



ПРЕДИСЛОВИЕ

Сельское хозяйство, как никакая другая отрасль, характеризуется широким спектром применяемых машин и механизмов, отличающихся видами и параметрами движения исполнительного органа, режимами и условиями работы, приводными характеристиками. Широкое разнообразие машин во многом определяет и типы приводов: гидравлический, пневматический, механический, от вала отбора мощности, электрический. При этом использование электропривода, регулируемого и автоматизированного, неуклонно расширяется в силу известных его преимуществ. Следовательно, знаниями по электроприводу в рамках необходимого должны владеть не только специалисты-электрики, но и механики.

Методически учебник строится по принципу — основы электропривода и электропривод машин и механизмов сельскохозяйственного назначения, объединенных в группы: насосы и вентиляторы, центрифуги, грузоподъемные машины, транспортеры, машины с кривошипно-шатунным механизмом, кормоприготовительные машины, деревообрабатывающие механизмы (пилорамы). Для каждой из групп машин выделены особенности их работы по приводным характеристикам, выбору мощности электродвигателя, возможности применения частотно-регулируемых асинхронных приводов, устройств плавного пуска, рассмотрены возможности использования линейных приводов.

Содержание учебника соответствует требованиям Государственного образовательного стандарта по дисциплине

СД-0.5 «Электропривод» для студентов специальности 110302 «Электрификация и автоматизация сельского хозяйства», направление 110300 «Агроинженерия».

При написании учебника использовались работы известных ученых и специалистов: М. Г. Чиликина, С. А. Ковчина, В. В. Москаленко, И. Ф. Ильинского, И. Я. Браславского, А. П. Фоменкова, В. А. Буторина, Б. И. Вагина, Г. М. Грачева, Р. С. Аипова, А. С. Знаева, А. В. Цупака и др., а также материалы авторского коллектива.

В Приложении приведены данные по физическим свойствам материалов, характеристики помещений, машин, аппаратов.

Предлагаемый учебник является продолжением учебных пособий «Основы электропривода» и «Электропривод в сельском хозяйстве», вышедших в 2008, 2010 гг. и оказавшихся востребованными среди студентов и специалистов.

В результате изучения и освоения дисциплины «Электропривод» у будущих специалистов будут сформированы следующие профессиональные компетенции:

- решение инженерных задач применения систем электропривода с использованием основных законов механики и электротехники, знание устройства и правил эксплуатации электроустановок;
- выбор элементов привода: типа и параметров электродвигателя, преобразователей электроэнергии, элементов защиты, аппаратов управления;
- оптимальный выбор системы электропривода с точки зрения энерго- и ресурсосбережения, повышения энергоэффективности.

Все замечания и пожелания по содержанию книги будут с благодарностью приняты по адресу: 196608, г. Пушкин, Петербургское шоссе, д. 2, Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, энергетический факультет, кафедра электрических машин и электропривода.

ВВЕДЕНИЕ

Резкий рост цен на мировых рынках продовольствия в 2007–2008 гг. явился следствием копившихся в последние годы проблем не только сельского хозяйства, а всего социально-экономического комплекса мирового хозяйства. К ним можно отнести: динамичное развитие экономик стран Азии и возросшее потребление мясомолочных продуктов; рост себестоимости продукции АПК за счет удорожания энергоносителей; низкие урожаи зерновых в некоторых странах; рост населения; увеличивающийся отток продукции полеводства на производство биотоплива и др. Эти процессы затронули и экономику России, которая, по данным Госкомстата, импортирует значительную часть продовольствия (до 40%). Поэтому со стороны государства предпринимаются меры по укреплению внутреннего продовольственного рынка, снижению зависимости от импорта, развитию села и новых форм хозяйствования. Они уже привели к снижению импорта мясных и молочных продуктов, особенно свинины и мяса птицы.

