

УДК 621.3

## УПРАВЛЯЕМЫЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ

Ёч Э.И.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Петруша Ю.С.

Целью данного исследования является описание способов управления электроприводами, а также целесообразность их применения.

Под электроприводом понимают электроэнергетическую систему, приводящую в движение рабочие органы технического устройства и состоящую из передаточного, электродвигательного, преобразовательного и управляющего устройств. Так как самыми распространёнными электродвигателями являются асинхронные двигатели, то в дальнейшем и будем говорить о них.

Для управления режимами работ электродвигателей применяются следующие управляющие воздействия:

- включение и выключение электродвигателя;
- реверс электродвигателя;
- включение в цепь ротора резисторов;
- пуск с переключением со звезды на треугольник;
- регулирование частоты вращения переключением числа пар полюсов;
- изменение подаваемого напряжения на обмотки электродвигатель;
- изменение напряжения и частоты подаваемого на электродвигатель.

Теперь поподробнее разберём приведенный выше управляющие воздействия.

*Включение и выключение* является самым простым в реализации способом управления электродвигателем. Этот способ применим для случаев, когда нагрузка однородна и во времени изменяется по принципу «работает в номинальном режиме – выключен». По сути этот способ присущ всем электродвигателям, так как все они включаются через устройство включения и выключения.

*Реверс электродвигателя* — это изменения направления вращения ротора посредством изменения порядка подключения обмоток статора к питающей сети. Реализация реверса так же не составляет труда, а именно просто поменять местами соседние фазы.

*Введение резисторов в цепь ротора* приводит к увеличению потерь мощности и снижению частоты вращения ротора двигателя за счет увеличения скольжения, поскольку  $n = n_0 (1 - S)$ . Из рис. 1 следует, что при увеличении сопротивления в цепи ротора при том же моменте частота вращения вала двигателя уменьшается. Жесткость механических характеристик значительно снижается с уменьшением частоты вращения, что ограничивает диапазон регулирования до

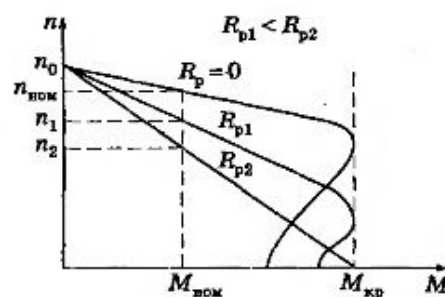


Рис. 1

(2 - 3) : 1. Недостатком этого способа являются значительные потери энергии, которые пропорциональны скольжению. Такое регулирование возможно только для двигателя с фазным ротором.

*Ступенчатое регулирование скорости* можно осуществить, используя специальные многоскоростные асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором. Из выражения  $n_0 = 60f/p$  следует, что при изменении числа пар полюсов  $p$  получают механические характеристики с разной частотой вращения  $n_0$  магнитного поля статора. Так как значение  $p$  определяется целыми числами, то переход от одной характеристики к другой в процессе

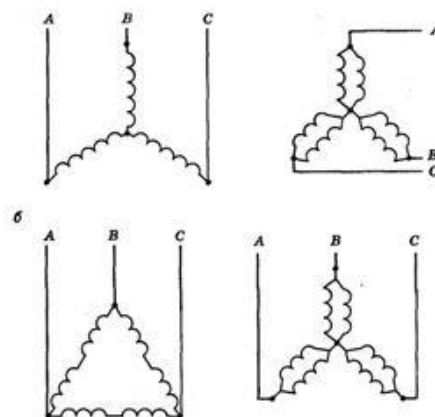


Рис. 2

регулирования носит ступенчатый характер. Существует два способа изменения числа пар полюсов (рис.2). В первом случае в пазы статора укладывают две обмотки с разным числом полюсов. При изменении скорости к сети подключается одна из обмоток. Во втором случае обмотку каждой фазы составляют из двух частей, которые соединяют параллельно или последовательно. При этом число пар полюсов изменяется в два раза. Регулирование скорости путем изменения числа пар полюсов экономично, а механические характеристики сохраняют жесткость. Недостатком этого способа является ступенчатый характер изменения частоты вращения асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором. Выпускаются двухскоростные двигатели с числом полюсов 4/2, 8/4, 12/6. Четырехскоростной электродвигатель с полюсами 12/8/6/4 имеет две переключаемые обмотки.

