



Научно-технический центр электропривода "Вектор"

вход
Главная
Контакты
Новости

- ▼ О компании
 - Подробнее...
 - Контакты
- ▼ Наши разработки
 - ▶ Преобразователи частоты
 - Силовые сборки
 - Источники питания
 - Рекуперативные выпрямители
 - ▶ Фильтры
 - ▶ Стенды
 - Программное обеспечение
- ▼ Применение
 - ▼ Карьерные самосвалы
 - Модернизация самосвалов
 - Ходовые испытания
 - Бездатчиковая СУ
 - Транспорт
 - ▶ Производство
 - Управление насосными станциями
 - ▶ ЖКХ
- Публикации
- ▼ Поддержка
 - Карьерные самосвалы
- Обратная связь

Главная

АСИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ОБЩЕПРОМЫШЛЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ С ПРЯМЫМ ЦИФРОВЫМ УПРАВЛЕНИЕМ И РАЗВИТЫМИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫМИ СВОЙСТВАМИ

УДК:621.3.072.6

АСИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ОБЩЕПРОМЫШЛЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ С ПРЯМЫМ ЦИФРОВЫМ УПРАВЛЕНИЕМ И РАЗВИТЫМИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫМИ СВОЙСТВАМИ

А.Б. Виноградов, В.Л. Чистосердов, А.Н. Сибирцев, Д.А. Монов

В последние годы существенно вырос потребительский спрос на частотно-регулируемый электропривод общепромышленного назначения. К нему обычно не предъявляется повышенных статических и динамических требований, диапазон регулирования скорости не превышает 50:1. На первый план выходят показатели надежности, экономичности, удобство в эксплуатации, объем дополнительных функциональных возможностей, предоставляемых потребителю наряду с основным режимом работы привода - режимом регулирования частоты вращения. В настоящее время образовался серьезный дефицит отечественных разработок в области частотно-регулируемого электропривода конкурентоспособного на мировом рынке уровня. Это привело к тому, что значительная доля потребительского спроса на нашем внутреннем рынке удовлетворяется за счет электроприводов импортного производства. Небольшая доля общего спроса приходится на электроприводы отечественного производства, собираемые по "отверточной" технологии с закрытым от производителя программным обеспечением. Стоимость таких приводов, как правило, мало отличается от стоимости их импортных аналогов, перспективы их совершенствования и удешевления невысоки.

Асинхронный электропривод с преобразователем частоты мощностью 5.5-55 кВт, разработанный в научно-исследовательской лаборатории "Вектор" кафедры электропривода Ивановского государственного энергетического университета в целом не уступает своим зарубежным аналогам, а по ряду технических характеристик и функциональных возможностей существенно их превосходит. Его отличительными особенностями являются: повышенный коэффициент использования источника питания за счет заложенного в нем принципа пространственно-векторного формирования выходного напряжения, удобный и понятный интерфейс, адаптированный под русскоязычного пользователя, наличие функций самонастройки на параметры объекта регулирования, высокая информативность, простота в эксплуатации, стоимость, как минимум в 1.5 раза меньшая своих самых дешевых зарубежных аналогов.

Область применения электропривода - механизмы вентиляторов, насосов, подъемно-транспортных средств, приводы главного движения и вспомогательных механизмов металлорежущих и деревообрабатывающих станков и других общепромышленных механизмов с диапазоном регулирования скорости до 50:1.

Преобразователь частоты включает трехфазный неуправляемый выпрямитель, трехфазный мостовой IGBT-инвертор с модулем торможения, микропроцессорную систему управления.

Среди технических характеристик и функциональных возможностей электропривода, более подробно изложенных в [1], отметим следующее:

- работу электропривода в длительном, кратковременном и повторно-кратковременном режимах регулирования скорости;
- плавный разгон, торможение, реверс с регулируемыми интенсивностями;
- автоматическое регулирование технологической переменной, вводимой в виде сигнала обратной связи;
- режим динамического торможения;
- режим работы по циклограмме с программируемыми параметрами;
- индикацию состояния электропривода дискретными сигналами;
- цифровую индикацию на встроенном жидкокристаллическом дисплее переменных и параметров электропривода;
- просмотр и изменение параметров со встроенного пульта управления;

- режим обмена информацией по двунаправленному последовательному каналу в стандарте RS-485.

