

## УПРАВЛЯЕМЫЙ ПО РОТОРУ АСИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД С УЛУЧШЕННЫМ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕМ

**Введение.** Актуальность вопросов повышения энергоэффективности электроприводов значительно повышается. Основными способами улучшения энергетических показателей электроприводов (ЭП) являются: технологический; улучшение качества преобразования энергии; улучшение показателей качества потребляемой энергии. Одним из таких показателей является реактивная энергия. Асинхронная машина, управляемая по ротору, позволяет производить регулирование потребляемой реактивной энергии, что делает такой ЭП универсальным с энергетической точки зрения. Реализация регулирования реактивной энергии наиболее удобна в системах векторного управления машиной двойного питания (МДП). Анализ энергетики такого привода показал, что при увеличении возбуждения машины, для глубокой компенсации реактивной составляющей тока в цепях статора, потери в стали машины возрастают, а суммарные потери в меди обмоток при регулировании возбуждения имеют экстремальный характер. Причем уменьшение потерь в меди не дает положительного эффекта, так как они «перекрываются» за счет увеличения потерь в стали [1]. Фактически любой режим компенсации реактивной составляющей сопровождается увеличением потерь в машине. В результате, в асинхронных электроприводах большой мощности, работающих с постоянной нагрузкой, близкой к номинальной, «замечательные» свойства асинхронной машины с фазным ротором (АМФР) не могут быть использованы, и полная компенсация реактивной составляющей тока статора не допустима в связи с увеличением потерь. Допустимым с точки зрения потерь является режим работы с неизменной реактивной составляющей тока в статорной цепи, равной индуктивной составляющей в номинальном режиме. Таким образом, электропривод должен работать с индуктивной составляющей тока статора.

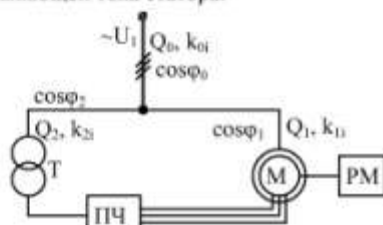


Рис.1. Функциональная схема электропривода по системе МДП

(для увеличения  $k_{21}$ ), с другой – позволяют регулировать фазовый сдвиг между питающим напряжением и потребляемыми токами (угол  $\varphi_2$ ).

**Постановка задач исследования.** Выбор силовой части преобразователя частоты питания ротора АМ с синусоидальными потребляемыми токами и возможностью регулирования  $\cos\varphi$ . Исследование энергетических показателей асинхронного электропривода по системе МДП с предложенным преобразователем в целом.

**Материалы исследования.** Наиболее эффективно энергосберегающий эффект наблюдается на приводах большой мощности. Для управления МДП в диапазоне скоростей от 0 до номинальной, мощность преобразователя в роторной цепи должна быть соизмерима с мощностью двигателя. Мощные асинхронные ЭП в большей части применяются на механизмах, для которых не требуется регулирования скорости, а работа происходит на естественной характеристике. В таком случае имеет смысл строить ЭП, предназначенный для работы в ограниченном диапазоне скоростей – на скоростях близких к синхронной. При этом мощность роторного преобразователя (и трансформатора) может быть существенно снижена. Кроме того, уменьшается требуемое рабочее напряжение преобразователя.

Рассмотрим выбор силовой части преобразователя частоты для электропривода с асинхронным двигателем АК4-450 ( $P_{н1}=630$  кВт,  $n_{1f}=980$  об/мин,  $U_{н1}=6000$ В,  $E_{2н1}=680$ В,  $I_{2н1}=570$ А). Суммарный момент инерции  $1100$  кгм<sup>2</sup>.

Так как ЭП работает в режиме стабилизации скорости с небольшим перевозбуждением со стороны ротора, то энергия будет передаваться преобразователем из сети в ротор. Привод не высокочастотный и торможения с отдачей энергии в сеть не будет, то ПЧР имеет смысл строить как инвертор напряжения со звеном постоянного тока, подключаемый к обмоткам ротора через полностью управляемые ключи (IGBT). Для обеспечения регулирования потребляемых от сети токов, сетевая (трансформаторная) часть преобразователя также реализуется на полностью управляемых ключах и подключается с сети (трансформатору) через дроссели (рис.2). Дроссели L1-L3 обеспечивают возможность формирования потребляемого тока, сдвинутого по отношению к питающему напряжению. С другой стороны они улучшают форму тока, снижая амплитуду пульсаций.

