

УДК 621.83

А. А. Кравцов,
Л. Г. Лимонов, канд. техн. наук,
С. В. Потапов, В. В. Синельников

ЭЛЕКТРОПРИВОД И СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТУЧЕЙ ПИЛЫ ТРУБОЭЛЕКТРОСВАРОЧНОГО АГРЕГАТА

Аннотация. Рассмотрены особенности разработки частотного электропривода летучей пилы трубоэлектросварочного агрегата, разработки системы мерного реза труб, а также опыт наладки электропривода и системы управления, обеспечивающей мерный рез.

Ключевые слова: электродвигатель, преобразователь частоты, импульсный датчик, диск, каретка, позиционирование, импульсный датчик

A. Kravtsov,
L. Limonov, PhD.,
S. Potapov, V. Sinelnikov

ELECTRIC DRIVE AND CONTROL SYSTEM OF FLYING SAW OF ELECTRIC-WELD ITEM

Abstract. The paper deals with individual aspects of the development of variable-frequency electric drive of flying saw of electric-weld plant item, development of systems for measured pipe cut, as well as the experience of maintenance of electric drive and systems for measured pipe cut.

Keywords: motor drive, frequency converter, impulse sensor, circular saw blade, runner block, positioning encoder

О. А. Кравцов,
Л. Г. Лимонов, канд. техн. наук,
С. В. Потапов, В. В. Синельников

ЕЛЕКТРОПРИВОД ТА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ЛЕТЮЧОЇ ПИЛИ ТРУБОЕЛЕКТРОЗВАРЮВАЛЬНОГО АГРЕГАТА

Анотація. Розглянуті особливості розробки частотного електроприводу летючої пили трубоелектрозварювального агрегату, розробки системи мірного різку труб, а також досвід налагодження електроприводу і системи керування, що забезпечує мірний різ.

Ключові слова: електродвигун, перетворювач частоти, імпульсний датчик, диск, каретка, позиціонування, імпульсний датчик

Введение. Летучая пила – механизм, предназначенный для разрезания на ходу движущегося проката таких сечений, порезка которых с помощью летучих ножниц не может быть реализована. Такие механизмы используются для разделения на мерные длины заготовки на машинах непрерывного литья заготовок, разделения на мерные длины трубы на трубоэлектросварочных агрегатах и в других аналогичных случаях. Ниже изложен опыт разработки и внедрения регулируемого частотного электропривода переменного тока и системы управления, обеспечивающей мерный рез на трубоэлектросварочном агрегате, который может быть полезен при выполнении аналогичных работ.

Основная цель проведенной работы – существенное повышение точности пореза трубы, получаемой на агрегате.

Конструкция. Комплекс механизмов летучей пилы трубоэлектросварочного агрегата (ТЭСА) разделяет на части заданной длины получаемую на агрегате движущуюся трубу. Как известно, существуют различные конструкции комплекса механизмов летучей пилы, включающие электрические, гидравлические и пневматические приводы.

© Кравцов А.А., Лимонов Л.Г., Потапов С.В.,
Синельников В.В., 2015

В данном конкретном случае в состав электро-механического комплекса летучей пилы входят четыре основных механизма:

- механизм передвижения каретки;
- механизм вращения пильного диска;
- механизм перемещения пильного диска;
- механизм сцепки движущейся каретки с трубой.

Каретка приводится в движение регулируемым электроприводом через цилиндрический редуктор и реечную зубчатую передачу, вращение пильного диска производится нерегулируемым асинхронным электродвигателем, а механизмы перемещения пильного диска и механизм сцепки оснащены электрогидравлическими приводами.

До модернизации электропривод перемещения каретки включал приводной электродвигатель постоянного тока, питающийся от тиристорного преобразователя, тахогенератор на валу электродвигателя и два импульсных датчика – один на валу кинематического редуктора каретки, другой на ролике, прижатом к трубе. Существующая автоматизированная система мерного реза труб реализована на программируемом контроллере КРБ-11.

Перечисленное электрооборудование каретки и системы мерного реза морально и физически устарело и не обеспечивает заданной точности реза.

