

Моделювання процесів при відключенні пантографу шахтного електровозу з частотним електроприводом

Кальмус^f Д. О., ORCID [0000-0001-7604-8631](https://orcid.org/0000-0001-7604-8631)

Федотов^f В. О., ORCID [0000-0002-6536-5591](https://orcid.org/0000-0002-6536-5591)

Сьомочкин А. Б., к.т.н. доц., ORCID [0000-0002-3592-7899](https://orcid.org/0000-0002-3592-7899)

Сьомочкина С. В., к.т.н. доц., ORCID [0000-0001-9809-0048](https://orcid.org/0000-0001-9809-0048)

Сінчук^s О. М., д.т.н. проф., ORCID [0000-0002-7621-9979](https://orcid.org/0000-0002-7621-9979)

ДВНЗ «Криворізький національний університет»
Кривий Ріг, Україна

Анотація—У статті наведені результати дослідження явищ при короткочасному відриві пантографу рудникового електровозу типу 14КА з системою частотного електроприводу інвертор напруги – асинхронний двигун. Мережа електропостачання враховується як некерований випрямляч, який отримує живлення від джерела напруги, з трелеями, які враховуються як послідовне сполучення індуктивного та активного опорів. Рейки також враховуються як малий активний опір. Дослідження проводились за допомогою імітаційного моделювання. При моделюванні інвертор електровозу відключався від мережі два рази послідовно на час 0,05 с. Утворення дуги при розриві індуктивного струму при цьому не враховувалося. Було встановлено, що, при розриві виникають значні високочастотні коливання в мережі величиною до 40 кВ, а при відновленні контакту з мережею виникають значні струми вмикання та пікові електромагнітні моменти, що багатократно перевищують номінальний момент двигуну. Отримані результати досліджень приводять до необхідності подальшого вдосконалення частотного приводу стосовно використання на шасі рудникового електровозу, для зменшення негативних явищ при відриву пантографу від трелею.

Бібл. 10, рис. 5.

Ключові слова — шахтний електровоз; пантограф; мережа електропостачання.

I. ВСТУП

Відомо, що доки що наймасовішим варіантом електроприводу шахтних електровозів в умовах шахт Кривбасу є релейно-контакторна система керування двигуном постійного струму [1]–[3]. Але вони вже фізично та морально застарілі. Тому треба переходити до більш сучасної системи асинхронного електроприводу з інвертором (система ІН-АД) [4]–[6], підключеним через ємність до тролєїв. В практиці часто відбувається відрив пантографу від тролєїв, що супроводжується іскрінням та виникненням дуги. Цей відрив іноді спеціально роблять машиністи електровозу, для спрощення (з їх точки зору) керування швидкістю електровозу. Але досить часто іскріння пантографу виникає як наслідок при струсах корпусу електровозу з одним пантографом на стиках рейок [7].

Мережа електропостачання залишається незмінною, вона складається з трьохфазної системи напруг, що випрямляється та подається на пантограф елект-

ровозу через довгу лінію, яка моделюється як послідовне з'єднання активного та індуктивного опорів [8], [9].

Метою роботи є дослідження на моделі впливу відриву пантографу на інші складові системи, яка включає в себе частотний електропривод та систему електропостачання, при різних умовах.

II. МАТЕРІАЛ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Структура моделі для дослідження відриву пантографу з частотним електроприводом ІН-АД наведена на рис. 1.

В моделі використані асинхронні двигуни потужністю 37 кВт, напругою 400 В та номінальної швидкістю 1470 об/хв з бібліотеки елементів Матлаб. Змінна напруга живлення випрямляча складає 300 В.

Відрив пантографу від тролєя формується за допомогою блоку Ideal Switch, який отримує сигнал керування від блоку Signal Builder [10].