*Контроллеры-оптимизаторы* — это регуляторы напряжения питания электродвигателя, осуществляющие контроль за фазами тока и напряжения. Они обеспечивают полное управление приводом на всех этапах работы и защищают его от повышенного и пониженного напряжения, перегрузки, обрыва или нарушения чередования фаз и т.д. Контроллеры-оптимизаторы согласуют значение крутящего механического момента, развиваемого электродвигателем, со значением механического момента нагрузки на его валу за счет изменения напряжения питания двигателя. При этом скорость вращения ротора электродвигателя остается прежней, а коэффициент мощности повышается. Это оборудование является функционально законченным и не требует подключения дополнительных устройств. При работе привода в режиме динамично меняющихся нагрузок контроллер обеспечивает прекращение отбора мощности из питающей сети в те моменты, когда полупроводниковые переходы тиристоров (управляемых диодов) закрыты, то есть не пропускают электрический ток. Тиристоры открываются при поступлении управляющих импульсов, задержка подачи которых определяется степенью загрузки привода, а закрываются при переходе тока через ноль.

Контроллеры-оптимизаторы оперативно реагируют на изменение напряжения, снижают расходы электроэнергии на 30–40%, уменьшают влияние реактивной нагрузки на сеть, повышают КПД привода, позволяют сократить расходы на конденсаторные компенсирующие устройства, продлевают срок службы оборудования и повышают экологичность производства. Кроме того, они отличаются более доступной ценой, нежели преобразователи частоты. Единственным ограничением для применения контроллера является невозможность его использования в тех случаях, когда необходимо изменять скорость вращения электродвигателя.

Наиболее используемым преобразователем частоты является преобразователь с промежуточным звеном постоянного тока. В подобных аппаратах производится двойное преобразование энергии: входное напряжение выпрямляется, затем фильтруется и сглаживается, а потом при помощи инвертора снова трансформируется в напряжение с необходимой амплитудой и частотой. Подобное преобразование может несколько снижать КПД оборудования, но такие преобразователи частоты имеют широкое применение в силу того, что могут давать на выходе напряжение с высокой частотой. Схема такого преобразователя имеет следующий вид (рис.3):

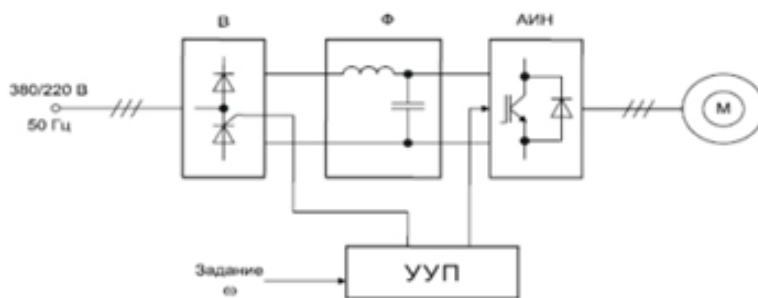


Рис.3 - Схема частотного преобразователя

Таким образом к достоинствам можно отнести что, преобразователь частоты для асинхронного двигателя, принцип работы которого описан выше, обеспечивает снижение расхода электроэнергии, плавный запуск привода и высокую точность регулировки, увеличивает пусковой момент и стабилизирует скорость вращения при переменной нагрузке. Все это в совокупности позволяет повысить коэффициент полезного действия машины. К недостаткам «частотника» можно отнести его высокую стоимость, а также создание электромагнитных помех в процессе работы.