С точки зрения управления автоматизированную электромеханическую систему летучей трубы следует отнести к системам повышенной сложности, она решает две задачи: задачу управления параметрами электродвигателя (ток, момент, скорость вращения) и задачу управления траекторией движения рабочего органа. Если первая из этих задач успешно решается с помощью стандартных средств управления современного автоматизированного электропривода, то для качественного решения второй задачи требуется использование дополнительных средств программируемой вычислительной техники.

В технической литературе вопросам комплексного исследования автоматизированного электропривода и системы управления мерным резом летучей пилы уделяется мало внимания. Тематика опубликованных в последние годы работ посвящена частным проблемам этого электромеханического комплекса [1 – 7].

Основные решения. Основные параметры агрегата: максимальная скорость движения трубы в зоне реза – 2 м/с; длины отрезаемых труб – от 4 до 12 м; максимально возможный путь каретки летучей пилы – 2,5 м.

Новый регулируемый электропривод переменного тока каретки выполнен по системе ПЧ-АД, для привода использован специализированный асинхронный электродвигатель главного движения серии PN8 фирмы Siemens, он получает питание и управляется преобразователем частоты с цифровым микропроцессорным управлением серии Sinamics S120 фирмы Siemens [8 – 9]. Номинальные параметры выбранного электродвигателя – 44 кВт, 390 В, 39 Гц, 1150 об/мин. Электродвигатель бескорпусной конструкции, с принудительным охлаждением и пристроенным импульсным датчиком на валу. Цифровая микропроцессорная система автоматического регулирования скорости электродвигателя – векторная с обратной связью по скорости от импульсного датчика на валу электродвигателя. Выбор электродвигателя произведен в соответствии с параметрами существующего электродвигателя постоянного тока (37 кВт; 1060 об/мин).

Основная задача автоматизированной системы управления летучей пилы – обеспечение точности мерного реза сваренной на агрегате трубы. Для построения программируемой автоматизированной системы мерного реза используются вычислительные возможности программируемого контроллера общего управления скоростными режимами работы ТЭСА, примененный контроллер серии Simatic S7-300, фирмы Siemens [10 – 11]. Для измерения скорости движения трубы используется существующий импульсный датчик, установленный на ролике, он приводится во вращение движущейся трубой.

Электропривод вращения пильного диска работает в продолжительном режиме, а работа электропривода каретки происходит циклично.

Общее время цикла работы каретки состоит из следующих отрезков:

- стоянка каретки в исходном положении в промежутке между резами (пауза);
- разгон каретки до скорости движения трубы;

- соединение каретки с трубой с помощью механизма сцепки;

- рез трубы пильным диском при совместном движении сцепленных трубы и каретки;

- расцепление трубы и каретки после окончания реза;

- торможение и остановка каретки;

- возврат каретки в исходное положение: разгон до максимальной скорости обратного направления движения, движение на этой скорости и торможение с максимальной скоростью с точной остановкой в исходном положении.

Рассмотрим работу электроприводов и автоматизированной системы мерного реза на отрезках цикла.

В режиме разгона каретки из исходного положения до рабочей скорости движения трубы система автоматического регулирования электропривода представляет собой систему регулирования скорости с регулятором скорости пропорционально-интегрального действия. Задание скорости на вход регулятора подается через задатчик интенсивности (ramp-function generator) [9], сигнал задания соответствует линейной скорости трубы V_T . Этот сигнал формируется в программируемом контроллере использованием импульсного датчика скорости трубы. Задатчик интенсивности электропривода настроен на минимально возможное время разгона электропривода до максимальной рабочей скорости. Это время ограничено возможностями механического оборудования привода перемещения каретки (реечное зацепление).

Структурная схема электропривода каретки в режиме разгона приведена на рис. 1.

После подачи команды на разгон система регулирования электропривода обеспечивает разгон каретки до заданной рабочей скорости трубы по линейному закону с постоянным ускорением.

