

УДК 621.313.33:629.423.24

Д. О. КУЛАГІН, П. Д. АНДРІЄНКО (ЗНТУ)

Запорізький національний технічний університет, вул. Жуковського, 64, 69063, м. Запоріжжя, Україна, тел.: +38 (066) 236-52-71, ел. пошта: nemix123@rambler.ru

ПОБУДОВА СХЕМИ ТЯГОВОЇ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ МОТОРВАГОННОГО ПОЇЗДА З МОЖЛИВІСТЮ РЕКУПЕРАЦІЇ

Вступ

Вибір схеми тягової електропередачі визначає характеристики, режими та показники використання всього моторвагонного поїзда під час експлуатаційних режимів.

Прийнята схема тягової електропередачі повинна забезпечувати:

- встановлені тягові властивості для всього моторвагонного поїзда;
- високий експлуатаційний коефіцієнт корисної дії (ККД) в усіх режимах (в цій вимозі виходять з максимально можливого ККД в режимі тяги та рекуперації);
- простоту побудови за мінімально можливою кількістю вузлів схеми, що забезпечить простоту монтажу, пусконаладжувальних робіт, експлуатації, поточних та капітальних ремонтів, доступність всіх вузлів для огляду та оперативної заміни;
- високу експлуатаційну надійність.

Постановка задачі

Проектована перспективна схема тягової електропередачі повинна бути оптимізованою за певними принципами:

- параметричний принцип, за яким при заданій структурі тягової електропередачі та відомих функціональних впливах на її елементи потрібно визначити такі параметри, при яких задовольняються задані показники якості перехідних процесів в елементах тягової електропередачі [1, 2];
- структурний принцип, відповідно до якого тягова електропередача повинна містити мінімально необхідне число елементів, що легко фізично реалізуються для повноцінної роботи системи [2];
- функціональний принцип, за яким необхідно визначити закони керування всією електропередачею, а за ними структуру та чисельні значення параметрів елементів схеми передачі [2, 3].

Мета роботи

Побудова та аналіз перспективної схеми тягової електропередачі дизель-поїзда для можливості здійснення рекуперації.

© Кулагін Д. О., Андрієнко П. Д., 2014

Рішення задачі

До складу тягової електропередачі входять:

- дизельний двигун, що є первинним джерелом енергії;
- синхронний генератор;
- тяговий перетворювач частоти;
- перетворювач власних потреб;
- тяговий двигун;
- перетворювальні пристрої для забезпечення процесу заряд-розряд накопичувального елемента;
- система керування, що забезпечує узгоджену роботу всіх вузлів відповідно до оптимального режиму функціонування кожного з них, причому забезпечуючи найбільш раціональне споживання енергоресурсів кожним вузлом тягової електропередачі за даних умов експлуатації та при встановленому тяговому режимі моторвагонного поїзда. формування встановлених тягових характеристик поїзда шляхом узгодженої рекуперації та споживання енергії від накопичувального елемента тягової електропередачі також є задачею системи керування [4].

При цьому накопичувач енергії в поєднанні з перетворювальною системою, що забезпечує його роботу, повинен в комбінації з основними елементами тягової електропередачі забезпечувати вказані вимоги до електропередачі поїзда в усіх режимах експлуатації:

- режимі холостого ходу, при котрому відсутній обмін енергією між окремими компонентами передачі;
- режимі тяги з одночасною передачею енергії від ланки дизель – синхронний генератор та ланки накопичувача енергії на приводні колеса через тяговий перетворювач частоти;
- режимі тяги з використанням енергії тільки від ланки дизель – синхронний генератор на приводні колеса через тяговий перетворювач частоти, а в разі надлишку енергії - одночасної передачі надлишкової енергії до ланки накопичувача енергії для послідуєчого її використання за можливості;
- режимі вибігу з одночасним зарядом накопичувача енергії;

- режимі рекуперативного гальмування з одночасним переводом дизеля в режим холостого ходу [5].

