

- [3] He, X., Ju, Y., Liu, Y., Zhang, B. (2017). Cloud-Based Fault Tolerant Control for a DC Motor System. *Journal of Control Science and Engineering*, 2017, 1–10. doi: <https://doi.org/10.1155/2017/5670849>
- [4] S. Munikoti, L. Das, B. Natarajan and B. Srinivasan. Data-Driven Approaches for Diagnosis of Incipient Faults in DC Motors. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*. Vol. 15, No. 9, pp. 5299-5308, Sept. 2019, doi: 10.1109/TII.2019.2895132.
- [5] S Zhang, J., Zhan, W., & Ehsani, M. (2018). On-line diagnosis of inter-turn short circuit fault for DC brushed motor. *ISA Transactions*, 77, 179-187. doi: <https://doi.org/10.1016/j.isatra.2018.03.029>

УДК 621.314

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ З ПЕРЕТВОРЮВАЧЕМ ЧАСТОТИ

INCREASE OF ENERGY EFFICIENCY OF ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVE WITH FREQUENCY CONVERTER

К.т.н., В. П. Нерубацький, аспірант Д. А. Гордієнко

Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

V. P. Nerubatskyi, PhD (Tech.), D. A. Hordiienko, Postgraduate student

Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)

На сучасному залізничному тяговому рухомому складі широко використовуються асинхронні електродвигуни (АД). Найбільш часто для регулювання швидкості та обертового моменту АД використовуються перетворювачі частоти, які працюють з синусоїдальною або просторово-векторною широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ) [1, 2].

Підвищення енергоефективності асинхронного електроприводу є важливим напрямком розвитку електротехніки та електромеханіки. Підвищення ККД асинхронних електродвигунів пов'язано зі збільшенням полюсів, зниженням опору обмоток та збільшенням коефіцієнта потужності [3, 4]. Крім того, для забезпечення максимального ККД асинхронного двигуна раціональним є його використання з повним (номінальним) навантаженням.

Важливим також є підвищення ККД перетворювачів частоти в асинхронному електроприводі [5, 6]. Зниження втрат потужності в системі «перетворювач частоти – асинхронний двигун», крім конструктивних методів, може бути досягнуто за рахунок застосування алгоритмічних методів (системи керування або режими роботи). Більшість загальнопромислових перетворювачів частоти мають можливість конфігурації та завдання частоти модуляції. При збільшенні частоти модуляції збільшуються втрати потужності в силових ключах автономного інвертора напруги (АІН). У той же час при збільшенні частоти комутації покращується синусоїдальність фазного струму інвертора, внаслідок чого знижуються додаткові втрати потужності в обмотках АД від вищих гармонік.

Спотворення фазного струму з коефіцієнтом гармонічних спотворень 50 % спричиняє збільшення втрат потужності в електричній мережі приблизно на

25 %. Таким чином, одним із шляхів покращення енергоефективності асинхронного електроприводу з перетворювачем частоти є оптимізація частоти комутації силових ключів.

Імітаційну модель автономного інвертора напруги з асинхронним двигуном, розроблену у програмному середовищі Matlab, наведено на рис. 1. Моделювання роботи системи АІН–АД виконано при номінальній навантаженні двигуна (номінальному постійному моменті опору і номінальній швидкості).

