

УДК 62-52;51-74;519.711.3

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПЛАВНОГО РАЗГОНА И ТОРМОЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ МЕХАНИЗМОВ

И.Ю. Краснов, Н.В. Гусев, С.В. Ланграф, С.В. Ляпушкин

Томский политехнический университет

E-mail: kiu@tpu.ru

Представлен алгоритм осуществления плавного разгона и торможения для промышленных механизмов, имеющих в своей структуре асинхронные двигатели, управляемые преобразователями частоты. Представлены результаты моделирования переходных процессов, протекающих в асинхронном двигателе в процессе его плавного разгона и плавного торможения. Результаты показали, что использование S-образных профилей разгона и торможения электропривода грузоподъемного механизма, в частности пассажирского лифта, обеспечивает плавность хода кабины лифта, что сказывается на комфортности пассажиров, а также на сохранности механических частей оборудования (редуктора привода).

Ключевые слова:

Плавный разгон, плавное торможение, S-образный профиль, асинхронный электродвигатель.

Key words:

Smooth start, smooth stop, S-form, asynchronous motor.

Введение

В связи с всё большим развитием и усложнением технологических процессов, с одной стороны, и с доступностью современной преобразовательной техники — с другой, существует необходимость в разработке новых и совершенствовании уже имеющихся методов и алгоритмов управления промышленными механизмами с целью экономии электроэнергии и увеличения срока их службы. Механизмы, подвергающиеся частым включениям и отключениям, наиболее подвержены износу металлических конструкций именно во время пуска (разгона) и останова (торможения). В настоящее время в частотно регулируемых электроприводах отечественного производства, имеющих в своей структуре преобразователи частоты (ПЧ), используются линейные профили интенсивности [1], позволяющие изменять (увеличивать при разгоне и уменьшать при торможении) частоту питающего напряжения по линейному закону. Однако, в тех технологических процессах, где наиболее важна плавность разгона и торможения (пассажирские лифты), линейные профили не обеспечивают желаемого комфорта и не позволяют оптимизировать использование ресурсов механических конструкций [2]. Для минимизации таких нежелательных воздействий на конструкции механизмов описанных выше типов ставится задача разработать алгоритмы, позволяющие сформировать профили, обеспечивающие наиболее плавные, по сравнению с прямым включением или линейным профилем, разгон и торможение исполнительных органов электроприводов [3].

1. Формирование профилей разгона и торможения

По S-образным профилям осуществляется постепенное изменение выходной частоты в соответствии с её требуемым уровнем и скоростью изменения.

S-образные профили разгона и торможения состоят из двух участков с равноускоренным характе-

ром, а между ними — участок с прямолинейным характером. Участки равноускоренного характера строятся в соответствии с параболическим законом, участок прямолинейного характера — в соответствии с линейным законом (рис. 1).

В частном случае T_1 может быть отлично от T_3 . Тогда профиль разгона будет иметь несимметричный относительно линейного участка вид. Профили разгона и торможения подобных несимметричных типов удобно применять для специфических механизмов (грузоподъемные механизмы, прокатные станы и т. д.)

Длительность линейных участков T_2 разгона и торможения вычисляется автоматически, исходя из общего времени разгона $T_{разг}$ и торможения $T_{торм}$, первого и третьего участков T_1 и T_3 разгона и торможения:

$$T_2 = T_{разг} - (T_1 + T_3) \text{ и } T_2 = T_{торм} - (T_1 + T_3).$$

1.1. Пример формирования профилей разгона и торможения

Необходимо осуществить разгон асинхронного двигателя (АД) с 0 до 5 Гц по S-образному профилю за 2 с с длиной первого участка разгона 0,4 с, а третьего — 0,6 с. Полный останов АД необходимо осуществить по S-образному профилю за 2 с с длиной первого участка разгона 0,6 с, а третьего — 0,4 с.

Задаются значения соответствующих параметров, таблица.

Таблица. Параметры профиля разгона и торможения и их значения

Параметр	Тип движения	
	Разгон	Торможение
$f_{зад}$, Гц	5,0	0
T , с	2,0	2,0
T_1 , с	0,4	0,6
T_3 , с	0,6	0,4

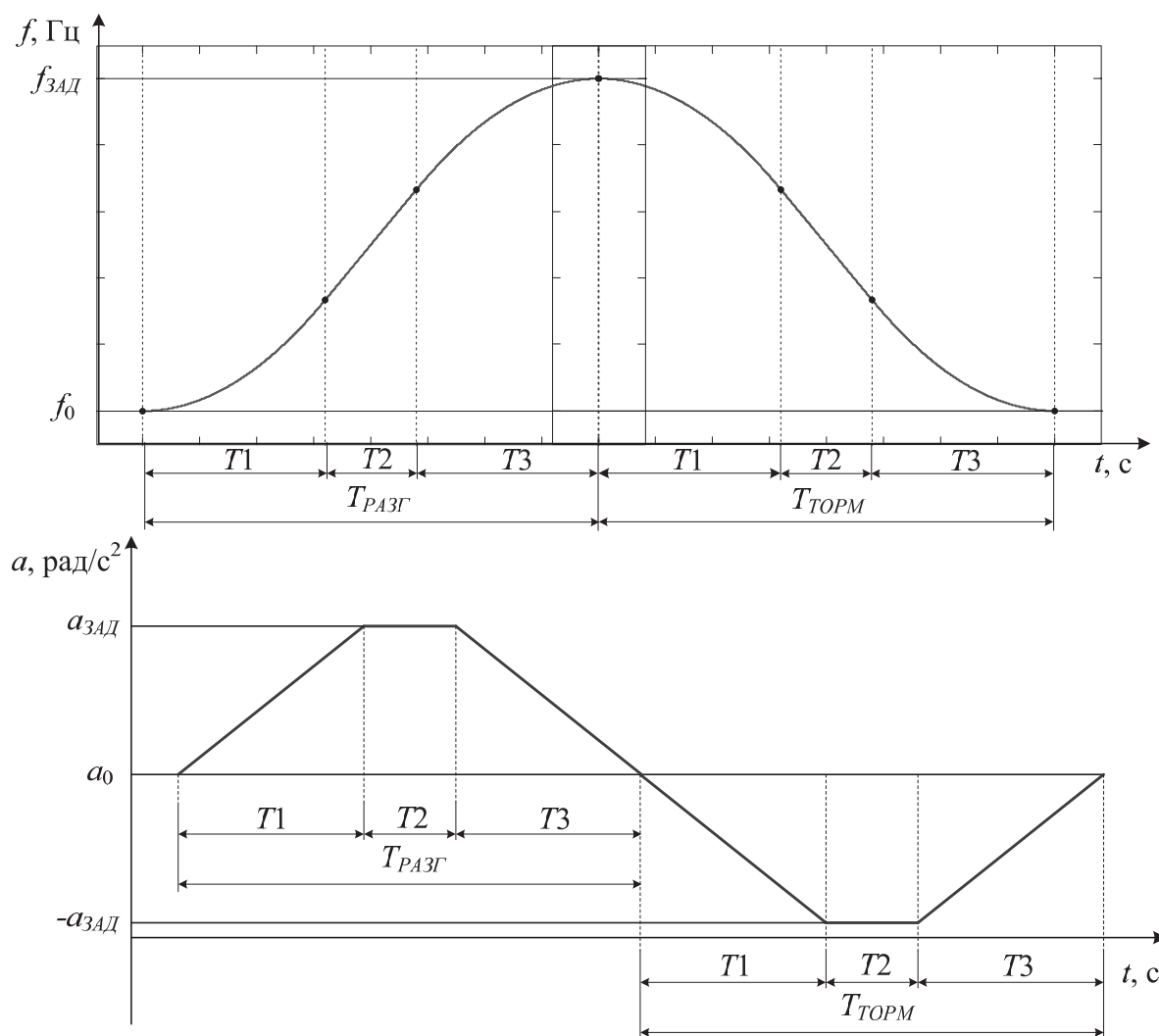


Рис. 1. Общий вид профиля разгона и торможения: частота (сверху), ускорение (снизу): $f_{зад}$ – требуемая частота вращения вала ротора электродвигателя; f_0 – текущая частота ($f_0=0$ при разгоне остановленного двигателя); $a_{зад}$ – максимальное ускорение, соответствующее заданной частоте $f_{зад}$; a_0 – текущее ускорение ($a_0=0$ при разгоне остановленного двигателя); $T_{РАЗГ}$ и $T_{ТОРМ}$ – длительности разгона и торможения

Для осуществления торможения АД по сформированному профилю с текущей частоты до заданной (или до нулевой – полный останов) требуется изменить значение переменной $f_{зад}$ на требуемое значение частоты. Результат разгона и полного останова АД с текущего значения с параметрами из табл. представлен на рис. 2.

2. Плавный разгон и торможение электропривода пассажирского лифта

Электромеханическими системами, максимально соответствующими современным тенденциям лифтостроения, являются электроприводы по системе «ПЧ-АД». Они соответствуют современным требованиям и запросам современного рынка, но преимущественно производятся за пределами России, в Европе и Китае или собираются на отечественных заводах из импортных комплектующих. Система «ПЧ-АД» вносит новые возможности в управлении и манипулировании

электродвигателями. Как следствие, возникает необходимость в формировании качественно новых алгоритмов управления, наиболее адаптивных и совершенных, способных выполнять широкий комплекс задач. Приоритетными из них, по сей день, являются безопасность, бесперебойность, энергоэффективность и комфортность. Для обеспечения плавности движения механизмов электропривода лифта в качестве формы разгона и торможения целесообразно использовать S-образный профиль (рис. 1). Останов электропривода пассажирского лифта с редукторной лебёдкой и двухскоростным АД происходит через его торможение с номинальной частоты вращения до малой скорости, а затем – с малой скорости (с момента срабатывания датчика дотягивания) до нулевой. Таким образом, для плавного останова электропривода пассажирского лифта используется комбинированный (составленный из двух профилей) профиль торможения.

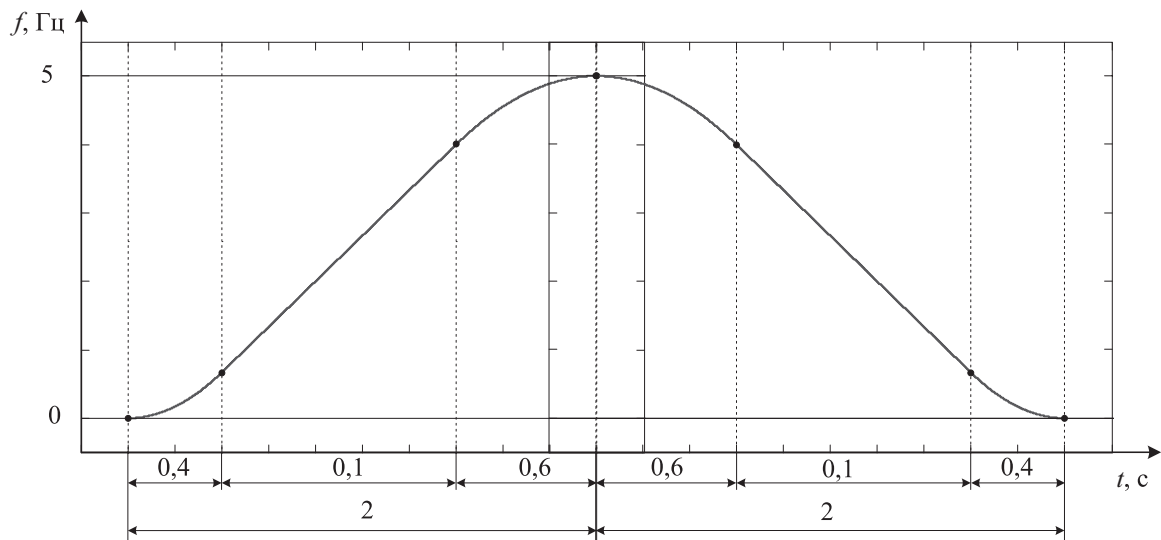


Рис. 2. Профиль разгона по S-образному профилю с 0 до 5 Гц за 2 с

2.1. Моделирование разгона и торможения электропривода пассажирского лифта

На этапе разработки алгоритма плавного разгона и торможения было проведено имитационное моделирование работы электропривода пассажирского лифта.

Модель электропривода состоит из следующих блоков: АД с короткозамкнутым ротором, инвертора, системы управления и формирования частоты по S-образным профилям (рис. 3) [4, 5].

Блок формирования частоты обеспечивает требуемую частоту вращения вала ротора АД по S-образным профилям: профиль разгона — с 0 до 50 Гц за 2 с и профиль торможения — с 50 до 5 Гц (замедление) за 2 с, с 5 Гц до 0 за 1,5 с, рис. 4.

АД с короткозамкнутым ротором мощностью 7,5 кВт был выбран исходя из предполагаемой нагрузки (массы кабины лифта с пассажирами).

Трехфазный источник питания, включающий ПЧ, в зависимости от сигнала управления форми-

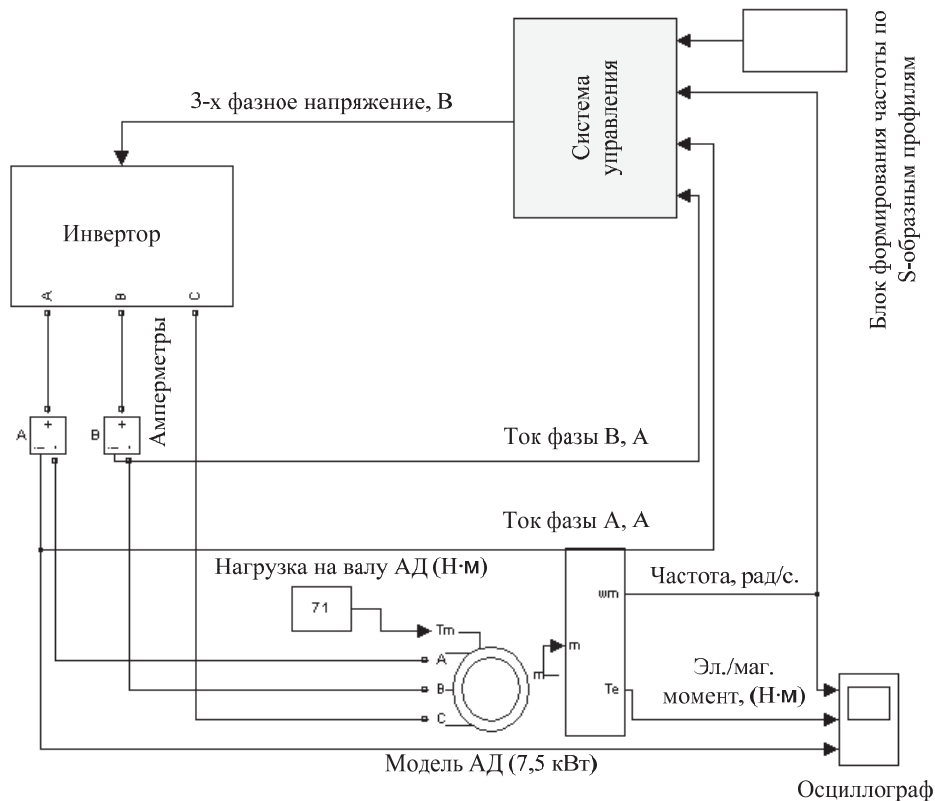


Рис. 3. Модель электропривода пассажирского лифта в системе Matlab Simulink

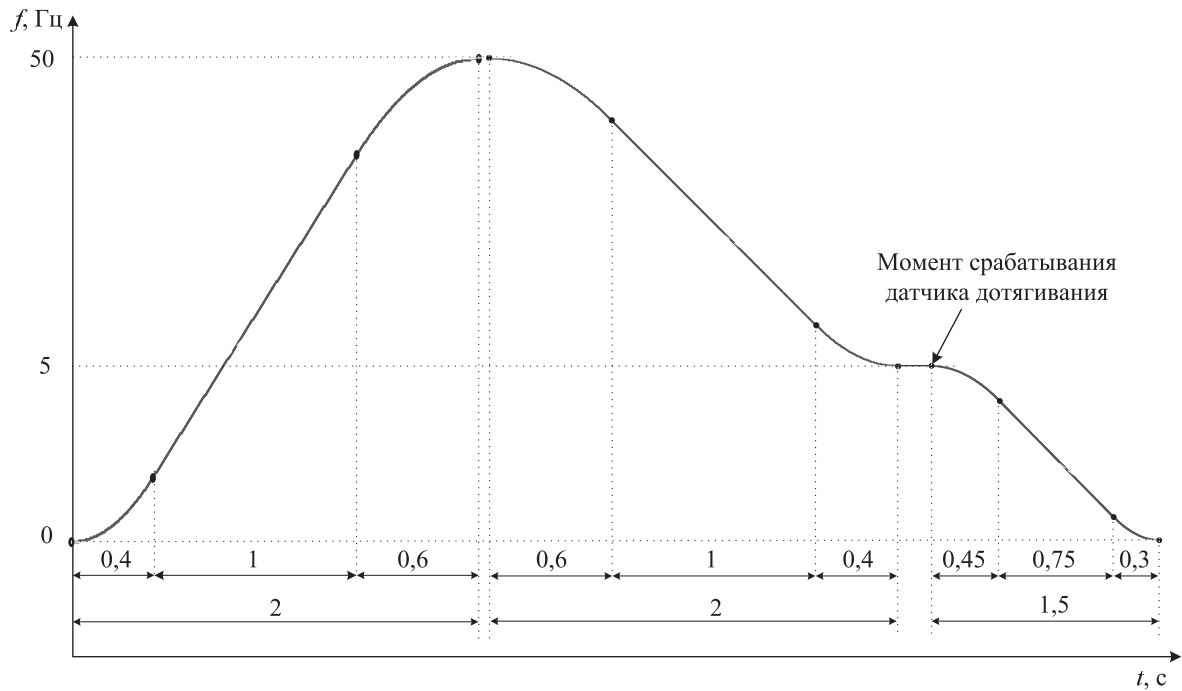


Рис. 4. Профиль частоты разгона и торможения привода лифта по S-образному профилю

рует необходимую частоту и амплитуду питающего напряжения.

В процессе проведения имитационного моделирования были получены кривые переходных процессов, протекающих в АД в процессе его разгона (рис. 5). Достаточная плавность кривой электромагнитного момента АД, а также отсутствие знакопеременного характера свидетельствует о требуемой плавности процесса разгона электродвигателя.

2.2. Экспериментальные исследования

Предложенные методы обеспечения плавного разгона и торможения асинхронного двигателя были использованы при работе частотно-регулируемого электропривода с ПЧ серии «ESD-TCL 7,5» ЗАО «ЭлеСи» (рис. 6) пассажирского лифта. При работе в составе программного обеспечения ПЧ (рис. 6, а) алгоритм плавного разгона и торможения обеспечил заметное улучшение характеристик процессов асинхронного редукторного электропривода

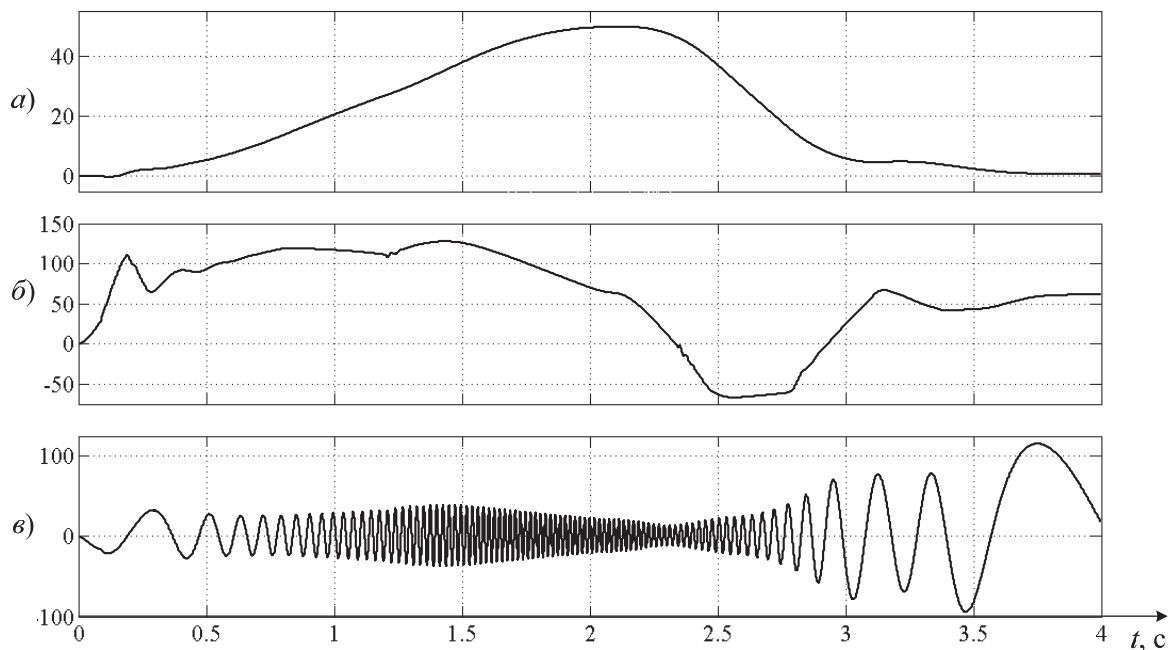


Рис. 5. Кривые переходных характеристик моделирования АД: а) частота вращения вала ротора, Гц; б) электромагнитный момент, Н·м; в) ток фазы А, А

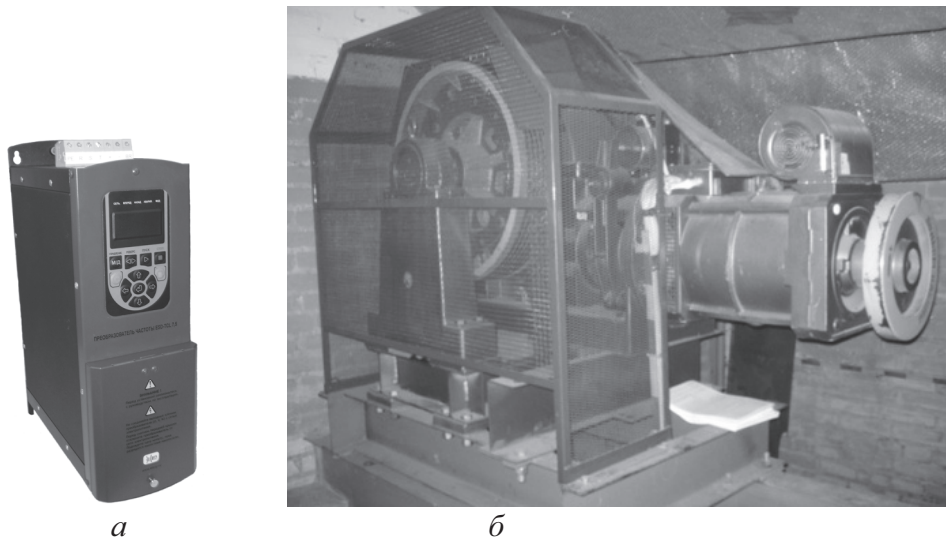


Рис. 6. ПЧ серии «ESD-TCL 7,5» (ЗАО «ЭлеСи») (а), электропривод лифта с редукторной лебёдкой (б)

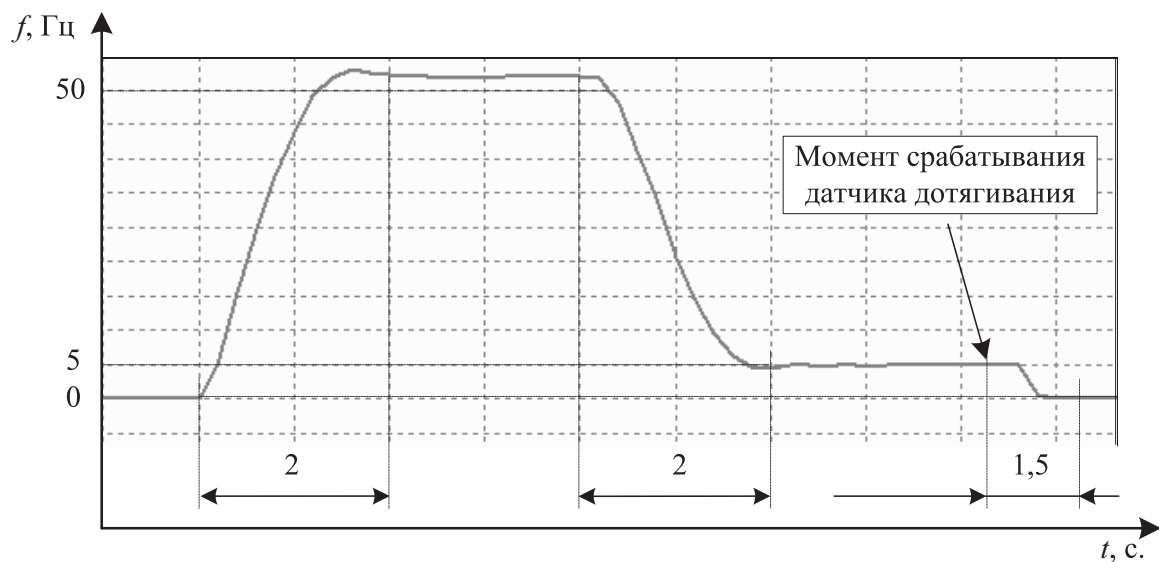


Рис. 7. Частота вращения вала ротора АД при разгоне и торможении (результат эксперимента)

лифта (рис. 7). Переходный процесс по частоте вращения вала ротора АД, как при разгоне, так и при торможении, имеет S-образную форму, схожую с формой заданной частоты, указанной на рис. 4.

Более того, в ходе проведённых экспериментальных исследований были получены результаты, подтверждающие улучшение плавности хода электропривода лифта, а, следовательно, и кабины с находящимися в ней пассажирами. В кривой частоты вращения вала АД (рис. 7) отсутствуют пульсации, изломы и разрывы. Общий характер частоты вращения вала АД имеет S-образный вид, что свидетельствует о работоспособности предложенного алгоритма формирования профилей разгона и торможения.

Заключение

Разработан метод, обеспечивающий плавный разгон и торможение асинхронного двигателя, промоделированы процессы, протекающие в нем. Использование S-образного профиля разгона и торможения электропривода грузоподъемного механизма пассажирского лифта обеспечивает плавность хода кабины лифта. Алгоритм функционирует в составе программного обеспечения преобразователя частоты серии «ESD-TCL 7,5» ЗАО «ЭлеСи» для питания асинхронных двигателей мощностью 7,5 кВт.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Симakov Г.М., Марченко М.А. Процессы пуска и торможения асинхронного электропривода с частотным управлением при вентиляционной нагрузке // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2010. – № 2. – С. 383–387.
2. Щербаков В.С., Беляков В.Е. Система управления электропривода для автокрана «КС-4562» // Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. – 2010. – № 1. – С. 175–180.
3. Краснов И.Ю., Ланграф С.В., Черемисин В.Н. Бездатчиковые системы электропривода для лифтов // Itech – журнал интеллектуальных технологий. – 2010. – № 17. – С. 12–20.
4. Кетков Ю., Кетков А., Шульц М. MATLAB 7 – программирование, численные методы. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 737 с.
5. Куксин А.В., Романов А.В. Математическая модель адаптивно-векторной системы управления бездатчикового асинхронного электропривода // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2009. – № 2. – С. 38–43.