На энергетические показатели ЭП по системе МДП в целом оказывает влияние преобразователь частоты в роторной цепи (ПЧР), который также как и статор АД подключается к сети (рис.1). Таким образом, для обеспечения общего  $\cos\varphi_0 = 1$  и коэффициентов искажения и формы ( $k_{0i}$ ) близкими к единице, необходимо показатели трансформаторной части привода ( $\cos\varphi_2, k_{21}$ ) согласовать с показателями статорной цепи АД ( $\cos\varphi_1, k_{1i}$ ). Так как  $\cos\varphi_1$  должен быть меньше единицы, то для компенсации  $Q_1$  роторный преобразователь (ПЧ) должен с одной стороны потреблять токи с формой, близкой к синусоидальной

Для обеспечения работы преобразователя, напряжение на емкости промежуточного контура  $U_C$  должно быть выше  $1,35U_2$ . С другой стороны токи ротора двигателя ( $I_r$ ) и токи, потребляемые от трансформатора ( $I_T$ ) должны быть согласованы между собой, а напряжение  $U_C$  при работе должно оставаться неизменным. Ориентируясь на эти требования, строится система управления ЭП. В итоге она состоит из двух информационно связанных частей: системы векторного управления (СВУ) двигателем и системы регулирования тока трансформаторной части преобразователя (СРТТ). В СВУ формируются сигналы управления ключами роторной части ПЧР, а СРТТ управляет ключами трансформаторной части (рис.2).

Система векторного управления позволяет обеспечить работу с заданными скоростью ( $\omega^*$ ) и намагничивающим током ( $I_m^*$ ). В частности СВУ может быть построена с ориентацией по опорному вектору напряжения статора с применением релейных регуляторов [2]. СРТТ обеспечивает формирование потребляемых токов  $I_2$  синусоидальной формы с требуемым фазовым сдвигом по отношению к  $U_2$  и стабилизацию напряжения  $U_C$  на заданном уровне. Токи фаз формируются контурами тока с релейными регуляторами РЭ1-РЭ3, выходы которых являются управляющими сигналами для ключей трансформаторного моста (рис.3). Сигналы задания на токи ( $I_2^*$ ) формируются в соответствии с требуемой амплитудой токов  $I_{2m}^*$  и формой, которая задается тремя синусоидальными сигналами, вычисляемыми в блоках А1 и А2. В блоке А1 на основании данных о потребляемом ротором токе ( $I_{dr}$ ) и о реактивной составляющей тока статора ( $I_s^r$ ) производится расчет требуемых  $\cos\varphi$  и  $\sin\varphi$ . В блоке А2 производится нормирование питающего напряжения  $U_2$  (которое задает форму тока) и формирование системы трех синусоидальных сигналов, сдвинутых по отношению к  $U_2$  на угол  $\varphi$ .

Рассмотрим промежуточную цепь постоянного тока ПЧР. Так как ток, потребляемый от трансформатора содержит составляющую, потребляемую ротором двигателя ( $I_{dr}$ ) и ток заряда конденсатора ( $I_C$ ), то сигнал на амплитуду трансформаторных токов формируется как сумма  $I_{2m}^* = I_{dr} + I_C^*$ , где  $I_C^*$  – требуемый ток для заряда конденсатора, который формируется на выходе регулятора напряжения на емкости промежуточного контура (РНЕ).

Для исследования системы в соответствии с функциональной схемой (рис.3) была составлена математическая модель ЭП в приложении MATLAB/Simulink с применением блоков библиотеки схемотехнического моделирования SymPowerSystems. Обоснование и расчет величин  $C$  и  $L$ , является отдельной задачей и в данной статье не рассматривается. Регулятор РНЕ принят пропорционально-интегральным. Результаты моделирования приведены на рис.4. При моделировании исследовался процесс наброса номинальной нагрузки при синхронной скорости. Подсистема регулирования скорости в СВУ статична к нагрузке, так как применены релейные управления в пространстве естественных координат. Графики статорных токов ( $I_a$ ) и токов трансформатора ( $I_{at}$ ) подтверждают компенсацию реактивной мощности в системе.

