

УДК 621.313.333

Д. О. Кулагін<sup>1</sup>, О. С. Качур<sup>1</sup>, П. Д. Андрієнко д-р техн. наук<sup>2</sup><sup>1</sup>Запорозький національний технічний університет<sup>2</sup>НДІ «Перетворювач», м. Запоріжжя

## Розробка моделі модернізованого частотно-керованого тягового електропривода зі змінним алгоритмом керування дизель-поїзда ДЕЛ-02

*Розроблено модель системи асинхронного електропривода дизель-поїзда з додатковим внутрішнім зворотнім зв'язком за частотою поля двигуна.*

**дизель-потяг, алгоритм, структура, керування, модернізація, моделювання**

Сучасний дизель-поїзд ДЕЛ-02 (моторні вагони) обладнаний електродвигунами змінного струму. Живлення асинхронних двигунів (АД) індивідуальне, кожен від свого автономного інвертора напруги (АІН). Керування тяговим електроприводом (ТЕП) виконується системою зі змінним алгоритмом: при рушанні й розгоні поїзда регулювання напруги АД здійснюється методом широтно-імпульсної модуляції з подальшим переходом на амплітудне регулювання, що забезпечує мінімальні енерговитрати в електропередачі й малі пульсації моменту при розгоні [4]. Мікропроцесорний блок керування забезпечує перехід між алгоритмами роботи ТЕП в режимах тяги й гальмування за оптимальними законами [5].

Силова частина схеми керування ТЕП, що зараз використовується у дизель-поїзді ДЕЛ-02 (рис. 1), складається з дизель-генератора ДГ, синхронного генератора СГ, некерованого випрямляча НВ, блока фільтрів БФ, автономного інвертора напруги АІН, датчика швидкості (ДШ). Окрім того, в каналі керування АІН міститься комплексний пристрій автоматики (КПА), до якого надходять сигнали зворотного зв'язку за швидкістю та активним струмом з АД та сигнал датчика завантаження дизеля (ДЗД). До складу КПА входить задавач інтенсивності та регулятор швидкості.

Вхідний сигнал до ДЗД формується машиністом дизель-потяга шляхом впливу командоконтролером на роботу дизель-генератора. Даний спосіб керування є неефективним, бо залежить від особистісного фактора машиніста. Досвідчені машиністи можуть економити до 15 % палива [6], проте, можуть виникати ситуації перевитрат палива в порівнянні із закладеним до карти руху дизель-поїзда. Ефективного використання палива можна досягти, повністю автоматизувавши систему керування ТЕП [2, 6].

Сигнали, що надходять до КПА, подаються на регулятор швидкості, який в свою чергу через задавач інтенсивності формує частоту струму статора АД та ко-

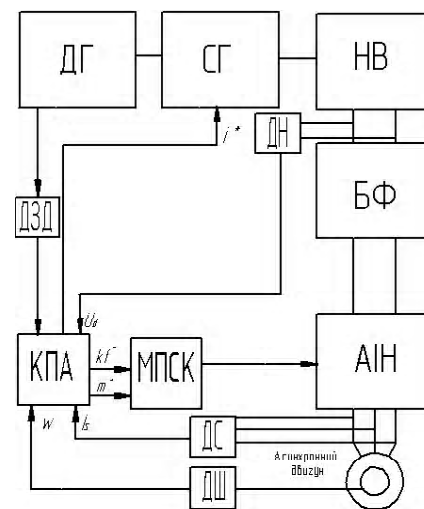


Рис. 1. Функціональна схема тягового електропривода дизель-поїзда ДЕЛ-02

ефіцієнт модуляції для АІН, які подаються в мікропроцесорну систему керування (МПСК). МПСК обробляє ці сигнали та подає імпульси щодо керування ключами АІН.

Даній системі притаманні великі пульсації активної складової струму (рис. 2) [7] та, як наслідок, нестабільність тягового моменту, що обумовлює необхідність її модернізації.

