

## КОНЦЕПЦИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННОЙ МАШИНОЙ ПО РОТОРУ

**Введение.** Одним из требований к современным электроприводам является применение оптимальных с точки зрения потерь энергии алгоритмов управления. В связи с этим возросло внимание к проблемам повышения качества электроэнергии. Особенно актуальны проблемы энергопотребления для электроприводов большой мощности. В данной статье рассматривается задача управления реактивной составляющей потребляемой мощности электроприводом с асинхронным двигателем при управлении им по ротору (машина двойного питания). Функциональная схема такого электропривода приведена на рис.1. Оптимальные режимы энергопотребления электропривода, построенного по системе МДП, ранее рассматривались в следующих вариантах:

1) рассмотрение ограничивается обеспечением единичного  $\cos\varphi_{AM}$  в цепях статора асинхронной машины. При этом вопросы энергопотребления электроприводом в целом с учетом действия роторного преобразователя (РП) на питающую сеть не рассматривались [1];

2) при использовании РП, сетевая часть которого позволяет потреблять мощность с регулируемым  $\cos\varphi$ , оптимальной считается ситуация, когда  $\cos\varphi_{AM}$  в обмотках статора и  $\cos\varphi_{РП}$  потребления РП равны единице.

Однако обеспечение единичного коэффициента мощности в цепях статора реализуется за счет перевозбуждения машины со стороны ротора. В результате увеличиваются потери в стали. Кроме того, увеличиваются потери в обмотках ротора, так как амплитуда тока ротора также будет иметь значение больше номинального. Очевидно, что для работы привода с такой энергетикой без перегрева он должен быть недоиспользован по мощности.

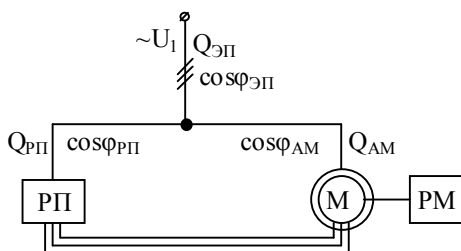


Рис.1. Функциональная схема электропривода по системе МДП

Применение для питания цепей ротора преобразователя, который позволяет потреблять (отдавать) из сети энергию с заданным коэффициентом мощности, открывает массу вариантов распределения потребляемой реактивной энергии между АМ и РП. Таким образом, помимо двух упомянутых способов управления реактивной энергией возможны варианты, когда  $Q_{AM} \neq 0$  и  $Q_{РП} \neq 0$ .

**Постановка задач исследования.** Определение закона распределения реактивной мощности между АМ и РП таким образом, чтобы потери в электроприводе были минимальными, а общий коэффициент мощности электропривода ( $\cos\varphi_{ЭП}$ ) обеспечивался, равным единице.

**Материалы исследования.** Рассмотрим векторную диаграмму асинхронной машины при работе под нагрузкой (рис.2). Проекции векторов токов на ось  $u$  представляют собой активную составляющую, а на ось  $v$  – реактивную. При рассмотрении работы машины примем следующие допущения: ток намагничивания ( $I_m$ ) является чисто реактивным по отношению к напряжению статора; модуль тока намагничивания (а следовательно и модуль главного потокосцепления) при изменении нагрузки и режима возбуждения неизменный и имеет номинальное значение.

Будем считать, что машина работает на синхронной скорости, а активные составляющие токов статора и ротора равны между собой и определяют момент на валу машины. Применение принципов векторного управления позволяет перераспределить ток возбуждения машины и изменить положение концов векторов тока статора и ротора при неизменной активной составляющей. В нашем случае, при постоянном моменте на валу двигателя точки возможных положений концов векторов  $\vec{I}_S$  и  $\vec{I}_R$  представляют собой прямые, показанные на рис.2 пунктиром.

