

УДК 62267:621.3

І.В. КАСАТКІНА, канд. техн. наук, доц., І.В. ГНУТОВ, студент
Криворізький національний університет

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЯГОВОГО АГРЕГАТУ В КАР'ЄРІ

Підвищити енергетичну ефективність роботи тягового агрегату можливо за рахунок встановлення пристрою компенсації реактивної потужності в усьому діапазоні струмових навантажень шляхом плавної зміни реактивної потужності компенсатора. Пристрій складається з пасивного компенсатора реактивної потужності та вольтодобаткового трансформатора. Використання компенсатора призводить до значного підвищення коефіцієнту потужності в номінальному режимі роботи і до перекомпенсації реактивної потужності при малих струмах навантаження, на тягових агрегатах та електровозах.

Ключові слова: тяговий агрегат, компенсатор реактивної потужності, якість електричної енергії, гармонічний склад струму

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Одним з головних напрямків модернізації тягових засобів кар'єрного залізничного транспорту являється створення і впровадження тягових агрегатів, які складається з електровозів керування та моторних думпкарів.

Тяговий агрегат призначений для роботи на залізних дорогах відкритих гірських виробках, електрифікованих на змінному струмі напругою 10000 В, частотою 50 Гц, з керуючими підйомами, уклонами до 60 тисячних, та які мають не електрифіковані ділянки шляхів с підйомами, уклонами до 15 тисячних [1].

На кар'єрах із середнім і великим масштабом робіт для транспортування залізної руди використовуються тягові агрегати ОПЕ-1А, які мають низький коефіцієнт потужності, який змінюється в залежності від навантаження і віддалення агрегату від тягової підстанції. Середнє значення коефіцієнту потужності складає 0,6, цей показник погано впливає на енергетичні показники тягового агрегату. У режимі рекуперативного гальмування, тяговий агрегат має ще менше значення коефіцієнту потужності [2].

Аналіз досліджень і публікацій. Тяговий агрегат ОПЕ-1А має відносно великі енергозатрати через низький коефіцієнт потужності. Враховуючи, що за період 2014-2016 років підвищення тарифів на електроенергію склало більше чим у 1,5 кратних розмірів, що в свою чергу призвело до підвищення вартості експлуатації тягових агрегатів за рахунок їх великої потужності та енергоживлення.

Встановлення пристрою компенсації реактивної потужності дасть змогу підвищити коефіцієнт потужності, тим самим зменшити енергозатрати та підвищити енергоефективність тягового агрегату.

Постановка завдання. Підвищити енергетичну ефективність роботи тягового агрегату за рахунок встановлення пристрою компенсації реактивної потужності в усьому діапазоні струмових навантажень шляхом плавної зміни реактивної потужності компенсатора.

Викладення матеріалу та результати. Компенсувати реактивну потужність електрорухомого складу змінного струму без зміни силового перетворювача можливо за допомогою підключення пасивного нерегульованого компенсатора реактивної потужності (КРП) до вторинної обмотки силового трансформатора агрегату. Схема підключення нерегульованого компенсатора реактивної потужності показана на рисунку 1.[4]

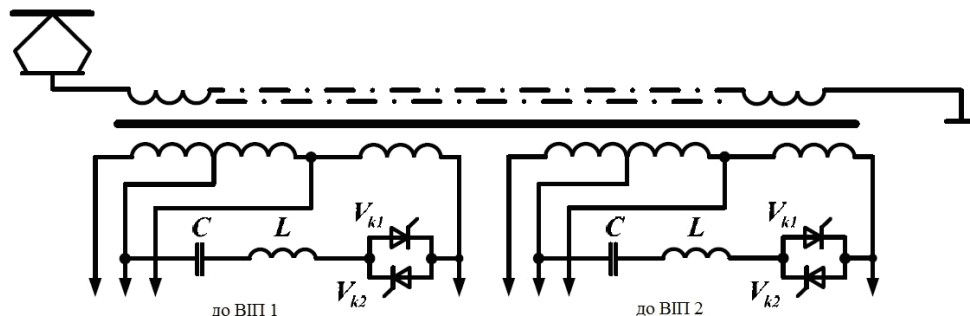


Рис. 1. Схема підключення нерегульованого компенсатора реактивної потужності

Компенсатор реактивної потужності складається з послідовно резонансного LC-ланцюга, який підключається за допомогою ключового елемента і складається з зустрічно-паралельно з'єднаних тиристорів V_{k1} і V_{k2} . Принцип дії компенсатора заключається в скороченні відставання по фазі першої гармоніки споживаної агрегатом струму і покращенню форми цього струму, що призводить до підвищення коефіцієнту потужності. Зменшення фазового кута φ виникає за рахунок створення нерегульованої ємнісної складової струму частоти 50 Гц, яка протікає через LC-ланцюг з ємнісним опором. Завдяки цьому відбувається наближення фази споживаного струму до фази напруги живлення. Зниження вищих гармонічних складових у вхідному струмі агрегату, забезпечується шляхом шунтування третьої гармоніки струму ланцюгом компенсатора, а також відбувається ослаблення найближчих по частоті вищих гармонік [5].