Проаналізувавши існуючу систему, було виявлено ряд її слабких місць, за рахунок покращення яких можна отримати більш якісні перехідні характеристики роботи частотно-керованого тягового електропривода (ЧКТЕ) (рис. 3):

- некомпенсованість ЕРС обертання призводить до суттєвого погіршення характеристик роботи ЧКТЕ під час різкої зміни навантаження (проковзування колісної пари, рух потяга в гору та згори);

- керування швидкістю руху поїзда здійснюється машиністом через ручне задання потужності дизель-

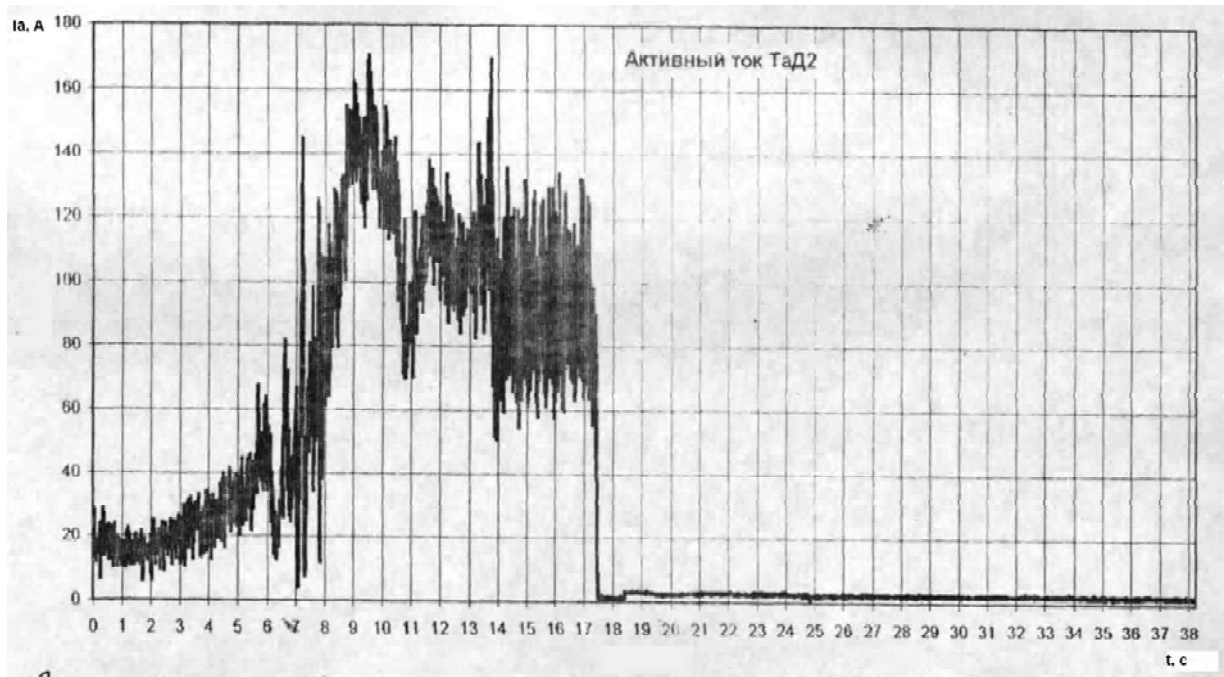


Рис. 2. Осцилограма активної складової струму АД дизель-поїзда ДЕЛ-02 при розгоні з існуючою системою керування ТЕП (масштаб осі часу 1 с/поділку (под.), осі струму 20 А/под.)

генератора, що може призвести до неефективної роботи дизель-генератора (його перевантаження або недо-вантаження);

– наявність в конструкції МПСК власного задавача інтенсивності призводила до пульсацій активної складової струму та нестабільності тягового моменту.

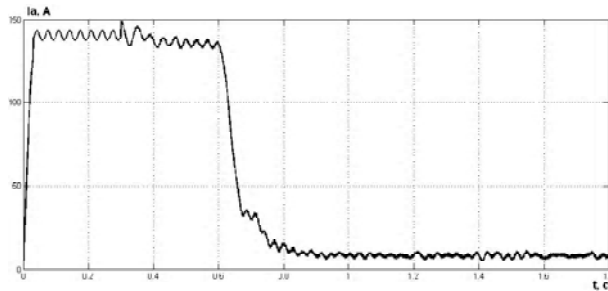


Рис. 3. Осцилограма активної складової струму АД дизель-поїзда ДЕЛ-02 при розгоні з модернізованою системою керування ТЕП (масштаб осі часу 0,2 с/под., осі струму 50 А/под.)

