

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ С ЧАСТОТНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ С ДИНАМИЧЕСКОЙ ПОЛОЖИТЕЛЬНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ**

*В.Л. Кодкин, А.С. Аникин, А.А. Балденков, Н.А. Логинова*

В статье приводятся результаты исследований асинхронного электропривода с положительной динамической обратной связью по току статора. Эксперименты проводились с внешним аналоговым блоком обработки и формирования управляющего сигнала и программируемым логическим контроллером. Алгоритмы коррекции основаны на проведенных ранее теоретических исследованиях и компьютерном моделировании. В качестве экспериментального использовалось промышленное оборудование производства фирмы Schneider Electric.

Ключевые слова: положительная обратная связь, преобразователь частоты, программируемый логический контроллер, асинхронный электропривод.

Современный асинхронный электропривод реализуется на базе силовой полупроводниковой техники с применением микропроцессорного управления. Его возможности позволяют обеспечить регулирование выходных координат привода в широком диапазоне, с высокой точностью и быстрым действием.

Опыт работы с реальными промышленными объектами показал, что получить требуемые статические и динамические характеристики асинхронного электропривода, применяя только стандартные настройки преобразователя частоты, в некоторых случаях, достаточно сложно. Особенно, это характерно тогда, когда по техническим, экономическим и другим причинам невозможна установка датчиков.

На протяжении нескольких лет проводились исследования по возможности коррекции динамики электропривода внешними связями по току статора двигателя. Для этого в лаборатории была собрана аналоговая схема обработки и формирования управляющих сигналов (рис. 1). Проведенные с ее помощью эксперименты подтвердили эффективность данного метода коррекции характеристик бездатчикового электропривода. Несмотря на положительные результаты экспериментов использование в промышленном электроприводе аналоговых узлов нежелательно по различным причинам. Кроме того, фирмы производители промышленного оборудования не предусматривают работу преобразователей частоты с такими узлами. Учитывая вышесказанное, было принято решение о целесообразности замены аналоговых схем программируемым логическим контроллером, того же производителя, что и преобразователь частоты, а именно *Schneider Electric*. В связи с тем, что как правило, в промышленных установках управление преобразователями частоты осуществляется уже с применением ПЛК, реализация данной схемы не требует капитальных затрат, связанных с закупкой дополнительного оборудования. Для решения поставленной задачи использован контроллер Modicon M241 (TM241CE24T).

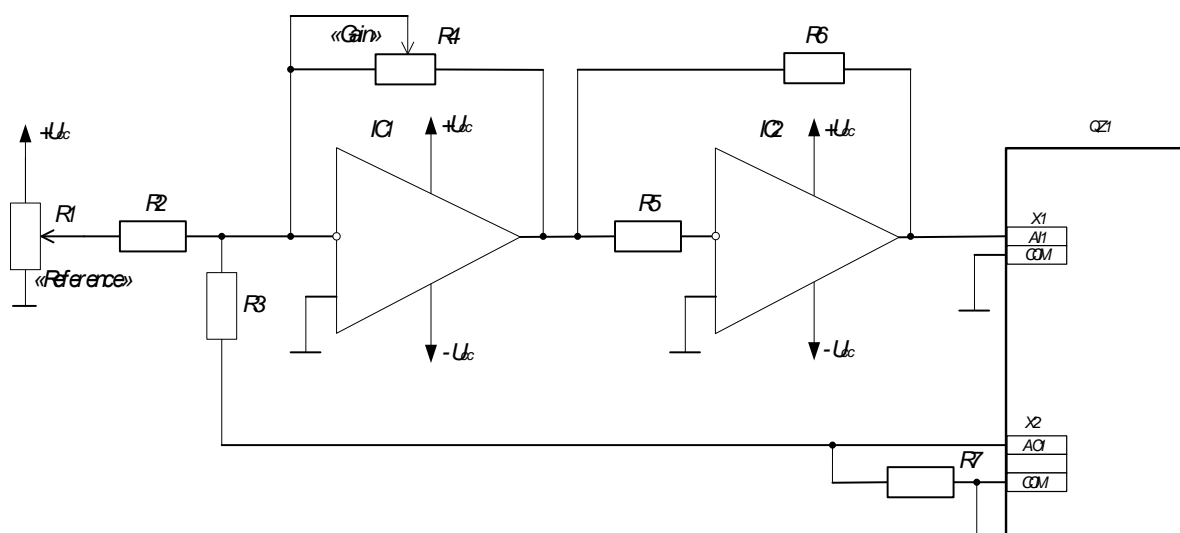


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема аналоговой обработки и формирования управляющих сигналов (для преобразователя частоты QZ1 показаны только цепи управления)

Программируемый логический контроллер Modicon M241 предназначен для высокопроизводительных компактных машин с функциями управления скоростью перемещения и позиционированием. В нем имеются встроенные: 2 последовательных порта Modbus и CANopen, порт USB для программирования, высокоскоростные счетчики и импульсные выходы для управления двигателем.