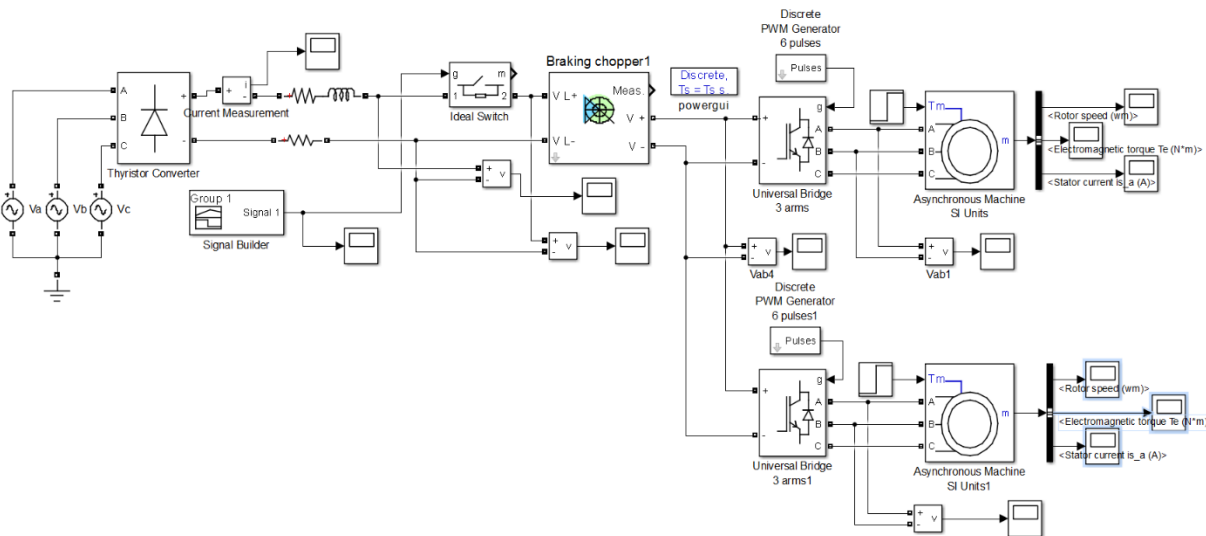


Рис. 1 Структура моделі

Конденсатор фільтра має ємність 10000 мкФ. Усі інші параметри електрообладнання (наприклад, Snubber Capacitance Thyristor coverter) прийняті за замовчуванням).

Тролеї формуються як сполучення активного (0.1 Ом) та індуктивного (0.001 Гн) опорів, а рейки – як активний (0.001 Ом) опір. В моделі використані два інвертори, що значно підвищує надійність роботи електромеханічної системи. Слід зауважити, що на електровозі 14КА доки що не використовувався частотний привід, тому можливо, що використання двох інверторів – нераціональне рішення, що потребує додаткових досліджень.

Нижче наведені перехідні процеси во вказаний системі при послідовному двократному зникненню напруги на пантографі. Явища дугоутворення через складність математичного опису не моделювались. Нижче наведені найбільш характерні результати дослідження (рис. 2 – рис. 5).

З графіку рис.2 спостерігаються значні струми вмикання (більші у 100 раз, ніж номінальний струм) в довгій лінії, що пояснюються практично коротким замиканням на конденсатор інвертору, який до моменту вмикання значно розряджається (рис. 4). Це вимагає прийняття заходів для запобігання спрацювання максимально-струмового захисту.

Особливо треба відзначити високочастотні перепади напруги 40 кВ при відключенні пантографу в лінії електропостачання (рис. 3). Зрозуміло, що вони за сприятливих умов можуть привести до дугоутворення. Більш того, це може привести до порушення роботи іншого електричного обладнання, підключеного до тієї ж мережі, і збоїв роботи автоматики і зв'язку в системі електропостачання.

