

УДК 621.313.062.4:621.314.632

ЗАВИСИМОЕ УПРАВЛЕНИЕ РОТОРНЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ В НАДСИНХРОННОМ ВЕНТИЛЬНОМ КАСКАДЕ

Ю.Н. Дементьев, А.А. Расстригин

Томский политехнический университет
E-mail: epatpu@mail2000.ru

Рассмотрена схема надсинхронного вентильного каскада с промежуточным звеном постоянного тока и один из самых простых и надежных способов зависимого управления вентилями роторного преобразователя по потокоцеплению ротора. Представлены уравнения, поясняющие принцип управления, приведены основные выражения для расчета статических характеристик надсинхронного вентильного каскада, а также расчетные характеристики управления и статические механические характеристики.

В связи с актуальностью вопросов рационального и бережного использования топливно-энергетических ресурсов в настоящее время значительно возрос интерес к регулируемым электроприводам переменного тока из-за необходимости их применения для механизмов, которые традиционно были нерегулируемыми. Проблема создания экономичного, регулируемого асинхронного электропривода решается в настоящее время путем расширения областей применения частотного регулирования и каскадных схем с использованием вентильных преобразователей. Перспективными представляются системы экономичного электропривода с полезным использованием энергии скольжения [1–3], в частности, надсинхронный вентильный каскад (НВК), рис. 1.

В НВК активная энергия на скорости выше синхронной потребляется как статором, так и ротором (режим двойного питания) асинхронной машины с фазным ротором (АМ), что позволяет с вала двигателя снимать большую мощность или же при заданной мощности рабочей машины снизить установленную мощность двигателя и вентильного преобразователя, включенного в роторную цепь.

Использование в НВК вентильного преобразователя с промежуточным звеном постоянного тока и естественной коммутацией вентилей значительно его упрощает, повышает надежность, КПД [3].

Во многом работа НВК, рис. 1, зависит от способа коммутации вентилей роторного вентильного преобразователя (РП). Если открывать тиристоры РП по сигналу независимо от двигателя, то получим электропривод с независимым управлением. В таком электроприводе скорость ротора оказывается независимой от нагрузки и пропорциональной задаваемым частотам статора и ротора. Это делает электропривод склонным к неустойчивости.

Поэтому на практике обычно используется так называемое зависимое управление (самоуправление), т.е. вентили РП открывают с частотой, изменяющейся пропорционально частоте вращения ротора асинхронной машины, а коммутацию тока во всех режимах (за исключением области синхронной скорости) осуществляют с помощью напряжения, индуктированного в роторе (машинная коммутация). Момент начала коммутации определяется сигналом, пропорциональным какому-либо сиг-

