

АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПОСТРОЕНИЯ СИЛОВОЙ ЧАСТИ РОТОРНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ В АСИНХРОННОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ ПО СИСТЕМЕ «МАШИНА ДВОЙНОГО ПИТАНИЯ»

Морозов Д.И., Мотченко А.И., Шевченко И.С.

Донбасский государственный технический университет

dimorozov@mail.ru

Введение. Асинхронная машина с фазным ротором (АМ с ФР) является универсальным преобразователем электромеханической энергии. Однако в электроприводе по системе машина двойного питания реализация энергетических возможностей АМ с ФР полностью определяется построением силовой части преобразователя питания ротора (РП) и способом управления им.

Цель исследования. На основе направлений энергии в системе «асинхронный двигатель – преобразователь в роторной цепи – сеть» проанализировать возможность обеспечения энергетических режимов при применении различных типов преобразователей в роторной цепи.

Материалы исследования. По диаграмме потоков активной энергии в АМ с ФР (рис.1, а) видно, что для полноценного управления машиной РП должен иметь возможность двунаправленной передачи активной энергии [1]. На диаграмме, квадранты Ia и IIa соответствуют двигательному и тормозному режимам АМ при сверхсинхронной скорости. Здесь пунктиром указан линейный участок естественной электромеханической характеристики АМ при закороченном роторе. Показанное направление энергий в квадрантах III и IV соответствует частоте питания ротора выше, чем частота питания статора, т.е. скольжениям $s = (1; \infty)$. Номинальная работа в таких режимах не используется, для этого поле статора реверсируется и работа двигателя соответствует квадрантам I и II.

Направления реактивной энергии при управлении машиной, в принципе, могут не зависеть от режима работы привода, однако обеспечение возбуждения самой машины требует передачи ей индуктивной мощности. То есть АМ является потребителем реактивной мощности (Q). Варианты распределения реактивной мощности в системе электропривода отражены на диаграмме (рис.1, б). Здесь режим 1P соответствует возбуждению машины со стороны статора и передаче индуктивной мощности через ротор. Режим 2P – чисто активному характеру тока ротора. В режиме 3P возбуждение машины производится со стороны ротора, а реактивная составляющая мощности статора равна нулю. Режим компенсации реактивной мощности в сети производится за счет перевозбуждения машины со стороны ротора и отражен диаграммой 4P.

