

**УДК 621.923.752**

*Л.А. ЖУРАВЛЕВА*, м.н.с., ВНУ им. В.Даля, Луганск

*В.В. ЯКОВЕНКО*, докт.техн.наук, проф., зав.каф., ВНУ им. В.Даля, Луганск

*С.Е. ДЗЕЙ*, асп., ВНУ им. В. Даля, Луганск

## **РЕГУЛИРОВАНИЕ УГЛОВОЙ СКОРОСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ВИБРОСТАНКА**

Рассмотрены вопросы регулирования циркуляционного движения рабочей среды путем регулирования угловой скорости электропривода станка.

Ключевые слова: покрытие, рабочие тела, рабочая среда, электропривод станка, регулирование скорости, асинхронный двигатель, виброобработка.

Розглянуто питання регулювання циркуляційного руху робочого середовища шляхом регулювання кутової швидкості електроприводу верстата.

Ключові слова: покриття, робочі тіла, робоче середовище, електропривід верстата, регулювання швидкості, асинхронний двигун, віброобробка.

The problems of regulation of the circulation movement of the working environment by controlling the angular velocity of the electric machine.

Key words: coverage, working the body, working environment, electric machines, variable speed, induction motor, vibration treatment.

Механическая энергия и химические реакции уже более трех десятилетий используются при комбинировании методов обработки поверхности и нанесения покрытий. Вибрационные механохимические покрытия являются неотъемлемой частью комбинированных методов обработки. Интерес этого направления возрастает в связи с созданием новых видов изделий, возникновением новых требований к качеству поверхности и коррозионной стойкости, для удовлетворения которых традиционные пути не всегда оптимальны [1]

Цель работы - обеспечить нанесение качественного покрытия за счет регулирования угловой скорости электропривода вибростанка.

Для реализации поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

1. Изучить основные показатели регулирования угловой скорости электропривода.
2. Разработать схему регулирования скорости двигателя вибростанка с частотный управлением.

Формирование защитного покрытия при вибрационном механохимическом нанесении происходит за счет прямых и косых ударов рабочих тел. В работе [2] установлено, что при механохимическом вибрационном способе нанесения покрытия протекают одновременно два противоположных процесса нанесения и снятие покрытия, что связано с воздействием прямых или косых ударов. Из

приведенных данных вытекает, что для обеспечения нанесения качественного покрытия необходимо производить регулирование циркуляционного движения рабочей среды. Это возможно осуществлять путем регулирования угловой скорости электропривода вибростанка.

Технологический процесс нанесения металлического покрытия и процесс вибрационной обработки требует изменения частоты колебаний контейнера в диапазоне от 15 до 75 Гц. Существующий электропривод вибровозбудителей имеет постоянную угловую скорость. Вибровозбудитель жестко связан с контейнером и частота колебаний контейнера изменяется путем соответствующего подбора диаметра шкивов клиноременной передачи от электродвигателя к вибровозбудителю. Такой способ изменения частоты колебаний контейнера непригоден для нанесения цинкового покрытия в процессе виброобработки деталей, так как требует прерывания технологического процесса и занимает недопустимо большое время.

Поэтому электропривод вибростанка должен иметь регулировку частоты вращения.

Регулированием скорости называется принудительное изменение скорости электропривода в зависимости от требований технологического процесса. Регулирование скорости осуществляется дополнительным воздействием на приводной двигатель; оно может быть произведено вручную или специальным автоматическим устройством.

Диапазон регулирования угловой скорости определяется отношением возможных установившихся скоростей; максимальной  $\omega_{\max}$  к минимальной  $\omega_{\min}$

$$D = \frac{\omega_{\max}}{\omega_{\min}} \quad (1)$$

При заданной точности регулирования для установленных пределов изменения момента нагрузки и других возмущений. Для вибростанков, предназначенных наносить металлические покрытия, диапазон равен 5/1.

Плавность регулирования характеризует скачок скорости при переходе от данной скорости к ближайшей возможной. Плавность тем выше, чем меньше этот скачок. Плавность регулирования оценивается коэффициентом плавности регулирования, который находится как отношение двух разных значений угловых скоростей при регулировании

$$\varphi_{пл} = \frac{\omega_i}{\omega_{i-1}} \quad (2)$$

где  $\omega_i$  и  $\omega_{i-1}$  - угловые скорости соответственно на  $i$ -той и  $(i-1)$ -й ступенях регулирования.

При плавном регулировании  $\varphi_{пл} \rightarrow 1$ , а число скоростей  $z \rightarrow \infty$ .

Экономичность регулирования характеризуется затратами на сооружение и эксплуатацию электропривода. Экономически выгодным является такой электропривод, который обеспечивает большую производительность приводимого им в действие механизма при высоком качестве технологического процесса и сравнительно быструю окупаемость.