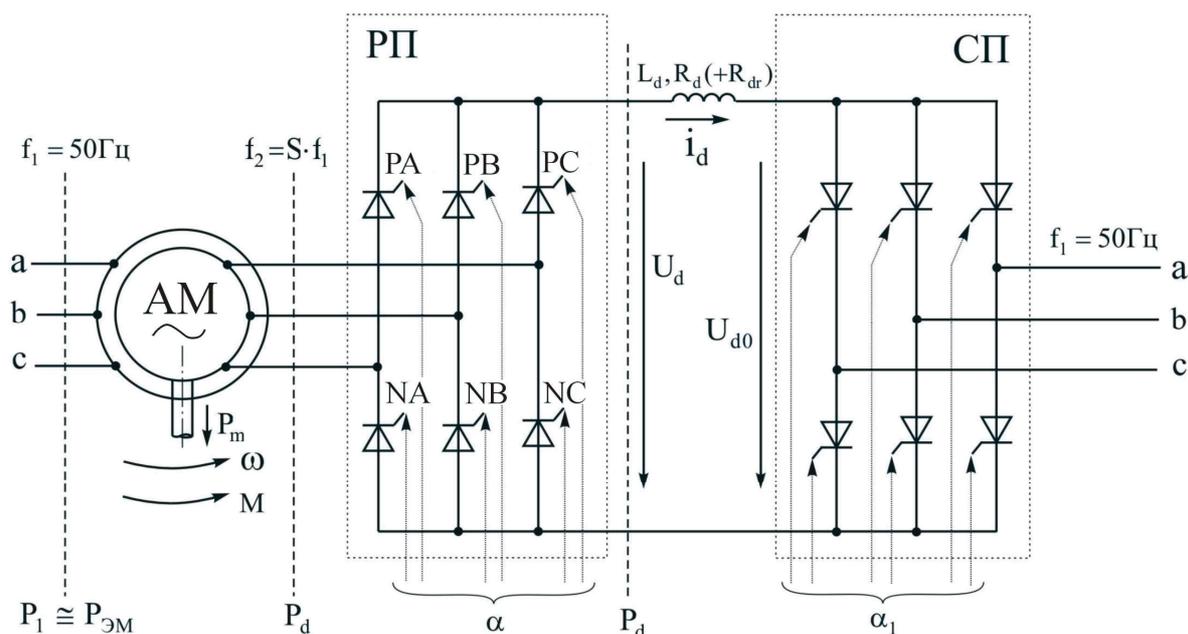


Рис. 1. Электропривод по схеме надсинхронного вентильного каскада

Для упрощения аналитических выражений, по которым можно определить основные величины (ток, напряжение, потокосцепление и т.д.) вентильного роторного преобразователя в надсинхронном вентильном каскаде, примем следующие допущения:

- Угловая скорость вращения ротора постоянна;
- Активное сопротивление статора равно нулю;
- Выпрямленный ток идеально сглажен;
- Активное сопротивление ротора равно нулю.

На основании принятых допущений, например, для тиристора NB (рис. 3) можно записать:

$$\bar{\psi}'_r(t_k) = \Psi'_r \cdot e^{-j(\pi/2+\alpha)}, \quad \bar{i}'_r(t_k) = (2/\sqrt{3}) \cdot I_d \cdot e^{j(\pi/6)},$$

$$\bar{\psi}'_{3r}(t_k) = \Psi_{3r} \cdot e^{-j(\pi/2+\alpha_s)} = \bar{\psi}'_r(t_k) - (L_3 - L'_r) \cdot \bar{i}'_r(t_k).$$

Учитывая допущение о пренебрежении активным сопротивлением ротора, величина среднего выпрямленного тока РП в НВК для углов коммутации $\delta < 60^\circ$ определится по выражению [2]:

$$I_d = (\sqrt{3}/2) \cdot (\Psi'_r / L'_r) \cdot [\cos \alpha - \cos(\alpha + \delta)],$$

где $\Psi'_r / L'_r = I_{кз}$ – ток идеального короткого замыкания роторной цепи.

Действительный угол открывания α можно рассчитать по выражению

$$\alpha = \arctg \frac{\sin \alpha_3 + l \cdot (1 - \cos \delta) \cdot \cos(\alpha_3 + \pi/6)}{\cos \alpha_3 - l \cdot \sin \delta \cdot \cos(\alpha_3 + \pi/6)} = \alpha_3 + \gamma_3, \quad (4)$$

где $l = 1 - L_3/L'_r$, α_3 – угол задания вектора потокосцепления управления в момент открывания тиристора, γ_3 – угол между векторами потокосцеплений управления $\bar{\psi}'_{3r}$ и ротора $\bar{\psi}'_r$.

Из (4) следует, что действительный угол открывания α зависит от переходной индуктивности асинхронной машины L'_r , от величины индуктив-

ности задания L_3 и угла управления задания соответственно α_3 , а также от нагрузки δ . Кроме того, из выражения (4) видно, что при увеличении нагрузки действительный угол открывания α отклоняется от угла открывания при идеальном холостом ходе $\alpha_0 = \alpha(\delta=0) = \alpha_3$. Это отклонение зависит от того, по какому потокосцеплению производится управление. Например, при возрастании нагрузки, если принять $L_3 = L'_r$, угол открывания α остается постоянным; при $L_3 > L'_r$ угол α возрастает ($\gamma_3 > 0$), а при $L_3 < L'_r$ – уменьшается ($\gamma_3 < 0$).

На рис. 4 представлены расчетные характеристики управления $\alpha = f(\delta)$ для нескольких значений индуктивности задания L_3 и угла управления задания α_3 при работе РП в инверторном режиме. Регулировочные характеристики рассчитаны при значении переходной индуктивности асинхронной машины $L'_r = 0,2$. Здесь же приведены граничная характеристика опрокидывания инвертора $\alpha + \delta = 180^\circ$ и характеристика нагрузки $\delta = 60^\circ$, а также характеристики $\alpha + \delta = 150^\circ$ и $\alpha + \delta = 160^\circ$, при которых обеспечивается надежный режим работы РП и в целом НВК в динамическом режиме.

