

них силових установок електромобілів, включаючи їх роботу у різних режимах навантаження та аварійних режимах, пов'язаних з пошкодженнями окремих вентилів.

### Література

1. Chau, K.T. (2015). Electric Vehicle Machines and Drives: Design, Analysis and Application. <https://doi.org/10.1002/9781118752555>.
2. Ghaderi Talkhab S, Asad R. (2023). Reviewing and Comparing Different Algorithms and Topologies to Control the Speed of Multi Electric Train Motors by a Drive System. IJRARE 2023; 10 (1) : 45-60. URL: <http://ijrare.iust.ac.ir/article-1-324-en.html>.
3. Li, Jinhui & Qiu, Zhijian. (2023). Research on Optimization SVPWM Method of Nine-switch Inverter for Bearingless Motor Based on Reducing Switching Times. Journal of Physics: Conference Series. 2450. 012036. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2450/1/012036>.
4. Gulbudak, Ozan & Gökdağ, Mustafa & Komurcugil, Hasan. (2021). Dual-sliding mode control of nine-switch inverter. International Transactions on Electrical Energy Systems. 31. <https://doi.org/10.1002/2050-7038.13185>.
5. Dangeam, Sirichai & Kinnares, Vijit. (2015). Five-leg voltage source inverter for driving two single-phase induction motors. 156-161. <https://doi.org/10.1109/ICEMS.2014.7013456>.
6. G. Jing and C. Zhou. (2020). Control Strategy for a Five-Leg Inverter Supplying Dual Three-Phase PMSM, in IEEE Access, vol. 8, pp. 174480-174488, 2020, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3025392>.
7. Chavan, Gayatri & S, Sridhar. (2020). Speed Control of Dual Induction Motor Using Five Leg Inverter. E3S Web of Conferences. 184. 01065. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202018401065>.

## ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ПУСКУ ДВЗ

**Дзюбенко Олександр Андрійович**, канд. техн. наук,

доцент кафедри автомобільної електроніки,

Харківський національний автомобільно-дорожній університет,  
e-mail: [dzyubenko.alan@gmail.com](mailto:dzyubenko.alan@gmail.com), ORCID: 0000-0002-0387-4956

**Лимаренко Сергій Романович**, студент,

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Розвиток автомобільної галузі вимагає впровадження нових технологій, які сприяють підвищенню ефективності, довговічності та екологічності транспортних засобів. Однією з ключових задач у цьому напрямку є оптимізація роботи двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ), зокрема процесу його запуску.

Система пуску повинна забезпечувати надійний запуск двигуна при різних температурних умовах експлуатації автомобіля, малу тривалість пуску, можливість повторних пусків і зручність керування.

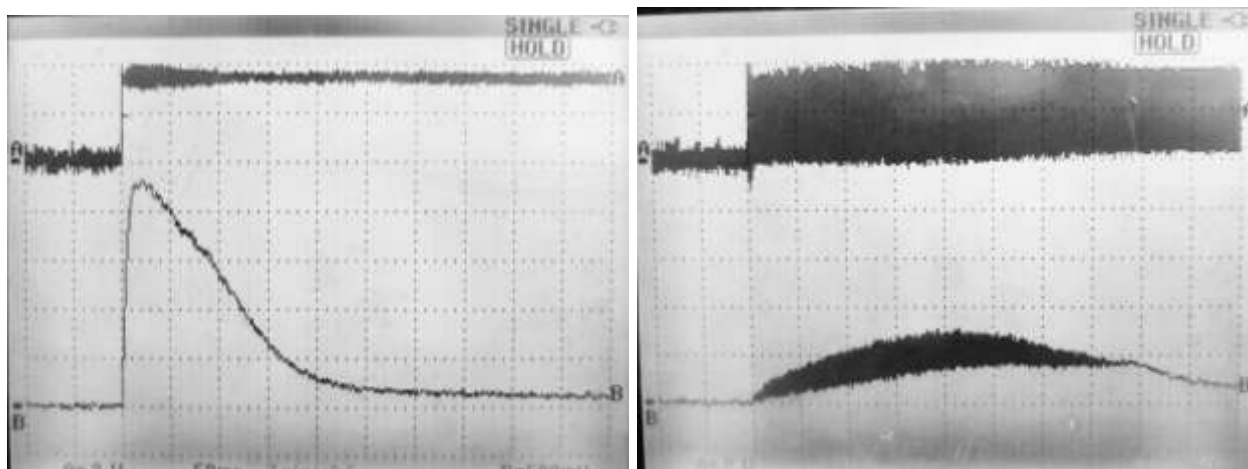
Електричний двигун стартера представляє собою колекторну електричну машину постійного струму, яка дає максимальне значення пускового моменту в будь-якому положенні якоря.

