

Выводы и направления дальнейших исследований. Анализ полученной гистограммы, а также установленный коэффициент корреляции Пирсона $R_{R,C} = -0,566$ для всего рабочего диапазона емкости изоляции свидетельствует об обратной средней взаимосвязи между емкостью и активным сопротивлением изоляции сетей железорудных шахт.

Полученные и приведенные выше данные об электрических параметрах сетей необходимо принять в качестве исходных при разработке эксплуатационно – технических требований к УЗО, применяемых в железорудных шахтах.

Список литературы

1. Розен В.П. Оцінювання енергоефективності електроспоживання вугільних шахт [Текст] / В.П. Розен, Л.В. Давиденко, В.І. Волинець // Підвищення рівня ефективності енергоспоживання в електротехнічних пристроях і системах: Матеріали IV-ої міжнародної науково-технічної конференції – Луцьк: РВВ ЛДТУ, 2012. – С. 130 – 132.
2. Пархоменко Р.А. К вопросу оценки процесса электропотребления горнорудных предприятий в условиях неопределенности и неполноты информации [Текст] / Р.А. Пархоменко, А.Н. Яловая, М.А. Баулина // Электромеханические та энергетические системы, методы моделирования та оптимізації: Збірник матеріалів конференції Міжнародної 3 науково-технічної конференції молодих учених і спеціалістів. – Кременчук: КрНУ, 2013. – С.190-191.
3. Messner S. MESSAGE- MACRO: linking an energy supply model with a macroeconomic module and solving it iteratively / S. Messner, L. Schattenholzer // Energy. – 2000. – N 25. – P. 267 – 285.
4. Праховник А.В. Энергосберегающие режимы электроснабжения горнодобывающих предприятий / А.В. Праховник, В.П. Розен, В.В. Дегтярев // М.: Недра, 1985 - 232 с.
5. Олейников В.К. Анализ и планирование электропотребления на горных предприятиях / В.К. Олейников // М.: Недра, 1983. – 192 с.
6. Айвазян С. А. Прикладная статистика. Классификация и снижение размерности / С. А. Айвазян, В.М. Бухштабер, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин // М.: Финансы и статистика, 1989.— 607 с.
7. Parkchomenko R. Dynamics appraisal of electrical energy consumption process of iron ore mines in conditions of indeterminacy and insufficiency of information [Electronic source] / R.O. Parkchomenko // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – № 2. – P. 332–335. Access mode: http://www.metaljournal.com.ua/assets/MMI_2014_6/MMI_2015_2/051-Parchomenko.pdf
8. Синчук И.О. Потенциал электроэнергоэффективности и пути его реализации на производствах с подземными способами добычи железорудного сырья. Монография / И.О. Синчук, Э.С. Гузов, А.Н. Яловая, С.Н. Бойко // под ред. докт. техн. наук, профессора О.Н. Синчука. – Кременчук: Изд. ЧП Щербатых А.В. – 2015. – 296 с.
9. Синчук О.Н. Оценка состояния и определения тактики повышения эффективности работы участковых подстанций железорудных шахт / О.Н. Синчук, С.Н. Лесной, Р.А. Пархоменко, А.Н. Яловая // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. – Кіровоград, 2012. – Випуск 25, частина II. – С.248 – 254.
10. Розен В.П. Моделирование энергетических режимов энергоемких потребителей железорудных шахт / В.П. Розен, Э.С. Гузов, Р.О. Пархоменко // Научно-технический сборник «Гірничий вісник». Випуск №97, – Кривий Ріг: 2014. – С.176 – 180.
11. Пархоменко Р.О. Підвищення ефективності електропостачання у шахтних мережах як один із шляхів підвищення конкурентоспроможності продукції / Р.О. Пархоменко, О.В. Аніськов // Збірник тез доповідей II міжнародної науково-технічної та навчально-методичної конференції «ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ: СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ – REMS'15»/ Київ: Національний технічний університет України «КПІ», 2015.-

Рукопись поступила в редакцию 26.04.16

УДК 621.316.925:622.82

Е.С. ГУЗОВ, канд.техн. наук, проф, І.О. СІНЧУК, канд.техн.наук, доц.,
Д.О. КАЛЬМУС, асистент, М.І. ЛАГОДА, магістрант
Криворізький національний університет

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОГО ГАЛЬМУВАННЯ ТЯГОВИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ РУДНИКОВИХ ЕЛЕКТРОВІЗІВ

