

УДК 664.951.022.6.002.5

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИФРОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА В МЕХАТРОННОМ РАЗДЕЛОЧНО-ФИЛЕТИРОВОЧНОМ ОБОРУДОВАНИИ

Ю.А. Фатыхов, О.В. Агеев

ФГБОУ ВПО «Калининградский государственный технический университет»,
Россия, 236022, г. Калининград, Советский проспект, 1
E-mail: procyon@mail.ru

Изложен подход к применению цифрового электропривода в разделочно-филетировочном оборудовании. Рассмотрены типы электродвигателей, проанализированы датчики обратных связей. Приведены обобщенные графоаналитические модели цифрового электропривода. Показаны пути применения шаговых двигателей с прямым цифровым управлением. Предложен подход к построению электронных преобразователей и интерфейсов на основе интегральных микросхем.

цифровой электропривод, мехатроника, шаговый двигатель, микроЭВМ, разделывание рыбы, филетирование, автоматическая настройка

В настоящее время в области технологического оборудования для первичной обработки рыбы происходит очередная смена поколений. Это связано с тем, что достижения мехатроники позволяют создать принципиально новые разделочно-филетировочные машины. Совершенствование техники пищевой инженерии привело к разработке нового класса технических систем – мехатронных комплексов с интеллектуальными управляющими системами [1].

Такое оборудование является мехатронной техникой и состоит из следующих концептуально связанных подсистем: оптико-электронного модуля, управляющей микроЭВМ, программного обеспечения, электропривода для настройки режущих рабочих органов, а также управляемого конвейерного оборудования для перемещения сырья и порций готового продукта.

Неотъемлемой частью мехатронного комплекса является цифровой электропривод (ЦЭП), который выполняет функции сопряжения микроЭВМ с объектом управления и с другими устройствами комплекса, в том числе – силовыми исполнительными устройствами, непосредственно воздействующими на объект обработки.

Цифровые электроприводы различаются структурой, назначением, местом включения вычислительного устройства, областью применения и различной физической сущностью. В связи с этим, актуальными являются задачи анализа и выбора структуры цифрового электропривода для мехатронного разделочно-филетировочного оборудования.

Разомкнутые ЦЭП обладают существенным недостатком в связи с отсутствием на входе привода информации об исполнении заданных команд. При использовании двигателей постоянного и переменного тока целесообразно применять замкнутый ЦЭП с обратными связями по положению и скорости.

Применение разомкнутого ЦЭП допустимо в случае использования шаговых двигателей, непосредственно преобразующих цифровую информацию в угол поворота или линейное перемещение, что позволяет обойтись без датчиков обратных связей.

Наряду с этим, в разделочно-филетировочном оборудовании целесообразно применять автономные ЦЭП. Под автономным ЦЭП понимается привод, в котором микроЭВМ служит лишь источником входной информации, а функции цифровой коррекции осуществляет специализированное вычислительное устройство, работающее автономно по отношению к микроЭВМ. Развитие и удешевление современной элементной базы позволяет строить автономные ЦЭП с высокими динамическими характеристиками, не предъявляя завышенных требований к быстродействию микроЭВМ. Это обуславливает внедрение ЦЭП на основе двигателей постоянного тока с последовательной коррекцией и подчиненными контурами регулирования.

При проектировании ЦЭП для разделочно-филетировочного оборудования целесообразно применять специализированные интегральные микросхемы – контроллеры и коммутаторы. Эти доступные полупроводниковые приборы позволяют строить цифроаналоговые приводы, в которых внутренние контуры, в том числе устройства управления транзисторными силовыми преобразователями, выполняются на основе аналоговых операционных усилителей, импульсно-фазовых устройств, прерывателей широтно-импульсной модуляции и т. д.

В качестве исполнительного устройства в ЦЭП наиболее широкое применение находят двигатели постоянного тока независимого возбуждения, управляемые асинхронные двухфазные двигатели с полым и короткозамкнутым ротором, асинхронные трехфазные двигатели с короткозамкнутым ротором, а также шаговые двигатели (ШД).

Исполнительные двигатели, применяемые в ЦЭП, должны удовлетворять следующим основным требованиям:

- достаточная линейность рабочих участков механических и регулировочных характеристик;
- высокое быстродействие;
- большой диапазон регулирования скорости вращения;
- высокие энергетические и массогабаритные показатели;
- минимальное напряжение трогания;
- отсутствие самохода;
- устойчивость работы;
- высокая надежность.