**Метою роботи** є модернізація ЧКТЕ дизель-поїзда ДЕЛ-02 за рахунок використання системи зі змінним алгоритмом керування, спрямована на підвищення енергетичних та динамічних характеристик дизель-поїзда.

Процес моделювання модернізованої системи ЧКТЕ проводився за певних припущень. Маса причіпних вагонів не враховувалась, що дозволяло перевірити якість перехідних процесів без згладжування їх дією махового моменту, виникаючого за рахунок вагонів. Напряга дизель-генератора приймалася сталою синусоїдальною функцією, бо моделювання та модернізація дизель-ге-

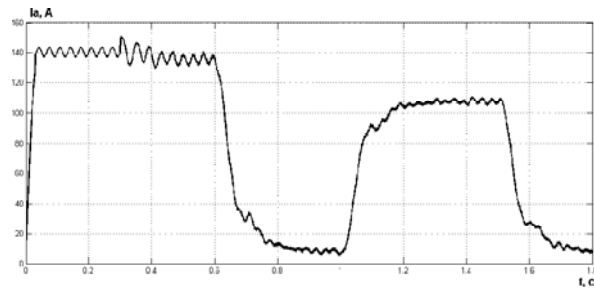
нератора не є необхідними. В процесі дослідження модернізується тільки канал управління АІН.

Моделювання проводилося при повному пусковому моменті. Не використовувалася система виходу на повний пусковий момент шляхом переходу на певні позиції командоконтролера машиніста (на рис. 2 активна складова струму наростає поступово), що дозволяє зменшувати перерегулювання струму при рушанні поїзда у ЧКТЕ, використовуюваному зараз.

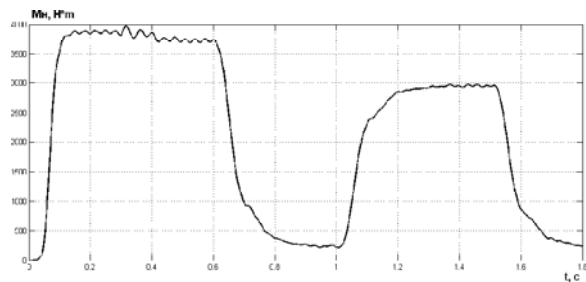
В модернізованій системі зменшено пікові перерегулювання активної складової струму (рис. 3) на 26 % по відношенню до активної складової струму вихідної системи (рис. 2).

Функціональна система модернізованого ЧКТЕ показана на рис. 4, в якій до існуючої системи КПА-МПСК додано внутрішній контур регулювання з додатковим внутрішнім зворотним зв'язком за частотою поля двигуна. Проведена модернізація відповідає принципу декомпозиції по відношенню до складеної системи КПА-МПСК [3], бо цей принцип передбачає розподіл системи керування на складові елементи та модернізацію або заміну цих елементів. Дана схема містить задавач руху поїзда ЗРП, регулятор частоти РЧ, подвійний регулятор струму (ПРС), що складається з першого регулятора струму РС1 та другого регулятора струму РС2, блок обмеження БО, систему керування інвертором СКІ, датчик напруги ДН, датчик активного струму ДАС, датчик ЕРС ДЕРС, датчик швидкості ДШ, дизель-генератор ДГ, синхронний генератор СГ, некерований випрямляч НВ, блок фільтрів БФ та автономний інвертор напруги АІН.