При оценке экономичности регулируемого электропривода следует принимать во внимание надежность его в эксплуатации, а так же учитывать

стоимость оборудования необходимого для изготовления электропривода. Существенные значения имеют потери энергии в процессе регулирования. Потери мощности  $\Delta P$ , возникающие при регулировании скорости, определение КПД привода:

$$\eta = \frac{P_2}{(P_2 + \Delta P)} \quad (3)$$

где  $P_2$  - мощность на валу электродвигателя.

Потери энергии при регулировании скорости различны для разных способов регулирования. Они сравнительно велики в системах, где регулирование ведется в главных цепях машины, и значительно ниже при регулировании в цепях возбуждения.

Важным экономическим показателем электропривода является коэффициент мощности и потребление реактивной энергии за рабочий цикл. Сдвиг фаз между током и напряжением сети обуславливается потреблением реактивной мощности, затрачиваемой на создание магнитного потока.

Зная потребляемые двигателем активную  $P_a$  и реактивную  $P_p$  мощности, можно определить коэффициент мощности, с которым в данный момент работает двигатель:

$$\cos \varphi = \frac{P_a}{\sqrt{(P_a^2 + P_p^2)}} \quad (4)$$

Коэффициент мощности асинхронного двигателя в большей степени зависит от нагрузки; при холостом ходе коэффициент мощности мал вследствие значительной реактивной мощности, затрачиваемой на создание магнитного потока, и также активной мощности, связанной лишь с постоянными потерями. По мере роста нагрузки примерно до номинальной активная мощность растет быстрее реактивной и  $\cos \varphi$  возрастает до номинальных значений.

Исходя из перечисленных показателей, можно сказать, что для регулировки скорости вращения вала электродвигателя вибровозбудителя в первую очередь основными являются жесткость механической характеристики и экономичность регулирования. Поэтому целесообразно выбрать схему регулирования скорости двигателя, предложенную в работе [3], которая называется схемой синхронизированного асинхронного электропривода с частотным управлением.

Одним из перспективных направлений при создании регулируемых электроприводов является получение свойств синхронного двигателя в электроприводах с асинхронными электродвигателями с фазным ротором путем пропускания по объектам ротора тока сверхнизкой частоты несинусоидальной формы.

Из [4, 5] известно, что при использовании одного из режимов двойного питания, заключающегося в пропускании по обмоткам ротора асинхронного фазного двигателя постоянного тока, можно получить свойства синхронного двигателя. При этом возможно использование частотного принципа регулирования скорости вращения асинхронного двигателя. Также системы удобно использовать на механизмах, в которых сочетаются требования

получения абсолютно жестких характеристик и регулирования скорости в широком диапазоне.

Предложенный режим питания обмоток ротора сочетает в себе особенности синхронизированного асинхронного электропривода и системы частотный преобразователь – двигатель.

По мере возрастания постоянного напряжения, подаваемого в ротор и, как следствие возрастания тока ротора, происходит возрастание максимального момента двигателя. Принципиальная электрическая схема синхронизированного асинхронного электропривода с частотным управлением показана на рис. 1.

Равномерность нагрева трехфазной обмотки ротора обеспечивается путем циклического последовательного чередования цепей, по которым протекает максимальный ток.

Конструктивные особенности асинхронного двигателя с фазным ротором позволяют осуществить последовательное соединение обмотки статора и ротора двигателя через вентильные элементы (рис. 2)

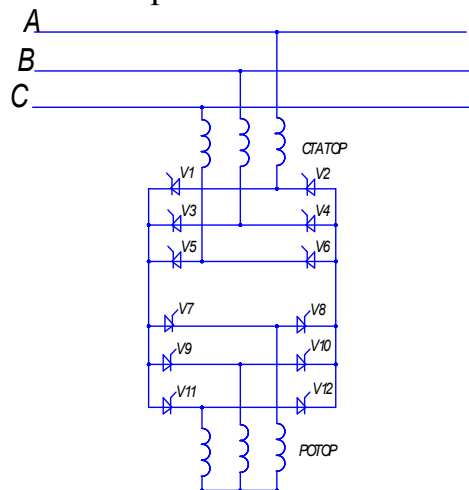


Рис. 2. Синхронизированный асинхронный двигатель с последовательным возбуждением и коммутацией обмотки ротора

Этот процесс продолжается до достижения двигателем критического момента, при превышении значения которого происходит выпадение его из синхронизма. Переключение вентиля осуществляется с частотой более чем на порядок меньшей частоты питающей сети.

