

Тиристорный регулятор напряжения

к.т.н. Кунин П. Н., Кучик М. М., Самуськов В. С.

Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия.

Аннотация. Показана целесообразность построения систем управления асинхронным двигателем изменением питающего напряжения.

Ключевые слова: тиристорный регулятор, регулирование скорости АД изменением питающего напряжения, транзисторный регулятор, потери.

Плавный (мягкий) пуск и торможение, а также управление скоростью асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором (АДКЗ) обеспечивается применением тиристорных регуляторов напряжения (ТРН), устанавливаемых между сетью переменного тока и электродвигателем [1, 2, 3, 4]. АДКЗ, управляемый через ТРН, уступает по диапазону и качеству управления частотным преобразователям, но имеет преимущества в цене, простоте и дешевизне системы управления. Однако его применение ограничено механизмами, в которых пуск происходит при небольших нагрузках при не широком диапазоне управления скоростью, в частности требования удовлетворяют электроприводы с вентиляторной нагрузкой.

Для ТРН характерно то, что при регулировании величины напряжения искажается синусоидальная форма питающего электродвигатель напряжения. В результате на выходе ТРН кроме первой, присутствуют высшие гармоники. Поскольку средний электромагнитный момент АДКЗ определяется первой гармоникой напряжения принимается, что влияние

высших гармоник невелико и ими можно пренебречь [1, 2, 3, 4]. Тем не менее высшие гармоники создают дополнительные потери мощности и помехи в системах управления, снижают коэффициент мощности.

Если потери энергии, связанные с высшими гармоническими, изучены достаточно полно [2, 5], то изучение характера их влияния на коэффициент мощности и точность управления электроприводом, выпали из поля зрения исследователей. В этой связи актуальность проблемы изучения влияния изменения коэффициента мощности на энергетические показатели АДКЗ и целесообразность создания систем управления по первой гармонике не вызывает сомнения.

1. Принцип действия и недостатки существующих ТРН

ТРН предназначен для изменения напряжения сети $u(t)$ с целью управления плавностью пуска, торможения и скоростью АДКЗ. ТРН состоит [1, 3, 4, 5] из силовой и управляющей на базе микроконтроллера частей (рисунок 1.1,а).

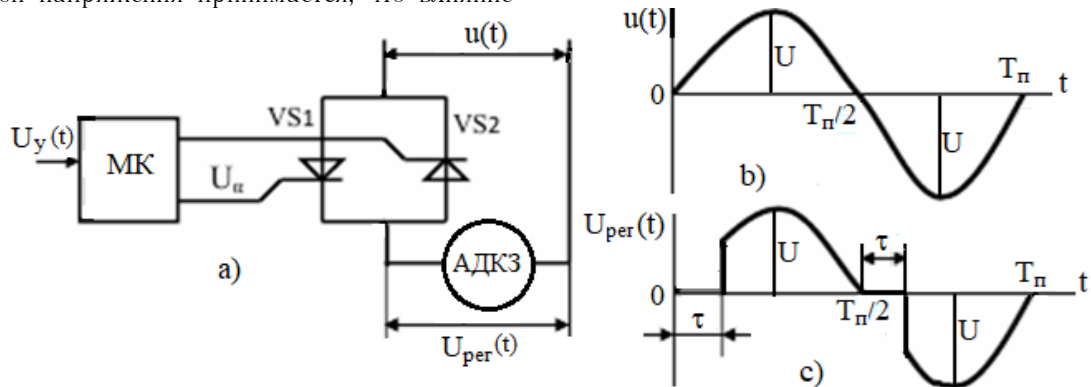


Рисунок 1.1 – Тиристорный регулятор напряжения с АДКЗ

Силовая часть ТРН (рисунок 1.1) образована двумя тиристорами VS1 и VS2, включенными по встречно-параллельной схеме, которая обеспечивает протекание тока в нагрузке в оба полупериода напряжения сети $u(t)$ (рисунок 1.1,б). Управление тиристорами осуществляется микроконтроллерной (МК) системой временной задержки импульсов, которая подает на тиристоры импульсы управления U_α и обеспечивает их задержку на интервал времени τ (рисунок 1.1,с), в соответствии с сигналом управления $U_y(t)$.