Контроллер имеет 14 дискретных входов, включая 8 высокоскоростных. К нему можно подключить до трех дополнительных модулей, предназначенных для расширения его возможностей (дополнительные дискретные входы и выходы; аналоговые входы и выходы и т.д.).

На рис. 2 приведена принципиальная электрическая схема электропривода с положительной обратной связью по току статора реализуемой на программируемом логическом контроллере.

Программирование логического контроллера Modicon M241 осуществлялось при помощи программного обеспечения SoMachine на языке лестничных диаграмм. На рис. 3 представлен фрагмент программы управления электроприводом, а также формирования управляющего сигнала коррекции.

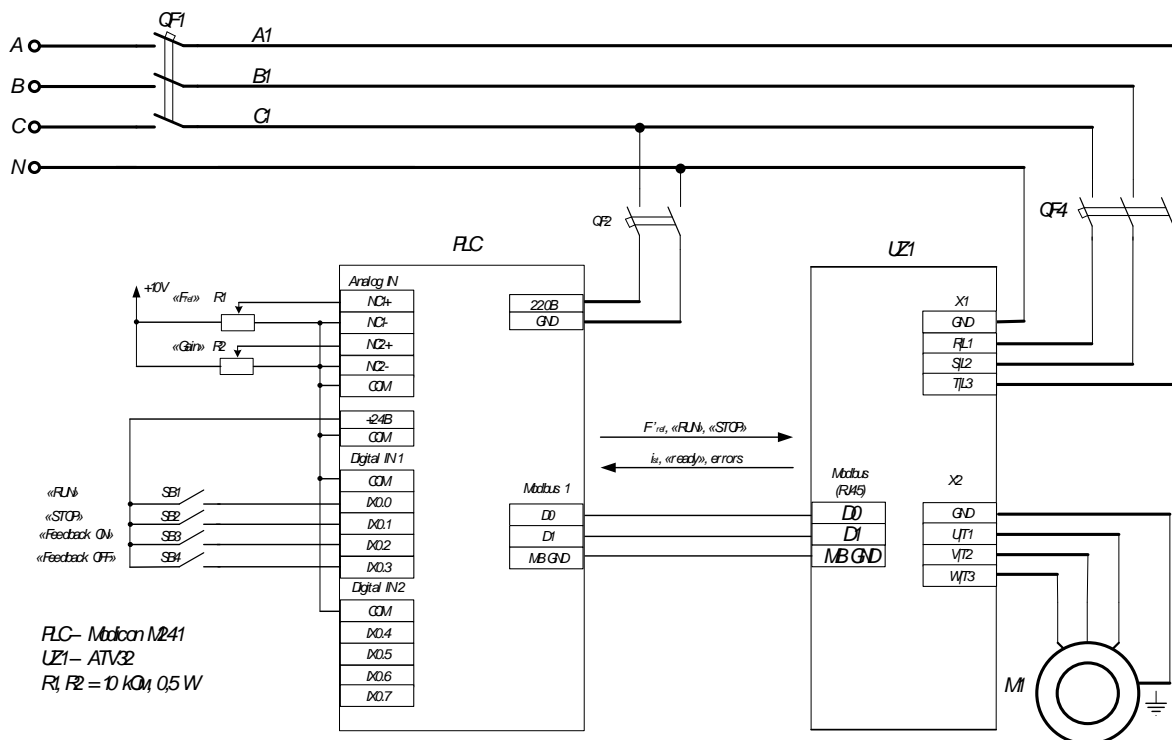


Рис. 2. Принципиальная электрическая схема привода с положительной обратной связью реализованной на ПЛК