В случае если основным требованием является высокое быстродействие ЦЭП, предпочтение отдается высокомоментным низкоскоростным двигателям. В то же время, если основное требование – точность позиционирования рабочих органов мехатронного оборудования, следует применять шаговые двигатели.

Шаговый привод обеспечивает устойчивое движение и сохранение полученной информации. Статическая и динамическая ошибки такого привода ограничены максимальными значениями, обусловленными ценою шага и числом тактов коммутации двигателя, и не превышают их во всем диапазоне нормальной работы [2].

Шаговый привод непосредственно реагирует на импульсные команды, причем информационная характеристика сигнала определяется только частотой и числом импульсных посылок. Изменения в определенных пределах амплитуды и формы импульса не нарушают нормальной работы. Скорость вращения и суммарный угол поворота вала двигателя пропорциональны соответственно частоте и числу поданных импульсов. При отсутствии сигнала коммутация фаз прекращается, поле в рабочем зазоре двигателя останавливается, а ШД развивает значительный статический (синхронизирующий) момент. Это позволяет приводу фиксировать (запоминать) конечные координаты любых перемещений. Таким образом, дискретный разомкнутый привод с ШД является синхронно-импульсным следящим приводом, сочетающим в себе возможности глубокого частотного регулирования скорости (до нуля) с возможностями числового задания пути и надежной фиксации конечных координат.

В общем случае ШД совместно с управляющим электронным коммутатором можно рассматривать как систему частотного регулирования синхронного двигателя с возможностью фиксации углового положения ротора вплоть до нулевой частоты.

Наряду с этим, для точной работы ЦЭП в составе мехатронного разделочно-филетировочного оборудования требуется применение датчиков, преобразующих угловые и линейные перемещения, а также скорость вращения в тот или иной код. Датчики ЦЭП должны удовлетворять следующим основным требованиям:

- высокая точность;
- большой диапазон преобразования;
- достаточное быстродействие;
- отсутствие обратного воздействия датчика на преобразуемую величину;
- минимальный уровень собственных помех;
- однозначность фиксации нулевого положения;
- обеспечение реверса;
- простота настройки и регулировки;
- экономичность, небольшие масса и габариты.

В состав датчиков углов и линейных перемещений включены измерительный преобразователь и электронная схема. Измерительная информация представляется в дискретной (импульсы) или аналоговой (амплитуда, фаза) форме.

Электронная схема перерабатывает электрические сигналы от измерительного преобразователя в цифровую форму - код. При этом большое значение имеет точность преобразования (цена младшего разряда). При проектировании ЦЭП высокой точности предпочтение отдается фотоэлектрическим (оптронным) датчикам, обеспечивающим на выходе параллельный потенциальный циклический двоичный код (код Грея).

В качестве датчиков скорости вращения вала чаще применяются импульсные тахогенераторы, снабженные электронной схемой для преобразования "частота-код". Находят применение также датчики "скорость-код" с фазовым преобразованием на основе фазовращателя.

Наряду с микроЭВМ, исполнительным двигателем и датчиками обратных связей в состав ЦЭП входит транзисторный преобразователь. К

полупроводниковым преобразователям предъявляются следующие основные требования:

- двусторонняя проводимость энергии между источником питания и исполнительным двигателем;
- малое и не зависящее от тока выходное сопротивление;
- жесткая внешняя характеристика и малая инерционность;
- высокий КПД;
- достаточная перегрузочная способность;
- высокая помехозащищенность;
- малая масса и габариты.

Работа привода рабочих органов разделочно-филетировочного оборудования характеризуется как режим поворота или порционирования исполнительного вала. Таким образом, цель состоит в обеспечении строгой пропорциональности между суммарным углом поворота и числом поданных импульсов, т.е. в исключении накапливаемой ошибки. Следовательно, целесообразно проектировать ЦЭП в виде цифрового следящего шагового привода [3].

Полное математическое описание системы управления ЦЭП является сложной аналитической задачей, в связи с чем приемлемым и наглядным является использование графоаналитического метода. Модель системы управления ЦЭП возможно построить в виде эквивалентной структурной схемы.

