

ДИНАМИЧЕСКАЯ ПОЛОЖИТЕЛЬНАЯ СВЯЗЬ В АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДАХ С ЧАСТОТНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

В.Л. Кодкин, А.С. Аникин, А.А. Балденков

В данной статье предложен метод повышения динамики асинхронных частотно-регулируемых электроприводов путем введения динамических положительных обратных связей по току статора. Показаны преимущества такой динамической коррекции перед общепринятыми системами частотного и векторного управления. В силу того, что предлагаемый метод коррекции не требует существенной модернизации структуры системы управления электропривода и достаточно прост в технической реализации, он может найти широкое применение в асинхронных электроприводах подъемно-транспортных механизмов.

Ключевые слова: частотное управление, асинхронный электропривод, положительная обратная связь, динамическая коррекция, преобразователь частоты.

В настоящее время характерно широкое внедрение частотно-регулируемых электроприводов переменного тока и, прежде всего, асинхронных электроприводов (АЭП) на базе асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором (АДКЗР) в различные отрасли промышленного производства. Возрастающие технологические требования к качеству производственных процессов обуславливают повышенные требования к методам настройки параметров АЭП, в том числе, к их динамическим характеристикам. Это связано с тем, что не существует механизмов, в которых требования к динамике полностью отсутствовали бы, для большинства механизмов являются важными процессы разгона и торможения, а также – работа

при изменяющейся внешней нагрузке. В этих случаях на качество работы привода оказывает влияние его способность компенсировать внешние возмущения, которая относится к важным динамическим характеристикам.

Принято считать, что для решения динамических проблем целесообразно применять векторное управление, которое формирует оптимальный механический момент. Для этого в блок управления «встраивается» модель с обратным оператором по отношению к динамическим звеньям асинхронного двигателя и управляют мгновенными значениями статорных токов (рис. 1а). Так построено векторное управление – в отличие от скалярного, в котором управляется средними значениями статорных токов. Проблемы такого векторного управления – это высокая чувствительность к неточностям модели и измеряемых сигналов. Моделирование и исследования преобразователей частоты ATV38 и ATV71 фирмы Schneider Electric на стенде [1] показали, что неточность модели двигателя в блоке векторного управления приводит к существенным колебаниям (рис. 1), а неточности в измерении сигнала скорости «разваливают» управление; кроме того, при гармоническом внешнем возмущении, при определенном соотношении амплитуды и частоты этих возмущений в приводе наступает режим неуправляемых колебаний.

В связи с этим актуальной задачей является исследование динамических режимов АЭП со скалярным управлением и разработка методов повышения качества переходных процессов (снижение динамической ошибки, уменьшение времени переходного процесса и т.д.).

В ряде исследований приводятся результаты построения замкнутых по скорости частотно-регулируемых АЭП [2], и отмечается, что их построение существенно осложняется сохраняющимися при скалярном управлении нелинейностями АДКЗР. Следует указать, что одной из существенных проблем частотного управления таким двигателем является изменение его динамических характеристик при изменении частоты питающего напряжения. Особенно это сказывается на низких скоростях, так как скалярное управление осуществляется по средним значениям тока и при этом период их измерения достигает слишком больших величин, чтобы обеспечить качественное управление.

Чаще всего в таких приводах решаются только статические задачи, а для поддержания скорости при больших нагрузках используют корректирующие положительные связи по току (I_r -, I_z - компенсации). Подробный анализ влияния этих связей на динамику АЭП не проводился. Большинство исследователей ограничиваются лишь замечанием, что положительная обратная связь (ПОС) негативно влияет на устойчивость привода.

Устойчивость систем с ПОС практически не рассматривается и в работах по автоматическому управлению. В книге Б.Н. Наумова [3] система с ПОС анализируется частотными методами, а сама связь представляется как звено,

сдвигающее фазу входного сигнала на -180^0 . Такой подход показывает, что неустойчивой будет любая система автоматического управления (САУ), в которой звено прямого канала будет иметь неположительный фазовый сдвиг.