Поставленные перед АПК задачи призваны не только обеспечить население страны качественными продуктами, но и повысить ее роль на мировом рынке продовольствия. Для этого необходимо:

- 1) существенно увеличить производство основных видов продукции, особенно зерна (валовой сбор, обеспечивающий независимость от импорта, должен быть около 1 т на человека, т. е. около 150 млн т. В нашей стране в последние годы он составил 80–100 млн т);

2) проводить на селе технологическое перевооружение, развивать лизинг, долгосрочное кредитование;

3) обеспечить стабильность цен на горючее и электроэнергию, уменьшить дисбаланс цен на продукцию промышленности (машиностроение), минеральные удобрения, строительные материалы, с одной стороны, и сельского хозяйства — с другой;

4) создать современный рыночный механизм регулирования цен на сельскохозяйственную продукцию при ее экологической чистоте;

5) развивать инфраструктуру, жилищное строительство, бытовые условия, чтобы сделать жизнь и работу на селе привлекательной для людей.

Решение поставленных задач лежит на путях перехода к интенсивным методам производства, комплексной механизации и электрификации технологических процессов с внедрением современного оборудования. При этом широкое использование автоматизированного электропривода позволит повысить производительность труда, улучшить качество за счет более высокой степени управляемости технологическими процессами. Сказанное одинаково характерно для животноводства и птицеводства, послеуборочной обработки зерна и тепличных комплексов, переработки молока, приготовления и раздачи кормов, водоснабжения, систем обеспечения микроклимата помещений. В полеводстве наблюдается внедрение систем электропривода, работающих от установленных на борту машин источников электроэнергии.

Комплектация электроприводов в сельском хозяйстве производится стандартными блоками: электродвигатель, редуктор, преобразователь параметров электроэнергии (УВ, ТРН, ШИР, ПЧ), алгоритмы и схемы управления.

Используемые машины и механизмы во многих случаях те же самые, что и в других отраслях народного хозяйства:

- центрифуги, основной особенностью которых является большой приведенный момент инерции;
- насосы и вентиляторы, центробежные и лопастные, для систем водоснабжения, полива, орошения, доиль-

ных установок, обеспечения микроклимата, обработки и сушки зерна. Объединенные в категорию «Турбо-механизмы», они имеют сходные механические характеристики;

- подъемно-транспортные: грузоподъемные механизмы циклического (краны) и непрерывного (транспортеры) действия;
- машины с кривошипно-шатунным механизмом, применяемые для преобразования вращательного движения в возвратно-поступательное: поршневые насосы, компрессоры, пилорамы, различного рода вибромеханизмы сельскохозяйственных машин;
- машины для приготовления кормов: дробилки, клубне-резки, прессы и т. д. (обладают особенностями всех приводных характеристик, поэтому выделены в отдельную группу).

Специфика электроприводов в сельском хозяйстве определяется, прежде всего, разнообразием приводных характеристик, режимами и условиями работы (окружающая среда, качество электроэнергии). Следовательно, выбору систем электропривода с целью обеспечения требуемых характеристик должно уделяться особое внимание.

Основным типом электропривода в сельском хозяйстве, как нерегулируемого, так и регулируемого, является привод переменного тока на основе короткозамкнутого асинхронного двигателя. Нерегулируемый электропривод широко используется в насосных и вентиляторных установках, работающих в длительном режиме с неизменной подачей, многих грузоподъемных машинах и транспортерах, пилорамах, молочных сепараторах, различных сельскохозяйственных машинах с вибромеханизмами. При этом пуск осуществляется прямым включением в сеть или с использованием устройств плавного пуска на основе тиристорных регуляторов напряжения для снижения динамических нагрузок и при недостаточной мощности сети.

Регулируемый привод по системе «асинхронный двигатель — преобразователь частоты» все шире внедряется в системах водо- и теплоснабжения, воздухоудувках, дымососах и других механизмах при работе с переменной

производительностью. Такие системы позволяют решить вопросы регулирования скорости, пуска с минимальными потерями, являясь мощным энерго- и ресурсосберегающим средством. Кормоприготовительные машины оборудуются также регулируемым приводом с целью снижения энергоемкости конечного продукта. Альтернативным вариантом являются многоскоростные асинхронные двигатели с переключением числа пар полюсов.

В качестве серводвигателей мобильных машин в полеводстве используются вентильные двигатели (синхронный двигатель с постоянными магнитами плюс вентильный коммутатор).

В деревообрабатывающей сфере широко применяются асинхронные электроприводы (токарные станки, фрезерные, рубанки, фуганки и др.), как нерегулируемые, так и регулируемые — по системе ПЧ–АД, а при малых мощностях (ручной инструмент) — однофазные коллекторные машины.

Для теплиц и животноводческих комплексов перспективными представляются монорельсовые транспортные средства, в том числе с линейным асинхронным приводом.