Дополнительные возможности:

- установка регулятора с адаптацией к характеристике нагрузки;
- расширение путем установки программ технологических регуляторов непосредственно в привод;
- управление в функции встроенного таймера реального времени;
- изменение интерфейса пользователя под требования заказчика;
- включение в систему автоматизации высокого уровня.

Частота выходного напряжения регулируется в диапазоне от 0 до 400 Гц, что позволяет использовать преобразователь частоты не только с двигателем основного исполнения (380 В, 50 Гц), но и для управления высокоскоростными электрошпинделями станков.

В основу построения базовой структуры системы управления положен принцип пространственно-векторного формирования алгоритма управления [2,3] и принцип векторной ориентации переменных друг относительно друга в установившихся режимах работы электропривода. Первый обеспечивает улучшенный гармонический состав выходного напряжения преобразователя и повышенные энергетические характеристики электропривода; второй - хорошие регулировочные характеристики привода за счет раздельного управления электромагнитным моментом и потокоцеплением [4].

Расчеты и экспериментальные исследования, проведенные в рамках госбюджетных и хоздоговорных НИР (отчет о НИР/ ИГЭУ "Интеллектуальный асинхронный электропривод нового поколения с прямым цифровым векторным управлением" № гос. рег. 01990001575, инв № 02.99.0003169, Иваново, 1999, 79 стр.) показали, что в электроприводах рассматриваемого класса в диапазоне регулирования частоты вращения 10:1 удовлетворительные механические характеристики обеспечиваются с помощью ориентации по вектору напряжения статора, а в диапазоне 50:1 – с помощью ориентации по вектору ЭДС статора. Характеристики электропривода наиболее чувствительны к точности ориентации на малых частотах вращения, где частота вращения соизмерима с номинальным скольжением. Следовательно, математическая модель асинхронного двигателя (АД), положенная в основу построения системы управления, должна быть прежде всего ориентирована на точность вычислений в области малых частот, что позволяет ее существенно упростить без значительного ущерба для характеристик электропривода, снизив тем самым объем вычислительной работы. В области малых частот справедливы следующие соотношения между параметрами схемы замещения АД [2]:

$$\omega L_{\sigma\sigma}, \omega L_{\sigma r} \ll R_s, R_r, \omega L_m.$$

Это позволяет пренебречь индуктивностями рассеяния статора и ротора, присутствующими в традиционных математических моделях АД, в частности, перейти от традиционной Т-образной схемы замещения фазы двигателя к упрощенной Т-образной схеме замещения.

Применение упрощенной модели для вычисления переменных электропривода на средних и больших частотах вращения приводит к рассогласованию между заданным и реальным значениями частоты вращения. Однако, в рабочих режимах электропривода это рассогласование не превышает 2-3% от частоты вращения, что вполне допустимо для приводов рассматриваемого класса.

Функциональная схема электропривода изображена на рис.1. Блок ввода и предварительной обработки сигналов (БВПО) (рис.2) включает в себя переключатель режима работы, фильтр входного сигнала, технологический регулятор и задатчик интенсивности. Переключатель режима устанавливает один из трех режимов работы БВПО. При среднем положении переключателя режимов на выход БВПО поступает сигнал задания скорости электропривода с аналогового входа, при верхнем положении – сигнал с выхода технологического регулятора, при нижнем положении – цифровое задание скорости. При верхнем положении переключателя аналоговый вход БВПО используется для ввода в систему управления сигнала с датчика обратной связи по технологической переменной.