Використання на тяговому агрегаті нерегульованого компенсатора реактивної потужності призводить до значного підвищення коефіцієнту потужності в номінальному режимі роботи і до перекомпенсації реактивної потужності при малих струмах навантаження, що обумовлюється постійною величиною ємнісного струму, який протікає через ланцюг компенсатора. В зв'язку з цим робота компенсатора реактивної потужності являється ефективною лише в певному діапазоні струмових навантажень.

Для підвищення коефіцієнту потужності агрегату пропонується пристрій компенсації [6], що дозволяє збільшити коефіцієнт потужності в усьому діапазоні струмових навантажень за рахунок забезпечення рівності потужності компенсатора і реактивної потужності навантаження $Q_n = Q_{крп}$ шляхом плавної зміни реактивної потужності компенсатора $Q_{крп}$. [6]

Принцип роботи пристрою на прикладі спрощеної схеми агрегату. Структурна схема пристрою реактивної потужності показана на рис. 2.

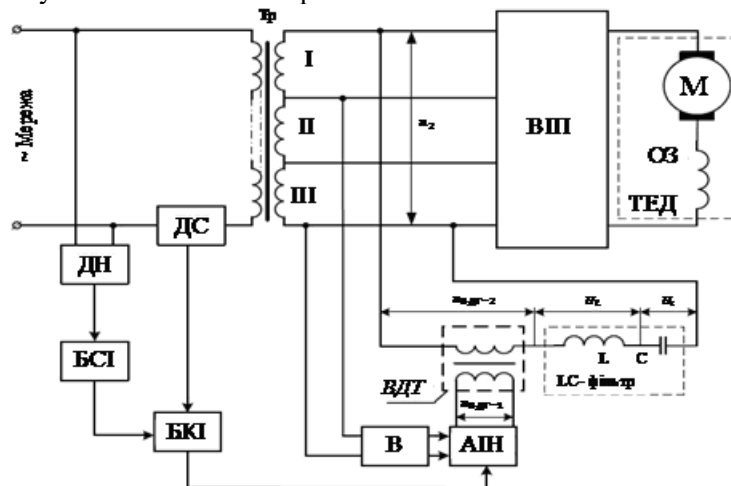


Рис. 2. Структурна схема пристрою реактивної потужності: Тр - трансформатор напруги; ТЕД - тяговий електродвигун; БСІ - блок синхронізуючих імпульсів; ДС - датчик струму; ДН - датчик напруги; В - випрямляч; БКІ - блок керування інвертором; АІН - автономний інвертор напруги; ВДТ - вольтододатковий трансформатор, ВІП - випрямно-інверторний перетворювач, ОЗ - обмотка збудження, ТЕД - тяговий електродвигун

Знижена трансформатором Тр змінна напруга мережі надходить на вхід випрямно-інверторного перетворювача ВІП, виконуючого плавне чотиризонне регулювання напруги на тяговому електродвигуні ТЕД.

Блок керування інвертором БКІ за допомогою датчиків струму ДС, та напруги ДН і блоку синхронізуючих імпульсів БСІ розраховує реактивну потужність Q_n , яка споживається навантаженням і формує на своєму вході сигнал, пропорційний реактивній потужності навантаження Q_n . Вихідна напруга АІН $u_{ВДТ-1}$ надходить на первинну обмотку вольтододаткового трансформатора ВДТ. На вторинній обмотці цього трансформатора формується напруга $u_{ВДТ-2}$ пропорційна $u_{ВДТ-1}$ і коефіцієнту його трансформації. Компенсація реактивної потужності виконується за допомогою пасивного компенсатора реактивної потужності, який складається з LC-ланцюга і вольтододаткового трансформатора ВДТ. [7]

На LC-ланцюг компенсатора надходить сумарна напруга вторинних обмоток u_2 трансформатора T_p і вольтододаточного трансформатора $u_{ВДТ-2}$ ВДТ, яке визначає величину напруги U_c на конденсаторі компенсатора. Величина напруги на обкладках конденсатора, в свою чергу, визначає реактивну потужність компенсатора $Q_{крп}$. Ємнісний струм i_c джерела реактивної потужності C компенсує індуктивну складову струму навантаження i_n в ланцюзі вторинної обмотки трансформатора напруги T_p .