Практичну побудову схеми тягової електропередачі розглянемо на прикладі перспективної схеми тягової електропередачі дизель-поїзда ДЕЛ-02.

Перспективна тягова електропередача візка дизель-поїзда ДЕЛ-02, представлена функціональною схемою рис. 1 і складається з дизеля Д, двообмоткового синхронного генератора СГ, некерованих випрямлячів НВ, до кожного з яких підключено гальмівний резистор ГР, блок фільтрів БФ, автономний інвертор напруги АІН, давач швидкості ДШ.

Окрім того, в каналі керування АІН міститься комплексний пристрій автоматики КПА, до якого входять сигнали зворотного зв'язку за швидкістю і фазним струмом з АД, сигнал давача завантаження дизеля ДЗД.

Керуючий сигнал U_{KM} від комп'ютера машиніста КМ діє на рівень подачі палива паливним насосом ПН до дизеля Д. Відповідно до швидкості обертання колінчатого вала дизеля ДЗД, що механічно зв'язаний з дизелем, фор-

мує сигнал про завантаженість дизеля на рівні від 0 до 5 В, який подається до КПА.

Відповідні сигнали зворотних та керуючих зв'язків КПА для другого АД візка на схемі для спрощення не показано.

Схема містить блок керування струмом збудження БКСЗ, що задає струм збудження $i_{зб}$ для СГ.

Перетворювач для забезпечення власних потреб ПВП (навантаження власних потреб НВП включає в себе опалення вагонів, освітлення, підігрів води, системи пожежогасіння та сигналізації, кондиціонування, паливопідігрівачі та ін.) підключено до загальної шини постійного струму.

На рис. 1 пунктирною лінією виділено тяговий перетворювач частоти та його САК, перетворювач власних потреб ПВП та систему давачів, які виробляються ВАТ «НДІ «Перетворювач»».

Сигнали, що входять до КПА обробляються за певними законами в залежності від режиму роботи дизель-поїзда і подаються на регулятори швидкості та струму, вбудовані до КПА.