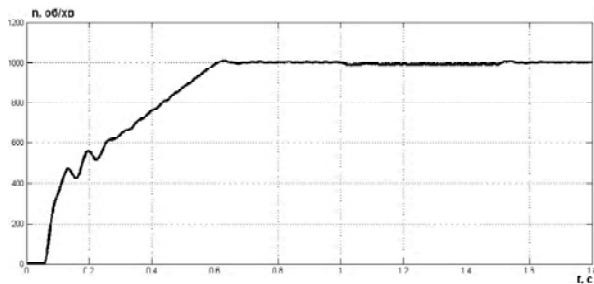




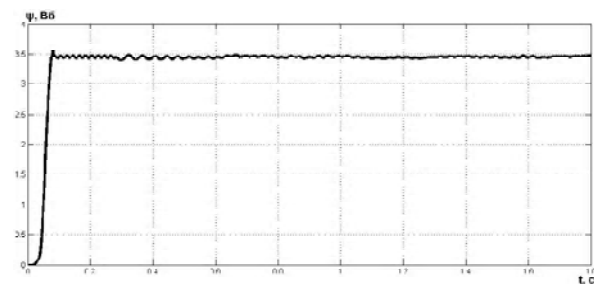
а) (масштаб осі часу 0,2 с/под., осі струму 20 А/под.)



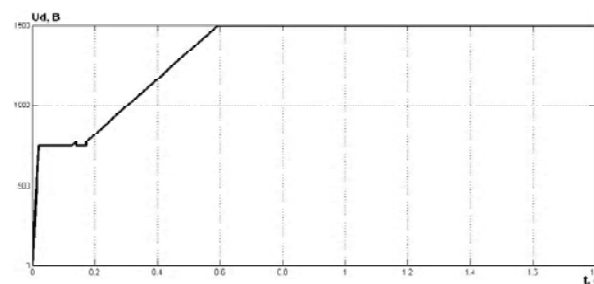
б) (масштаб осі часу 0,2 с/под., осі моменту 500 Н·м/под.)



в) (масштаб осі часу 0,2 с/под., осі швидкості обертання вала двигуна 200 хв<sup>-1</sup>/под.)



г) (масштаб осі часу 0,2 с/под., осі потокозчеплення 0,5 Вб/под.)



д) (масштаб осі часу 0,2 с/под., осі напруги 500 В/под.)

Рис. 5. Перехідні процеси модернізованої системи ЧКТЕ з АІН-ШІМ активного струму (а), тягового моменту (б), частоти обертання вала двигуна (в), потокозчеплення ротора (г) та напруги у колі постійного струму (д)

## Висновки

1. Впроваджено систему зі змінним алгоритмом керування та подвійним регулятором струму до каналу керування АІН дизель-поїзда ДЕЛ-02.

2. Отримані результати моделювання показують можливість ефективної реалізації системи ЧКТЕ зі змінним алгоритмом керування та подвійним регулятором струму на базі АІН з ШІМ (зменшено перерегулювання активної складової статорного струму АД на 26 %, чим досягнуто стабільність тягового моменту).

3. Дослідження в даному напрямку є перспективним з огляду можливості переходу до двозонного керування інвертором та вирішення ряду інших технічних питань, що приведе до подальшого покращення якісних характеристик роботи дизель-поїзда.

## Список літератури

1. Андриенко П. Д. Динамика двухконтурной системы регулирования скорости асинхронного двигателя с обратной связью по частоте / Андриенко П. Д., Шрейнер Р. Т., Волков А. В. // ЭП. Электропривод. – 1982. – № 9. – С. 5–8.
2. Басов Г. Г. Прогнозування розвитку дизель-поїздів для залізниць України: Посіб. для студ. спец. 100501 «Рухомий склад та спеціальна техніка залізничного транспорту». – Х.: Апекс+, 2004. – 239 с.
3. Горбачев В. А. Методы декомпозиции моделей непрерывных систем для моделирования в условиях распределенных ресурсов / Горбачев В. А., Волк М. А., Бабаев А. П. // Радиоэлектроника и информатика. – 1998. – № 1. – С. 35–38.
4. Кулагін Д. О. Моделювання квазівекторної системи частотно регульованого електроприводу асинхронного двигуна без давача швидкості / Кулагін Д. О., Качур О. С., Андрієнко П. Д. // Сборник материалов XV международной научно-технической конференция «Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика». – Украина: АР Крым. – 2008. – С. 168–170.
5. Кражан В. С. Микропроцессорная система управления высоковольтным частотно-регулируемым электроприводом / Кражан В. С., Жорняк А. Э., Землянский В. В., Чепкунов А. И. // Вісник КДПУ ім. М. Остроградського. – 2008. – № 3(50). – С. 64–67.
6. Носков В. И. Моделирование и оптимизация систем управления и контроля локомотивов. Научное издание / Носков В. И., Дмитренко В. Д., Заполковский Н. И., Леонов С. Ю. – Х. : ХФИ «Транспорт Украины», 2003. – 248 с.
7. По результатам предварительных и приемочных испытаний электрооборудования дизель-поезда ДЭЛ-02: протокол испытаний №90-2004 / ОАО ХК «Лугансктепловоз», ЦКБ ИЦ «Транссерв». – Луганск, 2004. – 48 с.