ЦЭП может быть представлен эквивалентной структурной схемой, показанной на рис. 1. На нем обозначены: D_0 - дискретная передаточная функция программы вычисления закона движения привода; D_1 , D_2 , D_3 , D_4 - дискретные передаточные функции программных модулей коррекции динамических свойств привода; W - передаточная функция непрерывной части привода.

Корректирующие звенья в ЦЭП выполняют функции фазосдвигающих и усилительных элементов. Высокую эффективность применения в качестве последовательных корректирующих звеньев имеют изодромные устройства, представляющие собой параллельное соединение усилительного элемента и интегратора. Их включение в контур управления по ошибке позволяет существенно увеличить динамическую и статическую точность ЦЭП, что связано с повышением порядка астатизма следящей системы по входному воздействию и по внешним возмущениям. Вместе с тем при введении изодромного устройства с малой постоянной времени затрудняется демпфирование системы, в то время как при большой постоянной времени могут заметно увеличиваться коэффициенты ошибок по высшим производным входного воздействия. Для их уменьшения целесообразно использовать дополнительные контуры управления по первой и второй производным от ошибки [4].

Последовательное корректирующее устройство в системе управления ЦЭП может иметь программно реализуемые в управляющей микроЭВМ контуры пропорционального, интегрального и дифференциального регулирования по ошибке, что повышает точность работы ЦЭП при снижении общего коэффициента передачи.

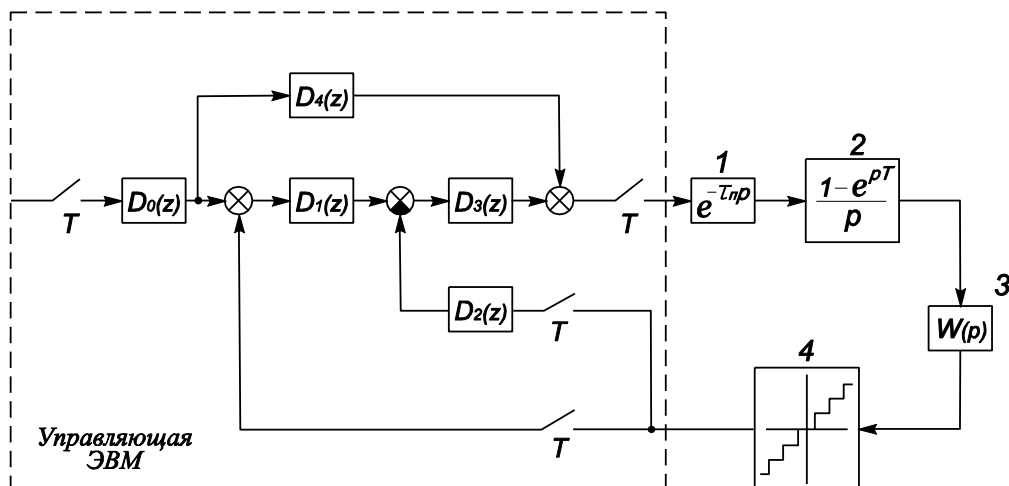


Рис.1. Эквивалентная структурная схема цифрового электропривода для настройки рабочих органов разделочно-филетировочного оборудования:
 1 – элемент задержки; 2 – экстраполятор нулевого порядка (фиксатор);
 3 – передаточная функция непрерывной части привода; 4 – аналогово-цифровой преобразователь

Fig. 1. The equivalent structural scheme of digital electric drives for adjustment of fish fillet equipment

Наиболее эффективной системой управления ЦЭП является комбинированная система управления с включением компенсирующих сигналов по производным от входного воздействия. Решением этой задачи может быть использование численных методов дифференцирования для расчета оценок производных от входного воздействия. В случае низкой частоты поступления входного воздействия на привод целесообразно применение классического полиномиального подхода к численным методам теории обработки информации.

Непрерывная часть привода является кинематическим звеном исполнительного механизма, приводимым в движение шаговым двигателем. В качестве датчика обратной связи по положению целесообразно использовать измерительную систему, включающую фотоэлектрический импульсный прибор для расчета фактического угла поворота, расположенный на валу шагового двигателя.

Цифровая часть системы управления должна обеспечивать следующие условия работы ЦЭП:

- интерполяцию входного сигнала на привод в промежутках между его обновлением на верхнем уровне системы управления в целях повышения частоты замыкания главной обратной связи;
- обработку без установившихся ошибок входных воздействий, имеющих ненулевые значения первой и второй производных;
- время переходного процесса при обработке ступенчатого воздействия не более 3 с;
- перерегулирование не более 10%.