Области применения частотных преобразователей:

На базе частотных преобразователей могут быть реализованы системы регулирования скорости следующих объектов:

- насосов горячей и холодной воды в системах водо- и теплоснабжения, вспомогательного оборудования котелен, ТЭС, ТЭЦ и котлоагрегатов;
- песковые и пульповые насосы в технологических линиях обогатительных фабрик;
- рольганги, конвейеры, транспортеры и другие транспортные средства;
- дозаторы и питатели;
- лифтовое оборудование;
- дробилки, мельницы, мешалки, экструдеры;
- центрифуги различных типов;
- линии производства пленки, картона и других ленточных материалов;
- оборудование прокатных станков и других металлургических агрегатов;
- приводы буровых станков, электробуров, бурового оборудования;
- электроприводы станочного оборудования;
- высокооборотные механизмы (шпиндели шлифовальных станков и т.п.);
- экскаваторное оборудование;
- крановое оборудование;
- механизмы силовых манипуляторов и т.п.

В качестве примера экономического обоснования применения управляемого привода рассмотрим применение частотно-регулируемого привода на насосной станции. Наибольший экономический эффект от внедрения частотно-регулируемого привода с точки зрения энергосберегающих мероприятий достигается на квадратичных нагрузках (центробежные насосы, вентиляторы) в случае замены дросселирования частотным регулированием.

Число оборотов двигателя пропорционально частоте его питания. При питании электродвигателя от сети (50 Гц) число его оборотов будет максимальным и неизменным. При питании электродвигателя от преобразователя частоты (регулируемая выходная частота 0-50 Гц) число его оборотов будет изменяемым от нуля до максимального значения.

Изменение частоты вращения рабочего колеса ведет к изменению всех его рабочих параметров, а именно:

- расход пропорционален числу оборотов;
- давление пропорционально квадрату числа оборотов;
- потребляемая мощность пропорциональна кубу числа оборотов.

Эти отношения выражаются с помощью, так называемых формул приведения:

$$\frac{Q}{Q_0} = \frac{n}{n_0}; \frac{H}{H_0} = \left(\frac{n}{n_0}\right)^2; \frac{N}{N_0} = \left(\frac{n}{n_0}\right)^3$$

где:  $Q$  – расход при максимальном числе оборотов;

$Q_0$  – расход при измененном числе оборотов;

$H$  – напор при максимальном числе оборотов;

$H_0$  – напор при измененном числе оборотов;

$N$  – мощность, потребляемая электродвигателем при максимальном числе оборотов;

$N_0$  – мощность, потребляемая электродвигателем при измененном числе оборотов;

$n$  – максимальное число оборотов;

$n_0$  – измененное число оборотов.

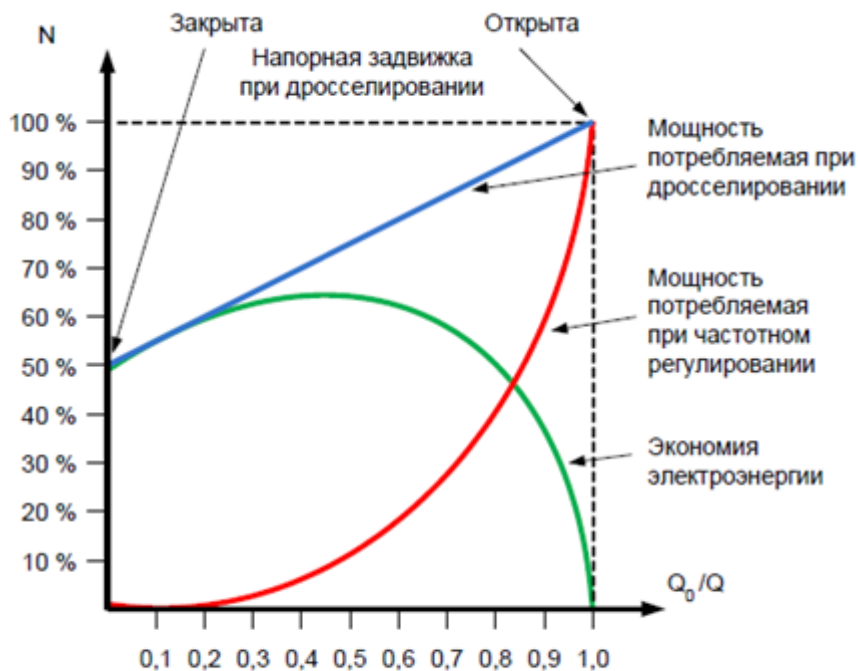


Рис. 4 Потребление мощности при различных способах регулирования скорости вращения насосов