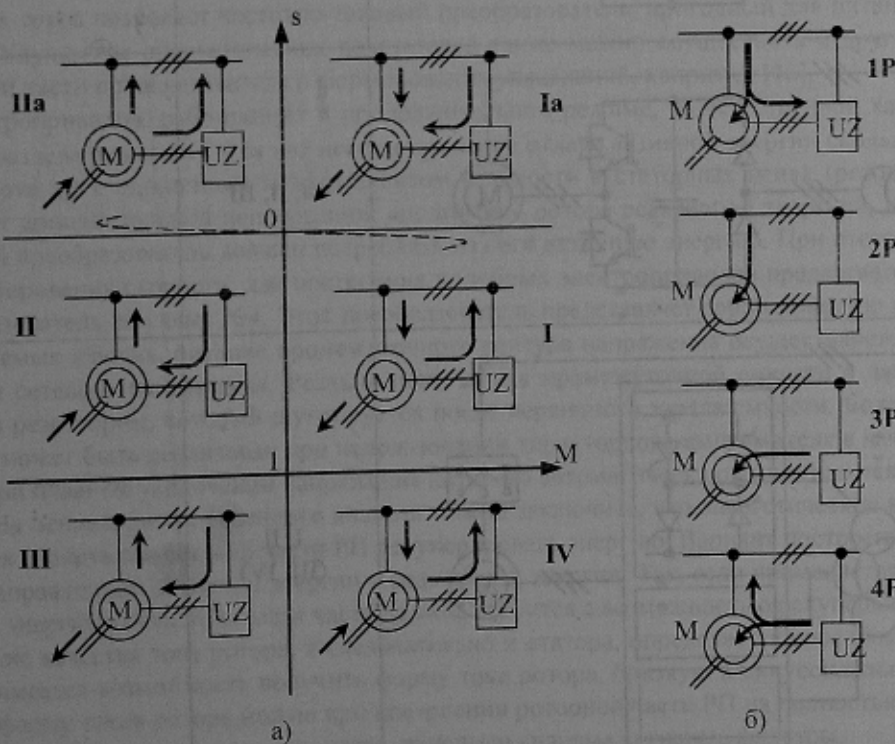
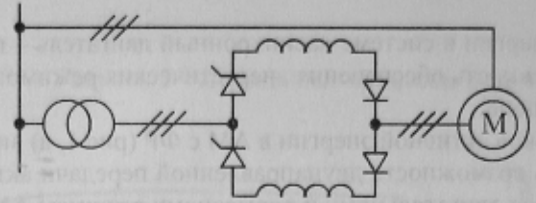
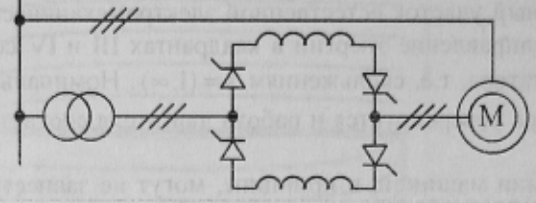
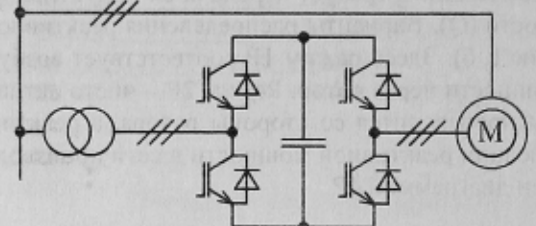
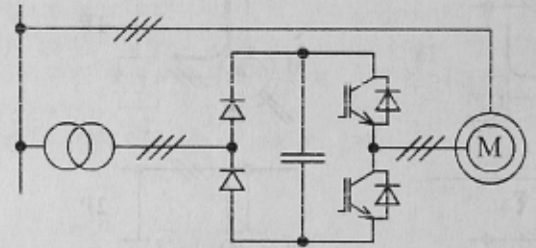
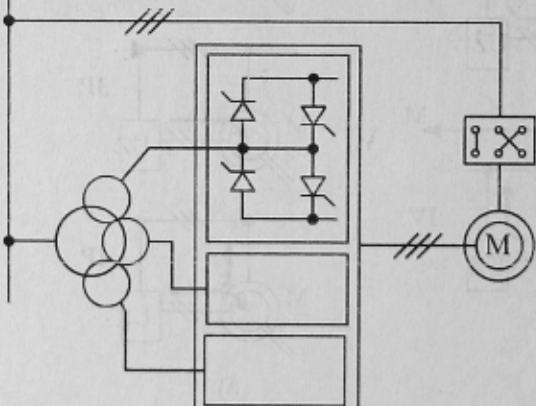


Рисунок 1 – Энергетические диаграммы АД ФР:

а) направления активной энергии; б) направления реактивной энергии

Преобразователи питания обмоток ротора (UZ) могут строиться как преобразователи частоты тока или напряжения, а также как непосредственные преобразователи частоты. Комбинаторика силовых схем построения преобразователей частоты довольно большая и выбор конкретного варианта силовой части обуславливается возможностью управления приводом в требуемых квадрантах, а также необходимостью управления реактивной мощностью. В табл. 6.1 приведены классические и современные наиболее распространенные способы построения силовых частей РП, а также проанализированы их энергетические возможности. Из табл. 6.1 видно, что схемы на базе источника тока (№1, №2) строятся на полупроводниковых ключах (тиристорах) и не имеют возможности регулирования реактивной энергии.

Таблица 1 – Способы построения РП

№ п/п	Схема	Работа в квадрантах	Регулирование Q_s	Источник
1		I	-	[2, 3]
2		I, II, Ia, IIa, III, IV	-	[4]
3		I, II	+	[3]
4		Ia, II, III	+	[5]
5		I, II (III, IV)	+	[3, 6]

Однако, применяя тиристоры как в сетевом так и в роторном преобразователях (схема №2), появляется возможность работы привода во всех энергетических режимах, которая достигается соответствующим переводом преобразователей в выпрямительный либо инверторный режим. Способ улучшения динамических и энергетических характеристик электропривода с таким построением силовой части рассмотрен автором в [7].

