

рyвача - на 35 %, втрати в перетворювачі менші на 52 %, надійність вище на 33 %, вартість комплектуючих перетворювача менше на 10 %.

Аналіз способів формування кривих струму (напруги) ТАД дозволив рекомендувати до реалізації трапецієвидну форму фазної напруги двигуна, одержувану за допомогою прямої ШІМ напруги, коефіцієнт використання живлячої напруги якої на 10 % вище синусоїдальної кривої, а коефіцієнт спотворення - дорівнює одиниці проти 0,955 при синусоїдальному способі.

Список літератури

1. Волотковский С.А. Рудничная электровозная тяга / С. А. Волотковский. – М.: Недра, 1981. – 389 с.
 2. Синчук О.Н. Импульсные системы управления и защиты на рудничном электровозном транспорте / О. Н. Синчук, В. В. Чумак, О. В. Ершов // К.: «АДЕФ – Україна», 1998. – 280 с.
 3. Бардаш Ю.Ф. Тиристорный электропривод рудничных электровозов. / Бардаш Ю. Ф., Буряк А. Н., Чернявский В. Н. – М.: ЦНИИЭИ-уголь, 1975. – 55 с.
 4. Волотковский С.А. Опыт эксплуатации рудничных контактных электровозов с импульсной системой управления / С. А. Волотковский, Ю. С. Ремха, В. Х. Пирожено [и др.] // Горный журнал. – 1976. – №7. – С. 51 - 53.
 5. Шидловський А.К. Енергозбереження і силова електроніка в електроенергетиці / А. К. Шидловський, В. Б. Павлов // Техн. електродинаміка. Тем. випуск. Силова електроніка та енергоефективність. – К.: Інститут електродинаміки НАН України, 2006. – Част.1. – С. 3-8.
 6. Дебелый В.Л. Основные направления развития шахтного локомотивного транспорта / В. Л. Дебелый, Л. Л. Дебелый, С. А. Мельников // Уголь Украины. – 2006. – №6. – С.30-31.
 7. Лебедкін С.В. Вугільна промисловість і перспективні напрямки розвитку тягових електроприводів рудникових електровозів (Проблеми і перспективи) / С. В. Лебедкін, А. Ф. Сінолиций, О. В. Пасько // Вісник Криворізького технічного університету: зб. наук. пр. – 2004. – №4. – С. 12-15.
 8. Перспективи розвитку шахтних (рудничних) електровозов з енергозберігаючими видами тягових електроприводів / О. Н. Синчук, С. В. Лебедкін, І. О. Синчук [и др.] // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – Луганськ: СНУ ім. В.Даля, 2006. – №8(102). – С. 86-92.
 9. Полупроводниковые преобразователи электрической энергии в структурах электроприводов. Схемотехника и принципы управления: учебное пособие / И. О. Синчук, А. А. Чернышев, И. И. Киба [и др.]. – Кременчуг: ПП Щербатых О. В., 2008. – 88 с.
 10. Синчук О.Н. Рудничный контактный электровоз с тяговым электроприводом переменного тока и микропроцессорной системой управления (разработка, испытания) / О. Н. Синчук, И. О. Синчук, Ф. И. Караманиц [и др.] // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – Луганськ: СНУ ім. В.Даля, 2007. – №5(123). Ч. 2. – С. 33-37.
 11. Сінчук О.М. Випробування асинхронного тягового електропривода рудникового контактно-акумуляторного електровоза / О. М. Сінчук, Д. А. Шокарев, Є. І. Скапа, І. О. Сінчук // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2011. – Вип. №6. – С. 49-52.
- Рукопис подано до редакції 01.04.16

УДК 621.314.632

В.А. КОЛЬСУН, канд. техн. наук, доц., Д.В. РИЖЕНКОВ, аспірант,
В.М. МАКОДЗЬОБ, аспірант, О.М. КУЛИК, магістр,
Криворізький національний університет

АНАЛІЗ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕРЕТВОРЮВАЧА ЧАСТОТИ СТОСОВНО МЕРЕЖІ ЖИВЛЕННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СОНЯЧНОЇ СТАНЦІЇ

У статті досліджено енергетичні показники мережі живлення за умови наявності інверторів фотоелектричних сонячних станцій. Розраховані функції струму та напруги трифазних випрямлячів з нелінійним навантаженням. Проведена порівняльна характеристика енергетичних показників мережі живлення без використання фільтро-компенсаційних пристроїв та з активними фільтрами.

Ключові слова: енергетичні характеристики, активний фільтр, перетворювач, гармоніки, навантаження

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Однією з найбільш гострих проблем сьогодення України є питання стабільного енергозабезпечення та економії енергоносіїв.

На сучасних промислових підприємствах, у комунальному господарстві та транспорті більшу частину електроенергії споживає електропривод (ЕП) виробничих установок.

Виникає принципова необхідність підвищення його енергетичної ефективності та забезпечення регулювання технологічного процесу, що зумовлює застосування регульованого ЕП.