Одновременно в программируемом контроллере начинается отсчет пути каретки S_K с использованием импульсного датчика на валу электродвигателя каретки, а также отсчет длины трубы L_{TP} , прошедшей за время разгона, использованием импульсного датчика на трубе. Скорость каретки V_K сравнивается со скоростью трубы V_T , и, когда они станут равны, контроллер сформирует сигнал на перемещение механизма сцепки. Происходит сцепление каретки с трубой с выдержкой времени на движение механизма сцепки. Контроллер формирует команду на рез, по ней начинается движение пильного диска для отрезания трубы, а система регулирования электропривода каретки перестраивается в одноконтурную систему регулирования момента с ограничением величины до значения $(0,2 - 0,3) M_H$.

Отсчет пути каретки продолжается, а длина трубы, прошедшей от момента начала движения каретки до момента начала движения пильного диска L_{TP} , запоминается.

Пильный диск производит отрезание трубы при совместном движении трубы и каретки в сцепленном состоянии. Окончание реза и возвращение пильного диска в исходное положение фиксируется соответствующим конечным выключателем.

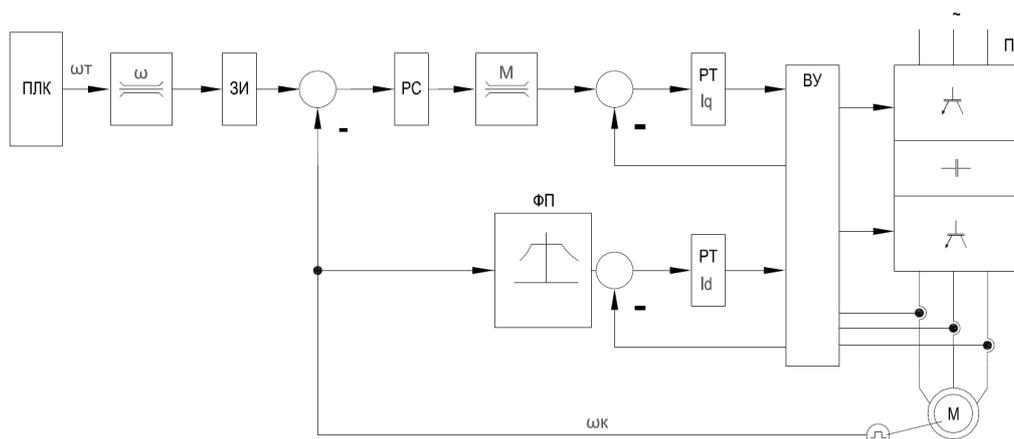


Рис. 1. Структурная схема электропривода каретки в режиме разгона

По срабатыванию этого конечного выключателя в программируемом контроллере формируется команда на расцепление каретки и трубы. После выдержки времени на отведение каретки от трубы система регулирования электропривода каретки перестраивается в трехконтурную систему регулирования положения. В третьем контуре этой системы регулирования пропорциональный регулятор реализуется программно в контроллере. На вход этого регулятора в качестве сигнала обратной связи при нулевом сигнале задания подается текущая величина расстояния S_K , пройденного кареткой от начала движения из исходного положения до остановки. Выходной сигнал регулятора положения ограничен величиной максимально допустимой скорости возврата каретки. Под действием регулятора положения происходит торможение электропривода каретки с темпом, определяемым задатчиком интенсивности, до полной остановки, а затем – разгон на максимально допустимую скорость обратного движения. Это обеспечивает ускоренное перемещение каретки с последующей остановкой в исходном положении, когда сигнал на выходе регулятора положения станет равным нулю.

В исходном положении каретка находится до момента начала движения для производства следующего реза. Момент начала движения каретки определяется при выполнении равенства

$$L_0 - L_{TP} - L_T = 0, \quad (1)$$

где L_0 – заданная длина отрезаемой трубы; L_T – текущая длина трубы с момента начала движения пильного диска для производства реза, отсчитываемая в программируемом контроллере использованием импульсного датчика на трубе.

В реальной системе использован импульсный датчик с параметрами ролика 600 имп/об с диаметром, обеспечивающим 1мм длины трубы на один импульс. В то же время импульсный датчик электродвигателя каретки имеет 1024 имп/об и разрешающую способность при определении пути каретки 0,1625 мм/имп.