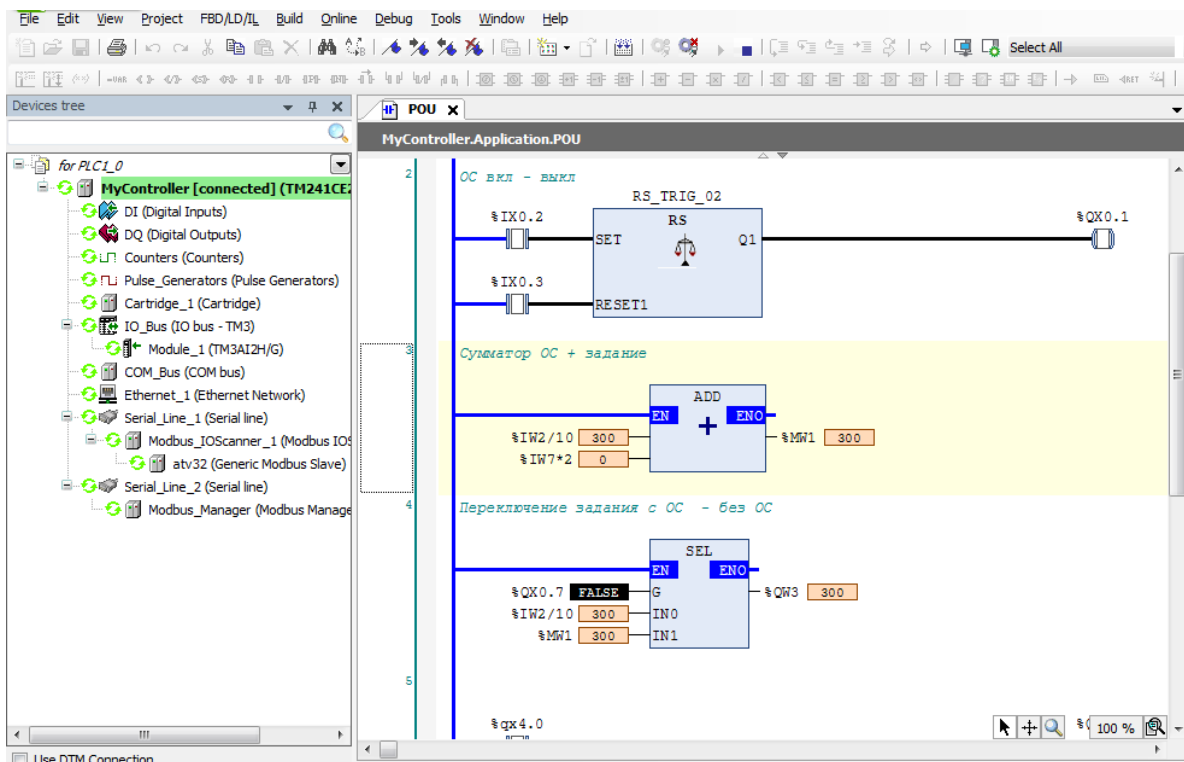


Рис. 3. Фрагмент программы формирования управляющего сигнала коррекции

В ходе экспериментов осуществлялись следующие режимы – разгон до 20, 30 и 40 Гц, наброс активной нагрузки включением электродвигателя во встречном направлении через 2,5 секунды и отключение коррекции через 6 секунд. Регистрировались скорость вращения двигателя с установленного на общий вал энкодера и ток статора, измеренного преобразователем частоты. Параметры реакции привода приведены в табл.

Эксперименты показали, что использование внешней положительной обратной связи по току статора позволяет в значительной мере снизить (рис. 5), а в некоторых случаях и полностью исключить (рис. 6) статическую ошибку скорости при набросе нагрузки.

Кроме того, наблюдается снижение тока статора под нагрузкой ( $i_{ст1} < i_{ст2}$ ), что положительно влияет на эксплуатационные и экономические показатели привода.

Для сравнения, на рис. 6 и в строке 4 табл. приведены параметры реакции замкнутого по скорости привода на наброс нагрузки. Несмотря на то, что статическая ошибка стремится к нулю, тем не менее, скачки скорости при набросе ( $\Delta\omega_1$ ) и сбросе ( $\Delta\omega_3$ ) значительно превышают аналогичные значения в системе с положительной обратной связью, а также, время переходного процесса в замкнутой по скорости системе в 2–3 раза больше.