Для забезпечення максимального коефіцієнту потужності необхідно досягнення рівності потужності компенсатора $Q_{крп}$ і реактивної потужності навантаження Q_n [4].

Зміна реактивної потужності компенсатора $Q_{крп}$ при фіксованій ємності конденсатора C забезпечується за рахунок збільшення або зменшення величини напруги U_c на його обкладках згідно з виразом

$$Q_{крп} = \omega C U_c^2 \quad (1)$$

В замкнутому контурі електричного ланцюга, який складається з I-II-III секцій вторинної обмотки трансформатора T_p , вторинну обмотку вольтододаточного трансформатора ВДТ, індуктивність L і ємність C джерела реактивної потужності згідно другого закону Кірхгофа виконується вираз [3]

$$u_2 + u_{вдт-2} = U_L + U_C \quad (2)$$

Компенсація реактивної потужності навантаження відбувається за рахунок зміни напруги на конденсаторі C джерела реактивної потужності.

При фіксованому значенні напруги u_2 вторинної обмотки трансформатора T_p це виконується шляхом зміни напруги на вторинній обмотці $u_{ВДТ-2}$ вольтододаточного трансформатора ВДТ, яке формується АІН з постійної напруги, що надходить на його вхід з виходу випрямляча В.

Ефективність застосування запропонованого пристрою на електрорухомому складі визначалася за результатами розрахунків двох варіантів роботи електровоза: штатної схеми і з включенням пропонованого пристрою компенсації реактивної потужності.

Для вирішення поставленого завдання було використано математичне моделювання.

Розглянемо роботу електровоза, обладнаного пропонованим пристроєм компенсації реактивної потужності, при наступних значеннях елементів LC-фільтра: $C = 3,3$ мФ, $L = 421$ мкГн.

Значення ємності конденсатора C вибрано свідомо меншим для того, щоб оцінити ефективність від використання цього пристрою.

Напруга на первинній обмотці вольтододаточного трансформатора формується за допомогою автономного інвертора напруги, його амплітудне значення обчислюється за формулою

$$u_{вдт-1} = \mu E_d, \quad (3)$$

де μ - глибина модуляції сигналів; E_d - постійна напруга на вході АІН.

Плавна зміна реактивної потужності $Q_{крп}$ можлива за рахунок зміни величини напруги $u_{ВДТ2}$

$$u_{вдт-2} = \mu \cdot E_d / k \quad (4)$$

При постійних значеннях E_d і k - коефіцієнта трансформації ВДТ зміна цієї напруги відбувається за рахунок глибини модуляції μ . [8]

У результаті моделювання встановлено, що при включеному пристрої споживаний електровозом струм i синфазен з питомою напругою u , а форма i наближена до синусоїдальної (рис. 3).

Це свідчить про найбільш повну компенсацію реактивної потужності за рахунок максимального збільшення $\cos \varphi = 1$.

Однак в формі випрямленої напруги u_d з'явилися високочастотні пульсації, пов'язані з роботою АІН.

Таким чином, завдяки відсутності зсуву між споживаним струмом i і питомою напругою u , а також практично синусоїдальній формі мережевого струму і відбувається значне поліпшення енергетичних показників агрегату у всьому діапазоні струмових навантажень.