На рис. 2 приведена структура дискретной части системы управления ЦЭП. Данная структура позволяет менять в широком диапазоне свойства ЦЭП и

может быть положена в основу построения алгоритмов прямого цифрового управления настройкой рабочих органов мехатронного разделочно-филетировочного оборудования.

Показанная на рис. 2 система управления ЦСП включает несколько программно реализуемых контуров управления, работающих в общем случае с разными периодами дискретности:

- контуры пропорционального, интегрального и дифференциального регулирования по ошибке e с T_0 ;
- демпфирующие обратные связи по первой и второй разностям от регулируемой координаты y с T_2 ;
- компенсирующие цепи по первой и второй производным от входного воздействия \dot{g} с T_0 , \ddot{g} с T_0 .

Функции цифрового фильтра ЦФ (рис. 2) заключаются в вычислении промежуточных значений входного воздействия на временном интервале между моментами поступления воздействия на вход привода с T_1 . Это позволяет увеличить частоту замыкания главной обратной связи в случае низкой частоты поступления задающего сигнала. Также с помощью цифрового фильтра рассчитываются оценки производных входного воздействия, используемых для уменьшения динамических ошибок привода. Нелинейные элементы $HЭ_1$, $HЭ_2$, $HЭ_3$ позволяют учитывать ограниченную разрядность цифровых устройств управления.

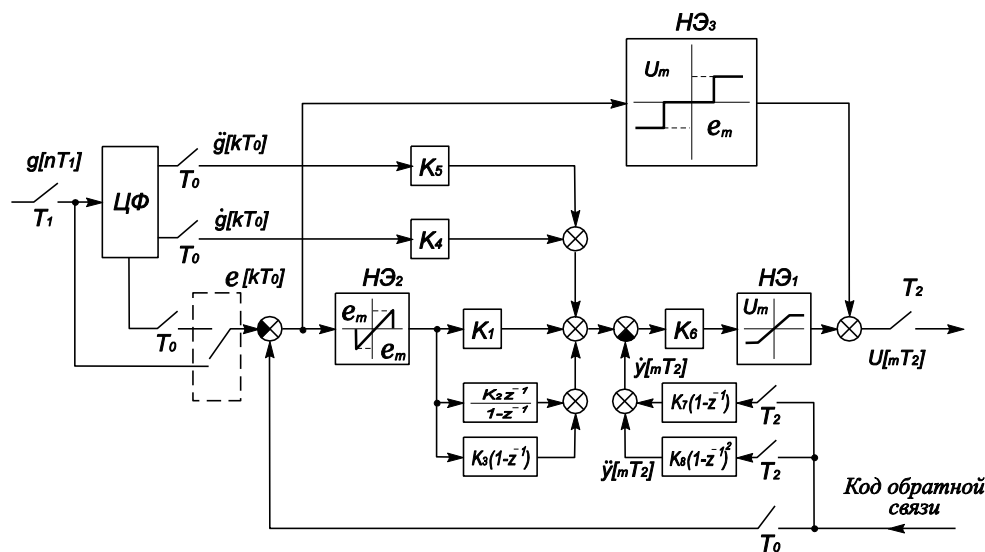


Рис. 2. Структурная схема дискретной части следящего привода с прямым цифровым управлением

Fig. 2. The structural scheme of discrete part of servo drive with a direct digital control

Импульсная переходная характеристика системы управления ЦЭП определяется путем подачи в течение такта времени на блок управления шаговым двигателем ступенчатого входного импульса и регистрации фактического положения рабочего органа разделочно-филетировочного устройства. Сопоставление расчетных значений модели с экспериментальной

характеристикой показывает, что система управления ЦЭП на основе шагового двигателя приближенно может быть описана упрощенной моделью, приведенной на рис. 3. Данная модель представляет собой описание каскадной двухконтурной следящей системы автоматического управления позиционированием рабочего органа.