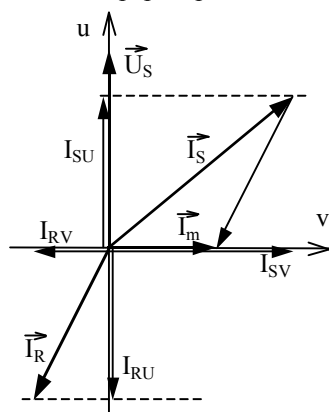


Рис.2. Векторная диаграмма АМ

Потери в электроприводе состоят из потерь в двигателе и преобразователе. Основными потерями в асинхронном двигателе считаются потери в меди и стали статора и ротора. Потери в преобразователе разделяют на статические и динамические. Анализ и снижению потерь в двигателе и преобразователе посвящено большое количество работ, которые проводятся под руководством проф. Родькина Д.И., проф. Волкова А.В. Полный учет всех потерь – довольно сложная и трудоемкая задача, тем более, если учесть, что физика некоторых энергетических эффектов формализована довольно приближенно. При рассмотрении потерь примем следующие допущения: потери в преобразователе РП учтем эквивалентным сопротивлением преобразователя

$R_C$ ; влияние величины главного потока на потери в стали не учитываем, считая его неизменным.

Принятые допущения в системе пространственных координат, связанных с обобщенным вектором напряжения статора (рис.2), формализуются следующим образом:  $I_{SU} = -I_{RU}$ ;  $I_{mU} = 0$ ;  $I_m = I_{mV} = I_{SV} + I_{RV}$ . Условие минимизации потерь в электроприводе:

$$|\vec{I}_S|^2 r_s + |\vec{I}_R|^2 R_R \rightarrow \min, \quad (1)$$

где  $r_s$  – активное сопротивление обмотки статора;

$R_R$  – полное сопротивление цепи ротора, содержащее собственно сопротивление обмоток ротора и эквивалентное по потерям сопротивление преобразователя:  $R_R = r_r + R_C$ .

Идея определения минимизации потерь состоит в выборе оптимального соотношения реактивных составляющих токов статора и ротора или перераспределения функции возбуждения между статором и ротором. Запишем проекции тока статора ( $I_{SV}$ ) и ротора ( $I_{RV}$ ) через модуль тока намагничивания:

$$I_{SV} = I_m k_Q, \quad I_{RV} = I_m - I_{SV} = I_m(1 - k_Q), \quad (2)$$

где  $k_Q$  – коэффициент возбуждения.

Минимум выражения (1) как функции от  $k_Q$

$$f(k_Q) = \left( \sqrt{I_{SU}^2 + I_m^2 k_Q^2} \right)^2 r_s + \left( \sqrt{I_{RU}^2 + I_m^2 (1 - k_Q)^2} \right)^2 R_R$$

достигается при значении коэффициента возбуждения, равном

$$k_Q = \frac{R_R}{r_s + R_R}. \quad (3)$$

На основании (2) и (3) найдем значения реактивных составляющих токов статора и ротора

$$I_{SV} = I_m \frac{R_R}{r_s + R_R}, \quad I_{RV} = I_m \frac{r_s}{r_s + R_R}.$$

На основании полученных соотношений можно заключить:

- 1) коэффициент возбуждения всегда меньше единицы. Т.е. возбуждение машины должно производиться одновременно как со стороны статора, так и со стороны ротора;
- 2) коэффициент перераспределения возбуждения постоянен и не зависит от момента на валу двигателя (от активной составляющей токов статора). Точки положения концов вектора тока статора при различной нагрузке на валу представляют собой прямую, показанную на рис.3;
- 3) отношение реактивных токов статора и ротора должно быть обратно пропорционально отношению сопротивлений их обмоток.

Следует отметить, что неточность полученных результатов определяется влиянием факторов, которые не учитывались при упрощении рассмотрения процессов в АМ.

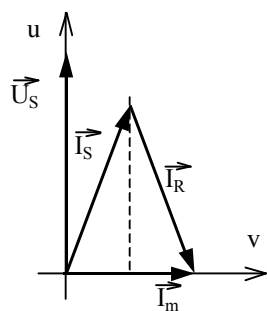


Рис.3. Векторная диаграмма АМ при оптимальном режиме

**Выводы.** Предложена концепция управления асинхронной машиной по ротору, при котором обеспечивается минимизация потерь энергии в меди машины. Для этого возбуждение машины должно производиться как со стороны статора, так и со стороны ротора, причем отношение реактивных токов статора и ротора должно быть обратно пропорционально отношению сопротивлений их обмоток.

#### Литература.

1. Системы подчиненного регулирования электроприводов переменного тока с вентильными преобразователями / О.В. Слежановский, Л.Х. Дацковский, И.С. Кузнецов, Е.Д. Лебедев, Л.М. Тарасенко. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 265 с.