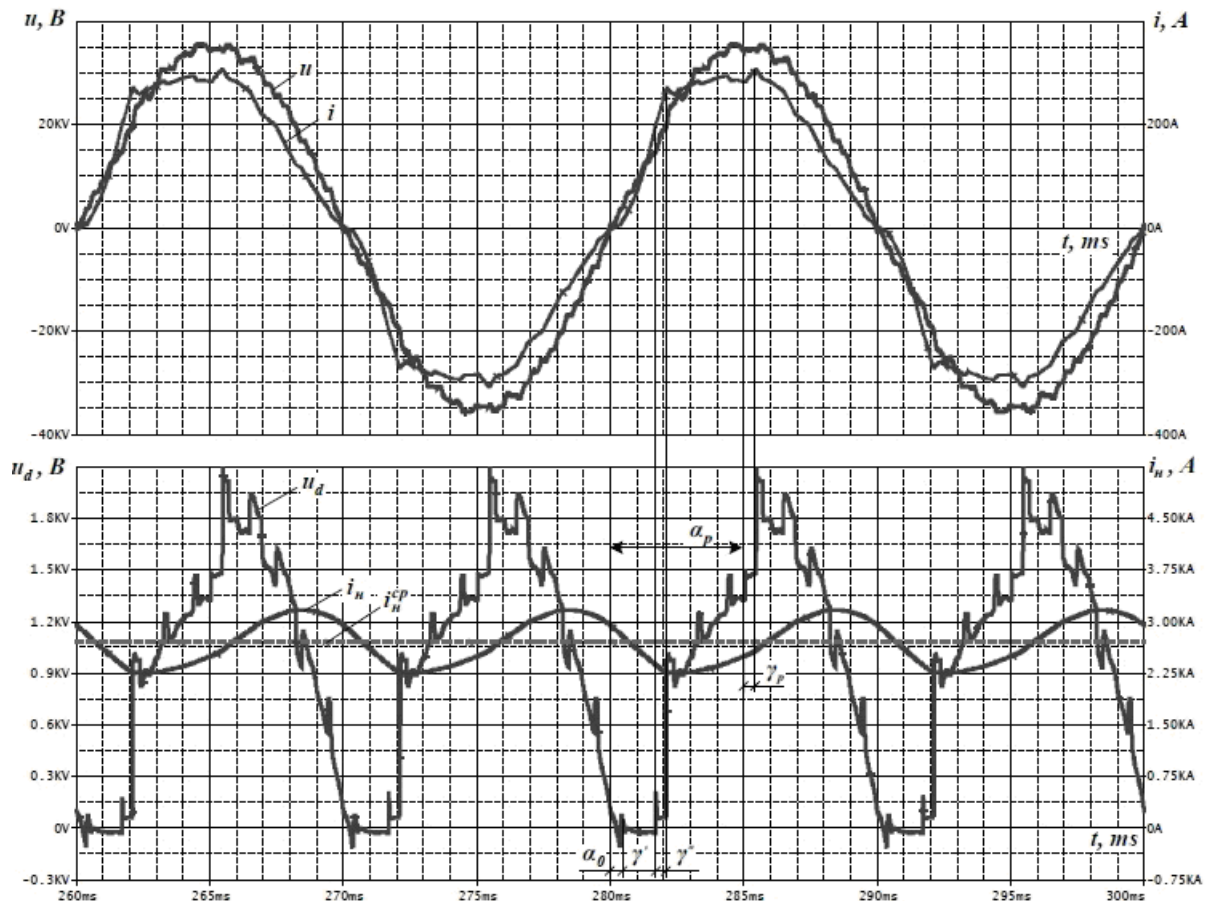


Рис. 3. Миттєві діаграми напруг і струму тягового агрегату ОПЕ-1А в режимі тяги при включенні пристрою компенсації: u - напруга живлення; i - споживаний електровозом струм; u_d - випрямлена напруга; i_n - струм тягових двигунів електровоза; i_n^{cp} - середній струм тягових двигунів електровоза

Таким чином, основна перевага пропонованого пристрою полягає в тому, що, на відміну від пасивного компенсатора реактивної потужності, при зміні реактивної потужності навантаження Q_n відбувається одночасна зміна реактивної потужності компенсатора $Q_{крп}$, яка може бути плавно збільшена (зменшена) за рахунок зміни величини напруги на вторинній обмотці вольтододадового трансформатора. Це дозволяє повністю компенсувати реактивну потужність агрегату у всіх режимах його роботи і поліпшити його енергетичні показники.[9,10]

Висновки та напрямок подальших досліджень. За допомогою компенсатора реактивної потужності, підключеного до вторинної обмотки трансформатора, можливо компенсувати реактивну потужність електрорухомого складу змінного струму без зміни силового перетворювача. Використання компенсатора призводить до значного підвищення коефіцієнту потужності в номінальному режимі роботи і до перекомпенсації реактивної потужності при малих струмах навантаження, на тягових агрегатах та електровозах. Але робота компенсатора реактивної потужності ефективною лише в певному діапазоні струмових навантажень. Тому для підвищення коефіцієнту потужності агрегату пропонується пристрій компенсації, що дозволяє збільшити коефіцієнт потужності в усьому діапазоні струмових навантажень за рахунок забезпечення рівності потужності компенсатора і реактивної потужності навантаження $Q_n = Q_{крп}$ шляхом плавної зміни реактивної потужності компенсатора $Q_{крп}$.

