

ЭЛЕКТРОПРИВОД ПО СХЕМЕ АСИНХРОННОГО ВЕНТИЛЬНОГО КАСКАДА С РЕЛЕЙНОЙ СИСТЕМОЙ ВЕКТОРНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Садовой А.В., Ключев О.В.

Днепродзержинский государственный технический университет

In the paper the synthesis on-off vector of a control system asynchronous gated by the cascade (AGK) with use of completely controlled power transistor converters is considered. The optimum algorithms of management are received at the decision of a task of analytical designing of regulators on the basis of the modified principle of symmetry. The diagrams of transients show the qualitative characteristics of regulation of a variable condition AGK.

Успехи современной полупроводниковой техники в создании силовых транзисторов с одной стороны, и микропроцессорных систем управления с другой, создают реальную возможность внедрения на промышленных предприятиях глубокорегулируемых прецизионных электроприводов переменного тока. Это послужило основой для появления большого количества научных публикаций, посвященных полеориентированному управлению машинами переменного тока. Авторы большинства статей рассматривают в качестве объекта управления асинхронные короткозамкнутые двигатели. В случае асинхронных двигателей с фазным ротором основное внимание уделялось электроприводу по схеме машины двойного питания. Однако, для асинхронного вентильного каскада (АВК), как частного случая машины двойного питания, в области систем управления существует только линейная система подчиненного регулирования тиристорного инвертора в цепи ротора. В упомянутом случае электропривод по схеме АВК наряду с простотой реализации и высоким КПД обладает существенными недостатками:

- неудовлетворительное качество переходных процессов в канале регулирования скорости в силу невозможности с помощью линейных регуляторов скомпенсировать действие внутренних перекрестных обратных связей.
- увеличенное потребление реактивной мощности, что вызвано циркуляцией её не только в статорной, но и в роторной цепи асинхронной машины в условиях отсутствия второго канала управления.

Перечисленные недостатки ограничивают область применения таких систем мощными неререверсивными электроприводами с небольшим диапазоном регулирования скорости. С целью повышения регулировочных и энергетических показателей АВК в этой статье осуществляется синтез релейной полеориентированной системы управления с выделением канала регулирования скорости и канала регулирования реактивной мощности. Скользящий режим релейных регуляторов придаёт такой системе низкую чувствительность к параметрическим и координатным возмущениям, что обуславливает автономность каналов управления активной и реактивной мощностью.

Для описания электромагнитных процессов АД в схеме асинхронного вентильного каскада примем за основу двухфазный асинхронный двигатель с фазным ротором, как идеализированную электрическую машину переменного тока. Не повторяя элементов общей теории электрических машин, примем за исходную известную систему дифференциальных уравнений, записанных для системы ортогональных координат uv , вращающихся в пространстве с некоторой постоянной скоростью. Далее перейдём в координатный базис, ориентированный по вектору потокоцепления статора, когда $\Psi_{su} = \Psi_s$, $\Psi_{sv} = 0$. Тогда получим систему уравнений, записанных в проекциях обобщённых векторов электромагнитных величин на ортогональные оси.

$$\begin{aligned}
 pI_{ru} &= \left(U_{ru} - k_s U_{su} + (\omega_{\Psi_s} - \omega) L_r' I_{rv} + \frac{k_s}{T_s} \Psi_s - R_r' I_{ru} \right) \frac{1}{L_r''} \\
 pI_{rv} &= \left(U_{rv} - k_s U_{sv} - (\omega_{\Psi_s} - \omega) L_r' I_{ru} + k_s \omega \Psi_s - R_r' I_{rv} \right) \frac{1}{L_r''} \\
 p\Psi_s &= U_{su} + \frac{L_m I_{ru} - \Psi_s}{T_s};
 \end{aligned} \tag{1}$$

$$\omega_{\Psi_s} = \frac{(U_{sv} + k_s R_s I_{rv})}{\Psi_s};$$

$$M = -\frac{3}{2} N_p k_s \Psi_s I_{rv};$$

$$p\omega_r = \frac{M - M_c}{J};$$

$$\text{где } k_s = \frac{L_m}{L_s}; \quad T_s = \frac{L_s}{r_s}; \quad R_r' = k_s^2 R_s + R_r + R_d; \quad L_r' = L_{r\sigma} + k_s L_{s\sigma}; \quad L_r'' = L_r' + L_d;$$