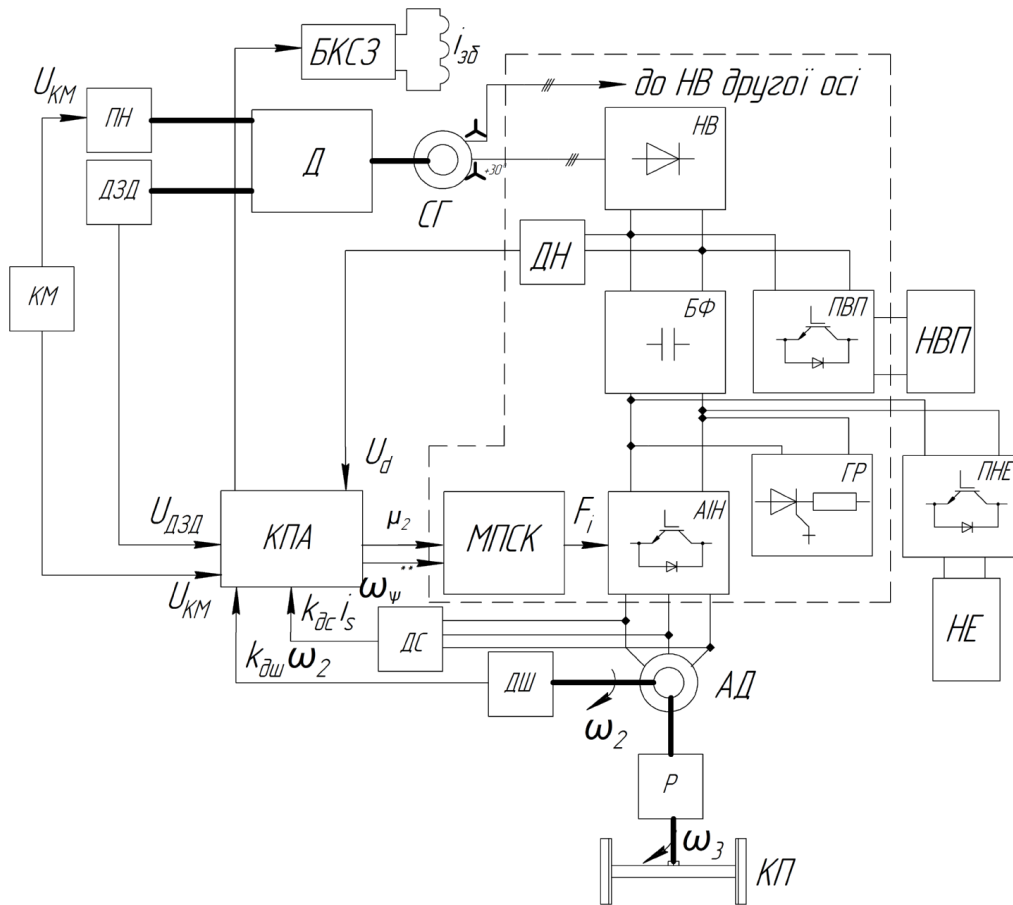


Рис. 1. Функціональна схема перспективної тягової електропередачі візка дизель-поїзда ДЕЛ-02

На рис. 1 показано також накопичувач енергії НЕ в поєднанні з перетворювальною системою накопичувального елемента ПНЕ, що забезпечує його роботу.

Зв'язок перетворювача власних потреб, системи гальмівного резистора, перетворювальної системи накопичувального елемента з КПА на схемі не показаний для спрощення побудови схеми, проте, дані зв'язки будуть показані в подальшому на узагальненій функціональній схемі.

Вихідний сигнал регулятора струму через існуючий в КПА задатчик інтенсивності (на основі інтегруючої ланки) формує значення завдання на швидкість обертання ротора АД та коефіцієнта модуляції μ_2 для АІН, що подаються в мікропроцесорну систему керування (МПСК). МПСК обробляє ці сигнали та виробляє імпульси керування АІН. Вбудований до КПА задатчик інтенсивності контролює зміни прискорення, швидкості, ривка та має можливість обмежувати темп зміни свого вихідного сигналу в залежності від значення струму в контурах тягової електропередачі.

КПА-МПСК являє собою складну інформаційну систему, впроваджену до тягової електропередачі дизель-поїзда ДЕЛ-02 для комплек-

сного керування та контролю загальною системою механічних та електричних елементів руху дизель-поїзда, вибору оптимальних динамічних режимів руху та роботи окремих елементів електромеханічної частини, контролю роботи датчиків, системи власних потреб.

АД підключено через редуктор Р (передаточне число редуктора становить 2,1) до колісної пари КП візка вагона.

Характерною особливістю дизель-поїзда ДЕЛ-02 є наявність в тяговому генераторі двох трифазних обмоток, з'єднаних зіркою зі зміщенням між обмотками на 30 електричних градусів, від яких живляться некеровані трифазні мостові випрямлячі НВ візка, створюючи шину постійного струму зі значеннями напруги від 600 до 1500 В. До даної шини підключено два АІН, що живлять відповідно асинхронні тягові двигуни одного візка. На основі цих конструктивних особливостей вироблено характерні режими та закони керування АІН.

Зв'язок між системами регулювання рухом дизель-поїзда та системою керування ПЧ здійснюється по каналу CAN.

Узагальнена функціональна схема керування тяговою електропередачею візка дизель-поїзда показана на рис. 2.

