

УДК 68-83-52.621.9

МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫМ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

Кражан В.С., зам. дир. по науке, Жорняк А.Э., аспирант, Землянский В.В., нач. отдела, Чепкунов А.И., к.т.н.

ОАО НИИ Преобразователь, г. Запорожье

г. Запорожье, ул. Кремлевская, 63а

E-mail: alfaproton@gmail.com

Розглядаються питання побудови мікропроцесорної системи і алгоритму керування високовольтним перетворювачем частоти загальнопромислового призначення.

Ключові слова: система керування, високовольтний електропривод, перетворювач частоти, алгоритм керування.

The problems of the designing of the microprocessor system and control algorithm of the general-purpose frequency high-voltage converter are considered.

Key words: control system, high-voltage electric motor, frequency converter, control algorithm.

Введение. В течение ряда последних лет ОАО НИИ «Преобразователь» ведет работы по освоению промышленного производства преобразователей частоты для высоковольтного асинхронного электропривода переменного тока. Современная элементная база позволяет создать высоковольтный преобразователь с хорошими технико-экономическими показателями. При этом значительное количество технических проблем переходят от силовой части преобразователя к системе управления им и электроприводом в целом, а также в сферу алгоритмов управления.

Цель работы – разработка микропроцессорной системы и алгоритмов управления высоковольтным преобразователем частоты (ВПЧ) и регулируемым на его основе электроприводом.

Материал и результаты исследования. В 2007 году ОАО НИИ «Преобразователь» выполнил НИОКР «Разработка микропроцессорной системы и алгоритмов управления энергосберегающим высоковольтным преобразователем частоты и регулируемым электроприводом общепромышленного назначения».

Целью работы являлась разработка системы управления и исследование характеристик высоковольтного преобразователя частоты общепромышленного назначения, в том числе для магистральных насосов перекачивающих станций трубопроводов, питательных и циркуляционных насосов ТЭЦ, АЭС и т.п., что является актуальной задачей в свете модернизации насосных станций различного назначения, с целью повышения их энергоэффективности. [1, 2].

На данном этапе развития высоковольтной техники, производители ВПЧ и электроприводов поставляют системы управления только для своей продукции. В большинстве случаев использование

данных систем невозможно ввиду их узкой направленности – жесткой привязке к управляемым объектам, которые производятся на тех же предприятиях. Так поступают такие известные производители Mitsubishi, Siemens, ABB, Schneider Electric. Исходя из этого, при производстве ВПЧ возникает необходимость создания или заказа у сторонних разработчиков системы управления с необходимыми параметрами. ОАО НИИ «Преобразователь» разработал собственную систему управления на базе микропроцессора Intel C196 (планируется переход на dsPIC30F).

Основным элементом систем управления современных преобразователей частоты является специализированный микроконтроллер или цифровой сигнальный процессор (DSP). Построение системы управления на базе DSP обусловлено необходимостью производства большого объема сложных вычислений в режиме реального времени для реализации современных алгоритмов управления.

Система управления может быть одно- или многопроцессорной. Однопроцессорные системы обладают рядом существенных недостатков: к микроконтроллеру предъявляются повышенные требования по наличию встроенных периферийных модулей и портов ввода-вывода, по быстродействию и объему памяти; значительно усложняется разработка программного обеспечения.

В настоящее время большинство преобразователей строятся на двухпроцессорной основе. Первый процессор (ЦП1) выполняет основные функции управления преобразователем частоты (реализация алгоритмов управления инвертором, выпрямителем, опрос датчиков и т. д.), второй (ЦП2) обеспечивает работу пульта управления, связь с системой верхнего уровня и другие сервисные функции [3].

Для разработки системы управления ВПЧ для

насосной станции аммиакопровода было использовано 3 контроллера, что было обусловлено необходимостью управления совместно с автоматикой насосной станции.

Микропроцессорная система управления электроприводом (МПСУ) состоит из:

- МПСУ выпрямителя;
- МПСУ инвертора;
- местного пульта управления с индикацией на базе контроллера и промышленного компьютера.