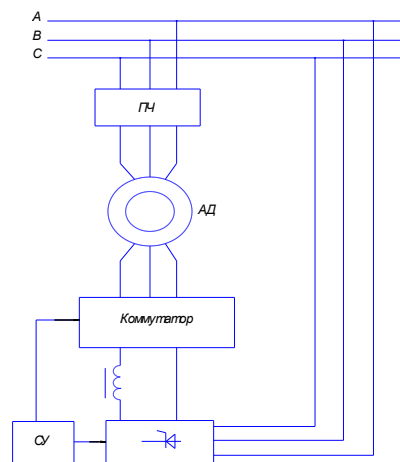


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема синхронизированного асинхронного электропривода с частотным управлением: ПЧ – преобразователь частоты; АД – асинхронный двигатель; СУ – схема управления; УВ – управляемый выпрямитель

Реализация энергии скольжения и простота вентильной части обеспечивает экономичность и надежность электропривода такого типа. Наиболее эффективно использование сочетание принципа последовательного возбуждения совместно с синхронизированием асинхронного двигателя и фазным ротором.

Механические характеристики синхронизированного асинхронного двигателя представляют собой прямые параллельные оси абсцисс функции  $\omega = f(m)$ , то есть с ростом статического момента растет пик статора и соответственно момента двигателя.

Промежуток времени между переключениями может составлять от 10с до нескольких минут. По каждой из фазных обмоток ротора 1/2 периода работы протекает максимальный ток, 1/3 периода работы – только половина, максимального тока, а 1/6 периода работы – ток в обмотке ротора отсутствует (рис 3). Поэтому фазные обмотки ротора имеют одинаковый тепловой режим.

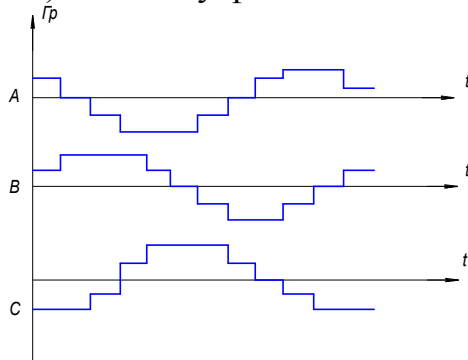


Рис. 3. Циклограммы переключений обмоток ротора синхронизированного асинхронного двигателя с углом смещения вектора магнитного тока на  $30^\circ$ .

направления протекания токов приводит к сдвигу угла нагрузки, а с другой стороны, необходимо обеспечивать тепловой баланс роторных обмоток электродвигателя.

Одним из способов пуска синхронизированного асинхронного двигателя является асинхронный пуск. После втягивания двигателя в синхронизм наблюдается снижение тока статора, что позволяет повысить КПД синхронизированной асинхронной машины.

Амплитуды колебаний устанавливаются с уменьшением начального значения скольжения при вхождении в синхронизм. Имеет место меньшие изменения кинетической энергии ротора, а значит, и меньшие колебания.

Процесс наброса нагрузки в установившемся режиме работы синхронизированного асинхронного двигателя аналогичен переходному процессу втягивания его в синхронизм, за исключением отсутствия скольжения. В случае, когда значение статического момента набрасываемой нагрузки велики, близки к критическим, переходной процесс наброса нагрузки принимает аperiodический характер, а при превышении критического значения статического момента двигатель выпадает из синхронизма при условии, что отсутствует форсировка возбуждения.

Использование синхронизированного асинхронного электропривода рекомендуется на инерционных механизмах.

Такая область применения обусловлена коммутационными процессами в синхронизированном асинхронном двигателе с фазным ротором, которые приводят к возникновению колебательности в системе, обмену энергией магнитного поля и механически вращающихся частей вибровозбудителя. Для инерционных механизмов электромагнитные переходные процессы, происходящие в роторе, не вызывают электромеханические переходные процессы, так как электромеханическая постоянная времени значительно

Коммутатор представляет собой устройство управления, основанное на логических элементах, воздействующее на основные управляемые ключи. Управление основными ключами можно осуществить с помощью программируемого логического модуля LOGO фирмы “Siemens” использующие релейные выходы.

Более дешевым вариантом может служить устройство управления, построенное на жесткой логике. Период коммутации, с одной стороны, должен быть наибольшим, так как изменение

превышает электромагнитную постоянную времени. То есть механическая часть привода, которая представляет собой вибровозбудитель, является фильтром высокочастотных колебаний электромагнитного момента. Получение апериодического процесса при коммутации, то есть снижение бросков тока при переключении, минимизация влияния переключений на устойчивость системы, снижение амплитуды колебательной скорости двигателя и повышения коэффициента ее затухания, осуществляется за счет уменьшения угла отклонения вектора магнитного потока и применение широтно-импульсной модуляции.