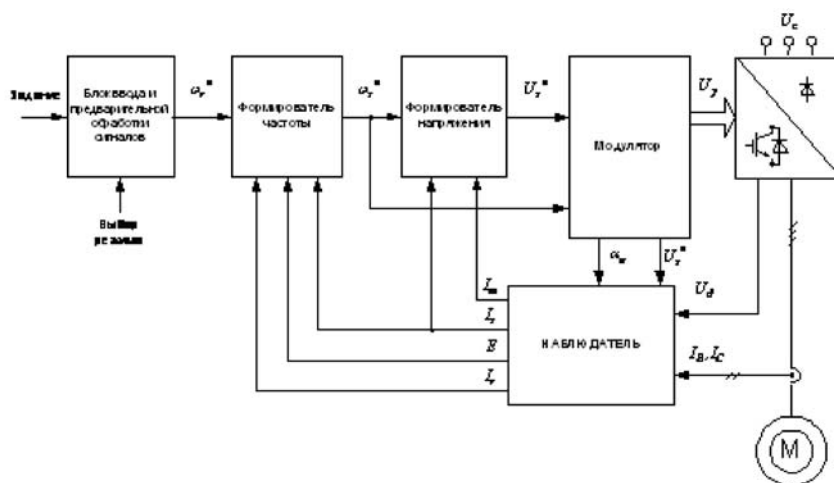


Рис.1. Функциональная схема системы управления электроприводом

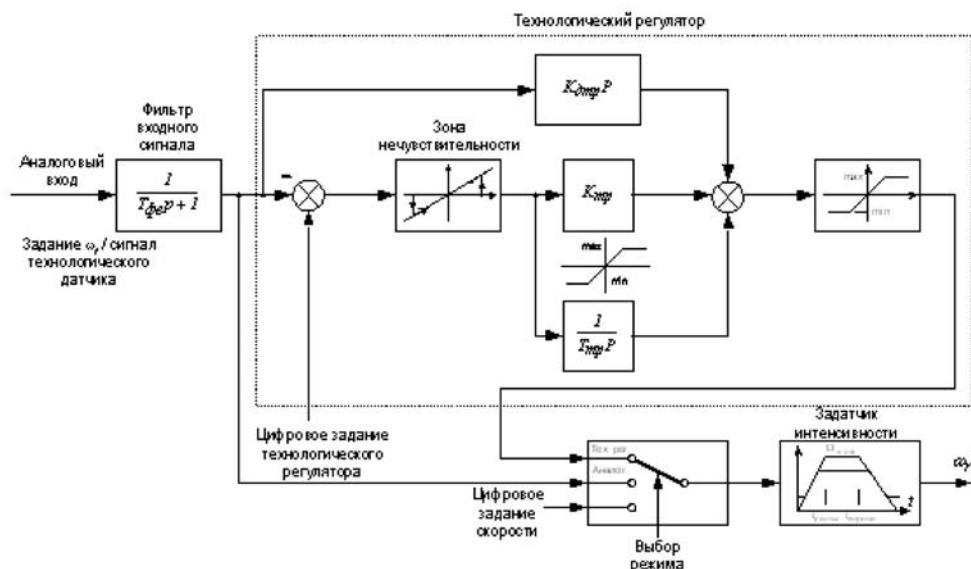


Рис.2. Функциональная схема блока ввода и предварительной обработки сигналов

Фильтр входного сигнала, выполненный в виде аperiодического звена 1-го порядка с постоянной времени $T_{\Phi\Phi}$, осуществляет низкочастотную фильтрацию помех в сигнале, поступающем на аналоговый вход системы управления.

Технологический регулятор реализован в виде пропорционально-интегрально-дифференцирующего звена, дополнительно снабженного элементами ограничения и «зона нечувствительности».

Задатчик интенсивности формирует динамические характеристики электропривода по каналу управления, задавая время разгона ($T_{раз}$) и время торможения ($T_{торм}$).

Наблюдатель осуществляет вычисление всех переменных необходимых для реализации алгоритма управления электроприводом в соответствии со следующей системой уравнений:

$$U_s = \frac{U_d}{U_d^6} U_s^*;$$

$$I_s = \frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{I_B^2 + I_C^2 + I_B I_C} ;$$

$$I_x = \frac{2}{\sqrt{3}} \left[I_B \sin(\alpha_u + \frac{5}{3}\pi) + I_C \sin(\alpha_u + \frac{4}{3}\pi) \right];$$

$$I_y = \frac{2}{\sqrt{3}} \left[I_B \sin(\alpha_u + \frac{7}{6}\pi) + I_C \sin(\alpha_u + \frac{5}{6}\pi) \right];$$

$$\begin{aligned} E_x &= U_s - R_s I_x ; \\ E_y &= -R_s I_y ; \end{aligned} \quad (1)$$