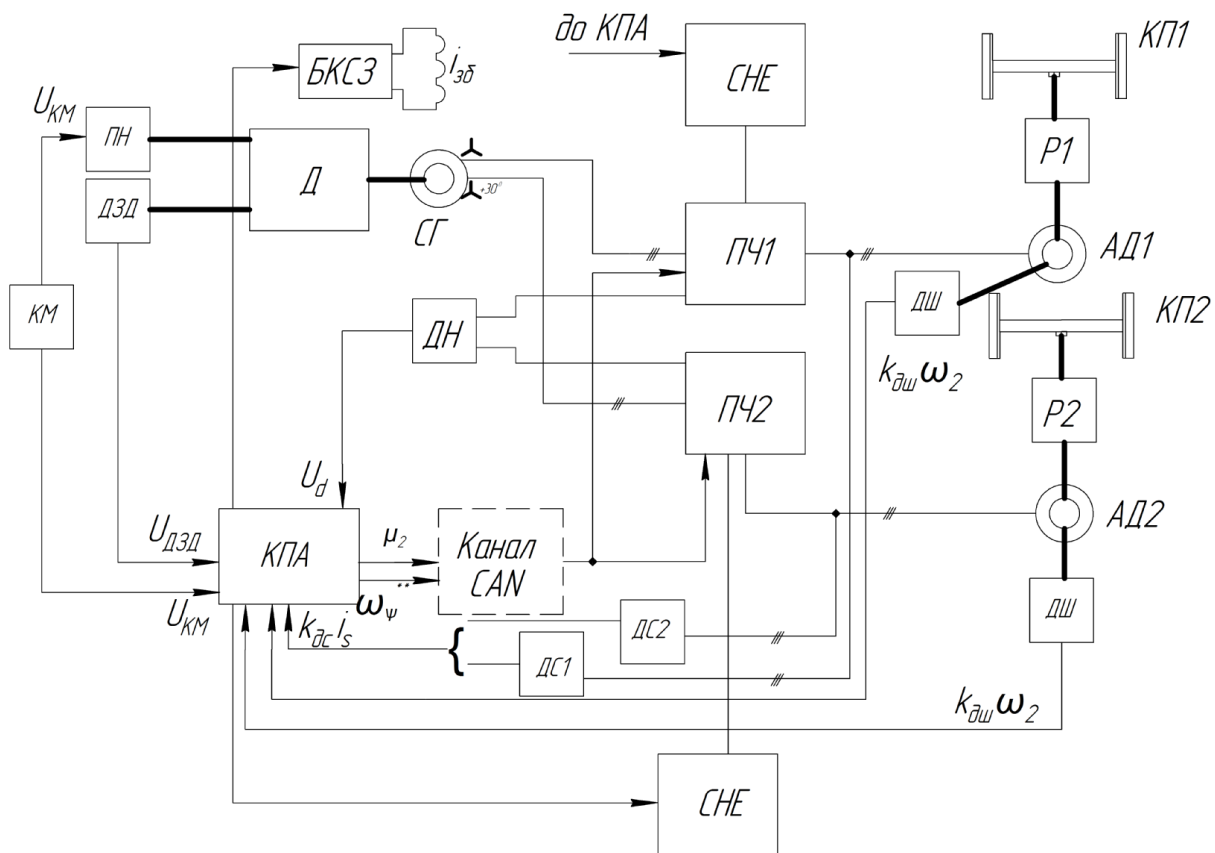


Рис. 2. Узагальнена функціональна схема перспективної тягової електропередачі візка дизель-поїзда ДЕЛ-02

На рис. 2 індексами 1 та 2 позначено відповідні елементи тягової електропередачі візка дизель-поїзда згідно з їх позначенням на рис. 4.11.

Також на рис. 2 позначено СНЕ – систему накопичувача енергії.

В початковий момент часу при нерухомому дизель-поїзді колісні пари заблоковано механічними гальмами. При цьому напруга в шині постійного струму підтримується на рівні 600 В за допомогою роботи дизеля на знижених обертах. Це дозволяє постійно підтримувати роботу перетворювача власних потреб ПВП, на який покладено ряд важливих функціональних завдань навіть при нерухомому дизель-поїзді.