#### Текущее состояние и предлагаемые мероприятия.

Насосная станция по подачи воды состоит из 3-х насосов. Регулирование производительности насосов осуществляется путем закрывания задвижки на выходе насоса – метод дросселирования. Контроль давления на выходе насоса осуществляется оператором визуально по манометру с определенным интервалом времени. В работе всегда находится один насос. Ротация насосов также осуществляется оператором вручную.

#### Предпосылки для модернизации:

- Регулирование производительности насосов осуществляется путем закрывания задвижки на выходе насоса – метод дросселирования, что является неэффективным с точки зрения энергосбережения.
- Частые запуски напрямую от сети насосных агрегатов приводят к повышенному износу оборудования, из-за 7-10-кратных пусковых токов.
- Работа в прерывистом режиме приводит к большим динамическим потерям в трубопроводах.

Неконтролируемое потребление энергоносителя.

#### Предлагаемое решение [1]:

- Установить преобразователь частоты на приводы насосов по следующему принципу: один преобразователь частоты в составе станции управления группой насосов с возможностью переключения его между насосами;
- Установить датчик давления в магистрали

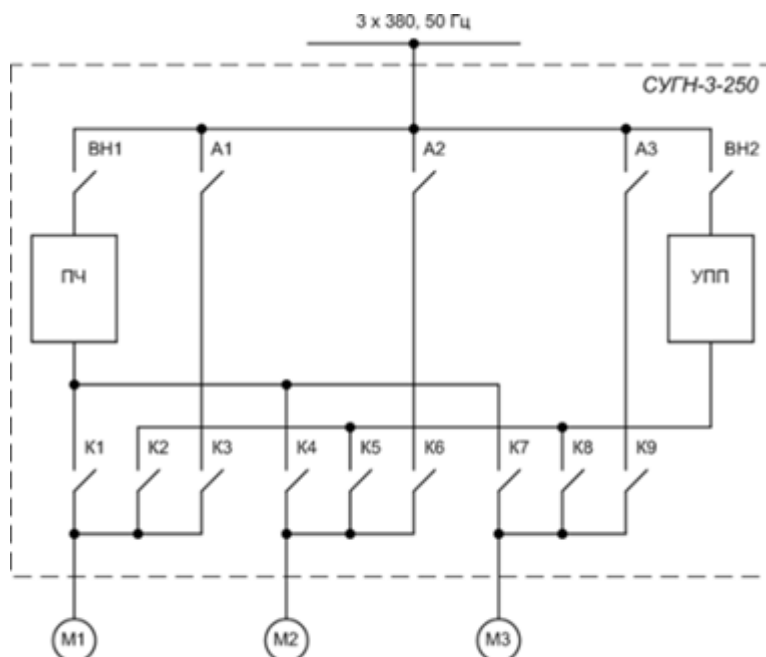


Рис. 5 - Схема питания насосной станции

ПЧ – преобразователь частоты Данфосс FC202 AQUA, 250 кВт УПП – устройство плавного пуска Данфосс MCD500, 250 кВт; ВН1, ВН2 – выключатели нагрузки  
 А1, А2, А3 – автоматические выключатели; К1 ... К9 – контакторы

### Расчет снижения энергозатрат.

В работе принимает участие один насос с производительностью:

$$Q_{\text{сеть}} = 1250 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Проанализировав данные оператора по расходу за месяц определяем, что средний расход составляет:

$$Q_{\text{потр}} = 625 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Т.е. фактически необходим расход равный 625 м<sup>3</sup>/ч, который можно создавать не путем закрывания задвижки (дресселированием), а с помощью преобразователя частоты, снижая скорость вращения электродвигателя и тем самым снижая энергопотребление.