Остаточо, треба звернути увагу на те, що електромагнітний момент АД при відновленні напруги може значно (більш ніж у чотири рази) перевищувати номінальне значення електромагнітного моменту АД

(рис. 5). Остання обставина може сприяти втраті керуваності електровозом через втрату зчеплення колеса з рейками. Це може призвести до невизначеності при необхідності точного позиціонування вагонеток при завантаженні або розвантаженні породи

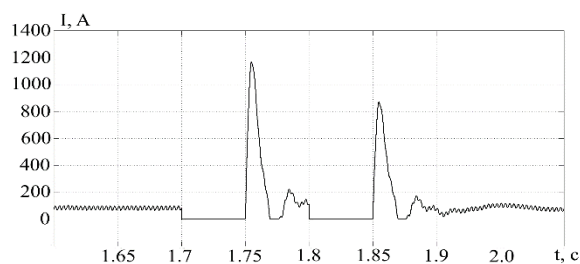


Рис. 2 Графік струму в лінії живлення

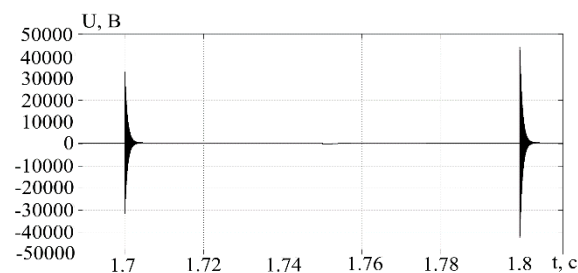


Рис. 3 Графік напруги в лінії живлення

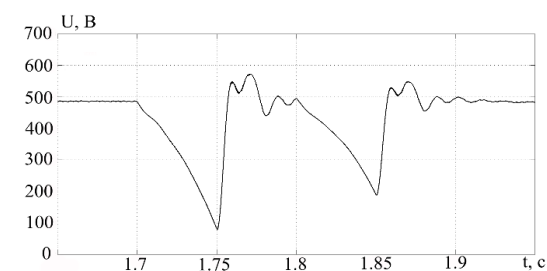


Рис. 4 Графік напруги конденсатору ІН-АД



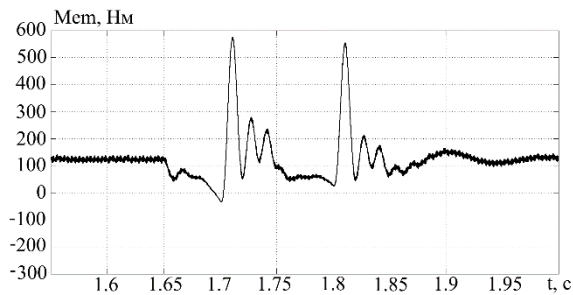


Рис. 5 Графік електромагнітного моменту ІН-АД

ВИСНОВКИ

- 1) Встановлене, що питання практичного використання частотного електроприводу на шахтному електровозі не настільки однозначно позитивно, як це вважається, враховуючи на можливі відриві пантографу.
- 2) Рекомендоване подальше вдосконалення частотного електроприводу стосовно використання на шасі рудникового електровозу, для зменшення негативних явищ, які були наведені вище.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] S. A. Volotkovskiy, *Rudnichnaya elektrozvonnaya tyaga [Mine electric draft]*. Moscow, USSR: Nedra, 1981.
- [2] I. O. Sinchuk, E. S. Guzov, V. L. Debelyiy, and L. L. Debelyiy, *Shahtniy elektrozvonniy transport. Teoriya, konstruktsii, elektrooborudovanie [Shaft electric transport. Theory, construction, electrical equipment]*. Kremenchug, Ukraine, 2015, ISBN: 978-617-639-081-7.
- [3] B. A. Gryadushchiy, Y. F. Butt., V. B. Gryadushchiy, and V. L. Debelyiy, *Shakhtnyy podzemnyy transport: spravochnoye izdaniye [Mine underground transport]*. Donetsk, Ukraine: VIK, 2011.
- [4] I. O. Sinchuk, I. V. Kasatkina, A. N. Yalovaya, and N. N. Yurchenko, "Otsenka napravleniy povyisheniya energoeffektivnosti dobyichi zhelezorudnogo syrya podzemnyim sposobom [Estimation of directions of increase of energy efficiency of extraction of iron ore raw materials by underground method]," *J. Kryvyi Rih Natl. Univ.*, vol. 42, pp. 145–151, 2016, URL: <http://visnykknknu.com.ua/wp-content/uploads/file/42/BKHY-42.pdf>.