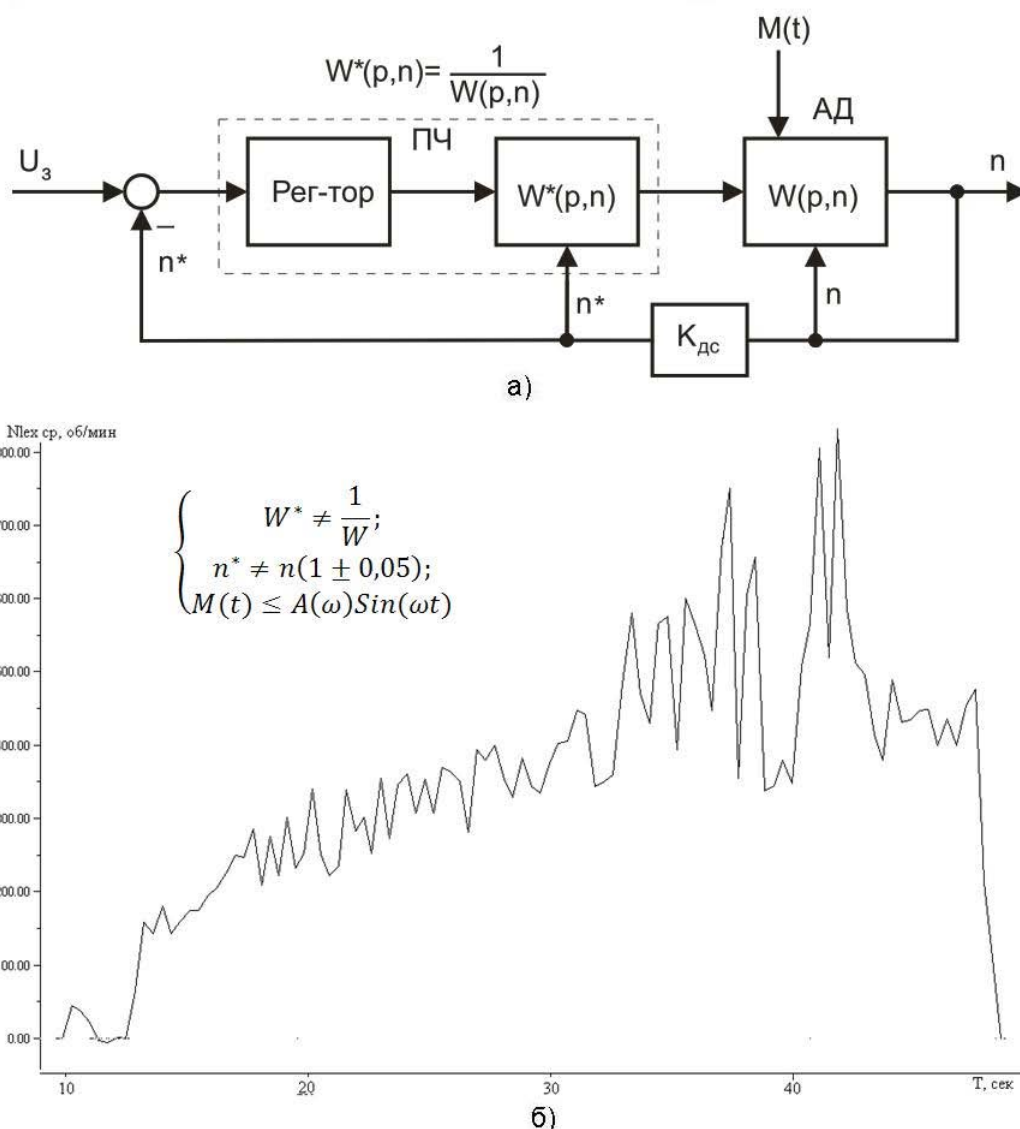


Рис. 1. Структурная схема векторного управления (а) и переходный процесс при неточностях модели и измерении скорости (б)

Между тем, ПОС приводит к структурной неустойчивости только в тех случаях, когда охватываемая ею структура имеет нулевые полюса, то есть не имеет эквивалентных отрицательных связей. Электроприводы, в том числе и асинхронные, имеют мощную отрицательную связь по ЭДС вращения, и поэтому ПОС может корректировать динамику системы, не нарушая устойчивости. Для иллюстрации этих предположений рассмотрим упрощенный аналог АЭП (рис. 2а) и смоделированные в нем процессы.