Поступила в редакцію 30.11.09 г.

Кулагин Д. А., Качур А. С., Андриенко П. Д. Разработка модели модернизированного частотно-управляемого тягового электропривода со сменным алгоритмом управления дизель-поезда ДЭЛ-02.

*Разработана модель системы асинхронного электропривода дизель-поезда с дополнительной внутренней обратной связью по частоте поля двигателя.*

Kulagin D. O., Kachur O. S., Andrianko P. D. Development of model modernized frequency guided hauling electromechanic with the variable algorithm of management diesel-locomotiv of DEL-02.

*The model of a Diesel train asynchronous electric drive system with additional intrinsic feedback by engine field frequency has been developed.*

УДК 621.316.925.4

V. I. Gurevich Ph. D.

Central Electric Laboratory, Israel

## Microprocessor Protection Devices: the Present and the Future

*The paper presents the analysis of the basic constructive disadvantages of the present day microprocessor-based protective devices (MBR) and offers the basic principles for creating a new MBR that can be used in newly constructed devices.*

**Microprocessor-based protective devices, Relay damages, Relay protection reliability**

### Introduction

Electromechanical protective relays of the past generation completely met all the requirements set for protection devices of electrical power equipment for many, many years. In the latest microprocessor-based devices the function of relay protection has been united with functions of other devices: communication and data trans-mission devices, fault recorders, substation logic units, etc. Such multipurpose complexes are compared now to the individual one-functional electromechanical relays which have been functioning for decades and which are now considered as rather worn out. It is said about advantages of microprocessor relays compared to electromechanical relays as about absolutely obvious fact. What has been overlooked, though, is that these devices perform completely different functions which simply cannot be compared with each other [1]. Specialists of world leading manufactures have published a considerable number of half-advertising articles stressing only the positive qualities of microprocessor-based protective relays (MBR). There are a few publications of certain authors devoted solely to the analysis of problems, connected with transition to MBR although there are many more others. Though the problems connected with MBR expansion are obvious, the fact that their distribution is increasing and that they are replacing electromechanical relays completely is inevitable only because almost all world leading manufacturers have stopped producing electromechanical protective relays. It has happened not because electromechanical relays have insuperable disadvantages of any great importance (they just wore out and have not been improved for the last 30–40 years), but because of the enormous profit gained by MBR producers which is

© V. I. Gurevich 2010 p.

beyond comparison in relation to the manufacture of electromechanical protective relays [1]. As the future of relay protection is inevitably connected with MBR (at least, for complex protection functions), the forecast of ways of development of this equipment is of definite interest.

The analysis of principles structural lacks of MRB of present generation and suggestion is the purpose of this article on creation of MRB of next generation, intended for the again entered new objects.

### 1. Modern lines in designing microprocessor protection devices

1.1. If one considers the «Factor of Unit Functionality» (FUF) parameter-how many functions are there in a single MBR – one can ascertain that this parameter grows year after year. The MBR's physical size remains constant (or even decreases) and but its functionality continually increases. What is the reason of such a growth? In our opinion, there is no objective necessity to increase the FUF, it is only a matter of the competitive activity among MBR producers and their aspiration to excel each other in technological level of produced devices. As the FUF has direct relation to the technical and technological level of the equipment, increasing the FUF is usually associated directly with MBR technological level and capabilities of the manufacturer. Thus, we think, that increasing the FUF in MBR is no more than the means of competitive activity. Is this tendency useful and does it really results in increasing MBR quality? At first sight, yes, because, as it was already mentioned above, FUF increase is provided through the use of more progressive materials, elements and techno-