Перетворювач власних потреб містить загальний знижуючий імпульсний стабілізатор і утворює шину 600 В, від якої живляться система обігріву вагонів потужністю до 40 кВт і другорядні споживачі загальною потужністю до 40 кВт (сигналізація, підігрів палива, давачі та ін.).

Вказана силова схема електропередачі і перетворювачів дозволяє поліпшити комфортність дизель-поїзда за рахунок забезпечення постійної напруги в системі опалення та освітлення незалежно від режиму роботи дизеля Д, підвищити ККД.

Підключення перетворювача власних потреб до загальної шини постійного струму дозволяє збільшити міру використання кінетичної енергії при русі дизель-поїзда на вибігу та з уклону, що сприяє зниженню витрат палива.

При появі сигналу завдання від комп'ютера машиніста КМ на рух поїзда формування імпульсів керування ключами АІН відбувається за ШІМ-принципом. При досягненні вихідної напруги АІН рівня 600 В процес формування сигналу керування ключами АІН відбувається за амплітудним принципом.

В такому режимі відбувається робота тягової електропередачі до моменту досягнення в шині постійного струму напруги 1500 В. Після цього в залежності від завдання на швидкість руху дизель-поїзда від КМ, відбувається перехід роботи САК до зони керування з ослабленим потокозчепленням. Зменшення модуля вектора потокозчеплення ротора АД досягається за сталого значення вихідної напруги АІН шляхом подальшого збільшення частоти завдання для тягового АД. При цьому зміна завдання модуля вектора потокозчеплення ротора АД відбувається пропорційно в блоці БФПР на основі сигналу модуляції μ_2 , виробленого КПА.

Активна складова статорного струму тягового АД для систем з АІН рівна повному стру-

му в ланці постійного струму тягового ПЧ і визначається шляхом встановлення давача струму на вході АІН.

Режим тяги з одночасною передачею енергії від ланки дизель – синхронний генератор та ланки накопичувача енергії на приводні колеса через тяговий перетворювач частоти забезпечується шляхом розряду накопичувача енергії НЕ через ПНЕ.

При цьому КПА, отримуючи сигнали з давачів всієї системи тягової електропередачі, регулює роботу ПНЕ таким чином, щоб напруга на статорі тягового двигуна та струм розряду НЕ забезпечували необхідний закон зміни тягової потужності для забезпечення встановленого тягового режиму на даній ділянці перегону.

Режим тяги з використанням енергії тільки від ланки дизель – синхронний генератор на приводні колеса через тяговий перетворювач частоти, забезпечується при закритій системі ПНЕ. В разі надлишку енергії система ПНЕ відкривається і відбувається одночасна передача надлишкової енергії до ланки накопичувача енергії для послідуного її використання за можливості.

В режимі вибігу з одночасним зарядом накопичувача енергії НЕ відбувається керування струмом збудження синхронного генератора у блоці БКСЗ таким чином, щоб забезпечувався оптимальний режим заряду накопичувача.

В режимі рекуперативного гальмування з одночасним переводом дизеля в режим холостого ходу КПА керує системою ПНЕ та гальмівним резистором так, щоб забезпечувався оптимальний режим заряду накопичувача і при цьому забезпечувався необхідний темп гальмування.

Висновки

1. На прикладі електропередачі дизель-поїзда ДЕЛ-02 показано побудову перспективної схеми тягової електропередачі для можливості здійснення рекуперації.