В целом широкое применение автоматизированного электропривода в сельском хозяйстве позволит повысить производительность труда и конкурентоспособность отечественной продукции.

1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ

1.1. НАЗНАЧЕНИЕ И СТРУКТУРА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Под электроприводом понимают электромеханическую систему, состоящую из электродвигательного, преобразовательного и управляющего устройств, предназначенную для приведения в движение исполнительных органов (ИО) рабочей машины и управления этим движением. Иными словами, электропривод — это управляемое электромеханическое преобразование энергии [1, 2, 3, 4, 5].

Основным элементом электропривода (ЭП) является электродвигатель, который преобразует электрическую энергию в механическую (в тормозных режимах наоборот — механическую энергию в электрическую). Управление электроприводом с целью обеспечения требуемого характера движения в оптимальных режимах работы машин по производительности, точности, экономичности осуществляется с помощью соответствующих преобразовательных и управляющих устройств, определяющих работу непосредственно электродвигателя.

Структурная схема автоматизированного электропривода приведена на рис. 1.1 [3]. Основные элементы схемы:

ИЭЭ — источник электрической энергии (ЭЭ): сеть переменного или постоянного тока, автономный источник электроэнергии — дизель-генератор, аккумуляторная батарея и т. д.

ПУ — преобразовательное устройство, предназначено для питания двигателя электроэнергией с различными параметрами (напряжение U и частота f при переменном

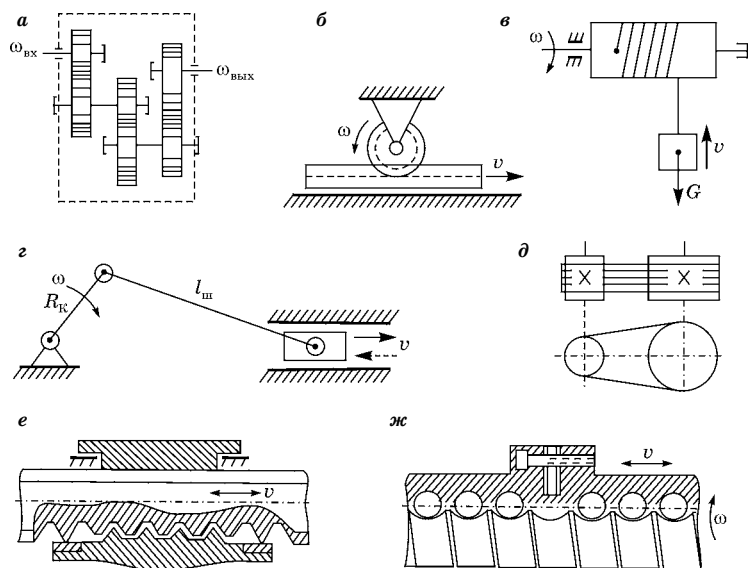


Рис. 1.2

Схемы механических передаточных устройств:

a — редуктор: $\omega_{\text{вх}}$, $\omega_{\text{вых}}$ — скорости входная и выходная соответственно; *б* — зубчато-реечная передача; *в* — барабанно-канатная передача: G — вес груза; *г* — кривошипно-шатунный механизм: R_k — радиус кривошипа; $l_{\text{ш}}$ — длина шатуна; *д* — ременная передача; *е* — винтовая передача; *ж* — шарико-винтовая передача.

механическое передаточное устройство (МПУ). МПУ может изменять вид движения, например вращательное в поступательное или возвратно-поступательное (пара «винт — гайка», кривошипно-шатунный механизм), изменять скорость и момент (редуктор, ременная, цепная и другого вида передача) и т. д. Отметим, что ротор двигателя относится и к механической части, и учитывается при расчетах моментов и сил инерции. На рис. 1.2 приведены схемы механических передаточных устройств.

ЭД, ПУ и МПУ образуют силовой канал электропривода (рис. 1.1). Во всех звеньях силового канала часть энергии теряется (потери), а энергическая эффективность привода обычно оценивается величиной КПД как

$$\eta = \frac{P_{\text{пол}}}{P_{\text{потр}}} = \frac{P_2}{P_1} = \eta_{\text{пр}} \eta_{\text{эд}} \eta_{\text{мпу}}, \quad (1.1)$$

где $\eta_{пр}$, $\eta_{эд}$, $\eta_{мпу}$ — КПД преобразователя, электродвигателя и МПУ соответственно; $P_{пол}$, $P_{потр}$ — полезная и потребляемая мощности.

