

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

розряду конденсатора вхідного фільтра, під час створення ініціюючого гальмівного струму, не перевищує заданого рівня. З метою запобігання аварійних ситуацій, що можуть виникнути при тривалих зникненнях напруги живлення на струмознімачі транспортного засобу, необхідно зберігати керованість електроприводу при порушенні нормального режиму живлення. Для чого під час зникнення напруги живлення, режим роботи системи управління повинен вибиратися автоматично, виходячи з умов руху характеру зміни рівнів напруги на струмознімачі і конденсаторі.

Ключові слова: надійність, контактний електровоз, електропривод, система керування, гальмування

Проблема та її зв'язок з практичними завданнями. В теперешній час незважаючи на велике різноманіття існуючих способів і пристроїв, що підвищують ефективність функціонування контактних рудникових електровозов питання надійної роботи останніх при порушеннях нормальних умов струмознімання мало опрацьований. Тому актуальним є напрямок раціонального використання технічних можливостей електрообладнання електровозу для запобігання аварійних режимів при збереженні керованості транспортного засобу. Зокрема накопичувальних конденсаторів вхідного фільтра, наприклад, використання їх в якості джерела живлення акумуляторної енергії обертових ТД в короткочасних гальмівних режимах.

Аналіз досліджень та публікацій. При роботі рудникового електровозу можливі відхилення напруги живлення від номінального значення, в зв'язку з чим, при виконанні певних умов, можуть відбуватися передумови виникнення аварійних режимів, що знижують ефективність роботи електровоза. В даний час є ряд рішень, спрямованих на забезпечення безаварійного функціонування електроприводу в умовах знижень і зникнення напруги живлення. Це установка на електровозах спеціальних генераторів напруги, гальмування тягових двигунів при порушенні нормального режиму живлення, застосування контактної-акумуляторних електровозов.

Так розроблені системи координуючі інтервал часу формування замикаючих і відкриваючих імпульсів кожен період роботи. До недоліків систем управління, побудованих за таким принципом, слід віднести відсутність захисту від помилкових імпульсів перешкод, а також неможливість регулювання частоти імпульсним регулятором щодо раціонального закону. Відомі пристрої, в яких при зникненні напруги в мережі живлення перешкоджають черговим імпульсам системи управління надходити на керуючі електроди. Однак, такі пристрої не можуть автоматично підтримувати робочий режим електроприводу при зникненні напруги в мережі живлення. В цьому випадку для забезпечення працездатності електроприводу при повторній появі напруги необхідно починати регулювання з нуля. З метою підтримки робочого режиму керування електроприводом при короткочасних зниканнях напруги живлення, в ряді систем використовується енергія заряду конденсатора вхідного фільтра для збереження працездатності управління. Недоліком таких пристроїв є неможливість підтримки робочого режиму при тривалих порушеннях нормальних умов струмознімання. В результаті цього електропривод стає некерованим, виключається можливість переключення електроприводу в режим гальмування, а в разі потреби екстреного гальмування може привести до аварійної ситуації і є неприпустимим.

Таким чином, відмічені шляхи вирішення цього завдання не є достатньо ефективними, тому що для досягнення поставленої мети вимагають застосування додаткового електрообладнання, а в деяких випадках ведуть до зниження продуктивності електровозної відкатки.

Постановка завдання. Провести аналіз можливості запобігання аварійних ситуацій і підвищення надійності роботи тягових електроприводів контактних електровозов засобами системи управління.

Викладення матеріалу та результати. Зникнення напруги в мережі живлення найчастіше відбувається під час переходу електроприводу в режим гальмування, і є найбільш несприятливою ситуацією. При цьому, одночасно зі зменшенням напруги на конденсаторі, від якого в даному випадку живиться вся система управління, виникають імпульсні перешкоди, які є результатом перемикання комутаційної апаратури. У зв'язку з цим на час перемикання силових контакторів режиму тяги і режиму гальмування, в перебігу якого відбувається процес створення ініціюючого гальмівного струму, автоматично зменшується рівень максимальних пульсацій струму. Інформація про переключення контакторів надходить на керуючий вхід, змінюючи в сторону зменшення його вихідну напругу, котра є опорною. За допомогою чого здійснює 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 розряду конденсатора вхідного фільтра, під час створення ініціюючого гальмівного струму, не перевищує заданого рівня. З метою запобігання аварійних ситуацій, що можуть виникнути при тривалих зникненнях напруги живлення на струмознімачі транспортного засобу, необхідно зберігати керованість електроприводу при порушенні нормального режиму живлення. Для чого під час зникнення напруги живлення, режим роботи системи управління повинен вибиратися автоматично, виходячи з умов руху характеру зміни рівнів напруги на струмознімачі і конденсаторі.