2. В якості активного поглинача енергії можна використати додатковий перетворювач для використання можливості рекуперації енергії. В якості пасивного поглинача енергії можна використовувати резистор, що підключається до конденсатора фільтра через додатковий керований ключ. При цьому, енергія, що розсіюється в резисторі, забезпечує контрольований гальмівний процес шляхом зміни активної складової струму, пропорційно до ковзання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Булгаков А. А. Частотное управление асинхронными электроприводами [Текст] / Булгаков А. А. – М. : Энергоиздат. – 1982. – 216 с.
2. Башарин А. В. Управление электроприводами [Текст] / А. В. Башарин, В. А. Новиков, Г. Г. Соколовский. – Л. : Энергоиздат. Ленингр. отделение, 1982. – 392 с.
3. Дацковский Л. Х. Принципы построения систем регулирования асинхронных электродвигателей с инверторными преобразователями частоты [Текст] / [Л. Х. Дацковский и др.] // Электротехническая промышленность. Электропривод. – 1974. – № 5(31). – с. 28–32.
4. Кулагін Д. О. Проектування систем керування тяговими електропередачами моторвагонних поїздів : монографія [Текст] / Дмитро Олександрович Кулагін. – Бердянськ : ФО-П Ткачук О. В., 2014. – 154 с.
5. Механизация, автоматизация, информатизация, телекоммуникация и связь в отраслях производства : коллективная монография [Текст] / Андриенко П. Д., Кулагин Д. А. и др., [под ред. С. М. Ахметова]. – Новосибирск: издательство «СибАК», 2014. – 156 с.

Надійшла до друку 17.06.2014.

REFERENCES

1. Bulgakov A. A. *Chastotnoe upravlenie asinkhronnymi elektroprivodami* [Frequency control of asynchronous electric drives] / Bulgakov A. A. – M. : Energoizdat. – 1982. – 216 p.
2. Basharin A. V. *Upravlenie elektroprivodami* [Control of electrical drives] / A. V. Basharin, V. A. Novikov, G. G. Sokolovskiy. – L. : Energoizdat. Leningr. otd-nie, 1982. – 392 p
3. Datskovskiy L. X. *Printsipy postroeniya sistem regulirovaniya asinkhronnykh elektrodvigatelyey s invertornymi preobrazovatelyami chastoty* [Principles of construction of systems of regulation of the asynchronous electric motors with inverting frequency converters] / [L. Kh. Datskovskiy i dr.] // *Elektrotekhnicheskaya promyshlennost'. Elektroprivod.* – 1974. – № 5(31). – p. 28–32.
4. Kulagin D. O. *Proektuvannya sistem keruvannya tyagovimi elektropredachami motorvagonnikh poizdiv : monografiya* [Designing of control systems of traction electrical transmission of motorvagonna trains : monograph] / Dmitro Oleksandrovich Kulagin. – Berdyans'k : FO-P Tkachuk O. V., 2014. – 154 p
5. *Mekhanizatsiya, avtomatizatsiya, informatizatsiya, telekommunikatsiya i svyaz' v otraslyakh proizvodstv : kollektivnaya monografiya* [Mechanization, automation, Informatization, telecommunications and communications in the sectors of industry : collective monograph] / Andrienko P. D., Kulagin D. A. i dr., [pod red. S. M. Akhmetova]. – Novosibirsk : izdatel'stvo «SibAK», 2014. – 156 p

Внутрішній рецензент *Гетьман Г. К.*

Зовнішній рецензент *Панасенко М. В.*

В даній статті розглядається побудова та аналіз перспективної схеми тягової електропередачі дизель-поїзда для можливості здійснення рекуперації. Практичну побудову схеми тягової електропередачі розглянуто на прикладі перспективної схеми тягової електропередачі дизель-поїзда ДЕЛ-02. Було розглянуто типovu тягову електропередачу, що містить дизельний двигун, що є первинним джерелом енергії, синхронний генератор, тяговий перетворювач частоти, перетворювач власних потреб, тяговий двигун, перетворювальні пристрої для забезпечення процесу заряд-розряд накопичувального елемента, систему керування. Накопичувач енергії в поєднанні з перетворювальною системою, що забезпечує його роботу, повинен в комбінації з основними елементами тягової електропередачі забезпечувати вказані вимоги до електропередачі поїзда в усіх режимах експлуатації: холостого ходу, тяги з одночасною передачею енергії від ланки дизель – синхронний генератор та ланки накопичувача енергії на приводні колеса через тяговий перетворювач частоти, тяги з використанням енергії тільки від ланки дизель – синхронний генератор на приводні колеса через тяговий перетворювач частоти, вибігу з одночасним зарядом накопичувача енергії, рекуперативного гальмування з одночасним переводом дизеля в режим холостого ходу.