Питание МПСУ обеспечивается от собственного источника питания, подключаемого к промышленной сети 380 В, 50 Гц. Контроллеры имеют разъемы для подключения 8 аналоговых входов, 48 дискретных входов-выходов, 8 частотно-импульсных входов-выходов, интерфейсы CAN и RS-232.

МПСУ обеспечивает:

- регулирование и стабилизацию напряжения выпрямителя;
- регулирование и ограничение тока заряда фильтра постоянного тока и тока нагрузки;
- регулирование и ограничение тока инвертора;
- регулирование оборотов электродвигателя в функции внешнего сигнала, например, давления или расхода;
- плавный разгон и торможение электродвигателя с заданным темпом.

Частотное регулирование осуществляется по закону $U/f = \text{const}$, при котором соотношение между частотой статора поддерживается постоянным. Преимуществом этого закона является то, что электропривод может работать без отрицательной обратной связи по скорости и обладает естественной жесткостью механических характеристик в ограниченном диапазоне регулирования скорости [4].

Обобщенный алгоритм функционирования системы управления определяется структурной схемой, приведенной на рис. 1, где приняты следующие обозначения: В – выпрямитель; И – инвертор; АД – асинхронный двигатель; СИФУ – система импульсно-фазового управления выпрямителем; ФП – функциональный преобразователь; ЗИВ, ЗИИ – задатчики интенсивности соответственно выпрямителя и инвертора; М – модулятор управляющих импульсов инвертора; Р – датчик-преобразователь тока нагрузки; $U_{\text{сети}}$ – напряжение питающей сети; $U_{\text{дзад}}$ – заданное напряжение выпрямителя; α – угол управления выпрямителем; α_p , α_{max} , α_{min} – текущее, максимальное, минимальное значения угла управления выпрямителем; U_d – выходное напряжение; $U_{\text{пор}}$ – входное напряжение инвертора, при котором разрешается его включение и увеличение выходной частоты; $U_{\text{пр}}$ – предельное значение входного напряжения инвертора, при котором регулятор выходного напряжения начинает действовать и запрещается уменьшение задания частоты задатчиком интенсивности; I_a , I_c – выходные токи соответственно выпрямителя, инвертора, фаз А и С инвертора; I_m – максимальное значение выходного тока инвертора; I_r , I_x – активная и реактивная составляющие выходного тока инвер-

тора; $I_{\text{пр}}$ – предельное значение выходного тока инвертора, при котором регулятор тока начинает действовать и запрещается увеличение задания частоты ЗИ; F_3 – заданное значение частоты; F_{min} , F_{max} – обозначены в узле гистерезиса границ запрещенного диапазона частот; K_u – коэффициент усиления положительной обратной связи по напряжению с влиянием на частоту; K_i – коэффициент усиления отрицательной обратной связи по реактивной и активной составляющей тока с влиянием на частоту; K_g – коэффициент усиления положительной обратной связи по активной составляющей тока с влиянием на выходное напряжение; Φ – коэффициент усиления отношения напряжения инвертора к частоте, который изменяется в зависимости от частоты и равен нулю при входном напряжении инвертора ниже порогового значения.

ВПЧ управляется двумя контроллерами: контроллером выпрямителя и контроллером инвертора. Контроллеры связаны между собой по интерфейсу CAN [5]. По тому же интерфейсу производится обмен данными с контроллером пульта управления.

От пульта управления поступают сигналы на включение и выключение, а также задание частоты. На контроллер пульта управления поступают данные о состоянии инвертора и выпрямителя, готовности к включению ПЧ, данные о токах, напряжении и текущем значении обрабатываемой частоты. Контроллер выпрямителя формирует импульсы управления выпрямителем с необходимым углом, величина которого зависит от тока и напряжения выпрямителя и напряжения сети.