Если исходная схема имеет достаточный запас устойчивости, то в процессах отсутствует колебательность. При набросе нагрузки в системе возникает

большая ошибка по скорости (диаграмма 1 на рис. 2б). Безинерционная ПОС компенсирует ошибки, но ухудшает устойчивость (диаграмма 2 на рис. 2б), введение фильтра первого порядка в ПОС возвращает качество переходных процессов и сохраняет компенсацию ошибки (диаграмма 3 на рис. 2б).

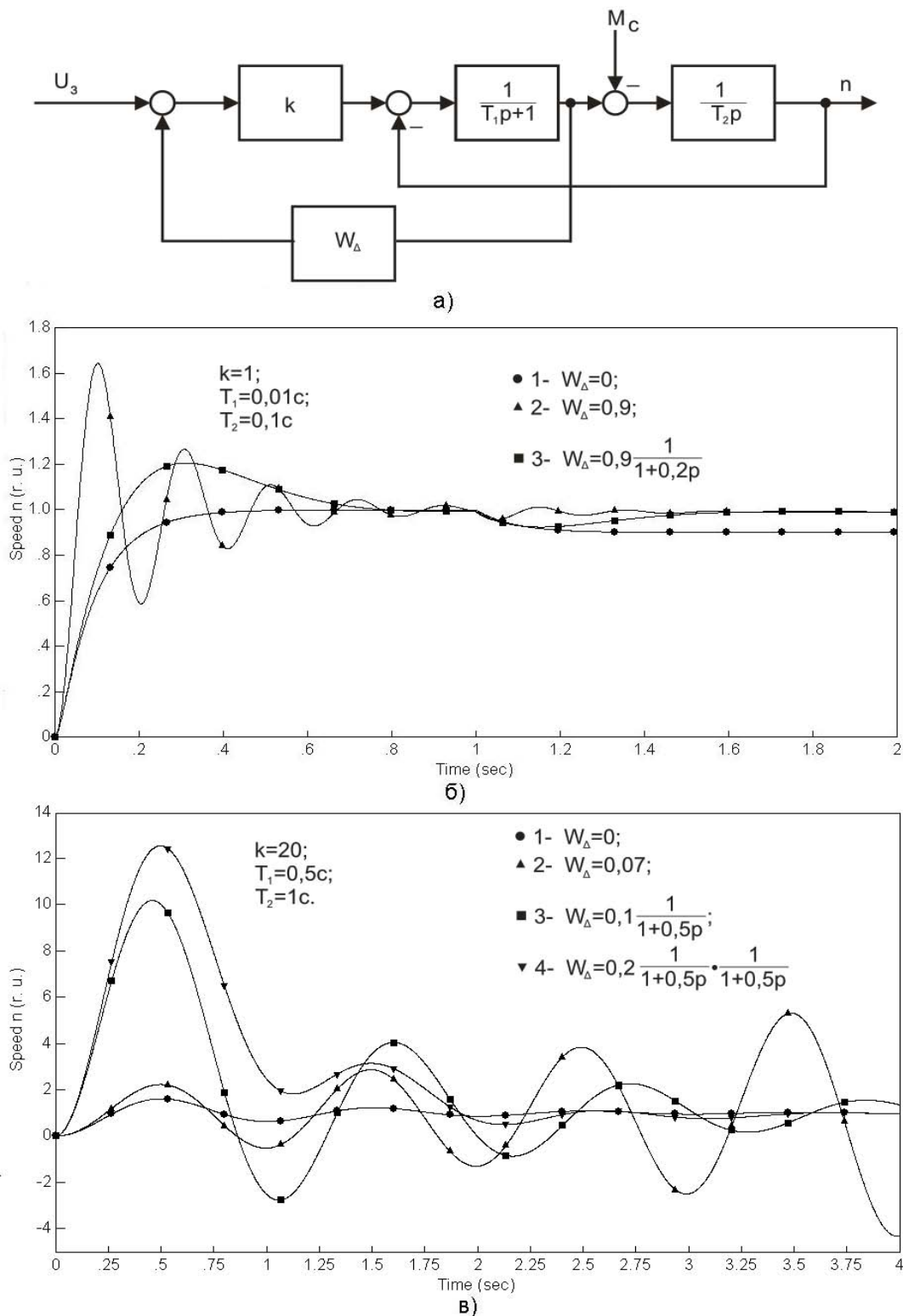


Рис. 2. Структурная схема АЭП с положительной обратной связью (а) и переходные процессы при различной коррекции (б, в)

Если исходная система колебательная (диаграмма 1 на рис. 2в), то безинерционная ПОС приводит к асимптотической неустойчивости (диаграмма 2 на рис. 2в), а введение фильтра первого порядка – к расходящимся колебаниям (диаграмма 3 на рис. 2в), причем результат мало зависит от его параметров. Только введение в ПОС фильтра второго порядка возвращает системе устойчивость (диаграмма 4 на рис. 2в).

Экспериментальные исследования электропривода с ПЧ ATV71 показали, что предлагаемая коррекция обеспечивает парирование статической и динамической активных нагрузок с ошибкой в 1,5 раза меньше, чем предельная стандартная компенсация. Привод, работающий на частоте 30 Гц, испытывал одинаковые статические нагрузки. При этом ошибка привода со стандартной коррекции составила 20%, время процесса 300 мс (рис. 3), в приводе с положительной обратной связью по току статора ошибка – 12 %, время – 200 мс (рис. 4). Динамическая ошибка получена как реакция на возмущающий момент частотой 1,5 Гц, со стандартной коррекцией – 3 % (рис. 5), с положительной обратной связью по току статора – 1 % (рис. 6).