Ключові слова: дизель-поїзд, рекуперація, тягова електропередача, енергоефективність, проектування, конденсаторна установка.

УДК 621.331.33:621.423.24

Д. А. КУЛАГИН, П. Д. АНДРИЕНКО (ЗНТУ)

Запорожский национальный технический университет, ул. Жуковского, 64, 69063, Запорожье, Украина, тел. +38 (066) 236-52-71, эл. почта: nemix123@rambler.ru

ПОСТРОЕНИЕ СХЕМЫ ТЯГОВОЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ МОТОРВАГОННОГО ПОЕЗДА С ВОЗМОЖНОСТЬЮ РЕКУПЕРАЦИИ

В данной статье рассматривается построение и анализ перспективной схемы тяговой электропередачи дизель-поезда для возможности осуществления рекуперации. Практическое построение схемы тяговой электропередачи рассмотрено на примере перспективной схемы дизель-поезда ДЕЛ-02. Была рассмотрена типовая тяговая электропередача, которая содержит дизель, который является первичным источником энергии, синхронный генератор, тяговый преобразователь частоты, преобразователь собственных нужд, тяговый двигатель, преобразовательные устройства для обеспечения процесса заряд-разряд накопительного элемента, систему управления. Накопитель энергии в объединении с преобразовательной системой, которая обеспечивает его роботу, должен в комбинации с основными элементами тяговой электропередачи обеспечивать указанные требования к электропередаче поезда во всех режимах эксплуатации: холостого хода, тяги с одновременной передачей энергии от звена дизель – синхронный генератор и звена накопителя энергии на приводные колеса через тяговый преобразователь частоты, тяги с использованием энергии только от звена дизель – синхронный генератор на приводные колеса через тяговый преобразователь частоты, выбега с одновременным зарядом накопителя энергии, рекуперативного торможения с одновременным переводом дизеля в режим холостого хода.

Ключевые слова: дизель-поезд, рекуперация, тяговая электропередача, энергоэффективность, проектирование, конденсаторная установка.

Внутренний рецензент *Гетьман Г. К.*

Внешний рецензент *Панасенко Н. В.*

UDC 621.331.33:621.423.24

D. O. KULAGIN, P. D. ANDRIENKO (ZNTU)

Zaporizhzhya national technical University, street Zhukovsky, 64, 69063, Zaporizhzhya, Ukraine, phone +38 (066) 236-52-71, e-mail: nemix123@rambler.ru

A SCHEME OF TRACTION POWER EMU-TRAIN WITH THE POSSIBILITY OF RECOVERY

This article discusses the construction and analysis of perspective schemes of traction power diesel trains for the purpose of recuperation. A practical scheme of traction power transmission considered by the example of promising schemes diesel train DEL-02. Was considered the typical traction transmission, which includes diesel, which is a primary source of energy, synchronous generator, traction inverter, Converter own needs, traction motor, Converter device for implementation of the process of charge-discharge cumulative element management system. The store of energy in Association with the inverter system, which gives the robot should in combination with the basic elements of traction power to provide these requirements to the transmission of a train in all modes of operation: idle thrust with simultaneous transfer of energy from the link diesel synchronous generator and link the drive power to the drive wheels traction through a frequency Converter, the thrust of using energy only from the level of diesel synchronous generator on the drive wheels traction through a frequency Converter, run with simultaneous charge of energy storage, regenerative braking with simultaneous translation diesel at idle.

Keywords: diesel train, recuperation, traction transmission, power efficiency, design, condenser installation.

Internal reviewer *Getman G. K.*

External reviewer *Panasenko M. V.*