Контроллер инвертора формирует импульсы управления тиристорами инвертора, причем, модулируется средний шестидесятиградусный интервал проводимости каждого плеча. Частота модуляции находится в пределах 350 - 400 Гц и обеспечивается необходимым количеством импульсов модуляции для каждого конкретного значения выходной частоты ВПЧ. Глубина модуляции (скважность и количество импульсов) определяет величину выходного напряжения инвертора. При изменении глубины модуляции от нуля до единицы, выходное напряжение инвертора изменяется от нуля до максимального значения, определяемого напряжением заряда фильтра.

Выходная частота задается по ЗИИ, который плавно изменяет текущую частоту до значения, которое соответствует заданному. При превышении допустимых значений токов и напряжений ВПЧ изменение текущей частоты прекращается. Выходное напряжение ВПЧ задается в соответствии с выходной частотой и определяется по формуле:

$$U_{\text{вых}} = \Phi(f) \frac{f \cdot U_{\text{дном}}}{f_{\text{ном}} \cdot U_d},$$

где f – текущее значение выходной частоты; $f_{\text{ном}}$ – номинальное значение выходной частоты; $U_{\text{дном}}$ – входное напряжение инвертора, соответствующее номинальному напряжению ВПЧ при его прямоугольной форме.

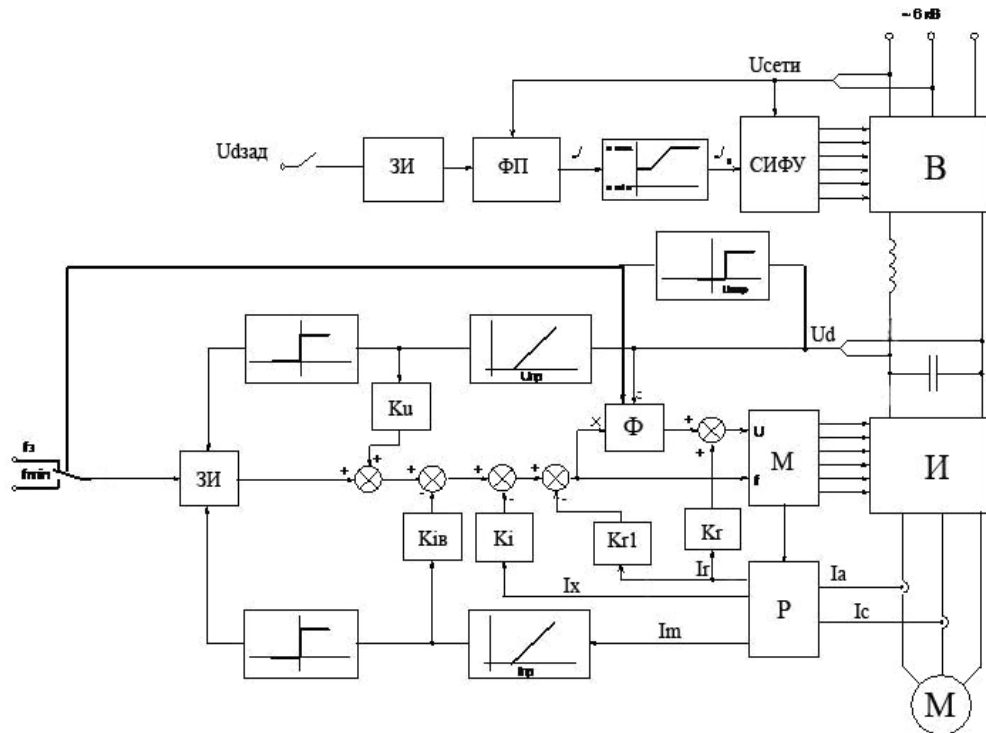


Рисунок 1 – Функціональна схема управління електроприводом

Для ефективного управління електроприводом необхідно мати інформацію як о повному виходному тоці інвертора (тоці нагрзуки), так і о его активній і реактивній складових. При прямокутній формі вихідного напруги, як показали результати моделювання різних варіантів, найбільш достовірну інформацію дає використання вимірювання вихідних токів інвертора для вимірювання повного току і его активній і реактивній складових основної гармоніки. На цьому основан алгоритм управління електродвигателем, базируючийся на вимірюванні і вимірюванні, усереднених за 60-ти градусний інтервал, даних об активній і реактивній складових вихідного току с коррекцією активній складової на данному інтервалі.