При работе РП в инверторном режиме угол открывания α необходимо устанавливать и поддерживать наибольшим из возможных (в идеальном случае $\alpha + \delta = 180^\circ$). В случае управления РП в НВК по потокосцеплению ротора и выборе оптимальных значений заданий угла управления α_3 и индуктивности L_3 в рабочем диапазоне нагрузки ($\delta \leq 30^\circ$) угол $\alpha + \delta$ остается практически постоянным. Это объясняется тем, что при самоуправлении РП в НВК по потокосцеплению, как видно из (4), возрастание угла нагрузки δ большей частью компенсируется возрастанием отрицательного угла γ_3 . Чем меньше переходная индуктивность ротора L'_r , тем

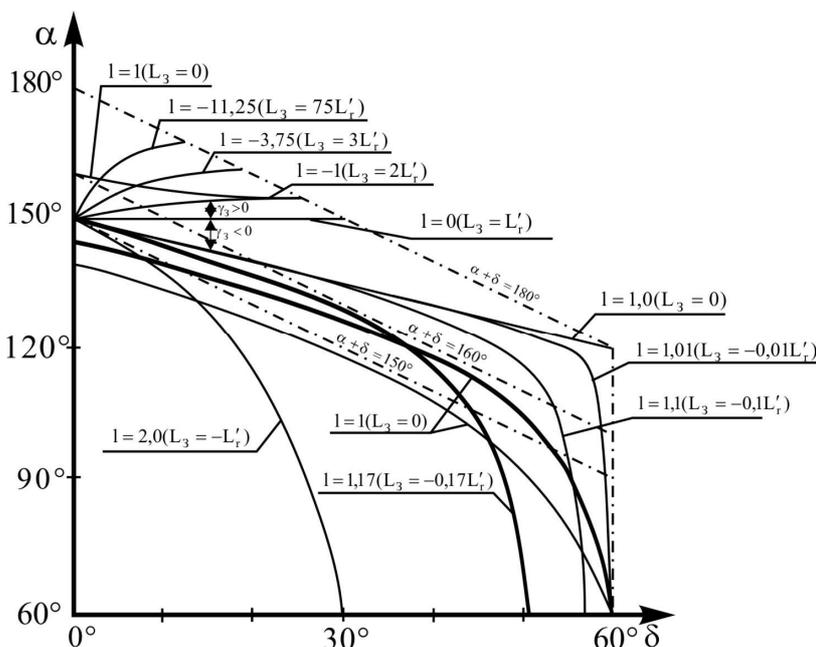


Рис. 4. Расчетные характеристики управления НВК

тем ближе можно подойти к граничной характеристике опрокидывания $\alpha + \delta = 180^\circ$ РП, работающего в инверторном режиме, достичь большего угла $\alpha + \delta$ и обеспечить наилучшее использование РП и АМ.

При $\alpha_3 = 150^\circ$, $L_3 \leq 0$, а также при $L_3 = 0$, $\alpha_3 < 145^\circ$ невозможно достичь режима опрокидывания. При выборе $L_3 = 0$ и $\alpha_3 = 150^\circ$ НВК всегда работает в устойчивом режиме, а действительный угол открывания определяется по следующей упрощенной формуле

$$\alpha = 150^\circ - \delta / 2, \text{ т.е. } \alpha + \delta = 150^\circ + \delta / 2 (\gamma_3 = -\delta / 2).$$

Как видно из рис. 4, расчетные характеристики управления, имеющие значения параметров задания $\alpha_3 = 150^\circ$, $L_3 = -0,17$, $L_3 = -0,1$ или $L_3 = 0$, являются наиболее целесообразными для установки блока зависимого управления РП соответственно нагрузке, т.к. при этом обеспечивается приблизительно постоянное значение динамического запаса от границы опрокидывания ($\alpha + \delta = 180^\circ$) РП, работающего в инверторном режиме во всем рабочем диапазоне изменения нагрузки и надежный режим работы НВК.

Однако расчет статических характеристик, исследования НВК на устойчивость и экспериментальные исследования на реальном электроприводе показали, что значения индуктивности задания не могут иметь большие отрицательные значения, т.к. может наступить режим неустойчивой работы НВК.