Поставлена мета досягається за рахунок виконання системою управління наступних операцій:

контроль напруги U_{mc} на струмознімачах електроприводу;

контроль напруги U_{cf} на конденсаторі C_f ;

контроль швидкості обертання ТД;

формування дозволяючого впливу на роботу ТД електроприводу в режимі тяги при наявності напруги на конденсаторі C_f де верхнього контрольованого рівня U_1 , а також при зниженні напруги на конденсаторі U_{cf} нижче рівня U_2 , якщо напруга в контактній мережі перевищує другий (нижній) контрольований рівень U_2 , де U_2 - напруга нижче якого система вразлива працює не в режимі;

формування керуючого впливу на перехід ТД в режим вільного вибігу при зниженні напруги U_{mc} нижче рівня U_2 , напруги U_{cf} , до рівня U_1 ;

використання енергії заряду конденсатора C_f для збереження працездатності системи управління;

формування керуючого впливу на переключення ТД електроприводу в режим електродинамічного гальмування при зниженнях напруги U_{cf} до рівня U_2 ;

формування заборони впливу на переключення ТД в режим електродинамічного гальмування при зниженнях напруги на конденсаторі C_f до рівня U_2 , якщо їх швидкість обертання дорівнює або близька до нуля;

заряд конденсатора C_f , в режимі гальмування за рахунок е.р.с. ТД;

повернення ТД в режим вільного вибігу після заряду конденсатора C_f до напруги вище рівня U_1 , в разі якщо напруга U_{mc} не відновилося вище рівня U_2 ;

формування керуючого впливу на переключення ТД в режим тяги при заряді конденсатора C_f до напруги вище рівня U_1 , в разі якщо напруга U_{mc} відновилося вище рівня U_2

При виникненні тривалих зникнень напруги мережі живлення, час роботи електроприводу в режимі вільного вибігу, після чергових підзарядів конденсатора C_f в режим гальмування, залежить від ємності конденсатора C_f і інтервалу напруги U_1 і U_2 . Але так як відповідно до логіки роботи вказано способу, значення рівня U_1 має вибиратися нижче номінального рівня напруги мережі живлення, інтервал напруги $U_1 \div U_2$ називається обмеженням як по верхньому, так і по нижньому рівню.

У зв'язку з цим для реалізації зазначеного способу виникає потреба у використанні конденсатора C_f з великою ємністю, необхідної для накопичення достатньої кількості заряду, що забезпечує роботу схеми управління електроприводу в режимі вільного вибігу при відсутньому напрузі мережі живлення. Щоб збільшити час вільного вибігу, не вдаючись до істотного збільшення габаритів конденсатора C_f , доцільно автоматично змінювати значення першого контрольованого рівня U_1 в бік збільшення, при переході електроприводу в гальмівний режим.

Після заряду конденсатора C_f в режимі гальмування, до збільшеного значення першого контрольованого рівня U_1 , цього контрольованому рівню привласнюють попереднє значення.

Таким чином, якщо виконуються логічні умови $U_{cf} > U_1$ та $U_{c3} > U_2$, що дозволяє роботу імпульсного регулятора ІР.

При зниженні напруги U_{cf} на конденсаторі вхідного фільтра та виконанні логічних умов $U_1 \geq U_{cf} > U_2$ та $U_{c3} > U_2$ ТД продовжують працювати в руховому режимі. Коли напруга U_{cf} знижується до рівня U_1 , та після виконання логічного умови $U_1 \geq U_{cf} > U_2$ та $U_{c3} \leq U_2$ ТД переходять в режим вільного вибігу.

Після подальшого зниження U_{cf} і виконанні умов $U_{cf} \leq U_2$ та $U_{c3} \leq U_2$ система керування переводить силову схему в режим гальмування. Після закінчення перевинятків в силовій схемі формується керуючий вплив на дозвіл роботи ІР.