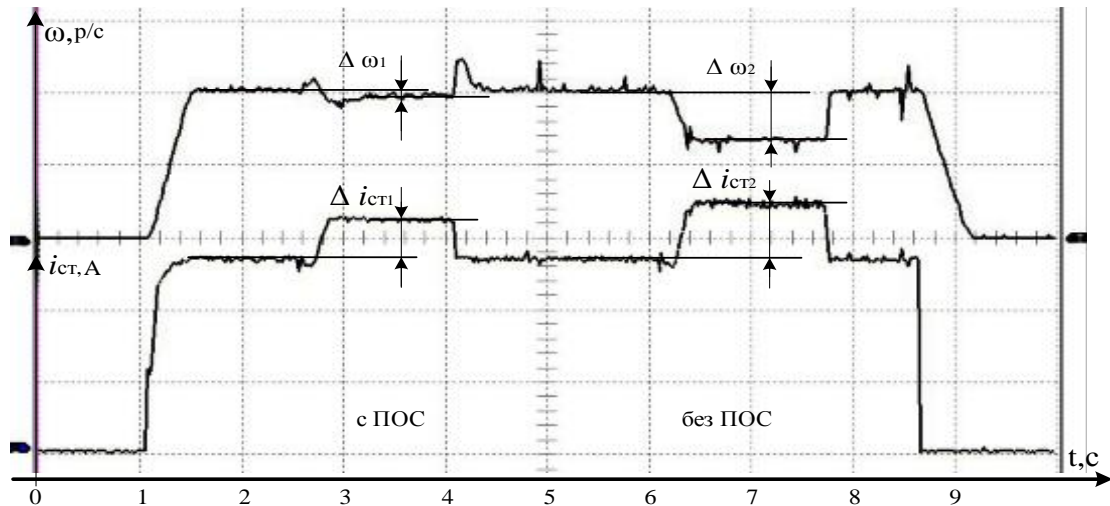


Рис. 4. Осциллограммы скорости и тока статора при установившейся скорости 60 p/c во время наброса нагрузки с ПОС и без ПОС

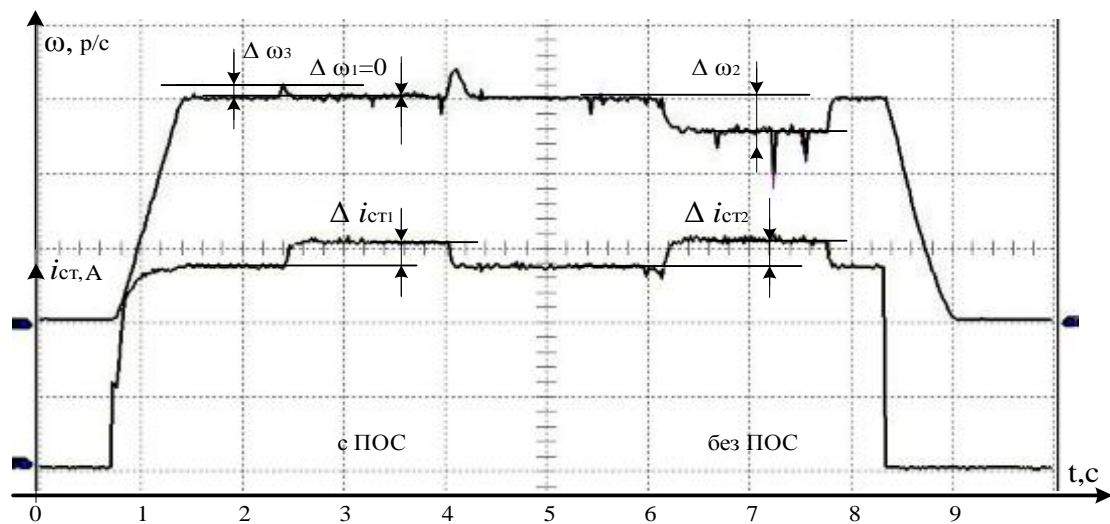


Рис. 5. Осциллограммы скорости и тока статора при установившейся скорости 90 p/c во время наброса нагрузки с ПОС и без ПОС