Приведем основные выражения, по которым можно рассчитать статические механические характеристики НВК при самоуправлении РП по потокосцеплению ротора [1, 4, 5].

Механические характеристики НВК (ω – угловую скорость, M – электромагнитный момент) можно рассчитать по ниже приведенным выражениям, предварительно определив действительный угол открывания α по выражению (4) для заданных значений угла нагрузки δ .

$$\omega = \omega_0 - s^* \frac{2\pi}{3\sqrt{3}} \frac{U_d}{\Psi_r' [\cos \alpha + \cos(\alpha + \delta)]},$$

где $\omega_2 = \omega_r = \omega_0 - \omega$ – угловая скорость вращения магнитного поля, создаваемого обмоткой ротора; ω_0 – угловая скорость вращения магнитного поля, создаваемая обмоткой статора; $s^* = \text{sign} S$, S – скольжение асинхронной машины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Csörgits F. Die Kennlinien der untersynchroner Stromrichter-kaskade // Period. Politechn. El. Eng. – 1970. – № 14. – С. 212–218.
2. Чижено И.М., Руденко В.С., Сенько В.И. Основы преобразовательной техники. – М.: Высшая школа, 1974. – 430 с.
3. Онищенко Г.Б., Локтева И.Л. Вентильные каскады и двигатели двойного питания. – М.: Энергия, 1979. – 174 с.

$$M = s^* \frac{3\Psi_r'}{4\pi L_r'} [\cos \alpha + \cos(\alpha + \delta)].$$

На рис. 5 представлены расчетная естественная механическая характеристика асинхронной машины и расчетные статические механические характеристики $\omega = f(M)$ НВК для нескольких установочных значений задания L_3 и $\alpha_3 = 150^\circ$ при работе РП в инверторном режиме. Анализ этих характеристик подтверждает, что при выборе больших отрицательных значений L_3 (например, при $L_3 = -0,2$) может наступить неустойчивый режим работы НВК при самоуправлении РП по потокосцеплению.

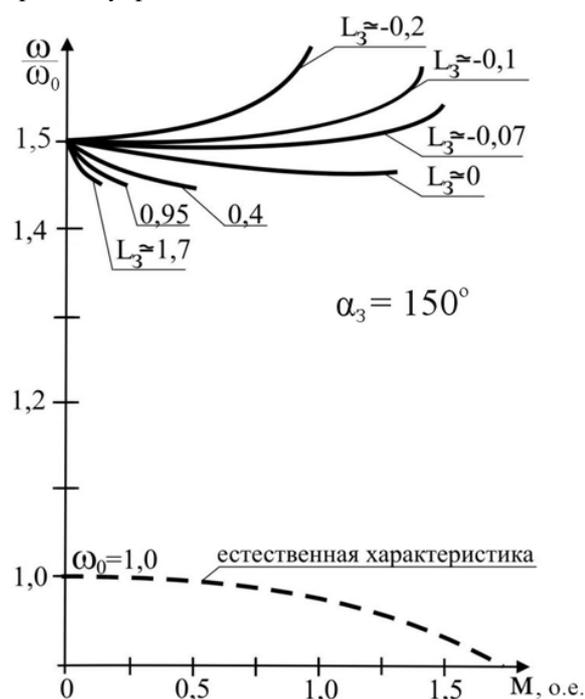


Рис. 5. Статические и механические характеристики НВК

Предлагаемый способ зависимого управления преобразователем достаточно прост при практической реализации и обеспечивают надежную работу электропривода по схеме надсинхронного вентильного каскада. Способ может быть рекомендован для вентильных электроприводов на базе синхронной машины с зависимым инвертором.

4. Schmidt I., Demytyev J.N., Farkas A. Gépi kommutacios szinkron feletti tirisztoros aszinkron motoros kaskad // Elektrotechnika. – 1984. – № 5–6. – О. 160–166.
5. Schmidt I., Demytyev J.N., Hajevszki F. Szabalyozott szinkron feletti kaskad hajtás // Elektrotechnika. – 1985. – № 9–10. – О. 394–400.
6. Schmidt I., Vincze K., Veszpremi K. Adaptive hysteresis current vector controls of synchronous servo drive // Elektromotion. – 1999. – № 1–2. – P. 19–24.