Після заряду конденсатора C_f в режимі електродинамічного гальмування до рівня U_{1y} і виконанні умови $U_{c3} < U_2$, ТД переводяться в режим вільного вибігу.

Процес повторюється поки напруга U_{c3} не перевищить рівень U_2 або не відбудеться зупинка електровоза.

Якщо електровоз знаходиться в нерухомому стані і виникають всілякі зміни напруг U_{c3} , U_{cf} з тахогенератора надходить сигнал що забороняє роботу.

Таким чином виконання системою управління вище описаних операцій дозволяє підвищити надійність керування електроприводом, зберегти його керованість при тривалих зникнення напруги на струмознімачах рудникового електровозу. При цьому збільшується час вільного вибігу тягового двигуна, в перебігу якого він може перейти, при необхідності, в режим екстреного гальмування або автоматично перейти в руховий режим після відновлення напруги U_{c3} .

Запропонована система рис. 1 має ряд оригінальних технічних рішень. Створено комплекс захистів, що запобігають аварійним режимам внаслідок порушення струмознімання, різких змін напруги, імпульсних перешкод, що дозволяє виключити найбільш небезпечний режим ІР без ускладнення силовій схеми.

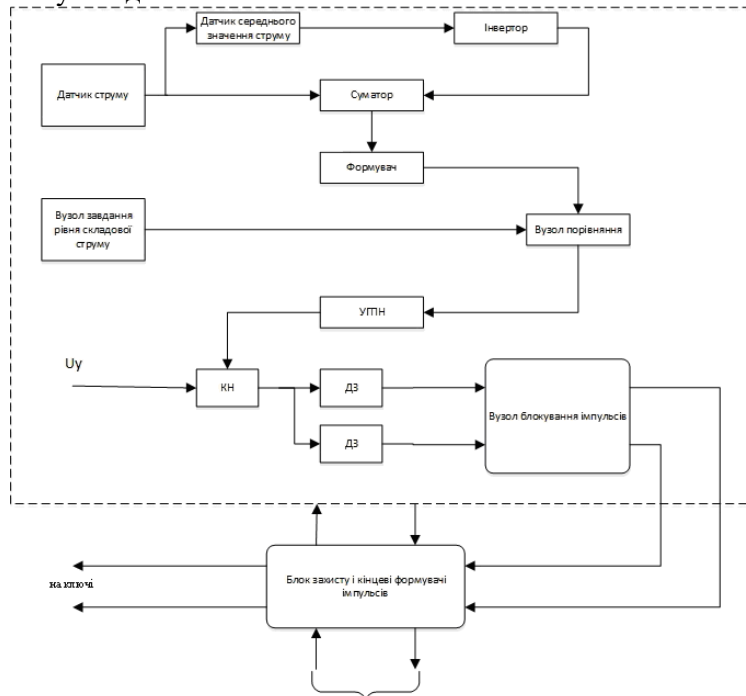


Рис. 1. Структурна схема системи управління імпульсним регулятором

Однією з особливостей системи управління являється застосування широтного способу регулювання з частотою, що змінюється. Частота комутації ІР змінюється автоматично, завдяки чому пульсації струму в двигуні підтримуються на заданому рівні. Це дозволяє в кілька разів зменшити додаткові втрати в двигунах від пульсацій струму при одночасному збільшенні діапазону регулювання.

Така структура дозволяє виконувати такі функції:

забезпечувати перемикання силовій схеми електроприводу в відповідний режим (тяга або гальмування);

при переході електроприводу в режим електродинамічного гальмування дозволяє сформувати напругу управління U_y СУ відповідно до початкових умовами гальмування;

при переході від гальмівного режиму в руховий здійснює швидкий скидання напруги управління СУ до мінімального значення;

здійснює блокування керуючих імпульсів СУ під час перемикання комутаційної апаратури і в період формування необхідного початкового значення напруги завдання;

дозволяє реалізувати силову схемою стимуляцію режиму електродинамічного гальмування ТД шляхом створення початкового струму в обмотках двигуна від основного джерела живлення.

Якщо при переході електроприводу в гальмівний режим U_y достатньо велике СУ забезпечує швидке його зниження до необхідного за початковими умовами гальмування, та забезпечує обмеження ініційованого струму на заданому рівні, поки повністю не збирається схема гальмування.