КПД системы «электропривод — рабочая машина»

$$\eta = \frac{P_{техн}}{P_{потр}} = \eta_{ЭП} \eta_{рм}, \quad (1.2)$$

где $P_{техн}$ — технологически необходимая мощность для выполнения производственного процесса; $\eta_{рм}$ — КПД рабочей машины; $\eta_{ЭП}$ — КПД электропривода.

При работе на различных скоростях (искусственных характеристиках)

$$\eta_{ЭП} = \frac{W_{пол}}{W_{потр}} = \frac{W_2}{W_1} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{2i} t_i}{\sum_{i=1}^n (P_{2i} + \Delta P_i) t_i}, \quad (1.3)$$

где $\eta_{ЭП}$ — усредненный КПД привода; P_{2i} , ΔP , t_i — полезная мощность, потери и время работы привода на i -й скорости; n — число участков (по нагрузочной диаграмме); W_2 , W_1 — полезная и потребляемая энергия.

С точки зрения экономичности потребления активной мощности важным является и коэффициент мощности $\cos \varphi$, определяемый как

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}, \quad (1.4)$$

где P , S , Q — потребляемые активная, полная и реактивная мощности.

Для цикла работы рассчитывается средневзвешенный $\cos \varphi_{св}$

$$\cos \varphi_{св} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot t_i}{\sum_{i=1}^n (\sqrt{P_i^2 + Q_i^2} \cdot t_i)}. \quad (1.5)$$

Для асинхронных двигателей, работающих от сети переменного тока, произведение $(\eta \cdot \cos \varphi)$ называется энергетическим фактором, и по этому критерию зачастую определяются оптимальные параметры системы [24].

1.2. КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

Электроприводы, используемые в различных технологических установках, разнообразны по своим функциональным возможностям, схемному и конструктивному исполнению, степени автоматизации, что связано с большим разнообразием рабочих машин. Основные признаки, по которым классифицируют электроприводы:

- число рабочих органов, приводимых электроприводом: индивидуальный, групповой;
- вид движения электродвигателя: вращательного, линейного, многокоординатного;
- способ соединения двигателя с рабочим органом: редукторный, безредукторный, конструктивно-интегрированный;
- регулируемость: нерегулируемый, регулируемый;
- основной контролируемый параметр: регулируемый по моменту, регулируемый по скорости, регулируемый по положению;
- вид управления: ручное, полуавтоматическое, замкнутая система автоматического регулирования (САР) скорости с ручным заданием или с заданием от системы управления технологическим процессом, замкнутая САР положения, обеспечивающая точное позиционирование; программное, следящее.

Классификация по числу рабочих органов, приводимых в движение электроприводом. Электроприводы бывают индивидуальными и групповыми. Если каждый рабочий орган машины приводится в действие своим электроприводом, то последний называется индивидуальным. Такой привод может быть однодвигательным либо многодвигательным. При групповом электроприводе один двигатель приводит в движение несколько рабочих органов. При этом усложняется кинематическая цепь рабочей машины и затрудняется управление рабочими органами, так как для раздельного управления необходимо применять специальные механические устройства: управляемые муфты, коробки передач, фрикционы и др. По мере развития техники групповой электропривод все больше вытесняется индивидуальным.

Классификация по виду движения электродвигателя. Наибольшее применение, а до недавнего времени исключительное, получили электроприводы вращательного движения. Сейчас значительное внимание уделяется линейным двигателям. В тех механизмах, где рабочий орган совершает поступательное или возвратно-поступательное движение, применение линейных двигателей конструктивно гораздо удобнее, чем использование специальных кинематических пар: винт-гайка, кривошипно-шатунный механизм и др. Создание новых эффективных конструкций линейных двигателей с питанием от полупроводниковых преобразователей частоты открывает новые возможности использования линейных электроприводов для ряда производственных машин, в том числе и на предприятиях АПК.

Многокоординатные электроприводы на основе специальных шаговых электродвигателей являются отечественной разработкой и находят применение в высокоточных робототехнических установках, сборочных автоматах и используются для других целей. Они позволяют осуществлять пространственные движения рабочего органа по нескольким координатам.