- [5] O. N. Sinchuk, E. S. Guzov, I. O. Sinchuk, A. V. Omelchenko, D. A. Shokarev, and E. I. Skapa, "K voprosu strategii sozdaniya energoeffektivnogo i bezopasnogo v ekspluatatsii dvukhosnogo elektrovoza dlya rudnykh shakht [To the question of the strategy of creating an energy-efficient and safe in operation two-axle electric locomotive for ore mines]," *Hirnychyy visnyk*, vol. 95, no. 1, pp. 139–143, 2012.
- [6] O. N. Sinchuk, N. N. Yurchenko, A. A. Chernyshev, I. O. Sinchuk, and O. A. Udovenko, *Kombinatorika preobrazovateley napryazheniya sovremennykh tyagovykh elektroprivodov rudnichnykh elektrozovov [Combinatorics of voltage converters of modern traction electric drives of mine electric locomotives]*. Kyiv, Ukraine: IED NANU, 2006, ISBN: 966-02-4067-8.
- [7] Y. S. Puhov, *Rudnychnyy transport [Mining transport]*. Moscow, Russian Federation: Nedra, 1991.
- [8] O. N. Sinchuk, A. B. Syomochkin, and V. A. Fedotov, "Perekhodnyye protsessy asinkhronnogo elektroprivoda shakhtnogo elektrovoza pri yego pitanii ot real'noy sistemy elektrosnabzheniya [Transients of an asynchronous electric drive of a mine electric locomotive when it is powered from a real power supply system]," *Electrotech. Comput. Syst.*, no. 15 (91), pp. 201–204, 2014, URL: <https://etks.opu.ua/?fetch=articles&with=info&id=418>, DOI: [10.15276/etks.15.91.2014.46](https://doi.org/10.15276/etks.15.91.2014.46).
- [9] A. S. Sandler and R. S. Sarbatov, *Avtomaticheskoye chastotnoye upravleniye asinkhronnymi dvigatelyami [Automatic frequency control of asynchronous motors]*. Moscow, Russian Federation: Energiya, 1974.
- [10] I. V. Chernykh, *Modelirovaniye elektrotekhnicheskikh ustroystv v MATLAB. SimPowerSystems i Simulink [Simulation of electrical devices in MATLAB. SimPowerSystems and Simulink]*. Moscow, Russian Federation: DMK Press, 2007.

Надійшла до редакції 24 березня 2019 р.

УДК 621.337

Моделирование процессов при отключении пантографа шахтного электровоза с частотным электроприводом

Кальмус^f Д. О., ORCID [0000-0001-7604-8631](https://orcid.org/0000-0001-7604-8631)
 Федотов^f В. А., ORCID [0000-0002-6536-5591](https://orcid.org/0000-0002-6536-5591)
 Сёмочкин А. Б., к.т.н. доц., ORCID [0000-0002-3592-7899](https://orcid.org/0000-0002-3592-7899)
 Сёмочкина С. В., к.т.н. доц., ORCID [0000-0001-9809-0048](https://orcid.org/0000-0001-9809-0048)
 Синчук^s О. Н., д.т.н. проф., ORCID [0000-0002-7621-9979](https://orcid.org/0000-0002-7621-9979)
 ГВУЗ «Криворожский национальный университет»
 Кривой Рог, Украина