L_s, L_r, L_m - индуктивности фаз статора, ротора и взаимная индуктивность между фазами статора и ротора; I_{rv}, I_{ru} - активная и реактивная составляющие токов ротора; $U_{su}, U_{sv}, U_{ru}, U_{rv}$ - значения реактивных и активных составляющих напряжений питания статорных и роторных цепей; Ψ_s - опорный вектор потокосцепления статора; R_s, R_r - активные сопротивления фаз статора и ротора; R_d - активное сопротивление цепи выпрямленного тока; L_d - индуктивность цепи выпрямленного тока; J - момент инерции, приведенный к валу двигателя; $L_{s\sigma}, L_{r\sigma}$ - индуктивности рассеяния фаз статора и ротора; ω_r - угловая скорость вращения вала двигателя; ω - скорость вращения вала двигателя в электрических радианах; ω_{Ψ_s} - скорость вращения опорного вектора потокосцепления статора относительно магнитной оси фазы А статора; N_p - число пар полюсов; p - оператор дифференцирования по времени.

Выделим из системы уравнений две подсистемы, каждая из которых в отдельности описывает каналы передачи активной и реактивной энергии. Эти подсистемы содержат внутренние перекрёстные связи, влияние которых равносильно приложению координатных возмущений к неким фиктивным объектам, описываемым этими, условно выделенными, группами уравнений. Компенсация такого влияния требует введения в структуру линейных САУ дополнительных корректирующих перекрёстных связей, которые не способны обеспечить инвариантность динамических процессов в каналах управления при изменении параметров самого объекта управления. В многосвязных системах прямые каналы можно рассматривать независимо друг от друга, если действие перекрёстных связей считать внешними возмущениями, скомпенсированными системой управления. Релейные регуляторы в скользящем режиме обеспечивают взаимную независимость каналов регулирования при полной компенсации возмущений. При этом возникает возможность исключить из уравнений на этапе алгоритмического синтеза все перекрёстные связи [6]. При таком подходе одновременно с декомпозицией математического описания АВК на два обособленных динамических объекта, решается также задача линеаризации систем дифференциальных уравнений, поскольку все их нелинейные слагаемые относятся к перекрёстным связям между каналами регулирования т. е. исключаются из рассмотрения при синтезе.

С учётом вышесказанного уравнения системы (1) преобразуются к виду, исходному для синтеза релейных регуляторов:

$$\left. \begin{aligned} p\Psi_s &= \frac{L_m I_{ru} - \Psi_s}{T_s} \\ pI_{ru} &= \left(U_{ru} + \frac{k_s}{T_s} \Psi_s - R_r'' I_{ru} \right) \frac{1}{L_r''} \end{aligned} \right\} (2.1)$$

$$\left. \begin{aligned} p\omega_r &= -\frac{3N_p k_s \Psi_s I_{rv}}{2J} - \frac{M_c}{J} \\ pI_{rv} &= \left(U_{rv} + k_s \omega \Psi_s - R_r'' I_{rv} \right) \frac{1}{L_r''} \end{aligned} \right\} (2.2)$$

Построение релейно-векторной системы управления выполним в результате решения задачи аналитического конструирования регуляторов на основе модифицированного принципа симметрии, который основан на концепциях обратных задач динамики и возмущённого - невозмущённого движения, и позволяет связать параметры объекта управления с показателями качества процесса управления.

В результате синтеза, проведенного по методике, изложенной в [1], получим алгоритмы оптимального управления, построенные по принципу каскадно-подчинённого включения регуляторов основной и промежуточной переменной:

в контуре регулирования скорости

$$U_{pc} = U_m \text{sign}(\omega^* - \omega - \gamma_1 p\omega - \gamma_2 pI_{rv})$$

в контуре регулирования активной составляющей тока ротора

$$U_{pam} = U_m \text{sign}(I_{rv}^* - I_{rv} - \gamma_3 pI_{rv})$$

в контуре регулирования потокосцепления статора

$$U_{pn} = U_m \text{sign}(\Psi_s^* - \Psi_s - \gamma_4 p\Psi_s - \gamma_5 pI_{ru})$$

в контуре регулирования реактивной составляющей тока ротора

$$U_{ppm} = U_m \text{sign}(I_{ru}^* - I_{ru} - \gamma_6 pI_{ru})$$

где U_{pc} , U_{pn} - выходные напряжения регуляторов скорости и потокосцепления; $U_{рам}$, $U_{ррт}$ - выходные напряжения регуляторов активного и реактивного токов; U_m - модуль выходного напряжения релейных регуляторов; ω^* , Ψ_s^* - заданные значения скорости и потокосцепления;

Выходные управляющие воздействия регуляторов преобразуются по известным для соответствующей опорной системы координат преобразованиям в управляющие напряжения силовыми транзисторами. Информация с датчиков переменных состояния АВК через обратные преобразования канала ОС поступает в координатный базис, в котором осуществляется синтез регуляторов.

Качественные показатели синтезированной релейно-векторной системы управления АВК иллюстрируются результатами математического моделирования. Асинхронный двигатель описывается дифференциальными уравнениями в фазной системе координат А, В, С. Результаты математического моделирования электропривода по схеме АВК с синтезированной системой управления приведены на рис. 1, 2.

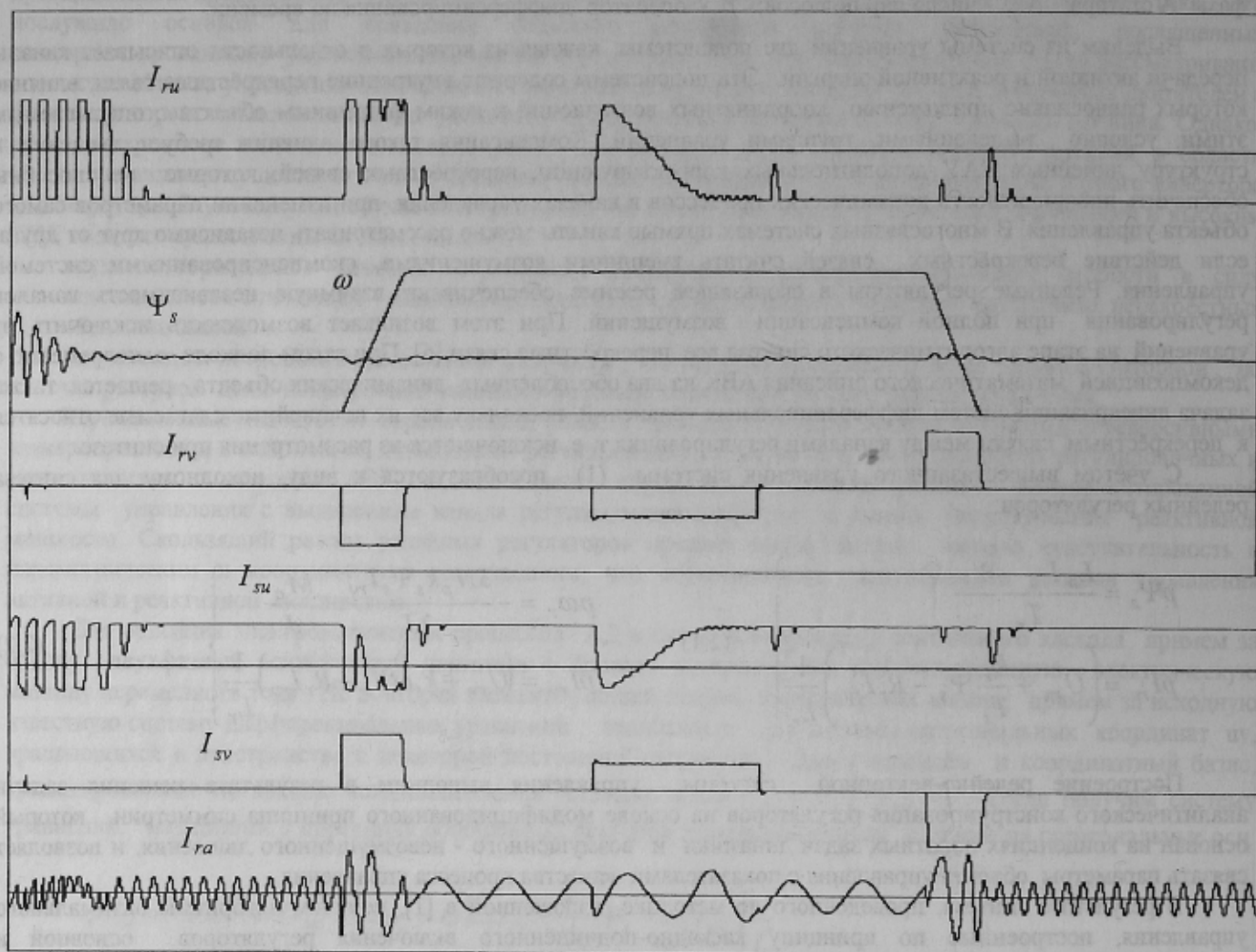


Рисунок 1 – Динамика АВК при прямом подключении статора к сети

На диаграммах переходных процессов рис. 1, 2 показаны два способа пуска АВК. В первом случае происходит возбуждение двигателя при подключенной к питающей сети цепи статора. После того, как возбуждение двигателя установилось, происходит пуск до заданного значения скорости, приложение нагрузки и торможение. Во втором случае, возбуждение двигателя и пуск до заданной скорости осуществляется подачей питания со стороны ротора при замкнутом накоротко статоре. Такой режим пуска возможен только при наличии в цепи ротора полностью управляемого преобразователя. Тогда преобразователь, подключенный к питающей сети, работает в выпрямительном режиме, а роторный преобразователь - в инверторном. После подключения статора к сети режимы работы преобразователей меняются на противоположные. При анализе вида переходных процессов можно видеть, что неудовлетворительные переходные процессы в канале регулирования реактивной мощности не сказываются на качестве управления скоростью. Колебания потокосцепления, которые по каналу обратной связи по ЭДС вращения передаются в контур регулирования скорости, подавляются на разных этапах переходных процессов или регулятором активной составляющей тока ротора, или регулятором скорости. Обусловленность