Определим энергопотребление электродвигателей при регулировании расхода методом дресселирования:

$$\frac{Q_{\text{потр}}}{Q_{\text{сеть}}} = \frac{625 \text{ м}^3/\text{ч}}{1250 \text{ м}^3/\text{ч}} = 0,5$$

Мощность насоса 250 кВт, но учитывая тот факт, что при дресселировании также снижается энергопотребление (рис. 4) находим, что для точки кривой, соответствующей:

энергопотребление при дресселировании будет снижено ориентировочно на 25 % и соответственно потребляемая мощность электродвигателя будет:

$$N_{\text{ДР}} = 0,75 \cdot 250 \text{ кВт} = 187,5 \text{ кВт}$$

Определим энергопотребление электродвигателя при регулировании расхода с помощью преобразователя частоты:

$$N_0 = \frac{N}{\left(\frac{Q}{Q_0}\right)^3} = \frac{250 \text{ кВт}}{\left(\frac{1250 \text{ м}^3/\text{ч}}{625 \text{ м}^3/\text{ч}}\right)^3} = \frac{250 \text{ кВт}}{2^3} = 31,25 \text{ кВт}$$

т.е.  $N_0 = 31,25 \text{ кВт}$  – это мощность, которую потребляет электродвигатель с измененным (уменьшенным) числом оборотов с помощью преобразователя частоты в составе станции управления группой насосов.

Определим разницу в энергопотреблении при различных способах регулирования:

Разница в энергопотреблении между способом регулирования расхода путем закрывания задвижки и способом снижения частоты вращения электродвигателя с помощью преобразователя частоты:

$$\Delta N = N_{ДР} - N_0 = 187,5 \text{ кВт} - 31,25 \text{ кВт} = 156,25 \text{ кВт}$$

Фактически  $\Delta N$  – это напрасно потребляемая мощность, которую можно было бы экономить, используя преобразователь частоты, и величина эта составляет 83 %.

#### **Оценка технологического эффекта.**

При внедрении частотного регулирования в связи с уменьшением рабочей частоты вращения вала привода снижается износ насоса.

В связи с плавными пусками и остановами снижаются гидравлические и механические нагрузки на технологическое оборудование (трубопроводы, запорную и регуливающую арматуру).

За счет выше сказанного предполагается увеличение сроков службы насосного агрегата с электродвигателем на 10% и снижение затрат на обслуживание на 10%.

Приведенные расчеты показывают высокую эффективность внедрения преобразователей частоты.

- Уменьшение текущего энергопотребления предприятия позволит высвободить мощности для дальнейшего развития и модернизации предприятия, снизить себестоимость продукции.

- Снижение нагрузок на технологическое оборудование и энергетическую инфраструктуру позволяет уменьшить расходы, связанные с их эксплуатацией и ремонтами.

- Повышение степени автоматизации позволяет высвободить квалифицированный персонал, и использовать его в проектах по развитию предприятия.

Все вышеизложенное обуславливает высокую инвестиционную привлекательность внедрения преобразователей частоты.

По выбранным для обследования позициям расчеты показывают целесообразность внедрения преобразователей частоты.

#### **Заключение:**

- Без электродвигателей не обходится ни одно промышленное и сельскохозяйственное предприятие, а применение управляемого электропривода позволяет реализовать более сложные технологические процессы и повысить его эффективность;

- Был проведен обзор различных способов управления электроприводами, описаны их возможности, так же был приведен пример расчета для иллюстрации эффективности применения средств управления электроприводами;

- В примере использовалась методика, которая оценивает эффективность применения средств управления электроприводами по уменьшению потребления электроэнергии;

- применение управляемых электроприводов позволяет их применять для более широкого спектра задач, позволяет снизить износ оборудования, снизить пусковые токи, а как следствие нагрузку на сеть, увеличить энергоэффективность, уменьшить затраты на ремонт и эксплуатацию;

- Все вышеизложенное обуславливает высокую инвестиционную привлекательность внедрения управляемых электроприводов.

#### **Литература**

1. Дайнеко В.А., Ковалинский А.И. Электрооборудование сельскохозяйственных предприятий – Учебное пособие. Минск: Новое знание, 2008. - 320 с.