Возможность регулирования реактивной мощности присуща преобразователям, построенным на основе инвертора напряжения (схемы №3 и №4) с полностью управляемыми ключами. Однако наличие у силовых ключей защитных обратных диодов однозначно определяет допустимое направление активной энергии, что существенно ограничивает возможности привода и, как правило, исключает возможность рекуперации энергии сетевым преобразователем. Работа преобразователя по схеме №4 в первом квадранте, описанная Пересадой С.М., не является полноценной в связи с тем, что построение сетевого преобразователя неуправляемым автоматически исключает возможность рекуперации энергии. Построение преобразователя как трех непосредственных преобразователей частоты (схема №5) приемлема для сверхмощных (50-300 МВА) высоковольтных приводов. Использование устройства реверсирования поля статора позволяет обеспечить работу привода в четырех квадрантах. Применение же данной схемы для приводов средней мощности с напряжениями ротора до 1 кВ не оправдано, т.к. такое решение требует больших капитальных затрат и, несмотря на возможность регулирования реактивной энергии, засоряет высшими гармониками сеть в большей степени, чем схемы №3 и №4. Следует отметить, что преобразователи по схемам №1, №3 и №5 реализуются в частности компанией ALSTOM для промышленного применения [3].

Непосредственный преобразователь частоты с полностью управляемыми ключами в настоящее время называют матричным преобразователем. Универсальность данного преобразователя, а также его способность к двунаправленной передаче энергии позволяют строить на его основе глубокорегулируемые высокоточные электроприводы на базе машины двойного питания [8, 9]. Недостатком матричных преобразователей является засорение сети импульсными нагрузками. На Украине активная работа по исследованию матричных преобразователей и разработке алгоритмов управления ведется сотрудниками института электродинамики НАН Украины [10–12]. В нашем случае применять такой преобразователь нецелесообразно т.к. требований точности и высокого диапазона регулирования к электроприводу не предъявляется.

Расширение возможностей любой из представленных схем возможно при применении устройства реверсирования поля машины. Для схем, приведенных в табл. 1 – это коммутатор фаз статора, а при инверсном подключении машины – коммутатор фаз ротора [13].

Для улучшения энергетических показателей (в частности – коэффициента мощности и коэффициента искажений) системы двойного питания машины в целом предложено использовать дополнительный силовой активный фильтр, подключаемый параллельно сетевому преобразователю [14]. Поддерживать синусоидальную форму выходных токов позволяет частотно-токовый преобразователь, пригодный для питания роторных цепей двигателя [15]. Улучшение энергетических показателей также можно осуществить и другими способами построения силовой части преобразователя и формирования управлений, например [16].

Для электроприводов, работающих в продолжительном режиме, на естественной характеристике, либо около границы раздела режимов I и Ia нет необходимости в отдаче активной энергии скольжения в сеть, ввиду ее малости. Работа же с единичным коэффициентом мощности в статорных цепях (режим 3P на диаграмме рис.1, б) требует дополнительной непрерывной «подпитки» ротора реактивной энергией, для обеспечения которой, роторный преобразователь должен потреблять из сети активную энергию. При отсутствии требований к диапазону регулирования скорости, для построения подобных электроприводов предлагается использовать роторный преобразователь по схеме №4. Этот преобразователь представляет собой инвертор напряжения на полностью управляемых ключах, питание промежуточного контура напряжения осуществляется от неуправляемого выпрямителя сетевого напряжения. Реально цепь заряда промежуточной емкости в данной схеме должна быть дополнена резистором, который шунтируется после первичного заряда емкости. Более сложный вариант заряда емкости может быть реализован при использовании тиристорного выпрямителя в качестве сетевого преобразователя, при плавном увеличении напряжения которого автоматически ограничивается и ток заряда.

Вывод. На основании проведенного анализа можно заключить, что энергетические возможности привода определяются свойствами сетевой части РП рекуперировать энергию. Вариант построения сетевой части РП определяется направлением активной энергии и реактивной энергии. Так, если применяется управление с отдачей реактивной энергии в сеть, то сетевая часть должна строиться с возможностью рекуперации.

Улучшение качества тока ротора, а следовательно и статора, определяется способом построения роторной части РП. Имеется возможность получить форму тока ротора, близкую к синусоидальной. Обеспечить синусоидальную форму токов ротора можно при построении роторной части РП на полностью управляемых ключах, либо применив дополнительные устройства, например силовые активные фильтры.