Классификация по способу соединения двигателя с рабочим органом. Электродвигатели соединяются с рабочим органом машины либо непосредственно, либо через редуктор или другую кинематическую передачу. Непосредственное соединение двигателя с рабочим органом характерно для высокоскоростных рабочих машин, например, насосов и вентиляторов. В других рабочих машинах, где скорость рабочего органа меньше (или больше) номинальной скорости электродвигателя, применяются редукторы (или мультипликаторы), которые изменяют скорость и момент на валу рабочего органа.

До 60-х гг. XX в. регулируемые ЭП строились на основе машин постоянного тока. К настоящему времени в связи с разработками и массовым выпуском управляемых полупроводниковых приборов, а на их основе преобразователей частоты, регуляторов постоянного и переменного напряжения основным регулируемым электроприводом стал частотно-

управляемый асинхронный с короткозамкнутым двигателем и вентильный (синхронный двигатель + ПЧ).

Для высокоточных механизмов и машин, работающих в динамических режимах, стремятся исключить механические передачи между валом двигателя и рабочим органом. Такие электроприводы называются безредукторными. При этом, однако, возрастают габаритные размеры и масса приводного двигателя, поскольку при одинаковой его мощности эти параметры примерно обратно пропорциональны номинальной скорости двигателя. В последние годы стремятся, особенно для высокоточных электроприводов, конструктивно объединить рабочий орган с приводным электродвигателем. Примерами таких конструктивно интегрированных электроприводов являются электрошпиндели (для шлифовальных станков), мотор-колеса (для транспортных средств), мотор-редукторы и др.

Новым направлением в технике является создание мехатронных модулей — электромеханических модулей, включающих в себя рабочий орган, электромеханическое устройство (двигатель) с системой его регулирования (ПЧ, ШИП и др.) и микропроцессорное управляющее устройство. Такие модули применяются в роботах и на станках с числовым программным управлением.

Классификация по регулируемости. Под регулируемостью понимается возможность изменения или точного поддержания скорости, ускорения или момента (усилия) приводного электродвигателя.

Исторически сложилось, что большинство существующих электроприводов выполнено на базе короткозамкнутых асинхронных электродвигателей, не допускающих в стандартной схеме их питания регулирования скорости или момента. Модификацией односкоростных асинхронных электродвигателей являются двух- и трехскоростные двигатели. Электроприводы с многоскоростными двигателями дают возможность получать две или три фиксированные рабочие скорости, но не могут обеспечить их плавного регулирования в заданном диапазоне. По плавности регулирования приводами можно также отнести электроприводы с реостатно-контакторным управлением.

В приводах центрифуг при частотах вращения до 10 000 об/мин используются редукторы с передаточным числом $i = \frac{n_{\text{дв}}}{n_{\text{ро}}} < 1$, так называемые мультипликаторы.

Регулируемый электропривод выполняет следующие функции:

- установка требуемой скорости в заданном диапазоне;
- стабилизация установленного значения скорости с заданной точностью при возмущающих воздействиях, например изменении нагрузки на валу двигателя;
- регулирование момента, развиваемого двигателем в двигательном и тормозном режимах, и ускорения (замедления) привода;
- формирование требуемого характера изменения скорости во времени $\omega = f(t)$ с заданной точностью.

В настоящее время все более широкое применение получают регулируемые электроприводы.

Классификация по основному контролируемому параметру. В зависимости от технологических требований электропривод должен осуществлять регулирование по одной из главных контролируемых величин (координат): моменту, скорости или положению рабочего органа машины. При этом регулируются и другие величины, например при регулировании положения необходимо регулировать скорость и т. п.

Регулирование момента как основной регулируемой величины характерно для тех производственных машин, где контролируется натяжение обрабатываемого материала: намоточных устройств, линий обработки ткани и др. Часто такой величиной является скорость: для механизмов главного движения станков, клетей прокатных станов, конвейеров, питателей, насосов и многих других машин в соответствии с технологическим процессом требуется ее регулирование. Есть механизмы, для которых необходимо позиционирование рабочего органа или перемещение его по заданной траектории. Такие электроприводы управляются по положению (лифты, подъемные краны).

Классификация электроприводов по виду управления. Электроприводы с системами управления различаются по

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru