

УДК 255:29.1

СИСТЕМА РЕАЛІЗАЦІЇ МАКСИМУМУ ТЯГИ РУДНИЧНОГО ЕЛЕКТРОВОЗА

А. В. Тимошенко

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»
ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, 61000, Украина. E-mail: timoschenko@yandex.ru

Предложена система реализации максимума силы тяги рудничного электровоза, основанная на выявлении в режимах избыточного проскальзывания колес пульсаций тока двигателя с частотой фрикционных автоколебаний. Представлена функциональная схема датчика распознавания фрикционных автоколебаний, выполненного на базе программируемых логических интегральных схем, реализующих цифровой фильтр, постобработку и алгоритм управления электроприводом после обнаружения буксования. В соответствии с алгоритмом функционирования системы реализации максимума силы тяги, при наличии фрикционных автоколебаний, вырабатывается сигнал управления на снижение напряжения питания электропривода, что приводит к снижению его скорости и возвращению рабочей точки на участок упругого скольжения.

Ключевые слова: максимум тяги, рудничный электровоз, электропривод.

СИСТЕМА РЕАЛІЗАЦІЇ МАКСИМУМУ ТЯГИ РУДНИКОВОГО ЕЛЕКТРОВОЗУ

А. В. Тимошенко

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»
вул. Фрунзе, 21, м. Харків, 61000, Україна. E-mail: timoschenko@yandex.ru

Пропонується система реалізації максимуму сили тяги рудникового електровозу, яка основана на виявленні в режимах надлишкового прослизання коліс пульсацій струму з частотою фрикційних автоколивань. Надано функціональну схему датчика розпізнавання фрикційних автоколивань, виконаного на базі програмованих логічних інтегральних схем, яка реалізує цифровий фільтр, постобробку та алгоритм управління електроприводом після виявлення буксування. У відповідності до алгоритму функціонування системи реалізації максимуму сили тяги, при наявності фрикційних автоколивань, виробляється сигнал управління на зниження напруги живлення електропривода, що призводить до зниження його швидкості та повернення робочої точки на ділянку пружного ковзання.

Ключові слова: максимум тяги, рудниковий електровоз, електропривод.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Для рудничных электровозов, работающих в условиях влажных рельс, загрязненных угольной пылью, характерны частые режимы пробуксовок в тяговом режиме и юза в тормозных [1]. В этом случае при избыточном скольжении колес относительно рельс наблюдается снижение силы сцепления при увеличении скорости проскальзывания, что чревато снижением производительности, дополнительными потерями электроэнергии, усиленным износом рельс и бандажей колес, а при юзе – также снижением безопасности движения. Поэтому очень важно иметь возможность обеспечить при необходимости максимальную силу сцепления, соответствующую максимальному коэффициенту сцепления колес с рельсами.

Целью работы является проверка методом компьютерного моделирования реализации системы, обеспечивающей максимальную силу сцепления колес с рельсами, построенной на датчике определения избыточного проскальзывания по наличию фрикционных автоколебаний (АКФ). В отличие от ранее предлагавшихся решений, датчик определения буксования и остальные компоненты системы выполнены на основе цифровой техники.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Автоматическое определение избыточного проскальзывания как скорости на ободе колеса и линейной скорости движения простыми средствами трудно реализуемо. В настоящей работе рассматривается построение системы автоматической реализации максимальной силы тяги на основе датчика определения избыточного буксования.

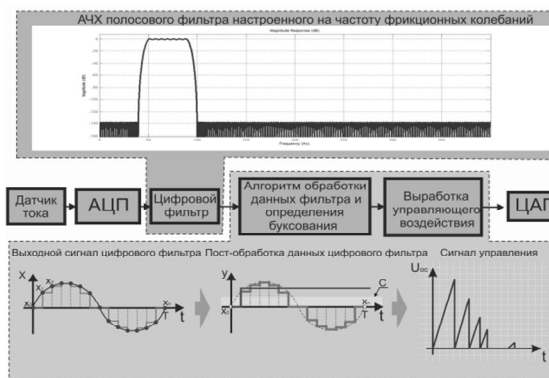


Рисунок 1 – Структура цифрового устройства выявления буксования и формирования сигнала управления

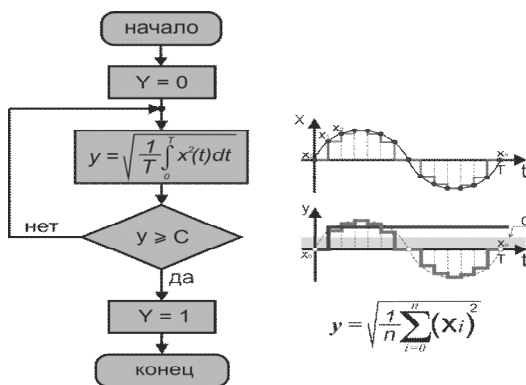


Рисунок 2 – Алгоритм цифровой обработки сигнала цифрового фильтра

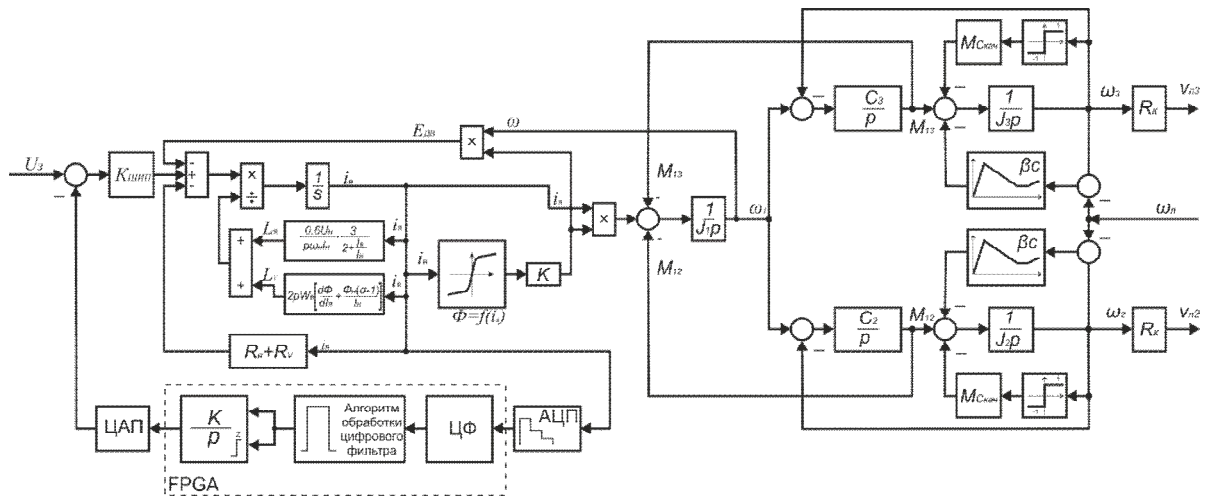


Рисунок 3 – Математическая модель рудничного электровоза

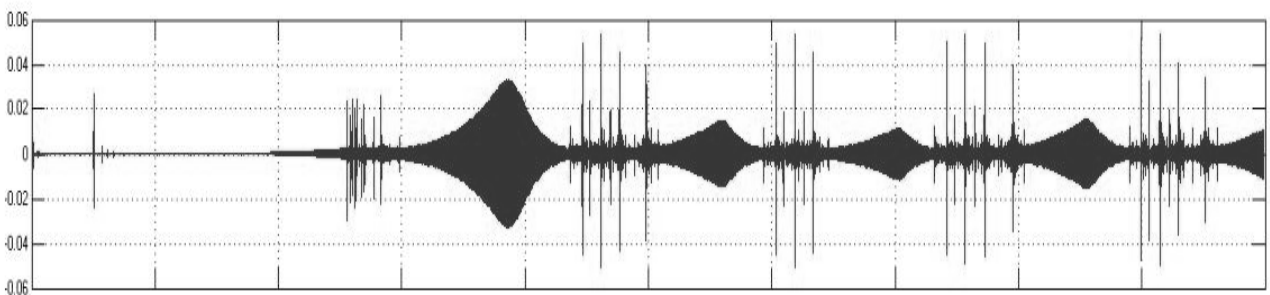


Рисунок 4 – Выходной сигнал цифрового фильтра



Рисунок 5 – Сигнал послеобработки цифрового фильтра

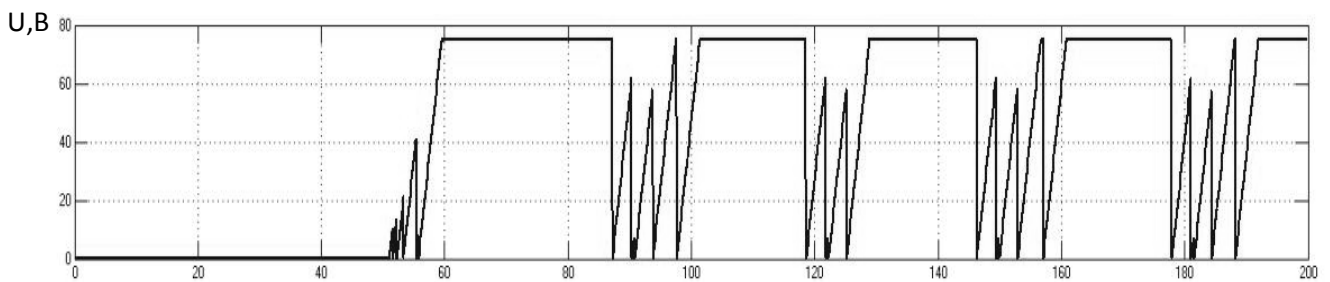


Рисунок 6 – Форма сигнала управления

В [2] отмечено, что при проскальзывании наблюдались фрикционные автоколебания (АКФ), при которых амплитуда упругих колебаний момента в осях более чем в 15 раз превышает статическую нагрузку. Это в свое время привело к поломкам около 150 осей колесных пар рудничных электровозов. Снижение амплитуды колебаний было достигнуто смещением с центра оси зубчатого колеса передаточного механизма, что устранило явление первого механического резонанса. Это неизбежно должно привести к появлению в кривой тока двигателя пульсаций с частотой АКФ. Данный факт, в свою

очередь, был основанием для построения датчика определения буксования на принципе выявления в кривой тока пульсаций с частотой АКФ [3].

На рис. 1 представлена современная модификация датчика распознавания проскальзывания, где основными функциональными блоками предложенного устройства являются цифровой фильтр (ЦФ)[6], блок цифровой обработки сигнала ЦФ и блок формирования сигнала управления. ЦФ реализован в виде нерекурсивного полосового фильтра на программируемой логической интегральной схеме (ПЛИС) семейства FieldProgrammableGateArray

(FPGA), где зависимость выходного сигнала от входного имеет вид:

$$y(n) = \sum_{i=0}^P b_i x(n-i), \quad (1)$$

где $x(n)$ – входной сигнал; $y(n)$ – выходной сигнал; b_i – коэффициенты фильтра; P – порядок фильтра.

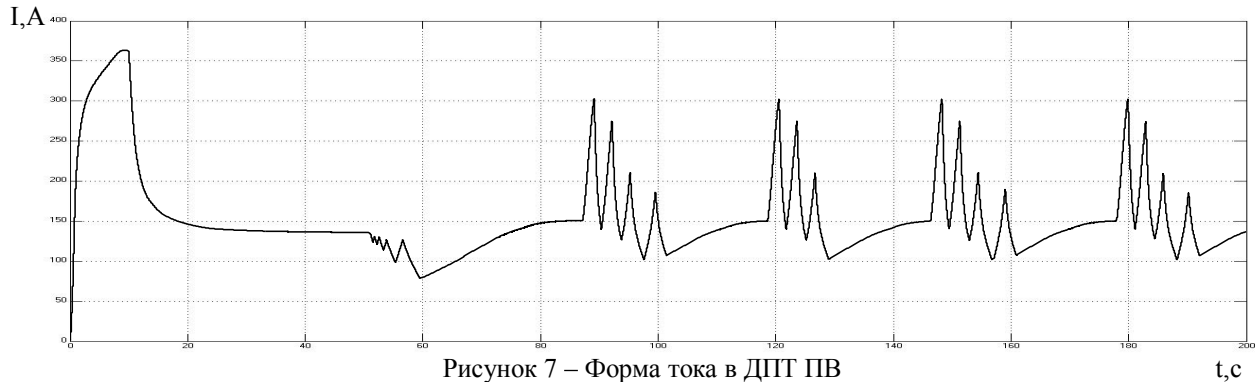


Рисунок 7 – Форма тока в ДПТ ПВ

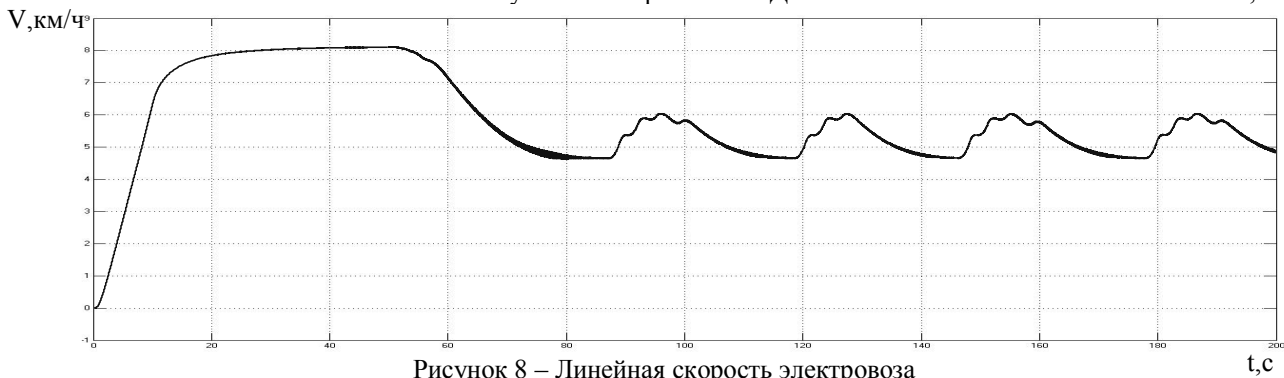


Рисунок 8 – Линейная скорость электровоза

Выбор данного типа ЦФ обусловлен простотой его реализации в FPGA, а также тем, что нерекурсивные ЦФ всегда устойчивы и имеют линейную фазовую характеристику, что полностью удовлетворяет поставленным требованиям. Также все цифровые фильтры имеют большое преимущество по отношению к аналоговым в связи с отсутствием «дрейфа» параметров, что очень негативно сказывается на точности выходного сигнала, особенно при высоких порядках фильтра. Функция цифровой обработки по заданному алгоритму (рис.2) и выработка сигнала управления возлагается также на FPGA. Это позволяет создать систему автоматического управления (АСУ) на одном чипе, что существенно повышает надежность ЭП в целом.

Особенности функционирования предложенной структуры датчика выявления буксования описаны в [5]. Максимальный коэффициент сцепления предлагается достигать следующим образом. Если датчик обнаружил буксование, указывающее на его наличие сигналом от блока обработки данных ЦФ, то необходимо снизить питающее напряжение двигателя, что, в свою очередь, приведет к снижению скорости проскальзывания. Снижение напряжения производится до тех пор, пока АКФ не исчезнут, однако возможен случай, когда снижение коэффициента сцепления было следствием проезда по загрязненному участку, который через какое-то время электровоз проедет, чтобы не зафиксировать силу тяги на максимуме, соответствующем сниженному потенциальному коэффициенту сцепления, необходимо, чтобы через определенный интервал времени система давала сигнал на повышение напряжения питания, тестируя наличие пульсаций тока от АКФ.

В настоящей работе методом компьютерного моделирования проверяется адекватность функционирования системы управления, реализующей максимальную силу сцепления по вышеописанному принципу. Спецификой математической модели (рис. 3) является разветвленный характер упругих кинематических связей в механической части ЭП. C_2 и C_3 – приведенные жесткости частей оси от зубчатой передачи до одного и второго колес колесной пары соответственно. Механическая часть системы принята трехмассовой, связь между якорем ЭД и зубчатой передачей принята абсолютно жесткой. Нагрузка для каждого из колес определялась характеристикой трения скольжения и трением качения. Характеристика нагрузки, обусловленная трением скольжения, представлялась нелинейной в большом, но линеаризованной по четырем участкам [5]. I – участок упругого скольжения, II – падающий участок, на котором увеличение скорости проскальзывания сопровождается снижением силы трения (сцепления), III – участок незначительного изменения трения от скорости и IV – возрастания момента трения с увеличением скорости скольжения с незначительной крутизной. Жесткость механической характеристики нагрузки $\beta_c = \Delta M / \Delta \omega_{ск}$. На первом участке $\beta_{c1} \gg 0$, на втором $\beta_{c2} < 0$, на третьем $\beta_{c3} = 0$ и на четвертом $\beta_{c4} > 0$, но существенно меньше β_{c1} . J_2, J_3 – равные, приведенные к скорости вала ЭД моменты инерции колес. J_1 – суммарный момент инерции ротора двигателя с учетом массы грузопотока. При моделировании использовались параметры рудничного электровоза АРП-14: $J_1 = 98 \text{ кгм}^2$, $J_2 = J_3 = 2 \text{ кгм}^2$, $C_2 = 1,2 \times 10^5 \text{ Нм}$, $C_3 = 3,6 \times 10^6 \text{ Нм}$. Приведенная математическая модель позволяет

проверить возможность достижения максимального момента тяги электровоза по буксованию колес.

Моделирование произошло следующим образом. На вход системы ЭП подавался от задатчика интенсивности сигнал задания с таким темпом, что максимум сигнала задания выводил электропривод на характеристику с точкой статического равновесия, находящейся на падающем участке характеристики сцепления до того момента, когда электровоз наберет скорость движения, достаточную для сохранения рабочей точки на участке упругого скольжения. Далее, по мере разгона и попадания рабочей точки на падающий участок нагрузки, в системе появились АКФ, приведенные в виде выходного сигнала ЦФ (рис. 4). Результатом обработки данных с ЦФ был получен сигнал в виде строба (рис. 5) на 52 с расчета, указывающий успешное нахождение режима работы с излишним буксованием колес электровоза и падения тягового усилия. После выявления буксования был сформирован сигнал управления (рис. 6) в виде сигнала отрицательной обратной связи (ОС) по напряжению задания U_z . Это, в свою очередь, повлечет за собой уменьшение напряжения питания тягового ЭД и скорости скольжения колес относительно рельс. С понижением скорости проскальзывания рабочая точка перемещается с падающего участка на восходящий, обеспечивая больший коэффициент сцепления колес и, как следствие, большее тяговое усилие. Работая на участке упругого скольжения, колебаний тока от АКФ не будет, соответственно амплитуда ОС будет равна нулю, что обеспечит повышение скорости движения, если по мере разгона коэффициент сцепления будет уменьшаться, система реализации максимума тяги снова уменьшит скорость скольжения до значения, где сцепление колес максимально, таким об-

разом, скорость движения электровоза будет иметь переменный характер (рис. 8). Из кривой тока двигателя (рис. 7) видно, что при понижении скорости ток возрастает, его максимальное значение не превышает значение тока при пуске.

ВЫВОДЫ. Предложенная система реализации максимума тяги по сцеплению колес с рельсами позволяет определить факт избыточного скольжения колес и обеспечить реализацию максимального тягового усилия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ренгевич А.А. Коэффициент сцепления шахтных электровозов // Вопросы рудничного транспорта. – 1961. – Вып. 5. – С. 232–247.
2. Шахтарь П.С., Ренгевич А.А. Причины поломок осей рудничных электровозов//Сб. Вопросы рудничного транспорта.– М.: Госгортехиздат, 1962. – С. 192–203.
3. Авторское свидетельство СССР 990555. Устройство для определения скольжения колесной пары транспортного средства/ В.Б. Клепиков, Ю.Н. Кутовой, Е.С. Гапчинский и др.: опубл. 1983.
4. Клепиков В.Б. О проблеме фрикционных автоколебаний в электроприводах // Электричество. – 1986. – № 4. – С. 59–62.
5. Клепиков В.Б., Тимошенко А.В. Моделирование фрикционных автоколебаний в электроприводе рудничного электровоза при буксовании//Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут».– Харків:НТУ «ХПІ», 2010. – № 28. – 325 с.
6. Антонью А. Цифровые фильтры: анализ и проектирование / Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1983. – 320 с.

IMPLEMENTATION OF THE MAXIMUM THRUST IN MINE ELECTRIC LOCOMOTIVE

A. Timoshchenko

National Technic University «Kharkiv Polytechnic Institute»
ul. Frunze, 21, Kharkov, 61000, Ukraine. E-mail: timoschenko@yandex.ru

Suggestions about implementation of the maximum thrust forces system in mine electric locomotive based on the identification in excessive wheels slippage modes from motor current ripple with friction oscillations frequency. In this article shows FPGA based friction oscillations sensor functional diagram with digital FIR filter, filter data post processing and electric drive control algorithm after detecting wheel slippage. In accordance with maximum thrust forces system implementation algorithm when there are friction frequency oscillations control signal produces reduce supply voltage of the electric drive. This leads to decreasing in speed and returning to elastic sliding work mode.

Key words: mine electric locomotive, electric drive.

REFERENCES

1. Rengevich A.A. The mining electric adhesion coefficient // *Questions of mine transport*. – 1961. – № 5. – PP. 232–247. [in Russian]
2. Shahtar P.S. Rengevich A.A. Causes of failures electric mine locomotive axes // *Digest. Questions mine transport*. – M.: Gosgortechizdat, 1962. [in Russian]
3. Author's certificate of USSR 990555. *The device for determining the sliding of the vehicle wheelst* / V.B. Klepikov, J.N. Kutovoi, H.H. Gapchinskiy and oth.: publ. 1983. [in Russian]
4. Klepikov V.B. About the problem of frictional auto-oscillations in electric drives// *Electricity*. – 1986. – № 4. – PP. 59–62. [in Russian]
5. Klepikov V.B. Timoschenko A.V. Modeling of frictional self-oscillations in the electric mine locomotive with slipping// *Bulletin of the National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2010. – № 28. – 325 p. [in Russian]
6. Antoniou A. *Digital Filters: Analysis, Design Applications*. Trans. from English. – M.: Radio and Communication, 1983. – 320 p. [in Russian]

Стаття надійшла 23.07.2012.

Рекомендовано до друку
д.т.н., проф. Сінчуком О.М.