Поступила 28.04.2011 г.

УДК 621.791.011

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НАГРЕВА ПОКРЫТОГО ЭЛЕКТРОДА НА СКОРОСТЬ ЕГО ПЛАВЛЕНИЯ ПРИ СВАРКЕ МОДУЛИРОВАННЫМ ТОКОМ

А.Ф. Князьков, К.И. Деменцев, А.О. Лукьянчикова

Томский политехнический университет
E-mail: demkiril@tpu.ru

Произведен численный расчет температуры нагрева покрытого электрода при сварке модулированным током. Показано, что основной рост температуры электрода при сварке модулированным током происходит в интервалах протекания основных импульсов.

Ключевые слова:

Покрытый электрод, ручная дуговая сварка, температура нагрева.

Key words:

Coated electrode, Manual Metal Arc, heating temperature.

Сварка модулированным током (СМТ) – процесс сварки электродами с покрытием, заключающийся в изменении по определенному временному закону сварочного тока в виде периодически повторяющихся импульсов. В работе [1] показано, что СМТ характеризуется относительно большим количеством параметров режима таких как: амплитудное значение тока основных I_u и дополнительных импульсов $I_{d,u}$, ток паузы I_n , длительность основного импульса $t_{осн,u}$, длительность основной паузы $t_{осн,n}$, длительность дополнительных импульсов $t_{осн,d}$ и их частота следования в интервале протекания основной паузы $f_{d,u}$. Одной из основных проблем при сварке данным способом является обоснованное определение и назначение параметров режима.

В работе [1] приведен метод по определению скорости плавления покрытых электродов при СМТ. Показано, что мощность, идущая на плавление покрытого электрода, имеет относительно большее значение по сравнению с мощностью при ручной дуговой сварке (РДС) и зависит от параметров импульсов, теплофизических коэффициентов материала стержня и покрытия, а также температуры нагрева покрытого электрода. Однако в пределах работы [1] температура нагрева покрытого электрода задается численно и не изменяется с течением времени протекания процесса сварки.

В работе [2] приведен расчет нагрева покрытого электрода от протекающего по нему постоянного сварочного тока. Показано, что с увеличением времени протекания процесса ручной дуговой сварки (РДС) скорость и температура нагрева покрытых электродов увеличивается. С ростом температуры нагрева электрода изменяются входящие в расчетные зависимости: удельное сопротивление электродной проволоки ρ , объемная теплоемкость электродной проволоки $c_1 \cdot \gamma_1$, объемная теплоемкость покрытия $c_2 \cdot \gamma_2$, а также коэффициент теплоотдачи поверхности покрытия окружающему воздуху α_3 . Согласно [2] численный расчет нагрева электрода протекающим током заключается в том, что всю разность температур от начальной до конечной делят на небольшие промежутки температуры ΔT (не более 50...100 °С); для каждого из них выбирают свои осредненные значения $\alpha_{3,ср}$, $(c_1 \cdot \gamma_1)_{ср}$, $(c_2 \cdot \gamma_2)_{ср}$ и рассчитывают среднюю скорость $\Delta T / \Delta t$ в данном промежутке, а по скорости нагрева определяют время Δt , необходимое для заданного повышения ΔT температуры электрода. Однако в наиболее интересном для практики нагрева электродов интервале температур 0...800 °С коэффициенты теплофизических свойств покрытых электродов можно представить выражениями, зависящими от постоянных (A, D_1, m) , определяемых из опыта,