Основна перевага пристрою компенсації полягає в тому, що на відміну від пасивного компенсатора реактивної потужності зміна реактивної потужності навантаження Q_n визиває одночасну зміну реактивної потужності компенсатора $Q_{крп}$, яка може бути плавно збільшена (зменшена) за рахунок зміни величини напруги на вторинній обмотці вольтододадового трансформатора. Це дозволяє повністю компенсувати реактивну потужність агрегату в усіх режимах його роботи та підвищити його енергетичні показники, що дає позитивний економічний ефект.

Список літератури

1. Балон Л.В., Браташ В.А., Бичун М.Л. “Электроподвижной состав промышленного транспорта” Москва “Транспорт” 1987.
2. Браташ В.А., Бичун М.Л., Володарский В.А., Жолобов Л.Ф., Карленко И.В., Потапов В.С. “Электровозы и тяговые агрегаты промышленного транспорта” Москва “Транспорт” 1977.
3. Бессонов Л.А. “Теоретические основы электротехники” Электрические цепи. 10-е издание – М. Гардарики 2000-638с.
4. Костин Н.А., д.т.н., проф., Саблин О.И. “Коэффициент мощности электроподвижного состава переменного тока” – Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна. Украина, 49010, Днепропетровск, ул. ак. В. Лазаряна, 2, ДИИТ, каф. “Теоретические основы электротехники”
5. Белых Б.П., Щуцкий В.И., Заславец Б.И., Чеботаев Н.И. “Электропривод и электрификация открытых горных работ” - Москва “Недра” 1983.
6. Широченко, Н.Н. В.А. Татарников, З.Г. Бибинишвили “Улучшение энергетики электровозов переменного тока” Железнодорожный транспорт. – 1988. – №7. С. 33-36.
7. Кучумов, В.А. “Электромагнитные процессы в однофазном компенсированном преобразователе электровоза” Вестник ВНИИЖТ. – 1988. – №4. – С. 19-23.
8. Мамошин Р. Р. “Энергетика системы переменного тока”, Железнодорожный транспорт – 1987. - №9 – с 69-70.
9. Кулинич Ю.М., Духовников В.К. “Повышение энергетической эффективности пассивного компенсатора электровоза переменного тока” Журнал «Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета»
10. А.С. №2467893. “Устройство для компенсации реактивной мощности электроподвижного состава” Авторы изобретения Ю.М. Кулинич, В.К. Духовников. – Дата публикации 27.11.2012 г., МКИ 7 В60L 9/00, Бюл. №33.

Рукопис подано до редакції 21.03.16

УДК 621.316

И.И. ПЕРЕСУНЬКО, аспирант, Криворожский национальный университет

УВЕЛИЧЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ УЧАСТКОВЫХ СЕТЕЙ КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЙ ДЛЯ САМОХОДНОЙ ТЕХНИКИ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ШАХТ

В статье рассказывается про преимущества повышения напряжения до 660В внутришахтных участковых сетей для применения новой высокопроизводимой самоходной техники. Цель работы показать, что существует проблема качества электроэнергии на шахтах что ведет к снижению энерговооруженности предприятия. И предложено решение проблемы осуществить переход на более высокий уровень напряжения распределительных сетей. Повышение напряжения, как правило, улучшает технико-экономические показатели системы электроснабжения предприятия, одновременно улучшается и качество электроэнергии у потребителей.

Ключевые слова: увеличение напряжения, качество электроэнергии, технико-экономическая оценка

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Основным решением проблемы электроснабжения горных предприятий является соблюдение безопасности, обеспечения оптимальной надежности в схемах, обеспечение электроприемников (ЭП) необходимым качеством питающего напряжения во всех режимах работы старого и нового горнотранспортного оборудования и, кроме того, утвержденная система электроснабжения должна быть экономически наиболее выгодна.

Наиболее эффективным решением проблемы является повышение качества напряжения для старого и нового горнотранспортного оборудования. Требуется осуществить переход на более высокий уровень напряжения распределительных сетей. Повышение напряжения, как правило, улучшает технико-экономические показатели системы электроснабжения предприятия, одновременно улучшается и качество электроэнергии у потребителей.

Анализ исследований и публикаций. В литературе обсуждаются различные способы повышения качества питающего напряжения при основных показателях электроэнергии [1,2,6].

Были предложены различные решения по надежности электроснабжения в значительной степени зависят от качества электроэнергии ЭП [5,6].

В данной работе решаются вопросы оценки и улучшения показателей качества электроэнергии как при эксплуатации, так и на стадии проектирования систем электроснабжения горизонтов железорудных шахт.