Если осуществлять подачу импульсов управления на тиристоры с некоторой временной задержкой $\tau \neq 0$ (рисунок 1.1,с) по отношению к моменту перехода волны синусоиды через ноль, то к нагрузке будет прикладываться часть напряжения сети $U_{per}(t)$.

Изменяя время задержки τ можно регулировать напряжение $U_{per}(t)$ от полного напряжения сети до нуля при неизменной частоте напряжения.

Системы АДЛЗ с ТРН строятся как с обратной связью по скорости электродвигателя, так и без, находят применение системы с контролем тока. Регуляторы без обратной связи не в состоянии обеспечить необходимые показатели качества процесса управления скоростью, основное их назначение— регулирование момента для получения нужного режима работы привода в динамических процессах.

В источнике [2] предлагается система управления скоростью АДКЗ по принципу систем управления подчиненного регулирования с внутренним контуром тока и внешним контуром скорости электродвигателя. Необходимость контура тока авторами [2] объясняется тем, что только контур скорости не обеспечи-

вает устойчивость системы. Не предлагается метод синтеза регулятора тока для существенно нелинейного объекта управления, каковым является АДКЗ. В работе [5] в упрощенном виде представлены только системы плавного пуска и торможения, а в источнике [3] наряду с плавным пуском добавлена обратная связь по скорости вращения АДКЗ. Системы управления АДКЗ с ТРН с контуром тока непрерывного действия широкого применения не нашли. Проблема полностью не решена.

2. Сравнительный анализ силовых цепей ТРН

На рисунке 1.2, а—д показаны возможные схемы включения выпрямительных элементов ТРН в одной фазе. Наиболее распространенной из них является схема на рисунке 1.2,а. Она может быть использована при любой схеме соединения обмоток статора. Допустимый ток через нагрузку (действующее значение) в этой схеме в режиме непрерывного тока равен:

$$I_n \leq \frac{\pi}{\sqrt{2}} \cdot I_T$$

где I_T — допустимое среднее значение тока через тиристор.

В схеме на рисунке 1.2,б используется только один тиристор, который включен в диагональ моста из неуправляемых диодов. Соотношение между токами нагрузки и тиристора для этой схемы имеет вид:

$$I_n \leq \frac{\pi}{2 \cdot \sqrt{2}} \cdot I_T$$

Неуправляемые диоды выбираются на ток вдвое меньший, чем для тиристора. Максимальное прямое напряжение на тиристоре

$$U \geq k_{\text{зап}} \cdot \sqrt{2} \cdot U_c$$

Обратное напряжение на тиристоре близко к нулю.

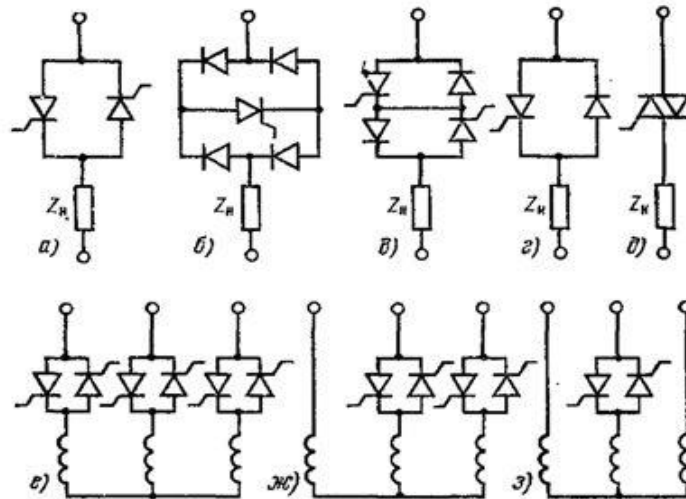


Рисунок 1.2 - Схемы силовых цепей тиристорных регуляторов напряжения

Схема на рисунке 1.2,б имеет некоторые отличия от схемы на рисунке 1.2,а по построению системы управления. В схеме на рисунке 1.2,а управляющие импульсы на каждый из тиристорov должны следовать с частотой питающей сети. В схеме на рисунке 1.2,б частота импульсов управления вдвое больше.