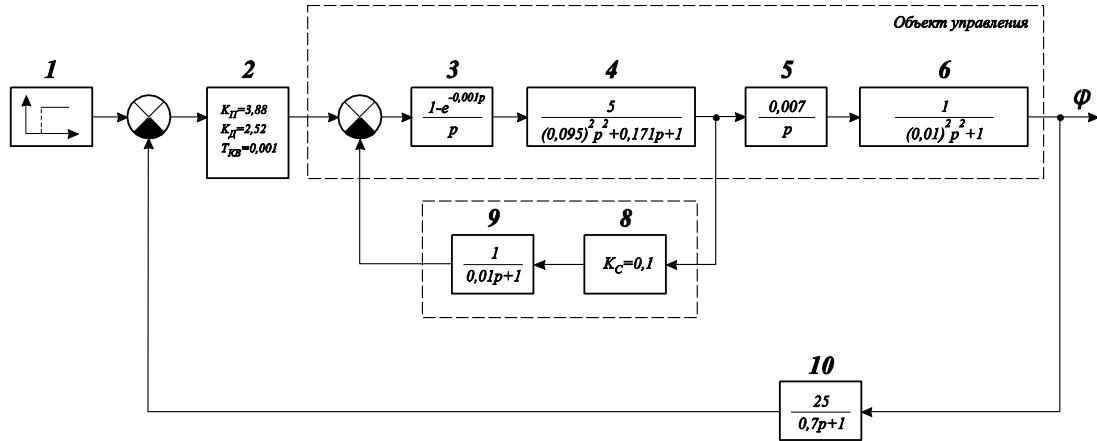


Рис. 3. Структурная схема приближенной модели системы управления цифровым электроприводом: 1 – источник ступенчатого воздействия; 2 – цифровой ПД-регулятор; 3 – экстраполятор нулевого порядка (фиксатор); 4 – шаговый двигатель; 5 – редуктор; 6 – упругая механическая передача; 8, 9 – преобразователь скорости; 10 – измерительная система; φ – текущее значение угла поворота исполнительного вала

Fig. 3. The structural scheme of approximate model of the control system of digital electric drives

Исследовав модель (рис. 3) численными методами, несложно убедиться, что характер работы ЦЭП является колебательным. Это обуславливает необходимость фиксации исполнительного вала в точке позиционирования при наличии значительной нагрузки со стороны объекта обработки и ограничений по производительности. Надежную фиксацию исполнительного вала возможно обеспечить следующими способами [5]:

- применением шаговых двигателей с достаточными статическими моментами (удерживающим и фиксирующим);
- применением самотормозящихся передач, что влечет возрастание затрат на сухое трение;
- применением управляемого фиксирующего приспособления (электромагнитного тормоза, муфты и т. д.), конструктивно встроенного в исполнительный двигатель;
- применением усилителей мощности, позволяющих удерживать исполнительный вал в неизменном положении с определенной погрешностью. Погрешность вызвана возбуждением режима автоколебаний в окрестности точки позиционирования с малой амплитудой (менее половины величины погрешности позиционирования) и высокой частотой.

Проектировать полупроводниковый преобразователь ЦЭП целесообразно на основе доступного комплекта интегральных микросхем – контроллера и мостового коммутатора. Контроллер получает от микроЭВМ информацию о режиме работы и направлении вращения и, в свою очередь, задает коммутатору последовательность переключения обмоток исполнительного двигателя.

Наряду с этим, контроллер имеет возможность измерять ток, протекающий в обмотках возбуждения двигателя, а также напряжение между обмотками. Она позволяет обеспечить регулирование тока нагрузки путем широтно-импульсной модуляции. В качестве контроллера для шаговых двигателей может применяться микросхема L297, а в качестве мостового коммутатора – микросхема L298N.

Сопряжение полупроводникового преобразователя с микроЭВМ целесообразно выполнить на основе микросхемы программируемого периферийного параллельного адаптера.

В качестве программируемого периферийного параллельного адаптера микроЭВМ используется микросхема KP580BB55A. Последняя позволяет осуществлять двусторонний обмен восьмиразрядными данными одновременно по трем каналам. Задание режимов работы каналов выполняется путем записи управляющего слова в специальный регистр, адресуемый при единичных сигналах на линиях ША0 и ША1. В качестве датчика положения вала возможно использовать либо кодовый оптический датчик, либо фотоимпульсный в сочетании с аналоговым. Информация с датчика должна считываться и поступать в адаптер достаточно часто. Нижняя граница частоты поступления сигналов обратной связи определяется условиями устойчивой работы привода, а также оценкой скорости движения привода путем нахождения первой разности сигнала положения. В случае применения фотоимпульсного датчика требуется предварительный подсчет числа импульсов при помощи реверсивного счетчика. Использование аналогового датчика предполагает наличие микросхемы аналогово-цифрового преобразователя [6].