$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2} ;$$

$$\alpha_e = \alpha_u + \arccotg \frac{E_x}{E_y} ;$$

$$I_q = \frac{2}{\sqrt{3}} \left[I_B \sin(\alpha_e + \frac{5}{3}\pi) + I_C \sin(\alpha_e + \frac{4}{3}\pi) \right] ;$$

$$I_d = \frac{2}{\sqrt{3}} \left[I_B \sin(\alpha_e + \frac{7}{6}\pi) + I_C \sin(\alpha_e + \frac{5}{6}\pi) \right] ,$$

где U_d^6 - базовое значение напряжения в звене постоянного напряжения ПЧ, равное напряжению в звене, при котором реальное выходное напряжение преобразователя совпадает со своим заданным значением; α_u, α_e - угловые положения векторов напряжения и ЭДС относительно фазы A статора; I_x, I_y - проекции тока статора в системе координат (x, y) , ориентированной по вектору напряжения статора; I_q, I_d - проекции тока статора в системе координат (d, q) , ориентированной по вектору ЭДС.

Для упрощенной схемы замещения двигателя токи ротора и намагничивания определяются соотношениями

$$I_r = I_q ; I_m = I_q . \quad (2)$$

Формирователь частоты (рис.3) осуществляет вычисление заданного значения частоты напряжения статора (ω_s^*). Он включает в себя блок компенсации скольжения, блок частотно-токового ограничения, блок коррекции и ограничитель выходного сигнала. Блок компенсации скольжения формирует на своем выходе промежуточный сигнал задания по частоте ω_s^1 , учитывающий наличие скольжения

$$\omega_s^1 = \begin{cases} \frac{E \omega_r^*}{E - R_r I_r} , & \text{если } \omega_s^* \geq \omega_{\min} ; \\ \omega_r^* , & \text{если } \omega_s^* < \omega_{\min} , \end{cases}$$

где ω_r^* - задание по электрической частоте вращения ротора.

Необходимость изменения структуры блока компенсации скольжения на малых частотах связана с ограниченным частотным диапазоном ориентации по ЭДС.

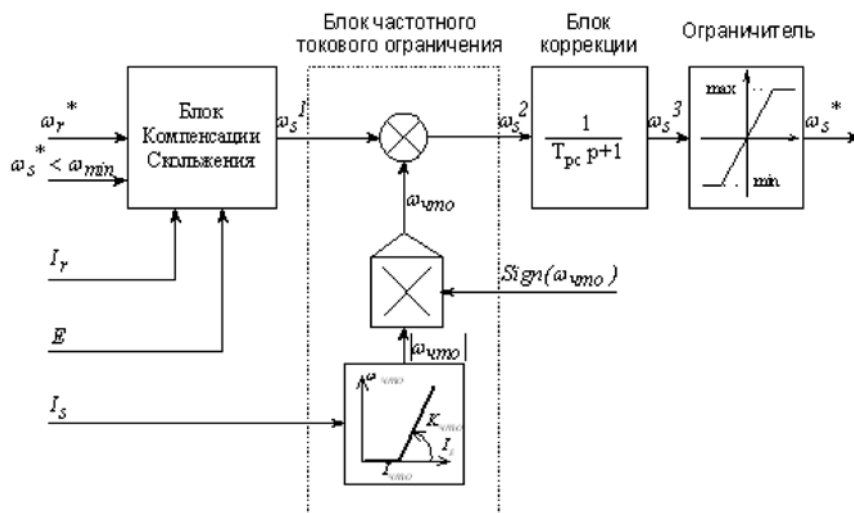


Рис.3. Функциональная схема формирователя частоты

Блок частотно-токового ограничения осуществляет формирование электромеханической характеристики электропривода в области больших (превышающих номинальный) токов нагрузки. Блок работает в соответствии со следующими уравнениями:

$$\begin{aligned}\omega_s^2 &= \omega_s^1 + \omega_{\text{что}}; \\ \omega_{\text{что}} &= \text{Sign}(\omega_{\text{что}}) |\omega_{\text{что}}|; \\ |\omega_{\text{что}}| &= \begin{cases} 0, & \text{если } I_s < I_{\text{что}}; \\ \frac{I_s - I_{\text{что}}}{I_{\text{что}}} \omega_{\text{ном}} K_{\text{что}}, & \text{если } I_s \geq I_{\text{что}}; \end{cases} \\ \text{Sign}(\omega_{\text{что}}) &= \begin{cases} -1, & \text{если } \text{Sign}(\omega_s^1) = \text{Sign}(I_r); \\ +1, & \text{если } \text{Sign}(\omega_s^1) \neq \text{Sign}(I_r), \end{cases}\end{aligned}$$