У статті розглянуто способи гальмування рудникових електровозів з електроприводом постійного струму. Відзначено актуальність та необхідність пошуку рішень щодо підвищення ефективності електричного гальмування рудникових електровозів. Встановлено, що область застосування останнього обмежена умовою самозбудження тягових двигунів, що в свою чергу ускладнює процес гальмування необхідністю застосовувати додаткові елементи з метою ініціації струму збудження. Виходячи з умови самозбудження двигунів було проведено аналіз найбільш поширених схемних рішень тягових електроприводів, виділено основні елементи, що входять до таких схем, та складено узага-

льнену структуру тягового електропривода з імпульсним регулятором. Розглянуто можливі варіанти спільного використання режиму електродинамічного гальмування і противмикання тягових двигунів. Відзначено проблеми, які виникають при такому способі гальмування. Складено рекомендації щодо застосування режимів гальмування. Визначено основні функції, які має виконувати алгоритм ефективного гальмування. Зазначено, що головним завданням є забезпечення широкого діапазону застосування та запобігання відмовам системи електричного гальмування.

Ключові слова: гальмування, електровоз, противімкнення, тяга, електромеханічні характеристики

Проблема та її зв'язок з практичними завданнями. Найбільш широко на усіх типах електровозів використовуються електричні двигуни постійного струму (ТЕД ПС) послідовного збудження, які мають достатньо високий к.к.д., раціональні для цілей тяги електромеханічні характеристики, які дозволяють здійснювати регулювання частоти обертання якоря ТЕД ПС відносно простими засобами [1].

Найбільш ефективним з яких являється імпульсне регулювання [2]. Але, разом з тим, при застосуванні імпульсних систем, залишається не вирішеним ряд актуальних задач [3,4]. Одною з яких є підвищення ефективності процесу електричного гальмування [3].

Аналіз досліджень та публікацій. Досить ефективним видом електричного гальмування тягових двигунів постійного струму послідовного збудження тягових електроприводів рудникових електровозів як з реостатним способом керування рівнем напруги на затискачах двигуна, так і імпульсному є електродинамічне [5]. Однак область його дії обмежена, та визначається умовами самозбудження двигунів [6-8]. Однією з таких умов є збільшення залишкового магнітного потоку двигуна, а іншою те, що швидкість обертання повинна перевищувати критичне значення, при якому гальмування двигунів не наступає. І якщо виконання першої умови не викликає труднощів, і, як правило, забезпечується доволі простими схемними рішеннями, то для виконання другої умови намагаються різними методами зменшити значення критичної частоти обертання.

Постановка завдання. Метою роботи є обґрунтування структури алгоритму ефективного гальмування тягових електроприводів постійного струму рудникових видів контактних електровозів.

Викладення матеріалу та результати. Виходячи з поставлених умов, авторами проведено аналіз найбільш поширених структур тягових електроприводів. Як було зазначено вище, перша умова самозбудження двигуна забезпечується схемними рішеннями. Звідси можна виділити дві, найбільш розповсюджені структури: з реверсуванням обмотки якоря (збудження) та без реверсування [6]. Окремо треба зазначити, що реверсування обмотки збудження не є бажаним, оскільки виникає можливість розмагнічення останньої, та у зв'язку з цим суттєво підвищується вірогідність зриву гальмування. Тому структури з реверсором обмотки якоря знайшли більше розповсюдження [4].

При роботі електропривода з частотою обертання близькою до критичного значення та нижче, застосовують ініціацію струму збудження від додаткового джерела живлення, наприклад, акумуляторної батареї або за рахунок; енергії заряду конденсатора, що прискорює процес збудження та підвищує надійність електричного гальмування.

Існують також схеми, в яких є можливість живлення обмотки збудження від джерела на період гальмування. Але для таких рішень характерним є складність їх реалізації, тому вони потребують суттєвого вдосконалення [3].

З практичної точки зору для рудникових електровозів можна виділити такі види гальмування, як електричне, механічне та комбінація цих способів.

У свою чергу найбільш поширені методи електричного гальмування це противмикання та динамічне гальмування. Комбінація методів гальмування припускає чергування режимів з регулюванням часу їх тривалості.