16-разрядный кодовый датчик обеспечивает разрешающую способность не хуже 0,1 мм в линейных единицах и не хуже 20'' в угловых единицах. Для получения информации с 16-разрядного кодового датчика два из трех каналов микросхемы KP580BB55A программируются на прием информации, при этом третий канал может быть использован для получения сигналов с концевых выключателей оборудования. Вместе с тем третий канал микросхемы адаптера возможно установить в режим вывода информации и осуществить тем самым выдачу управляющей информации на микросхему контроллера L297.

Для обмена информацией между управляющей приводом микроЭВМ и ЭВМ верхнего уровня может быть использована микросхема программируемого периферийного последовательного адаптера KP580BB51A, реализующая универсальный синхронно-асинхронный передатчик (УСАПП). Скорость последовательной передачи информации должна быть такой, чтобы за период квантования цифрового привода гарантированно передалась очередная порция информации. В большинстве применений достаточно выбора асинхронного двунаправленного режима работы микросхемы KP580BB51A на скорости 9600 бит/с. При использовании в микроЭВМ нескольких различных периферийных адаптеров обращение к ним осуществляется при помощи микросхемы дешифратора KP555ИД7.

Применение цифрового электропривода позволяет существенно упростить кинематические схемы исполнительных механизмов, а также повысить быстродействие и точность автоматической настройки рабочих органов [7]. Предлагаемый подход создает практическую основу для проектирования цифрового электропривода для разделочно-филетировочного оборудования с электронной настройкой рабочих органов. Это позволит повысить производительность при обработке рыбы и сократить потери ценного сырья.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Разработка мехатронного комплекса для обработки рыбного филе / Ю.А.Фатыхов [и др.] // РЫБПРОМ.– 2010. - № 4/2010. – С. 73-78.
2. Подход к разработке рыборазделочного устройства на основе шагового привода с цифровым управлением / Ю.А. Фатыхов [и др.] // Известия КГТУ. – 2012. – № 25. – С. 25-32.
3. Фатыхов, Ю.А. Мехатроника в оборудовании для разделывания и филетирования рыбы. Ресурсосберегающее адаптивное управление процессом производства рыбного филе на основе мехатроники: монография / Ю.А. Фатыхов, О.В. Агеев. – Саарбрюкен: Изд-во LAP Lambert Academic Publishing, 2011. – 264 с.
4. Фатыхов, Ю.А. Мехатроника в рыборазделочном оборудовании: монография / Ю.А. Фатыхов, О.В. Агеев. – Калининград: Изд-во ФГОУ ВПО «КГТУ», 2008. – 279 с.
5. Фатыхов, Ю.А. Ресурсосберегающее мехатронное управление оборудованием для разделывания и филетирования рыбы: учеб. пособие / Ю.А. Фатыхов, О.В. Агеев. – Калининград: Изд-во ФГОУ ВПО «КГТУ», 2007. – 158 с.
6. Фатыхов, Ю.А. Моделирование цифровой следящей системы управления процессом филетирования рыбы / Ю.А. Фатыхов, В.Н. Эрлихман, О.В. Агеев // Проблемы совершенствования холодильной техники и технологии: сб. науч. тр. / Московский государственный университет прикладной биотехнологии (МГУПБ). – М., 2008. – С. 153-157.
7. Фатыхов, Ю.А. Перспективы разработки мехатронных комплексов для первичной обработки рыбы / Ю.А. Фатыхов [и др.] // Известия КГТУ. – 2010. – № 18. – С. 11-17.

THE PROSPECTS OF APPLICATION OF THE DIGITAL ELECTRIC DRIVES FOR MECHATRONICAL FISH FILLET EQUIPMENT

J.A. Fatychov, O.V. Aqeev

The approach to use of the digital electric drives for mechatronical fish fillet equipment is stated. Types of electric motors are considered, sensors of feedback are analysed. The graphics-analytical models of the digital electric drives are given. The prospects of use of stepper motors with a direct digital control are shown. The approach to creation of electronic converters and interfaces on the basis of integrated chips is offered.

mechatronics, digital control, stepper motor, fish cutting, fillet, automatic adjustment

Юрий Адгамович: 93-55-46

Олег Вячеславович: 8(911)454-19-16