На рис. 2, 3 приведені осцилограмми вихідного току ВПЧ при ненагруженному електродвигателі при частотах 25 Гц і 45 Гц відповідно, с МПСУ, которая функціонує по указанному алгоритму.

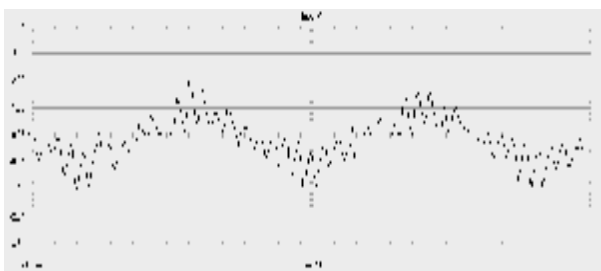


Рисунок 2 – Осциллограмма выходного тока ВПЧ при 25 Гц

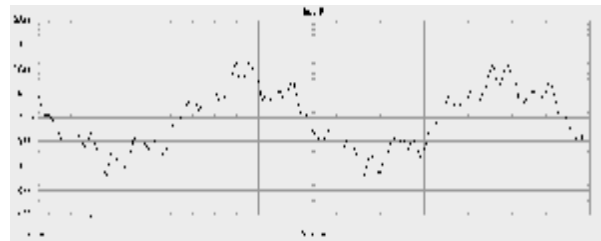


Рисунок 3 – Осциллограмма выходного тока ВПЧ при 50 Гц

В ходе моделирования при исследовании динамических процессов в электродвигателе были выявлены электромеханические автоколебания на низких частотах, что на практике имело место при наладке ВПЧ в составе электропривода магистрального насоса трубопровода (рис. 4). Автоколебания были подавлены осуществлением положительной обратной связи по реактивной составляющей и воздействием на частоту (рис. 5).

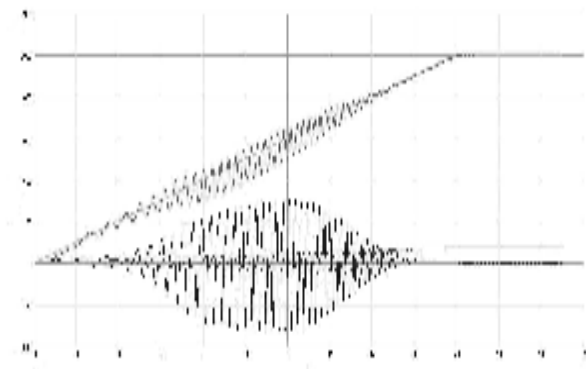


Рисунок 4 – Результаты моделирования с наличием автоколебаний в электродвигателе

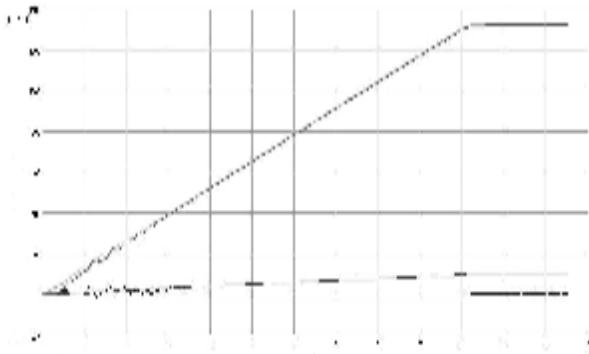


Рисунок 5 – Работа электропривода с положительной обратной связью по реактивной составляющей

На рис. 6, 7 приведены осциллограммы разгона и торможения электропривода магистрального насоса аммиакопровода «Тольятти-Одесса», мощностью 1600 кВт, в рабочем диапазоне частот 0÷20 Гц и 45÷0 Гц соответственно.