Аннотация—В статье приведены результаты исследования явлений при кратковременном отключении пантографа рудничного электровоза типа 14КА с системой частотного электропривода инвертор напряжения - асинхронный двигатель. Сеть электроснабжения учитывается как неуправляемый выпрямитель, который получает питание от источника напряжения, с троллеями, которые учитываются как последовательное соединение индуктивного и активного сопротивлений. Рельсы также учитываются как малое активное сопротивление. Исследования проводились с помощью имитационного моделирования. При моделировании инвертор электровоза отключался от сети два раза подряд на промежутки времени 0,05 с. При этом возникновение дуги при разрыве индуктивного тока не принималось во внимание. Было установлено, что при отключении пантографа в сети возникают значительные высокочастотные колебания величиной до 40 кВ. При восстановлении контакта с сетью возникают значительные токи включения и пиковые электромагнитные моменты, которые многократно превышают номинальный момент двигателя. Полученные результаты исследований приводят к необходимости дальнейшего совершенствования частотного привода в случае использования на рудничном электровозе, для уменьшения негативных явлений при отключении пантографа от троллея.

Библ. 10, рис. 5.

Ключевые слова — шахтный электровоз; пантограф; сеть электроснабжения.

UDC 621.337

Modeling of Processes When the Pantograph of a Shaft Electric Locomotive with a Frequency Electric Drive Is Disconnected

D. O. Kalmus^f, ORCID [0000-0001-7604-8631](https://orcid.org/0000-0001-7604-8631)

V. O. Fedotov^f, ORCID [0000-0002-6536-5591](https://orcid.org/0000-0002-6536-5591)

A. B. Somochkyn, PhD Assoc.Prof., ORCID [0000-0002-3592-7899](https://orcid.org/0000-0002-3592-7899)

S. V. Somochkyna, PhD Assoc.Prof., ORCID [0000-0001-9809-0048](https://orcid.org/0000-0001-9809-0048)

O. M. Sinchuk^s, Dr.Sc.(Eng.) Prof., ORCID [0000-0002-7621-9979](https://orcid.org/0000-0002-7621-9979)

State institution of higher education «Kryvyi Rih National University»

Kryvyi Rih, Ukraine

Abstract—The article presents the results of the study of phenomena in the short-term shutdown of the pantograph of a mine electric locomotive with a frequency electric drive of a voltage inverter system - an asynchronous motor, from a DC network.

The relay contactor control system of a DC electric motor of a 14KA mine electric locomotive under the conditions of mines in Krivbass is by far the most common variant of electric drive. But it is already physically and morally obsolete, so a transition to modern drive systems is necessary. One option is to transition to a voltage inverter drive system - an asynchronous motor. At the same time, the power supply network remains unchanged - an outlying DC source. This raises the problem of a comprehensive study of the processes that can occur in the specified electromechanical complex, under various conditions. In particular, in practice, the pantograph is sometimes disconnected from the trolley for a short time, which is accompanied by sparking and arcing. This phenomenon most often occurs when the body of a locomotive with a single pantograph shakes at the rail junctions.

Researches of the processes when the pantograph was turned off were carried out by the simulation method using the Matlab software package. The power supply system was taken into account as an unmanaged rectifier, which receives power from a voltage source with trolleys, which are considered to be a series connection of inductive and active resistances. Rails are also counted as low active resistance. When modeling, the inverter of an electric locomotive in the model (together with the filter input capacitor) was disconnected from the trolley two times in a row at random intervals of 0.05 s. At the same time, a detailed and realistic sparking process for breaking an inductive current was not taken into account due to the complexity of its modeling. It was found that at the first moment in time when the pantograph is turned off, significant high-frequency voltages up to 40 kV occur in the network. Obviously, such high voltage values under favorable conditions can lead to the formation of an arc. Moreover, it can lead to malfunction of other electrical equipment connected to the same line, as well as disruptions in the operation of automation and communication in the power supply system. The simulation also found that when contact to the network is restored, significant switching currents (which are more than 100 times the rated current) and peak electromagnetic moments, which are more than 4 times the nominal motor torque, occur. The latter circumstance may contribute to the loss of controllability of an electric locomotive due to the loss of grip of the wheel with the rails. The obtained research results lead to the need for further improvement of the frequency drive in the case of its use in a mine electric locomotive in order to minimize negative phenomena in the event of an accidental short-term disconnection of the pantograph.

Библ. 10, рис. 5.

Keywords — mine electric locomotive; pantograph; power supply network.

