С другой стороны, данный каскад обладает существенным недостатком: при увеличении диапазона регулирования существенно увеличивается габаритная

мощность двигателя постоянного тока. Поэтому диапазон регулирования в таких каскадах, как правило, ограничивается величиной 2:1 [2].

4. Асинхронно-вентильный каскад (АВК)

В данном каскаде в цепь ротора включен вентильный преобразователь, непосредственно связанный с питающей сетью. Статор, как правило, запитан напрямую от сети, однако может питаться и от собственного вентильного преобразователя.

Простейшим АВК является АВК с промежуточным звеном постоянного тока, в котором роторная (выпрямительная) группа вентилей 1В является неуправляемой, а от нее запитан управляемый инвертор 2В (рисунок 4) [1].

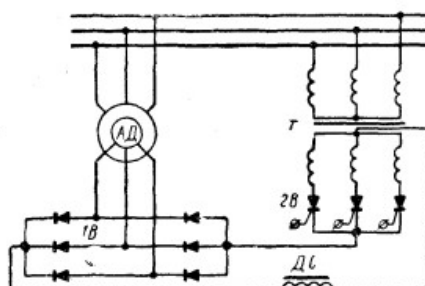


Рисунок 4. Асинхронно-вентильный каскад с промежуточным звеном постоянного тока

Мощность скольжения в таком каскаде передается в сеть через инвертор, в том числе, и в тормозных режимах. Регулирование скорости осуществляется регулированием добавочной ЭДС в цепи выпрямленного тока статора. Диапазон регулирования ограничен допустимыми углами открытия вентилей инверторной группы.

Достоинствами данной схемы является простота конструкции, относительная простота управления вентильной группой 2В, возможность достижения диапазона регулирования скорости, большего, чем в вентильно-машинных каскадах, и высокий КПД использования мощности скольжения. Недостатками такого каскада являются ограниченность диапазона регулирования скорости и невозможность работы двигателя в двигательном режиме на сверхсинхронной скорости и в генераторном режиме на скорости ниже синхронной.

Если отказаться от использования звена постоянного тока и использовать две группы управляемых вентилей, то возможно преодолеть недостатки АВК со звеном постоянного тока, такие как ограничение диапазона регулирования и ограничение рабочих режимов машины [6]. При этом возможно либо управление вентилями с частотой скольжения, либо независимое управление амплитудой, частотой и фазой добавочной ЭДС в цепи ротора. При этом двигатель может работать со скоростью от 0 до синхронной в двигательном и генераторном режимах [1].

При зависимом от частоты скольжения управлении невозможен переход машины через синхронную скорость в двигательном режиме из-за нарушения коммутации вентиляей, а также затруднено управление машиной в окрестностях синхронной скорости.

5. Машина двойного питания

При полностью независимом управлении амплитудой, частотой и фазой добавочной ЭДС в цепи ротора АД ФР, машина работает в режиме двойного питания. В этом режиме может быть достигнут высокий диапазон регулирования скорости, также возможна работа машины в двигательном и тормозных режимах во всем диапазоне регулирования скорости, в том числе возможен переход через синхронную скорость. Кроме того, в данном режиме работы АД ФР возможна работа асинхронного двигателя в режимах синхронного генератора и двигателя, а также компенсация реактивной мощности [2], [7]. Возможности регулирования скорости (в том числе, реверсирование машины) могут быть расширены за счет использования управляемого преобразователя частоты в цепи статора.

Список литературы:

1. Онищенко Г. Б. Асинхронный вентиляный каскад. – М.: Энергия, 1967. – 152 с.
2. Онищенко Г. Б., Локтева И. Л. Асинхронные вентиляные каскады и двигатели двойного питания. – М.: Энергия, 1979. – 200 с.
3. Ключев В. И. Теория электропривода/ В. И. Ключев. – М.: Энергоатомиздат, 2001. – 704 с.
4. Костенко М. П., Пиотровский Л. М. Электрические машины. Часть вторая. Машины переменного тока. – Л.: Энергия, 1973. – 648 с.
5. Основы автоматизированного электропривода/ М. Г. Чиликин и др. – М.: Энергия, 1974. – 568 с.
6. Калужный С. В. Применение для вентиляторов главного проветривания угольных шахт электропривода с моментной механической характеристикой // Сборник научных трудов ДонГТУ, 2013, №41. – с. 53-59
7. Мещеряков В. Н. Синхронизированный асинхронный электропривод с частотным управлением / В. Н. Мещеряков, А. А. Соломатин // Электротехнические комплексы и системы управления, 2006, №2. – с. 11-16