При использовании описанного алгоритма управления электроприводом каретки при выполнении реза, ошибка по точности отрезаемой длины трубы определяется следующими основными факторами:

- проскальзывание ролика импульсного датчика на трубе;
- отклонения скорости движения трубы;

- изменение диаметра ролика импульсного датчика на трубе вследствие истирания поверхности ролика;
- отклонения траектории движения электропривода каретки при разгоне.

Уменьшение влияния первых двух факторов может быть достигнуто применением соответствующих организационных мероприятий: регулярный контроль диаметра ролика и замена износившегося, контроль состояния поверхности ролика и усиления прижатия. Для уменьшения влияния двух последних факторов система управления может быть дополнена контуром динамического позиционирования, введением дополнительного регулятора положения в качестве корректора скорости каретки.

На входах этого регулятора с момента начала разгона каретки производится сравнение пути, проходимого трубой с удвоенной величиной пути, проходимого кареткой. Отклонение пути каретки в процессе разгона корректируется соответствующим изменением задания скорости электропривода каретки.

Таким образом этот регулятор обеспечивает слежение за положением координаты точки очередного реза и коррекцию движения каретки при разгоне, образуя на время разгона каретки третий – внешний контур системы автоматического регулирования электропривода каретки. Он позволяет проводить операцию реза при достижении равенства скоростей трубы и каретки и равенства длины трубы в процессе разгона и удвоенного пути каретки.

Указанный регулятор положения может быть реализован в программируемом контроллере или в составе средств системы автоматического регулирования электропривода каретки.

Описанные автоматизированный электропривод и система управления, обеспечивающая мерный рез, успешно реализованы на трубоэлектросварочном агрегате № 1 ТЭСА 20-76 ПАО «Коминмет», г. Днепропетровск.

Выводы. Примененный для модернизации частотный электропривод, обладая высокими динамическими показателями, позволил выполнить требования, предъявляемые к системе мерного реза по быстродействию и точности обработки траектории движения. Реализованный алгоритм системы мерного реза трубы обеспечил получение требуемой точности порезки во всем диапазоне заданных длин и сортамента труб.

Список использованной литературы

1. Червяков В. Д. Летучие механизмы как класс рабочих машин в аспекте задач управления / В. Д. Червяков, А. А. Паньч // *Электротехнические системы и комплексы. Сборник трудов.* – Магнитогорск : МГТУ. – 1998. – Вып. 3. – С. 176 – 182.
2. Червяков В. Д. Двухрежимное управление электроприводом несущего органа летучей пилы / В. Д. Червяков, А. А. Паньч // *Вісник ХДПУ. Збірка наукових праць. Тематич. вип. 61.* – Харків : ХДПУ. – 1999. – С. 233 – 234.
3. Червяков В. Д. Задачи ресурсосберегающего управления электроприводом несущего органа летучей пилы / В. Д. Червяков, А. А. Паньч // *Вісник НТУ ХПІ. Збірка наукових праць. Тематич. вип. 10.* – Харків : НТУ ХПІ. – 2001. – С. 370 – 371.
4. Паньч А. А. Сетевая модель рабочего цикла летучей пилы / А. А. Паньч // *Труды СумГУ.* – 1999.
5. Червяков В. Д. К построению объектной модели системы управления электроприводом несущего органа летучей пилы / В. Д. Червяков, А. А. Паньч // *Проблемы создания новых машин и технологий. Научные труды КГПИ.* – Кременчуг : – 2000. – Вып. 1. С. 281 – 286.
6. Панич А. О. Обмеження ривка в двоережимній системі управління електропривода несучого органа летучої пили / А. О. Панич, М. О. Петренко // *Вісник КДПУ.* – 2007. – Ч. 1. – Вип. 3(44).
7. Червяков В. Д. Объектно-ориентированные системы управления процессами движения машин / В. Д. Червяков, А. А. Паньч, А. М. Щекотов, А. А. Доброжан // *Изд. СумГУ.* – 2009. – 55 с.
8. SIMOTION, SINAMICS S120 & SIMOTICS Equipment for Production Machines. Motion Control. Catalog PM21, Edition 2013. SIEMENS AG 2013.
9. Sinamics S., (2007), List manual.
10. SIMATIC ST 70 Products for Totally Integrated Automation. Catalog ST70, Edition 2014. SIEMENS AG 2014.
11. SIMATIC PC PC-based Automation Human Machine Interface Systems PC-based Automation. Catalog ST 80/ST PC, Edition 2014. SIEMENS AG 2014.