Задание на частоту поступает в контроллер в виде напряжения 1-5 В с регулятора, который является частью автоматики насосной станции. Контроллер преобразует сигнал в задание частоты и передает на МПСУ инвертора по интерфейсу CAN. При этом задание с регулятора поступает постоянно, вне зависимости от того включен ВПЧ или нет. На рис. 6 показано как при включении ПЧ происходит набор частоты в соответствии с темпом задатчиком интенсивности до 20 Гц. В нижней части рисунка показано напряжение на входе инвертора (U_d) в режиме пуска. На рис. 7 показано как внешний регулятор дает сигнал на снижение частоты и происходит отработка частоты МПСУ инвертора.

В результате НИОКР была разработана система и алгоритм управления высоковольтного электропривода, которая обеспечивает регулирование частоты от 0,4 до 50 Гц (шаг 0,1 Гц), с одновременным регулированием напряжения от 0 до 6 кВ и работу в составе системы автоматического регулирования насоса.

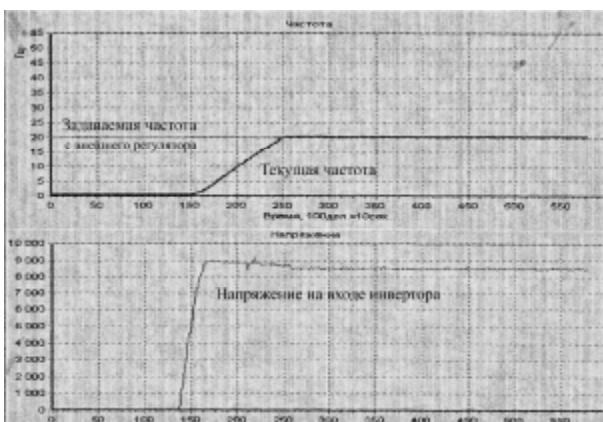


Рисунок 6 – Выход на задаваемую внешним регулятором частоту 20 Гц после включения ВПЧ

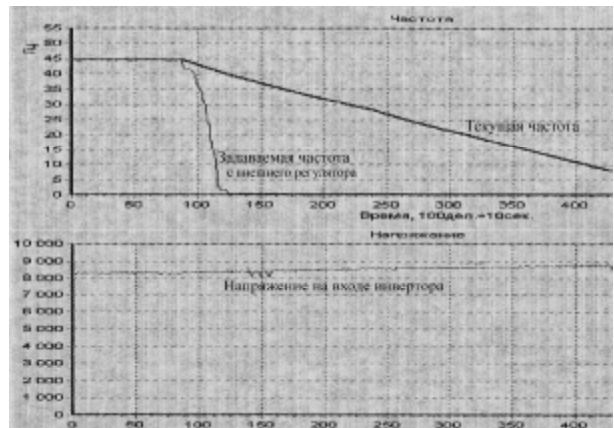


Рисунок 7 – Процесс торможения со снижением частоты задаваемой внешним регулятором

ЛИТЕРАТУРА

1. Виноградов А., Сибирцев А., Колодин И. Автоматизация насосной станции с применением частотно-регулируемого электропривода // Силовая электроника. – 2006, №2. – С. 20-23.
2. Эффективность внедрения систем с частотно-регулируемыми приводами. – СТРОИТЕХАВТОМАТИКА. – Воронеж. – 2005. – 11 с.
3. Карлов Б., Есин Е. Современные преобразователи частоты: методы управления и аппаратная реализация // Силовая электроника, 2004. – №1. – С. 50-54.
4. Баев А.П., Исаков А.С. Современные системы управления асинхронным электроприводом // Научно-технический вестник СПб ГИТМО (ТУ). Технологии управления СПб: СПб ГИТМО(ТУ). – 2006, Вып. 33. – С. 30-34.
5. Третьяков С. CAN – локальная сеть контроллеров // Электроника. – 1998. – №9. – С. 14-18.
6. Волков А.В., Пивняк Г.Г. Современные частотно-регулируемые асинхронные электроприводы с широтно-импульсной модуляцией. – Днепропетровск, 2006. – 421 с.

Статья надійшла 21.04.2008 р.
Рекомендовано до друку д.т.н., проф.
Родькіним Д.Й.