1. Титов В.Г., Хватов О.С. Автономный генератор по схеме машины двойного питания // *Электротехника*. – 1998. – №8. – С. 31-34.
2. Онищенко Г.Б., Локтева И.Л. Асинхронные вентиляльные каскады и двигатели двойного питания. – М.: Энергия, 1979. – 200 с.
3. ALSPA DRIVE RANGE. Drive solutions for all applications. ALSTOM, power conversion, 2001.
4. Шевченко И.С., Мозговой С.Е., Шевченко Н.И. Реверсивный асинхронный электропривод с управлением исключительно по ротору // *Проблемы автоматизированного электропривода: Теория и практика. Труды науч.-техн. конф. Крым, Алушта 15-20 сентября 1997.* – Харьков, 1997. – С. 211-214.
5. Плахтина О.Г. Электромагнітні та електромеханічні процеси асинхронної машини з інвертором напруги в колі ротора при векторному керуванні // *Технічна електродинаміка*. – 2004. – №5. – С. 30-36.
6. Системы подчиненного регулирования электроприводов переменного тока с вентиляльными преобразователями / О.В. Слежановский, Л.Х. Дацковский, И.С. Кузнецов, Е.Д. Лебедев, Л.М. Тарасенко. – М.: Энергоатимиздат, 1983. – 265 с.
7. Шевченко И.С., Морозов Д.И., Карпук И.А. Электропривод с высокой перегрузочной способностью на базе асинхронного вентиляльного каскада // *Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут"*. – Харків: НТУ "ХПІ", 2004. – №43. – С. 78-80.
8. Пересада С.М., Чехет Э.М., Соболев В.Н. Векторное управление машиной двойного питания с матричным преобразователем // *Проблемы автоматизированного электропривода: Теория и практика. Труды науч.-техн. конф. Крым, Алушта 15-20 сентября 1997.* – Харьков, 1997. – С. 24-38.
9. Пересада С.М., Король С.В., Шаповал И.А. Экспериментальное тестирование алгоритмов управления машиной двойного питания // *Технічна електродинаміка*. – 2003. – №2. – С. 29-35.
10. Михальский В.М., Соболев В.Н., Чехет В.М. Способы безопасной коммутации силовых ключей матричных преобразователей с векторной шотно-импульсной модуляцией при регулировании входного $\cos\phi$ // *Технічна електродинаміка, тематичний випуск*. – 2003. – С. 15-20.
11. Чехет Э.М., Соболев В.Н., Михальский В.М. Способы коммутации силовых ключей многофазных матричных преобразователей // *Технічна електродинаміка*. – 2000. – №2. – С. 20-25.
12. Соболев О.В. Покращення форми вхідного струму для інваріантної системи з матричним перетворювачем // *Технічна електродинаміка*. – 2003. – №4. – С. 30-34.
13. Шрамко Ю.Ю. Выбор рациональной структуры силовой схемы системы управления асинхронным двигателем с фазным ротором по схеме машины двойного питания // *Проблемы создания новых машин и технологий. Научные труды КГПУ. Вып. 1/2001 (10).* – Кременчук: КГПУ, 2001. – С. 74-78.
14. Карпук И.А., Морозов Д.И., Шевченко И.С., Самчелев Ю.П. Широкорегулируемый асинхронный электропривод, электромагнитно совместимый с питающей сетью // *Вестник Национального технического университета «Харьковский политехнический институт».* Проблемы автоматизированного электропривода: Теория и практика. Вып.47. – Харьков, 2005. – С. 299-302.
15. Скурятин Ю.В., Самчелев Ю.П., Шевченко И.С., Морозов Д.И. Частотно-токовый преобразователь с релейным управлением // *Технічна електродинаміка. Тематичний випуск "Силова електроніка та енергоефективність"*. – Ч.3. – 2003. – С. 5-8.
16. Шевченко И.С., Карпук И.А., Калюжный В.В., Калюжный С.В., Самчелев Ю.П. Регулируемый электропривод с источником тока в роторной цепи // *Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету.* – Вип. 3/2005 (32). – Кременчук: КДПУ, 2005. – С. 197-200.