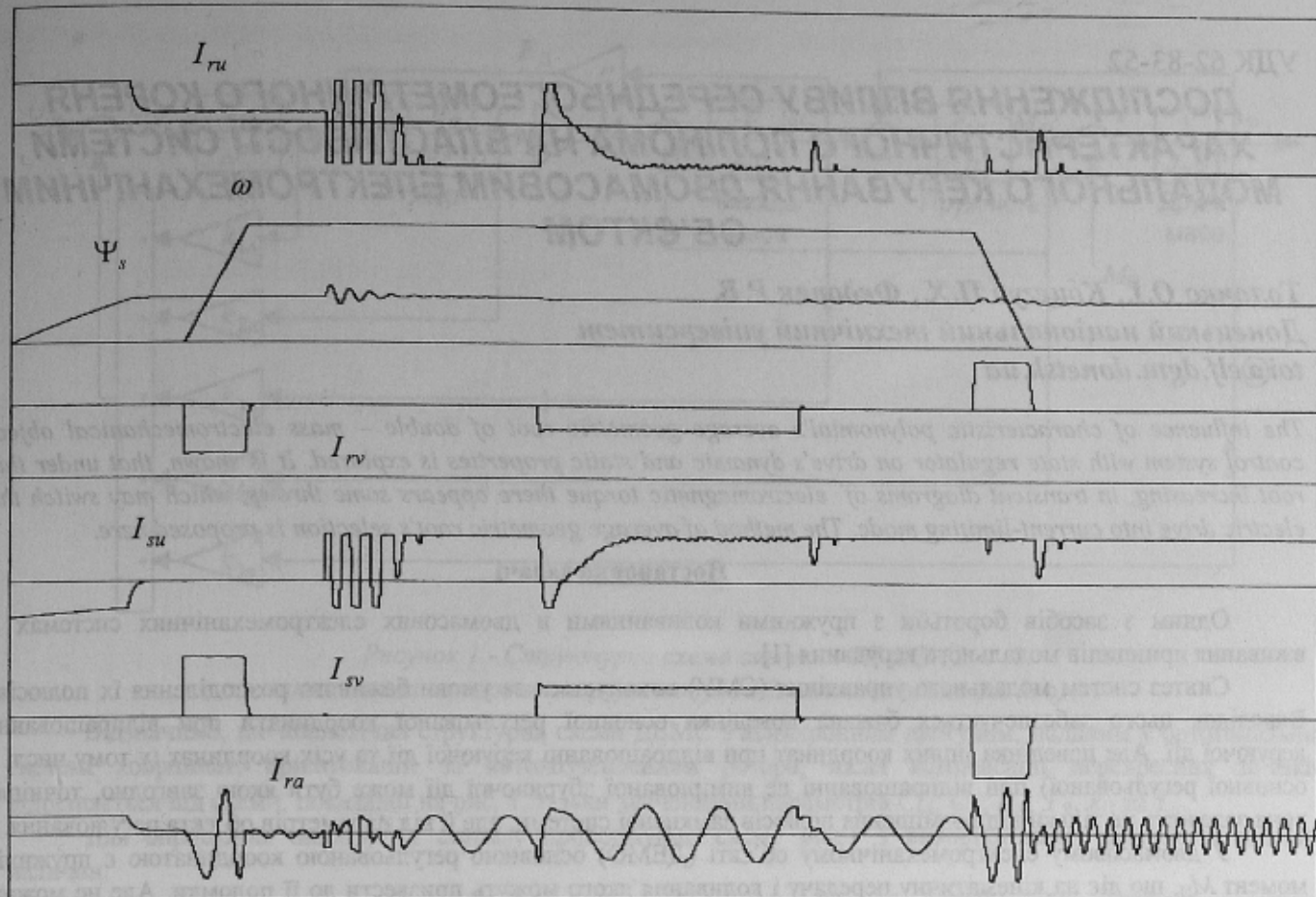


Рисунок 2 – Динамика АВК при пуске с закороченным статором

потокосцеплений машины реактивными составляющими токов статора и ротора создаёт значительные трудности в управлении потокосцеплением статора, регулируя только реактивный ток ротора, в то время как реактивный ток статора, главным образом, зависит от напряжения питания статорных фаз двигателя. При работе регулятора потокосцепления для быстрейшего подавления нежелательных колебаний потокосцепления происходит обратное перемагничивание ротора по отношению к реактивному току статора. При этом колебания потокосцепления затухают быстрее, чем в случае отсутствия этого регулятора. Переходные процессы на рис. 2 предполагают увеличение габаритов серийных машин, рассчитанных на другое распределение токов. При проектировании специальных машин следует увеличить мощность обмотки ротора и уменьшить мощность обмотки статора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Садовой А. В., Сухинин Б. В., Сохина Ю. В. Системы оптимального управления рецезионными электроприводами. - К.:ИСИМО, 1996. - 298 с.
2. Системы подчинённого регулирования электроприводов переменного тока с вентильными преобразователями / О. В. Слежановский, Л. Х. Дацковский, И. С. Кузнецов и др.. - М.: Энергоатомиздат, 1983. - 256 с.
3. Рудаков В.В., Столяров И.М., Дартау В.А. Асинхронные электроприводы с векторным управлением. - Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. отд-ние., 1987. - 139 с.
4. Мееров М.В. Синтез структур систем автоматического регулирования высокой точности. - М.: Наука, 1967. - 423 с.
5. Мееров М. В. Исследование и оптимизация многосвязных систем управления. - М.: Наука, 1986. - 236 с.
6. Клименко Ю. М., Садовой А. В. Структуры и алгоритмы разрывного управления асинхронным электроприводом, унифицированные для ориентации по векторам Ψ_s , Ψ_m или Ψ_r . // сб. "Электромашиностроение и Электрооборудование" № 49,К., Техника.-1997г. -С. 14 - 22.