где $|\omega_{\text{что}}|$, $\text{Sign}(\omega_{\text{что}})$ - модуль и знак сигнала частотно-токового ограничения $\omega_{\text{что}}$; $I_{\text{что}}$ - уставка срабатывания частотно-токового ограничения; $K_{\text{что}}$ - безразмерный коэффициент, определяющий крутизну наклона электромеханической характеристики в области частотно-токового ограничения.

Блок коррекции, выполненный в виде апериодического звена первого порядка с постоянной времени T_{pc} , осуществляет последовательную коррекцию динамических характеристик электропривода. Выходной сигнал блока коррекции поступает на выход формирователя частоты через ограничитель, устанавливающий значения верхнего и нижнего порога задания по частоте.

Формирователь напряжения (рис.4) включает в себя формирователь закона управления, корректор режима малых частот, регулятор реактивного тока, блок токовой отсечки, блок гармонической коррекции, блок динамической коррекции. Входными сигналами формирователя напряжения являются задание по частоте ω_s^* , ток статора I_s и ток цепи намагничивания I_m .

Формирователь закона управления вычисляет зависимости заданных значений ЭДС и тока намагничивания от частоты $E^*(\omega_s^*)$ и $I_m^*(\omega_s^*)$ на основе информации о номинальном токе намагничивания $I_{m\text{ном}}$, определяемом на этапе автонастройки, и относительных значениях тока намагничивания $\delta I_n = [I_m / I_{m\text{ном}}]_{n=1.5}$, задаваемых с пульта управления. При определении E^* и I_m^* для текущего значения частоты используется линейная аппроксимация зависимостей между крайними точками частотного отрезка, которому принадлежит текущее значение частоты. Работа формирователя строится по следующему алгоритму:

- 1) Определяется отрезок частотного диапазона, которому принадлежит текущее значение частоты $\omega_s^* \in [\omega_{\text{нач}}, \omega_{\text{кон}}]$.
- 2) Определяется текущее значение относительного тока намагничивания

$$\delta I = \delta I_{\text{нач}} + \frac{\delta I_{\text{кон}} - \delta I_{\text{нач}}}{\omega_{\text{кон}} - \omega_{\text{нач}}} (\omega_s^* - \omega_{\text{нач}}),$$

где $\delta I_{\text{нач}}$, $\delta I_{\text{кон}}$ - относительные значения тока намагничивания в крайних точках отрезка частоты.

- 3) Определяются текущие значения задания по току намагничивания и ЭДС:

$$\begin{aligned}I_m^* &= \delta I \cdot I_{m\text{ном}}; \\ E^* &= \delta I \cdot U_{\text{ном}} \frac{\omega_s^*}{\omega_{\text{ном}}},\end{aligned}$$

где $U_{ном}$, $\omega_{ном}$ - номинальные значения напряжения и частоты двигателя.