Схема на рисунке 1.2,в имеет некоторые отличия от схемы на рисунке 1.2,а по построению системы управления. В схеме на рисунке 1.2,а управляющие импульсы на каждый из тиристорov должны следовать с частотой питающей сети. В схеме на рисунке 1.2,в частота импульсов управления вдвое больше.

Схема на рисунке 1.2,г, состоящая из двух тиристорov и двух диодов, по возможности управления, нагрузке, по току и максимальному прямому напряжению тиристорov аналогична схеме на рисунке 1.2,а. Обратное напряжение в этой схеме из-за шунтирующего действия диода близко к нулю.

Схема на рисунке 1.2,д по току и максимальному прямому и обратному напряжению тиристорov аналогична схеме на рисунке 1.2,а. Схема на рисунке 1.2,д отличается от рассмотренных требованиями обеспечению необходимого диапазона изменения угла регулирования тиристорov. Если угол отсчитывать от нуля фазного напряжения, то для схем на рисунках 1.2,а - 1.2,в справедливо соотношение

$$\varphi < \alpha < 150^\circ$$

где φ - фазовый угол нагрузки.

Для схемы на рисунке 1.2,г аналогичное соотношение приобретает вид:

$$\varphi < \alpha < 210^\circ$$

Необходимость увеличения диапазона изменения угла усложняет систему управления тиристорами. Схема на рисунке 1.2,г может быть применена при включении обмоток статора в звезду без нулевого провода и в треугольник с включением выпрямительных элементов в линейные провода. Область применения указанной схемы ограничена неререверсивными, а также реверсивными электроприводами с контактным реверсом.

Схема на рисунке 1.2,д по своим свойствам аналогична схеме на рисунке 1.2,а. Ток симистора равен току нагрузки, а частота импульсов управления равна двойной частоте питающего напряжения. Недостаток схемы на симисторах — значительно меньше, чем у обычных тиристорov, допустимые значения du/dt и di/dt .

Таким образом, для ТНР АДКЗ предпочтительна схема на рисунке 1.2,е с двумя встречно-параллельно включенными тиристорами в фазе, она наиболее экономичная. Нашла широкое применение

в регуляторах напряжения электродвигателей вентиляторов, поскольку в силу симметрии характеризуется наименьшими потерями от высших гармонических токов и лучшим коэффициентом мощности.

Литература:

1. Гульков Г.И. Системы автоматизированного управления электроприводами [Текст], учеб. пособие / Г.И. Гульков, Ю.Н. Петренко, Е.П. Раткевич, О.Л. Симоненкова; под общ. ред. Ю.Н. Петренко. - 2-е изд., испр. и доп. - Минск: Новое знание, 2007. - 394 с.
2. Терехов В.М. Системы управления электроприводов [Текст] / В.М. Терехов, О.И. Осипов. - 2-е изд., стер. - Издательский центр «Академия», 2006. - 304 с.
3. Тиристорные регуляторы напряжения для плавного пуска, торможения и управления скоростью вращения вала асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором [Электронный ресурс], <http://electricalschool.info/elprivod/1013-tiristornye-reguljatory-naprjazhenija.html>.
4. Устройство и принцип действия тиристорного регулятора напряжения [Электронный ресурс], <http://www.gaw.ru/html/cgi/txt/gl/proizv2/ustrojstvo-i-princip-djeystvija-tiristornogo-rjegljatora.htm>.
5. Фираго Б.И. Регулируемые электроприводы переменного тока [Текст] / Б.И. Фираго, Л.Б. Павлячик. - Мн.: Техноперспектива, 2006. - 363 с.