Таблица

Параметры реакции привода

№ n/n	F <sub>зад</sub>	с ПОС			без ПОС	
		Δω <sub>1</sub> , (%)	Δω <sub>3</sub> , (%)	Δi <sub>ст1</sub> , (%)	Δω <sub>2</sub> , (%)	Δi <sub>ст2</sub> , (%)
1	20	-2,75	10	20,42	32,6	28,26
2	30	0	6,67	12,24	14,8	13,23
3	40	+1,375	4,5	10,65	9	10,65
4	30*	1,67	40	—		—

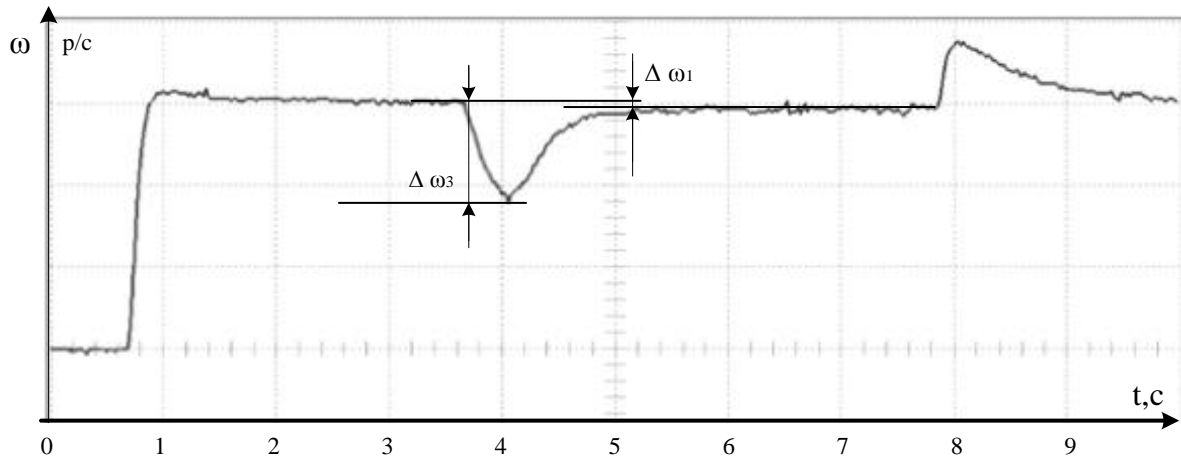


Рис. 6. Параметры реакции замкнутого по скорости привода на наброс нагрузки

Следует также отметить, что для замкнутой по скорости системы необходима установка дополнительного оборудования (энкодер, плата расширения в преобразователь частоты), что технически не всегда возможно.

**Вывод.** Экспериментальные исследования подтвердили полученные ранее теоретические положения и результаты моделирования процессов отработки динамических моментных возмущений лучшей эффективностью динамической положительной обратной связи по току статора в асинхронных электроприводах с частотным управлением, по сравнению с традиционными регуляторами скорости исполнительного двигателя электропривода.

#### Библиографический список

1. Кодкин, В.Л. Особенности частотного управления асинхронным электроприводом с преобразователем частоты и напряжения фирмы «Schneider Electric» ATV71 / В.Л. Кодкин, В.Л. Немков, А.С. Аникин // Наука ЮУрГУ: материалы 62-й научной конференции. Секции технических наук. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2010. – Т. 3. – С. 103–107.
2. Кодкин, В.Л. Проблемы внедрения частотного регулирования в горнодобывающей отрасли / В.Л. Кодкин, А.С. Аникин, М.А. Мальчер // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2012. – Вып. 18. – № 37(296). – С. 67–71.
3. Аникин, А.С. Динамическая положительная обратная связь в асинхронных электроприводах с частотным управлением / А.С. Аникин, В.Л. Кодкин, А.А. Балденков // «Приоритеты мировой науки: эксперимент и научная дискуссия»: Материалы VIII международной научной конференции 17–18 июня 2015 г. – Ч. 1. Естественные и технические науки. – North Charleston, SC, USA: CreateSpace, 2015. – С. 119–123.

4. Балденков, А.А. Экспериментальные исследования асинхронных электроприводов с частотным управлением. Неустойчивость векторного управления / А.А. Балденков, В.Л. Кодкин, Н.А. Логинова // «Приоритеты мировой науки: эксперимент и научная дискуссия»: Материалы VIII международной научной конференции 17–18 июня 2015 г. – Ч. 1. Естественные и технические науки. – North Charleston, SC, USA: CreateSpace, 2015. – С. 124–127.

[К содержанию](#)