Коммутация обмоток ротора с отклонением магнитного потока на угол  $\pi/6$  имеет значительные преимущества: во-первых, это наименьший угол, на который можно произвести сдвиг магнитного потока. Очевидно, чем на меньший угол происходит смещение векторов, тем меньше возмущающее воздействие оказывается на систему, и тем быстрее она возвращается к установившемуся режиму при прочих равных условиях. Во-вторых, в таком режиме работы облегчается коммутация, так как в каждой обмотке при смене направления протекания тока выдерживается безтоковая пауза, позволяющая спасти току и исключаящая возникновение перенапряжения в обмотке. На рис.4 приведено схематичное представление коммутатора, последовательность переключения тиристоров приведена в табл.

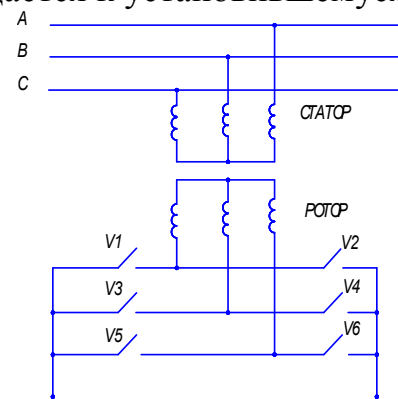


Рис. 4 Схема работы коммутатора

Таблица . Последовательность переключений управляемых вентилях (тиристоров) при смещении вектора магнитного потока на угол  $30^\circ$ .

Номер переключения в цикле	Номер вентиля					
	V1	V2	V3	V4	V5	V6
1		X	X			X
2			X			X
3	X		X			X
4	X					X
5	X			X		X
6	X			X		
7	X			X	X	
8				X	X	
9		X		X	X	
10		X			X	
11		X	X		X	
12		X	X			

Инертно-импульсная модуляция – это коммутация «растянутая» во времени. Коммутацию можно осуществлять как по линейному закону длительного открытия вентиля, так и по другим нелинейным законам.

Для достижения наилучших регулировочных характеристик необходимо использовать замкнутые системы управления синхронизированным асинхронным двигателем.

Приведенная система используется двигатель с фазным ротором мощности 4,5 кВт. Асинхронные двигатели с фазным ротором стоят дороже асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором, кроме того они имеют меньшую надежность, так как используют щетки.

Однако системы управления скоростью асинхронных двигателей с фазным ротором более качественны, то есть имеют более жесткую механическую характеристику, хорошую динамику и высокий КПД, чем системы с асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором.

Принцип построения системы управления скоростью привода отличается простотой и надежностью, так как отсутствуют обратные связи и используются серийно выпускаемое электротехническое оборудование.

В результате проведенных исследований установлено, что:

1. Применение синхронизированного асинхронного электропривода на базе асинхронного электродвигателя с фазным ротором совместно с частотным управлением является целесообразным на механизмах, требующих сочетания абсолютно жестких характеристик и регулирования скорости в широком диапазоне. К таким механизмам относится вибровозбудитель вибростанка.

2. Последовательное соединение обмоток синхронизированного асинхронного двигателя через вентильные элементы позволяет выровнять амплитуды токов статора и ротора и подключить к питающей цепи только выводы обмоток статора, что дает возможность исключить из схемы согласующий трансформатор.

3. Повышение перегрузочной способности асинхронного двигателя с фазным ротором при использовании в системе синхронизированного электропривода достигается путем поочередного подключения обмоток ротора к источнику питания.

4. Применение принципа синхронизации в электроприводе на базе асинхронного двигателя с фазным ротором позволяет при номинальном моменте снизить ток статора на 23%, повысить КПД электропривода на 6%, а также улучшить  $\cos \varphi$  на 12%, по сравнению с двигателем с заключенным ротором.

**Список литературы:** 1. *Иванов В.В.* Вибрационные механохимические методы нанесения покрытий: монография / В.В. Иванов. – Ростов н/Д: Издательский Центр ДГТУ, 2007. – 140с. 2. *Журавлева Л.А.* Нанесение цинкового покрытия в двухфазной среде при вибрационной обработке. / Л.А. Журавлева, Л.Г. Колодяжная, Л.М. Лубенская, Н.Б. Чернецкая. – Харьков: Восточноевропейский журнал передовых технологий. – №2/1 (38). – 2009. – сс. 13 – 161. 3. *Подольский М.А.* Оценка эффективности упрочнения деталей динамическими методами ППД на основе энергетического критерия. Дис... канд. техн. наук: 05.02.08. – Ростов-на-Дону, 2005. – 147с. 4. *А.с. 782062 СССР.* Синхронизированный асинхронный двигатель / Р.Б. Авринский, В. П. Пригозь (СССР) // Открытия. Изобретения. – 1980. - № 43. 5. *А.с. 1728348 СССР.* Способ управления электроприводом затвора гидротехнического сооружения / Д.Г. Власов (СССР) // Открытия. Изобретения – 1992. – № 15.

*Поступила в редколлегию 25.08.2011*