Так в схемі (рис.1) для досягнення поставленої меті в силову частину електропривода введенні елементи стимуляції гальмівних режимів ТД-VD1, С. Необхідне збудження двигуна, при переводі його в гальмівний режим, створюється за допомогою реверса струму якорної обмотки і включення двигуна на гальмівний резистор R. Імпульс на збудження ТД подається за рахунок енергії заряду конденсатора С по ланцюгу: С-КМ2-ЛМ-М-R-С.

До недоліків розглянутої схеми слід відвести залежність часу дій і величину начального імпульсу струму, який створюється при переводі ТД в гальмівний режим, від напруги живлен-

ня; можливість самостійного розряду конденсатора С через струми втрат схемі і самого конденсатора С при тривалому часі відсутності напруги на струмоприймачах електропривода РЕ.

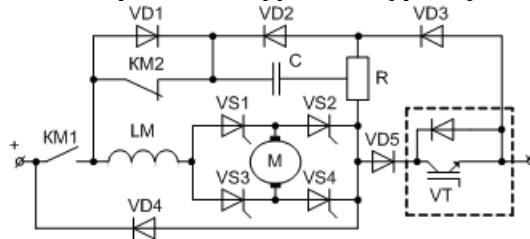


Рис. 1. Схема тягового ЕП з елементами стимуляції гальмівних режимів

Схема (рис. 2) не містить силових елементів, а самозбудження двигуна при переході в гальмівний режим здійснюється шляхом короткочасного замикання тиристора VS перед вимиканням контактора KM.

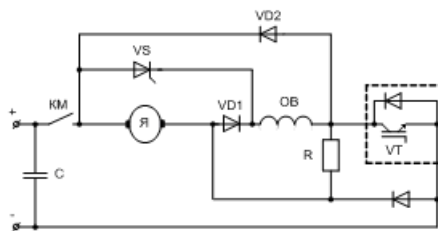


Рис. 2. Схема тягового ЕП с переходом в гальмівний режим без реверсу обмоток

Також, в якості можливих варіантів структури тягового електроприводу, можна розглянути перетворювач з дворівневим регулюванням напруги при послідовно-паралельному з'єднанні тягових електричних двигунів.

Таке включення імпульсного перетворювача має взаємопов'язані ланцюга управління двома тяговими двигунами електровоза. Електропривод може працювати в тяговому або гальмівному режимі.

У тяговому режимі в процесі імпульсної комутації тягові двигуни переключуються на протязі кожного періоду з послідовного на паралельне з'єднання. Перемикання відбувається в наступній послідовності.

На першому рівні регулювання напруги двигуни з'єднуються послідовно і до кожного двигуна прикладається імпульс напруги рівний половині номінального. За рахунок широтно-імпульсної модуляції напруга на двигунах на першому рівні регулюється від нуля до напруги, який дорівнює половині номінального.

Іноді для ініціації гальмівних режимів ТД практикується додаткове харчування обмоток збудження від акумуляторної батареї. Така постановка вирішення питання дозволяє отримати стабільні гальмівні характеристики незалежно від початкової швидкості гальмування. Однак, при цьому виникає необхідність спеціального догляду за схемою збудження, пов'язаному зі специфікою експлуатації акумуляторних батарей.

Аналізуючи розглянуті вище схемні рішення, слід також відзначити, що всі вони характеризуються загальним і важливим недоліком, - потребою в додаткових силових елементах або настройках, необхідних для досягнення поставленої мети.

Аналіз схем тягових електроприводів рудникових електровозів дозволив скласти узагальнену структуру тягового електроприводу з імпульсним регулюванням (рис. 3) до якої входять: двигун Д, його обмотка якоря та збудження відповідно Я, LM; імпульсний регулятор ІР з силовим ключем VT; джерело живлення ДЖ; реверсор Р, що містить ключі VS1-VS4; блок гальмування, до якого входять керований ключ VS5 та некеровані VD1, VD2; блок резисторів БР з щаблями реостата а, b, с та контактами прискорення, рушійного режиму та режиму гальмування відповідно 1, 2, KM1, KM2.

Розглянемо можливі варіанти спільного використання режиму електродинамічного гальмування ТЕД ПС і противмикання. Імпульсне керування тяговим електроприводом дозволяє здій-

снити почергово-паралельне застосування відзначених режимів, а також послідовне їхнє використання.