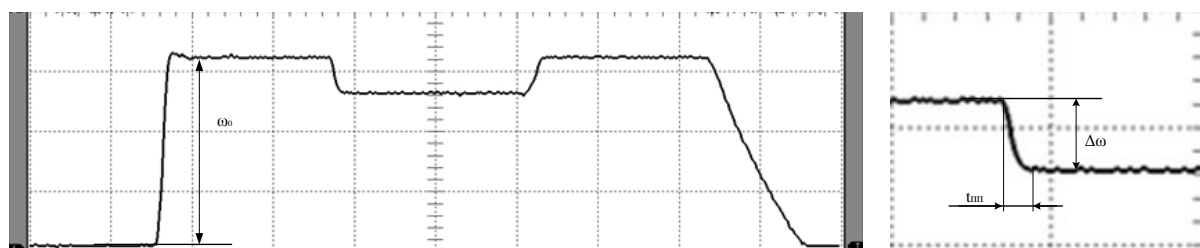


Рис. 3. Реакция электропривода без обратной связи на статическую нагрузку

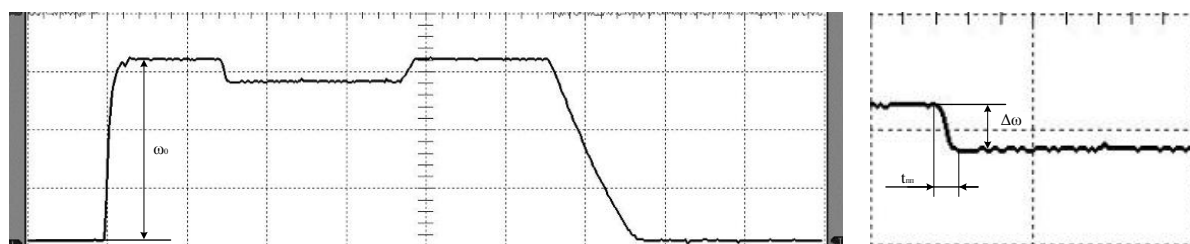


Рис. 4. Реакция электропривода с обратной связью на статическую нагрузку

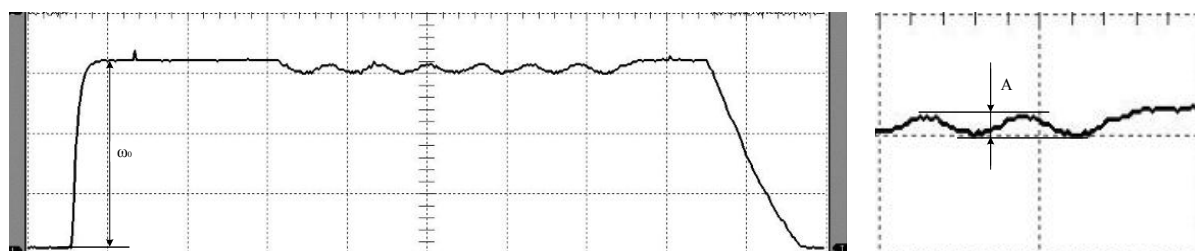


Рис. 5. Реакция электропривода без обратной связи на динамическую нагрузку

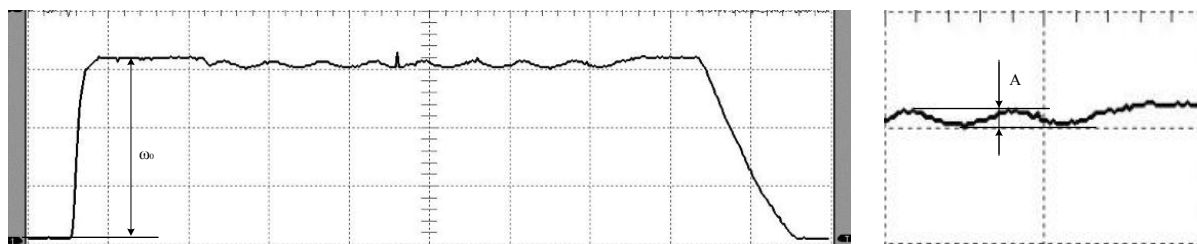


Рис. 6. Реакция электропривода с обратной связью на динамическую нагрузку

Приведенные результаты показывают принципиальную возможность и перспективу коррекции динамики САУ ПОС, в том числе, и исходных колебательных структур. При этом реализовать такую связь значительно проще, чем провести декомпозицию контуров отрицательными обратными связями.

Таким образом, необходимо отметить, что введение динамических звеньев в виде фильтров первого и второго порядка в корректирующие звенья существенно отличается от коррекции в системах с отрицательной обратной связью, в которых всегда требуется максимальное быстродействие обратных связей. Фильтры в корректирующих структурах повышают порядок дифференциальных уравнений, описывающих электроприводы, чего также рекомендуется избегать. Однако, как показывают исследования, усложнение структурных решений приводит к существенному повышению эффективности электропривода и, что достаточно важно, не связано с большими материальными затратами, так как создание контура с динамической положительной связью осуществляется значительно проще многоконтурной декомпозиции и линеаризации нелинейного объекта управления, а также значительно менее чувствительной к изменениям параметров электропривода.

Библиографический список

1. Кодкин, В.Л. Особенности частотного управления асинхронным электроприводом с преобразователем частоты и напряжения фирмы «Schneider Electric» ATV7 / В.Л. Кодкин, В.Л. Немков, А.С. Аникин // Наука ЮУрГУ: материалы 62-ой научной конференции. Секции технических наук. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2010. – Т. 3. – С. 103–107.
2. Фигаро, Б.И. Регулируемые электроприводы переменного тока / Б.И. Фигаро, Л.Б. Павлячик. – Минск: Техноперспектива, 2006. – 363 с.
3. Наумов, Б.Н. Теория нелинейных автоматических систем. Частотные методы / Б.Н. Наумов. – М: Наука, 1971. – 544 с.

[К содержанию](#)