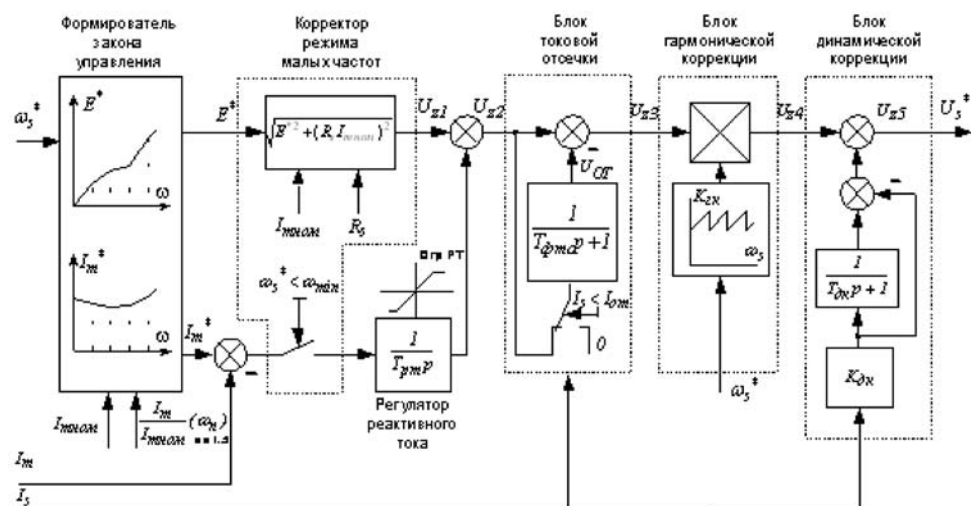


Рис. 4. Функциональная схема формирователя напряжения

Корректор режима малых частот обеспечивает нормальное функционирование электропривода вплоть до полного его останова. Для этого на определенном уровне частоты $\omega_s = \omega_{min}$, при котором точность вычисления I_m становится недопустимо низкой, производится отключение регулятора реактивного тока. В дополнение к этому в прямой канал формирования напряжения вводится добавка в виде $R_s I_{mном}$, обеспечивающая наличие необходимого уровня напряжения и тока статора при нулевой частоте вращения электропривода. Относительно небольшая величина этой добавки позволяет сделать ее включенной постоянно. При $\omega_s > \omega_{min}$ действие этой добавки наряду с другими малыми невязками в формировании закона управления компенсируются регулятором реактивного тока.

Регулятор реактивного тока обеспечивает поддержание тока намагничивания на уровне, задаваемом формирователем закона управления. Чтобы устранить статическую ошибку регулирования тока намагничивания регулятор выполнен интегральным с постоянной времени $T_{рм}$ и ограничением выходного сигнала $O_{грПТ}$.

Блок токовой отсечки реализует второй уровень ограничения тока статора, осуществляемый дополнительным воздействием на канал формирования напряжения. Блок работает следующим образом. Если ток статора не превышает уровень уставки токовой отсечки $I_{ом}$, то блок токовой отсечки передает входной сигнал задания по напряжению U_{z2} на свой выход без каких-либо изменений. В противном случае, на дополнительный вход суммирующего элемента блока через корректирующий фильтр токовой отсечки подается с отрицательным знаком его входной сигнал задания по напряжению. В результате передаточная функция блока токовой отсечки принимает вид реального дифференцирующего звена с постоянной времени $T_{фто}$. Выходной сигнал U_{z3} начинает уменьшаться по экспоненциальному закону от значения U_{z2} до нуля. Если при этом ток статора уменьшается ниже уровня уставки токовой отсечки $I_{ом}$, то блок начинает работать в режиме переключений, обеспечивая поддержание среднего значения тока статора на уровне уставки. Возвращение системы управления из режима токовой отсечки в нормальный режим работы также происходит с постоянной времени фильтра токовой отсечки $T_{фто}$, что исключает нежелательные резкие скачки в напряжении задания.

Блок гармонической коррекции осуществляет стыковку участков синхронного алгоритма модуляции по амплитуде основной гармоники выходного напряжения преобразователя. Скольнибудь заметное воздействие этого блока на канал формирования напряжения проявляется только на больших частотах работы электропривода ($f_u > 100 \text{ Гц}$). При

$f_u < 100 \text{ Гц}$ коэффициент гармонической коррекции $K_{гк} \approx 1$. Всего алгоритм модуляции выходного напряжения содержит 32 участка, из которых один – асинхронный. Коэффициенты коррекции определяются на границах синхронных участков. Внутри каждого участка их расчет осуществляется на основе линейной аппроксимации коэффициентов на границах.

Блок динамической коррекции обеспечивает формирование желаемого запаса устойчивости электропривода во всем диапазоне регулирования частоты. Сигналы задания по частоте ω_s^* с выхода формирователя частоты и по амплитуде напряжения статора с выхода формирователя напряжения подаются на вход модулятора, который осуществляет формирование импульсов управления шестью транзисторными ключами инвертора напряжения на основе принципов пространственно-векторной модуляции.