За електричною схемою стартери можуть виконуватись з послідовним та змішаним включенням обмоток збудження. Потужність стартера визначається крутним моментом під час пуску холодного ДВЗ з низькою температурою і досягає для легкових автомобілів до 2 кВт.

При цьому традиційна система пуску ДВЗ, яка використовує класичний електромеханічний стартер, супроводжується низкою проблем. Зокрема, під час запуску виникають ударні механічні навантаження на компоненти зубчастої передачі, що призводить до їх передчасного зносу. Крім того, високий піковий струм, який протікає через акумулятор та стартер, сприяє значному скороченню їхнього ресурсу. Ці фактори негативно впливають на загальну надійність і експлуатаційні характеристики автомобіля.

Натомість практичні дослідження показують, що використання технологій плавного пуску електроприводів може суттєво знизити ці навантаження. Таким чином, розробка системи м'якого пуску ДВЗ є актуальною задачею, що полягає в аналізі існуючих систем пуску ДВЗ, визначенні їх недоліків та розробка концепції м'якого пуску із застосуванням сучасних методів керування електроприводами.

Одним із перспективних підходів є застосування широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) для керування електроприводом стартера (рис. 1). Такий метод дозволяє забезпечити поступове підвищення струму та обертового моменту, що мінімізує механічні удари та пікові навантаження на електричну систему автомобіля, особливо на акумуляторну батарею.



а

б

Рисунок 1 – Осцилограми пускового струму ДПС

Використання ШІМ відбувається з поступовим збільшенням коефіцієнту заповнення імпульсу від 0 до 100 % протягом короткого часу. Експериментальні дослідження (рис. 1) показали, що використання м'якого пуску двигуна постійного струму із ШІМ затримкою в 0,4 с дозволяють зменшити сплеск пускового струму в 5 разів порівняно з релейною комутацією обмотки якоря.

Також експеримент показав, що швидкість наростання коефіцієнту заповнення ШІМ напряму впливає на величину пускового струму двигуна постійного струму.

Основною проблемою реалізації цього методу керування в системі пуску ДВЗ – є вибір силових напівпровідникових транзисторів, здатних комутувати високі струми. Оскільки пусковий струм стартера може сягати від 500 А до 700 А.

Вирішення цієї проблеми лежить в сучасних напівпровідникових пристроях, а конкретно в силових MOSFET транзисторах та досвіді їх використання в перетворювальній техніці. Робочі струми цих транзисторів сягають сотень ампер, а можливість паралельного включення дозволяє отримати необхідне значення струму комутації прямого керування стартерним струмом.

В роботі пропонується використати паралельне включення п'яти MOSFET транзисторів типу IRF3805S, що має постійний струм стоку  $I_D = 160$  А, та отримати робочій струм якоря стартера 700 А.

Запропонований підхід до реалізації системи м'якого пуску ДВЗ із застосуванням ШІМ дозволяє суттєво знизити пікові механічні та електричні навантаження під час запуску. Експериментальні дослідження підтвердили ефективність цього методу, зокрема зменшення пускового струму в 5 разів порівняно з традиційними схемами релейного комутаційного запуску.

Впровадження цієї технології відкриває перспективи для підвищення довговічності стартера та акумуляторної батареї, зменшення механічного зносу компонентів зубчастої передачі, а також підвищення загальної надійності системи пуску ДВЗ. Це, своєю чергою, сприятиме покращенню експлуатаційних характеристик автомобілів та зниженню витрат на технічне обслуговування.

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на оптимізацію алгоритмів керування ШІМ для різних умов експлуатації, а також інтеграцію запропонованого рішення в сучасні системи енергоменеджменту автомобілів.