Реалізація паралельного застосування режимів гальмування здійснюється включенням і вимиканням елементу ініціації (керованого ключа), при цьому через діод VD2 утворюється контур динамічного гальмування при виключеному керованому ключі, з відповідно введеним опором блоку резисторів. А при зачиненому утворюється контур режиму проти-вмикання. Для забезпечення максимального струму з кола гальмування виключається додатковий опір.

В умовах відкочування рудниковими контактними електровозами, у силу ряду причин, можлива зміна електричного опору між струмознімачем електровозу й контактним дротом від мінімального до нескінченно великого. Тому розглянута комбінація режимів гальмування ТЕД ПС у системі керування контактним рудниковим електровозом не буде досить ефективною, тому що виникають труднощі при реалізації контуру противмикання при порушенні нормальних умов струмознімання.

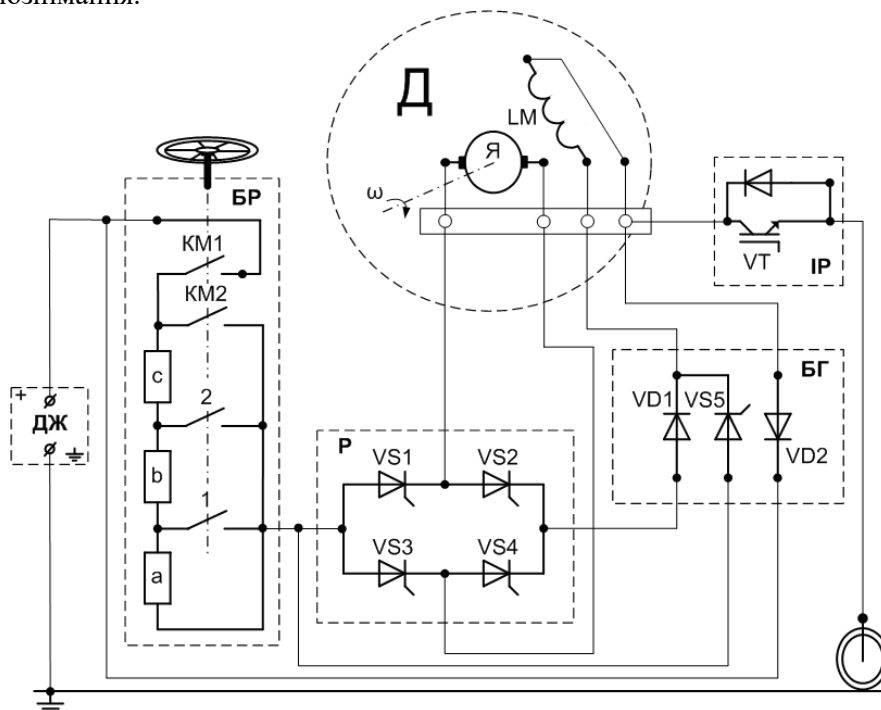


Рис. 3. Узагальнена структура тягового електропривода з імпульсним регулюванням.

У даній ситуації більш ефективно послідовне застосування окремих видів електричного гальмування. На першій стадії гальмування рудничного електровозу доцільно ініціювати струм двигунів від основного джерела живлення. На другій стадії реалізується імпульсне електродинамічне гальмування тягових двигунів, коли при включеному керованому ключі утворюється контур динамічного гальмування без додаткового опору у колі, а при виключеному ключі контур динамічного гальмування з додатковим опором. На кінцевому етапі гальмування рудничного електровозу, коли режим електродинамічного гальмування ТЕД ПС малоефективний доцільно максимально використовувати можливості противмикання тягових двигунів разом з механічним гальмуванням, при необхідності.

Проведений аналіз узагальної структури тягового електропривода дозволив виділити основні функції, які має виконувати алгоритм ефективного електричного гальмування:

- управляти процесом електричного гальмування у всій діапазоні швидкості рудникових електровозів (включаючи зону ослаблення поля й зону зменшення струму якоря тягових двигунів для обмеження напруги між колекторними пластинами);

- у процесі руху рудникових електровозів прогнозувати й запобігати відмовам системи електричного гальмування через можливі відхилення напруги мережі живлення від номінального значення;

- переведення тягових двигунів у відповідний режим електричного гальмування, що є максимально ефективним у конкретних умовах процесу гальмування рудникових електровозів;

регулювання гальмового струму тягових двигунів за умовами зчеплення залежно від заданого уповільнення;

обмеження струму гальмування в ланцюгах тягового електроприводу при перевантаженнях.