Характерной особенностью асинхронных электроприводов нового поколения, к которым относится представляемая разработка, является наличие в их арсенале ряда дополнительных «интеллектуальных» режимов работы, существенно расширяющих функциональные возможности привода. К ним будем относить:

- самотестирование, при котором электропривод сам проверяет исправность всех своих элементов, выявляет, локализует и диагностирует возможные неисправности;
- автоматическая настройка системы управления на параметры силового канала электропривода;
- режим повышенного энергосбережения;
- режим "самоподхвата" на заранее неизвестной частоте вращения;
- режим автоматического перезапуска и другие;

В режиме *автоматической настройки* электропривод на основе предварительно введенной с пульта управления информации о номинальном напряжении двигателя $U_{ном}$, номинальном токе статора $I_{s ном}$, номинальной частоте $f_{ном}$, номинальном скольжении $s_{ном}$, номинальном коэффициенте мощности $\cos \varphi_{ном}$, числе пар полюсов в автоматическом режиме работы определяет активное сопротивление статорной цепи R_s , индуктивность намагничивания L_m , активное сопротивление ротора R_r и рассчитывает все параметры системы управления.

Определение *активного сопротивления статорной цепи* осуществляется в режиме «неподвижного» вектора, соответствующего формированию на обмотках статора постоянного эквивалентного напряжения. Операции выполняются в следующей последовательности:

- 1) Определяется уровень постоянного напряжения, соответствующий номинальному току двигателя, в режиме пошагового инкрементирования задания по выходному напряжению и контроля амплитуды тока на каждом шаге.
- 2) Производится серия замеров тока статора на установленном уровне постоянного напряжения.
- 3) Вычисляется активное сопротивление статорной цепи по формуле:

$$R_s = \frac{U_s}{I_{scp}},$$

где $I_{scp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_{si}$, n - число замеров тока статора.

Определение *индуктивности намагничивания* осуществляется в режиме холостого хода на частоте, близкой к номинальной частоте двигателя. Напряжение статора формируется в соответствии со следующим законом:

$$\frac{U_s}{f_u} = \frac{U_{ном}}{f_{ном}}.$$

Система управления разомкнута за исключением цепей, осуществляющих динамическую коррекцию. Электропривод разгоняется до заданной частоты ($f_u \approx 0.9 f_{ном}$) и выполняется серия из n замеров тока статора. Индуктивность намагничивания рассчитывается по формуле:

$$L_m = \frac{1}{\omega_s} \frac{E_{cp}}{I_{mcp}},$$

где $E_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_i$; $I_{mcp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_{mi}$; E_i, I_{mi} - ЭДС и ток намагничивания на i -м интервале измерения, рассчитываемые в соответствии с (1,2).

Активное сопротивление роторной цепи вычисляется на основании упрощенной схемы замещения АД по формуле

$$R_r = E_{ном} S_{ном} / I_{rном}$$

где $I_{rном} = \sqrt{I_{sном}^2 - I_{mном}^2}$; $I_{mном} = \frac{E_{ном}}{\omega_{sном} L_m}$; $I_{rном}, I_{mном}$ - расчетные значения

токов ротора и намагничивания для номинального режима работы двигателя; $E_{ном}$ - ЭДС для номинального режима работы, вычисляемая по (1) с учетом следующих соотношений:

$$I_{xном} = I_{ном} \cos \varphi_{ном}; I_{yном} = I_{ном} \sin \varphi_{ном}.$$

Режим "самоподхвата" на заранее неизвестной частоте вращения позволяет осуществлять подключение к преобразователю двигателей с вращающимся валом, обеспечивая при этом минимизацию переходных процессов. Эффект достигается за счет предварительного определения частоты вращения вала двигателя и выдачи на его зажимы напряжения с расчетным значением частоты. Особенно актуален данный режим для механизмов с большими моментами инерции, так как позволяет не тратить время и энергию на останов и последующий разгон электроприводов с нулевой частоты.