Получено 14.05.2015

References.

1. Cherviakov V.D., and Panich A.A. Letuchie mehanizmi kak klass rabochih mashin v aspekte zadach upravleniya [Volatile Mechanisms as a Class Machines in the Aspect of Management Tasks], (1998), *Sbornik Trudov. Magnitogorsk, Russian Federation, MGTU*, Vol. 3, pp. 176 – 182 (In Russian)
2. Cherviakov V.D., and Panich A.A. Dvuhregimnoe upravlenie elektroprivodom nesuschego organa letuchey pily [Dual-mode Drive Control of the Carrier Body Flying saw], (1999), *Visnik HDPU, Zbirka Naukovih Prats. Tematichni* Vol. 61, Kharkov, Ukraine, *HDPU*, pp. 233 – 234 (In Russian)
3. Cherviakov V.D., and Panich A.A. Zadachi resursoberegaiushchego upravleniya elektroprivodom nesuschego organa letuchey pily [The Tasks of Resource-saving Drive Control of the Carrier body Flying Saw], (2001), *Visnik NTU HPI.*

Zbirka Nauovih Prts. Tematichni Vipusk 10, Kharkov, Ukraine, *NTU HPI*, pp. 370 – 371 (In Russian).

4. Panich A.A. Setevaia model rabocheho cikla letuchey pily [Network Model Runtime Flying Saw], *Trudi SumGU*, 1999 (In Russian)
5. Cherviakov V.D., and Panich A.A. K postroeniuyu obiektnoi modeli sistemi upravleniya elektroprivodom letuchey pily [Construction of the Object Model of Motor Control of the Carrier Body Flying saw], (2000), *Problemi Sozdania Novih Mashin i Tehnologii. Nauchnie Trudu KGPI*, Vol. 1, Kremen-chug, Ukraine, *KGPI*, pp. 281 – 286 (In Russian)
6. Panich A.A., and Petrenko A.O. Obmegennia rivka v dvohregimni sistemi upravlinnia elektroprivoda nesuschego organa letuchey pily [Restrictions Dvohrezhymniy Break-through in Electric Control System of the Carrier Body Flying saws], (2007), *Visnik KDPU*, Vol. 3(44), Chaste 1 (In Ukraine)
7. Cherviakov V.D., Panich A.A., Schekotov A.M., and Dobrogan A.A. Objektno-orientirovanie sistemi upravleniya processami dvigania mashin [Object-oriented Process Control System Motion Machines], (2009), *Izd. SumGU*, 55 p. (In Russian)
8. SIMOTION, SINAMICS S120 & SIMOTICS Equipment for Production Machines. Motion control. Catalog PM21, Edition 2013. SIEMENS AG 2013.
9. Sinamics S., (2007), List manual.
10. SIMATIC ST 70 Products for Totally Integrated Automation. Catalog ST70, Edition 2014. SIEMENS AG 2014.
11. SIMATIC PC PC-based Automation Human Machine Interface Systems PC-based Automation. Catalog ST 80/ST PC, Edition 2014. SIEMENS AG 2014.



Кравцов
Алексей Анатольевич, начальник сектора ЧАО «Тяжпромавтоматика».
61072, Харьков, проспект Ленина, 56, тел. (057)758 64 88.
E-mail: mail@tpa5.com.ua



Лимонов
Леонид Григорьевич, канд. техн. наук, главный специалист отдела ЧАО «Тяжпромавтоматика».
61072, Харьков, проспект Ленина, 56, (057)75864 88.
E-mail: mail@tpa5.com.ua



Потапов
Станислав Валерьевич, главный специалист отдела ЧАО «Тяжпромавтоматика». 61072, Харьков, проспект Ленина, 56, (057)7586488.
E-mail: mail@tpa5.com.ua



Синельников
Валерий Викторович, ведущий инженер ЧАО «Тяжпромавтоматика».
61072, Харьков, проспект Ленина, 56, тел. (057)758 64 88.
E-mail: mail@tpa5.com.ua