Висновки та напрямки подальших досліджень. З аналізу результатів роботи, можна зробити висновок, що імпульсне керування тяговим електроприводом дозволяє здійснювати комбінацію режимів гальмування, що підвищує ефективність електричного гальмування рудникових електровозів вцілому. При цьому виникає необхідність у створенні алгоритму ефективного гальмування електропривода тягових двигунів рудникового електровозу, також визначено, що основні функції, які він має виконувати є забезпечення широкого діапазону застосування та запобігання відмовам системи електричного гальмування.

Список літератури:

1. **Вологтковский С.А.** Рудничная электровозная тяга. –М.: Недра, 1981. – 389 с.
2. **Синчук О.Н.** Комбинаторика преобразователей напряжения современных тяговых электроприводов рудничных электровозов / О.Н. Синчук, И.О. Синчук, Н.Н. Юрченко, А.А. Чернышов, О.А. Удовенко, О.В. Пасько, Э.С. Гузов. Научное издание. – Київ: ІЕДНАНУ, 2006. – 252с.
3. **Синчук О.Н., Чумак В.В., Ершов О.В.** Импульсные системы управления и защита на рудничном электровозном транспорте. Монография – АДЕФ – Украина, 1998. – 280 с.
4. **Синчук О.Н.** Шахтный электровозный транспорт. Теория, конструкции, электрооборудование / О.Н. Синчук, Э.С. Гузов, В.Л. Дебелый, Л.Л. Дебелый; под ред. докт. техн. наук, проф. О.Н. Синчука. – Кривой Рог - Донецк: ЧП Щербатых А. В., 2015. – 296 с.
5. **Тихменев Б.Н., Трахтман Л.Н.** Подвижный состав электрифицированных железных дорог. - М.: Транспорт, 1980. - 471 с.
6. **Зеленов А.Б.** Теория электропривода. Часть 1. Алчевск: ИПЦ «Ладо», ДонГТУ, 2005.
7. **Алексеев Н.И.** Оптимизация систем электрической тяги в подземных выработках шахт. - М.: Недра, 1979. - 252 с.
8. **Гаврилов Я.И., Мнацаканов В.А.** Вагоны метрополитена с импульсными преобразователями. - М.: Транспорт, 1986. - 229 с.

Рукопис подано до редакції 14.03.16

УДК 621.316.925:622.82

Д. О. КАЛЬМУС, асистент, І. І. КОВАЛЕНКО, студент
Криворізький національний університет

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО ПРИВОДА РУДНИКОВОГО КОНТАКТНОГО ЕЛЕКТРОВОЗА ЗАСОБАМИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

Тяговий електропривод рудникового контакторного електровоза має ряд проблем з надійністю роботи. Зокрема постає питання про підвищення функціонування контактних рудникових електровозів при порушеннях нормальних умов живлення. В теперішній час є ряд рішень спрямованих на забезпечення безаварійного функціонування електроприводу при зниженні або зникненні напруги живлення, розроблені системи координуючі інтервал часу формування замикаючих і відкриваючих імпульсів. Але даний варіант підвищення надійності не захищає від помилкових імпульсів перешкод. Так при відхиленні від номінальних значень або навіть зникненні напруги живлення можуть виникати аварійні режими. Метою даного способу є підвищення надійності роботи тягових електроприводів контактних електровозів засобами системи керування. Зникнення напруги живлення є найбільш несприятливою ситуацією. При цьому зі зменшенням напруги конденсатора від якого живиться система керування виникають імпульсні перешкоди в результаті відбувається перемикання імпульсної апаратури. Інформація про перемикання контакторів надходить на керуючий вхід, змінюючи в сторону зменшення його вихідну напругу за допомогою чого здійснюється контроль співвідношення величини напруги пропорційного пульсаціям струму і напруги пропорційного рівню їх обмеження. При перевищенні струмом цього рівня, і при відсутності процесу перезарядження конденсатора, а також якщо струм в силовому ланцюзі двигуна наростає, то формується позачерговий імпульс на відмикання ключа. Якщо імпульс перешкоди виникає в керуючому ланцюзі в період закритого стану ІР, струм двигуна починає наростати. Таким чином оперативно розпізнається порушення нормального режиму роботи ІР на ранній стадії. При цьому також формується позачерговий коригувальний імпульс. Тому, в разі зникнення напруги в мережі живлення струм