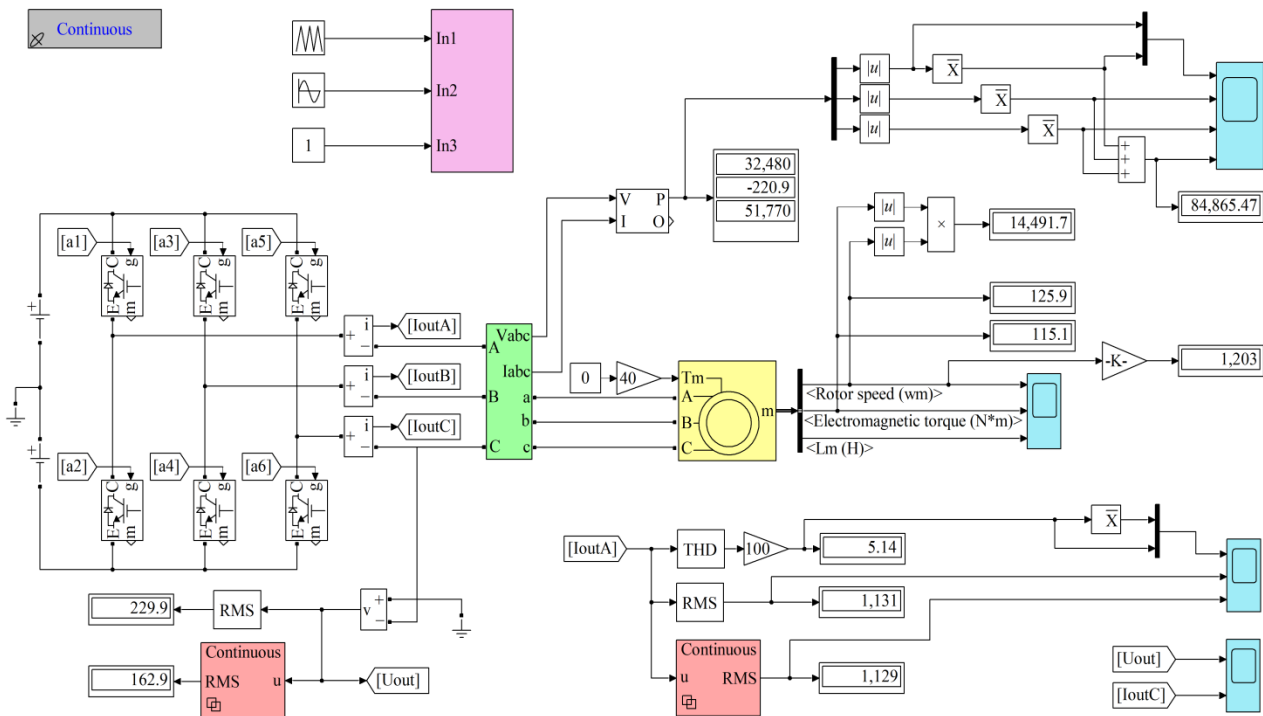


Рис. 1. Імітаційна модель системи АІН–АД

В процесі моделювання змінювалась лише частота модуляції ШІМ і, відповідно, частоти комутації силових ключів. За результатами моделювання величина першої гармоніки вихідної напруги та вихідного струму від зміни частоти модуляції практично не змінюється, проте вміст вищих гармонік з ростом частоти ШІМ знижується, внаслідок чого знижується середньоквадратичне значення фазного струму і, відповідно, знижуються втрати потужності в активному опорі обмоток двигуна.

Виходячи з проведених досліджень АІН на силових транзисторах типу PS21A79 та АД потужністю 3,7 кВт оптимальною частотою модуляції в ШІМ є частота 1200 Гц. При цьому варто зазначити, що в діапазоні частот від 1 кГц до 2 кГц сумарні втрати потужності ростуть несуттєво. В діапазонах частот нижче 1 кГц та вище 2 кГц втрати потужності зростають.

[1] Radchenko, N., Nekrasov, A., Latyshev, K., Hrytsai, O. (2022). Research of energy efficiency of start-up of asynchronous electric drives with scalar frequency control. 2022 IEEE 4th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES), 1–6. DOI: 10.1109/MEES58014.2022.10005656.

[2] Khomenko, I. V., Nerubatskyi, V. P., Plakhtii, O. A., Hordiienko, D. A., Shelest, D. A. (2023). Research and calculation of the levels of higher harmonics of rotary electric machines in active-adaptive networks. 4th International Conference on Sustainable Futures: Environmental, Technological, Social and Economic Matters (ICSF-2023). IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1254. 012040, 1–15. DOI: 10.1088/1755-1315/1254/1/012040.

[3] Ion, C., Peter, I. Manufacturing of induction motors with super premium efficiency. 2022 International Conference

- and Exposition on Electrical And Power Engineering (EPE). 2022. P. 47–50. DOI: 10.1109/EPE56121.2022.9959834.
- [4] Nerubatskyi, V. P., Plakhtii, O. A., Hordiienko, D. A., Karpenko, N. P. (2021). Simulation of power losses in the frequency converter. *Modern engineering and innovative technologies*, 16, 1, 44–57. DOI: 10.30890/2567-5273.2021-16-01-035.
- [5] Yao, K., Xiao, H. Analysis of frequency control system in single-phase asynchronous motor. (2020). 2020 IEEE 1st China International Youth Conference on Electrical Engineering (CIYCEE), 1–7. DOI: 10.1109/CIYCEE49808.2020.9332777.
- [6] Plakhtii, O., Nerubatskyi, V., Hordiienko, D. (2022). Efficiency analysis of DC-DC converter with pulse-width and pulse-frequency modulation. 2022 IEEE 41st International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO), 571–575. DOI: 10.1109/ELNANO54667.2022.9926762.

UDC 621.33

FEATURES OF THE USE RECUPERATION BRAKING ON ELECTRIC ROLLING STOCK OF DC RAILWAYS

*V.P. Nerubatskyi, PhD (Tech.), D.A. Hordiienko, Postgraduate student
Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

Recuperation braking in railway transport is the process of converting the kinetic energy of train movement into electrical energy by traction electric motors operating in generator mode. The generated electrical energy is transmitted to the contact network, unlike rheostat braking, in which the generated electrical energy is extinguished on the braking resistors, that is, it is converted into heat and dissipated by the cooling system [1, 2].

Recuperation braking is used to slow down electric rolling stock in cases where it is going down a relatively gentle slope and the use of an air brake is irrational. That is, recuperation braking is used to maintain a set speed when the electric rolling stock moves downhill. This type of braking provides significant energy savings, as the generated electrical energy is transferred to the catenary network and can be used by other electric rolling stock on this section of the catenary network [3, 4].

One of the disadvantages of DC substations is that they cannot return recovery energy from the DC network to the AC network unless the substation has recuperation inverters. Recuperation electric brakes can only work when the braking electric rolling stock is simultaneously accelerated by another electric rolling stock. Since the protection control of the on-board converter depends on the voltage of the catenary network on the pantograph, the functioning of the recuperation braking under such conditions cannot be guaranteed. When the recuperation braking force is insufficient, mechanical pneumatic braking is additionally used to compensate for the braking force. The energy absorbed by the mechanical brake is lost due to heating and wear of the brake disk, which requires periodic maintenance of the rolling stock. The concept of pure electric braking creates a strategy for making the most efficient use of recuperation electric braking [5, 6].

In railway traction, there are two challenges to making full use of recuperation electric braking:

– determining the speed of movement at slow speeds is difficult, therefore electrical braking is replaced by mechanical braking at very low speed;