Определение частоты вращения вала двигателя, который был на какое-то время отключен от преобразователя, осуществляется в поисковом режиме работы. Основными параметрами режима "самоподхвата" являются бит направления поиска, максимальная ω_{nmax} и минимальная ω_{nmin} граничные частоты поиска, постоянная времени поиска T_{nc} , задающая его темп и временные выдержки на затухание переходных процессов. Поиск осуществляется по следующему алгоритму:

- 1) После отключения двигателя от преобразователя выдерживается временная пауза на затухание электромагнитных переходных процессов.
- 2) Двигатель включается на пониженное напряжение с частотой ω_{nmax} в заданном направлении поиска и после малой выдержки времени на затухание переходного процесса осуществляется снижение частоты напряжения с темпом, задаваемым T_{nc} , в направлении ω_{nmin} .
- 3) В режиме поиска осуществляется анализ тока статора. Критерием определения искомой частоты вращения вала является явно выраженный (глобальный) минимум тока статора, проявляющийся на электрохимической характеристике привода в режиме идеального холостого хода, то есть когда частота питающего напряжения равна частоте вращения вала.
- 4) Если в заданном направлении искомая частота не обнаружена, то поиск производится в противоположном направлении в той же последовательности (может быть заблокирован).
- 5) Если искомая частота не обнаружена в обоих направлениях поиска (глобальный минимум тока отсутствует), то пуск электропривода осуществляется с нулевой частоты.

В режиме *повышенного энергосбережения* электропривод в результате выполнения поисковой процедуры самостоятельно выбирает такое соотношение параметров сигнала управления, что при текущих параметрах нагрузки обеспечивается минимальное потребление электрической энергии. Критерием достижения данного режима принимается минимум выходной мощности преобразователя, усредненной на определенном расчетном интервале (периоде поиска)

$$P_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n U_{si} \cdot I_{xi},$$

где n - число выборок переменных на периоде поиска.

Высокие показатели энергосбережения обеспечивает также применение критерия минимизации тока статора ($I_s = \min$).

Для того чтобы поисковая процедура не приводила к неустойчивой работе электропривода и выходу переменных за пределы допустимых значений, допустимая область поиска ограничивается своей верхней и нижней границами, которые исчисляются в процентном отношении от базового напряжения, определяемого по базовому (жестко заданному) закону частотного управления. Поисковая процедура организуется по следующему алгоритму:

- 1) Выполняется пробный шаг изменения амплитуды напряжения при текущем значении частоты.
- 2) После выдержки времени на затухание переходной составляющей поискового процесса осуществляется измерение выходной мощности преобразователя.
- 3) В результате анализа выходной мощности по отношению к предыдущим замерам определяется направление дальнейшего поиска.

Основными параметрами поискового алгоритма являются шаг поиска, границы области поиска, нижний предел частоты, до которой осуществляется поиск, период поиска $T_{пз}$. Наибольший эффект от режима повышенного энергосбережения достигается при работе электропривода в режимах малых нагрузок. При загруженности электропривода свыше 60% эффект незначителен. Вследствие некоторой инерционности поискового алгоритма $T_{пз} = 50...100 \text{ мс}$ режим повышенного энергосбережения рекомендован для электроприводов с достаточно плавным изменением нагрузки в рабочих режимах.

Представленный электропривод прошел производственные испытания и внедрен на предприятиях различных сфер народного хозяйства. В частности, эффект от его внедрения на насосных станциях подкачки воды в жилые дома г. Иваново составил до 70% экономии электроэнергии и до 40% экономии воды. Освоено промышленное серийное производство электропривода.

Список литературы

1. Виноградов А. Б., Чистосердов В. Л., Сибирцев А. Н. Частотно-регулируемый электропривод переменного тока нового поколения // Привод и управление. – 2000. - №0.- с. 21-24.
2. Архангельский Н.Л., Курнышев Б.С., Виноградов А.Б. Новые алгоритмы в управлении асинхронным электроприводом // Электротехника. – 1991.- №10.- с. 9-13.
3. Архангельский Н.Л., Чистосердов В.Л. Формирование алгоритмов управления в частотно-управляемом электроприводе // Электротехника. – 1994.- №3.- с. 48-52.
4. Система векторного управления асинхронным электроприводом с идентификатором состояния/ Архангельский Н.Л., Курнышев Б.С., Виноградов А.Б., Лебедев С.К. // Электричество. - 1991. - №11. - с. 47-51.