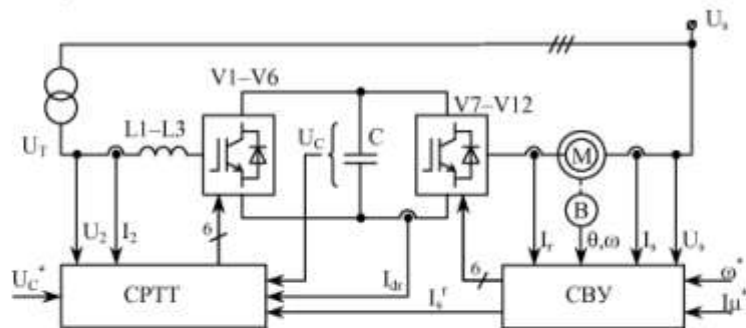


Рис.2. Структурная схема электропривода

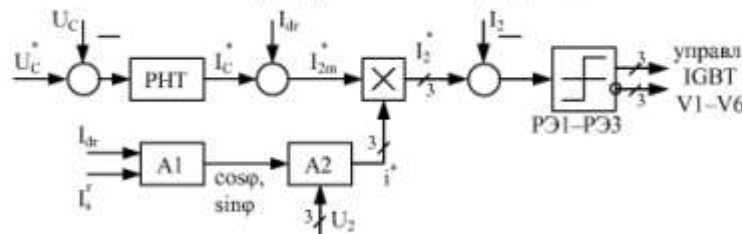


Рис.3. Структура системы регулирования тока трансформатора

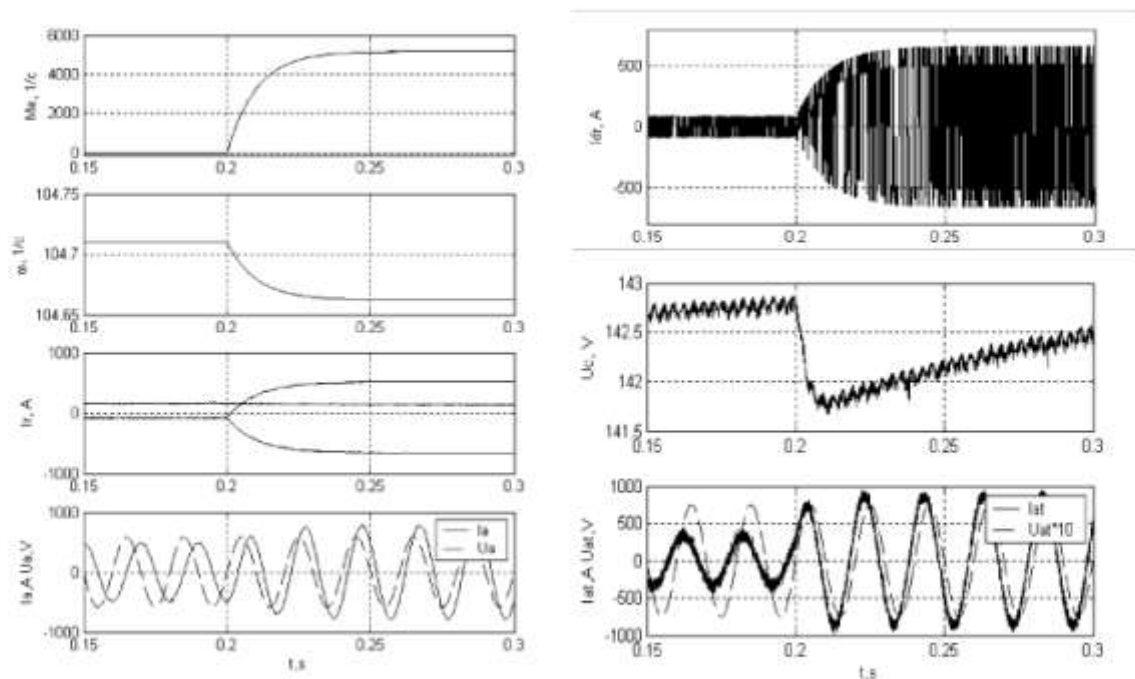


Рис.4. Переходные процессы при набросе нагрузки

**Вывод.** В электроприводе по системе МДП использование для питания роторной цепи преобразователя частоты напряжения с полностью управляемыми ключами входной и выходной части, подключенного к сети через дроссели, позволяет регулировать реактивную энергию, потребляемую электроприводом в целом. При этом управление ключами преобразователя осуществляется в соответствии с работой системы векторного управления двигателя. Полученный ЭП рассчитан на работу в небольшом диапазоне скоростей, близких к синхронной.

#### Литература.

1. Зеленев А.Б., Шевченко И.С., Морозов Д.И. Энергосберегающее управление асинхронной машиной двойного питания / Вестник Кременчугского государственного политехнического ун-та им. М. Остроградского. – Кременчуг: КПТУ. – Вып. 3/2008 (50), Ч1. – С. 129-131.
2. Зеленев А.Б., Шевченко И.С., Морозов Д.И. Релейна система векторного керування асинхронним двигуном за ротором з можливістю регулювання реактивної енергії // Електроінформ. – 2006. – №4. – С.20-22.