Більш прийнятний в даному випадку спосіб широтно-імпульсного регулювання напруги з обмеженням верхнього рівня пульсацій струму. При цьому імпульси системи управління із за-

даною шпаруватістю надходять на керуючі електроди. Після наростання струму в обмотці збудження до значення обмеження $I_{ог}$ система управління формує позачергові імпульси, що надходять до регулятора. Виникають позачергові замикання силового ключа.

Таким чином система управління робочими режимами електроприводу дозволяє обмежувати на заданому рівні початковий гальмівний струм ТД.

Висновки та напрямки подальших досліджень. При роботі рудникового електровозу можливі відхилення напруги живлення від номінального значення, в зв'язку з чим, можуть відбуватися передумови виникнення аварійних режимів, що знижують ефективність роботи рудникового електровозу.

В даний час є ряд рішень, спрямованих на забезпечення безаварійного функціонування електроприводу в умовах знижень і зникнень напруги живлення. Це установка на електровозах спеціальних генераторів напруги, гальмування тягових двигунів при порушенні нормального режиму живлення, застосування контактної-акумуляторних електровозів.

Недоліком таких пристроїв є неможливість підтримки робочого режиму при тривалих порушеннях нормальних умов струмознімання. В результаті цього електропривод стає некерованим, виключається можливість переключення електроприводу в режим гальмування, а в разі потреби екстреного гальмування може привести до аварійної ситуації і є неприпустимим.

Список літератури

1. **Волотковский С.А.** Рудничная электровозная тяга. -М.: Недра, 1981. - 389с.
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: ІЕДНАУ, 2006. – 252с.
3. **Тихменев Б.Н., Трахтман Л.Н.** Подвижный состав электрифицированных железных дорог. - .М.: Транспорт, 1980. - 471 с.
4. **Алексеев Н.И.** Оптимизация систем электрической тяги в подземных выработках шахт. - М.: Недра, 1979. - 252 с.
5. **Синчук О.Н., Чумак В.В., Ершов О.В.** Импульсные системы управления и защита на рудничном электровозном транспорте. Монография – АДЕФ – Україна, 1998. – 280 с.
6. **Якимец С.Н.** Структура та режими функціонування тягового електротехнічного комплексу двохосових електровозів: автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. Кременчуг. – 2011.
7. **Проценко Д.** Підвищення енергоефективності керування тяговим двигуном рухомого складу міського електротранспорту/ Дмитро Проценко, Вадим Чуба // Современные информационные технологии на транспорте, в промышленности и образовании. – Дніпропетровськ, 2010. – С. 18.
8. **Гаврилов Я.И., Мнацаканов В.А.** Вагоны метрополитена с импульсными преобразователями. - М.: Транспорт, 1986. - 229 с.

Рукопис подано до редакції 28.03.16

УДК 622.7: 658.562

А.И.САВИЦКИЙ, канд. техн. наук, доц., М.А. ТИМОШЕНКО, аспирант
Криворожский национальный университет

УПРАВЛЕНИЕ ГИДРОЦИКЛОНОМ ВТОРОЙ СТАДИИ РУДОИЗМЕЛЬЧЕНИЯ

Основными направлениями достижения экономического эффекта в обогащении железной руды является увеличение производительности технологических агрегатов и повышение качества получаемого продукта, что требует комплексной автоматизации обогатительных процессов. Управление обогатительным комплексом требует значительных затрат – дорогостоящего измерительного оборудования и значительных вычислительных мощностей. Кроме того, процесс обогащения железной руды целесообразно рассматривать как распределенную систему, состоящую из отдельных технологических процессов с отдельными системами управления, связанными между собой и влияющими друг на друга. Рассматривая гидроциклон одной, отдельно взятой, второй стадии измельчения можно значительно упростить вычисления и рассмотреть возможные реакции. Таким образом, встает вопрос разработки системы управления, которая учитывала бы рассмотренные аспекты. Решение задачи разработки такой системы управления обуславливает актуальность данной работы. Ее целью является разработка системы управления гидроциклоном второй стадии измельчения с учетом его позиции в иерархии общей системы. Обусловлены основные параметры, влияющие на работу гидроциклона в комплексе с зумпфом и возможные управляющие воздействия. Рассмотрены основ-