Проте використання регульованих асинхронних ЕП приводить до генерування вищих гармонічних складових та спотворення синусоїдальної форми напруги та струму.

Генеровані потужним промисловим устаткуванням вищі гармоніки струму викликають додаткові втрати енергії в електричних мережах.

Використання напівпровідникових перетворювачів, що є основою регульованих ЕП, потребує використання додаткових технічних засобів для уникнення генерування в мережу гармонічних складових, та компенсації негативного впливу несинусоїдальної форми струму і напруги.

Аналіз досліджень та публікацій. Огляд існуючих досліджень показав, що виникнення неактивних складових потужності обумовлена низкою причин. У поданій статті розглядаються неактивні складові викликані зсувом струму стосовно напруги мережі живлення, спотворенням струму й відповідно спотворенням напруги.

Постановка завдання. У багатьох випадках, зокрема в гірничо-металургійному комплексі, спостерігається одночасна робота декількох перетворювачів частоти на одну мережу. Питання електромеханічного й енергетичного зв'язку територіально розосереджених електроприводів, оцінки їх взаємного впливу є дуже важливими для потужних агрегатів, зв'язаних загальною мережею живлення.

Умови реалізації енергозберігаючих заходів шляхом відключення технологічних установок вимагають вживання заходів не лише для полегшення пуску таких приводів, але і заходів, що виключають вплив на інші агрегати, в тому числі і територіально відокремлені. Відповідні проблеми виникають і під час керування енергетичними режимами таких приводів.

Основними задачами даної роботи є вивчення впливу перетворювачів на мережу живлення, а також дослідження засобів запобігання цим явищам.

Викладення матеріалу та результати. Для аналізу впливу ємнісної ланки та навантаження на мережу живлення без використання компенсаційних пристроїв необхідно побудувати модель досліджуваної схеми (рис. 1) та розрахувати коефіцієнт зсуву, спотворення та потужності.

Отримані в результаті моделювання, згадані коефіцієнти зображені на рис. 3.

Коефіцієнт зсуву приблизно дорівнює 0,9, незважаючи на те, що первинна ланка перетворювача некерована.

На особливу увагу заслуговує рівень гармонік струму. Аналіз результатів моделювання показав, що канонічні гармоніки досліджуваної схеми в кілька разів перевищують у схемі з індуктивним навантаженням (рис. 2), що відповідно визначає більш негативний вплив на мережу живлення, й потребує впровадження технічних рішень щодо покращення зазначених енергетичних показників.

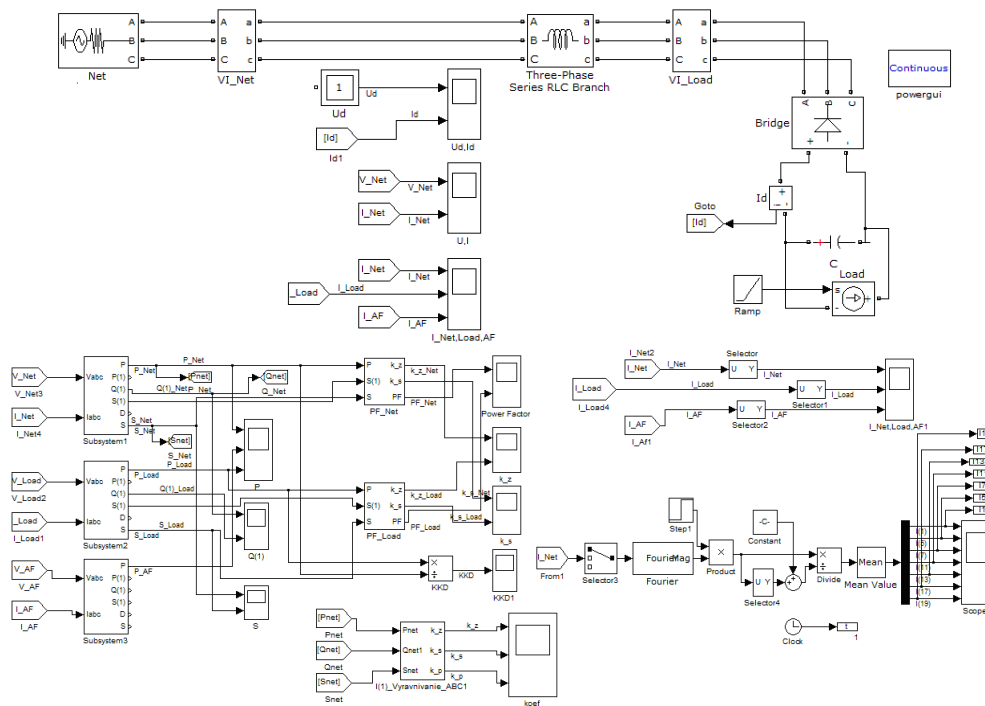


Рис. 1. Модель схеми дослідження

Значення коефіцієнту спотворення низьке, що дає уявлення про необхідність використання додаткових схемо технічних рішень (рис. 3).

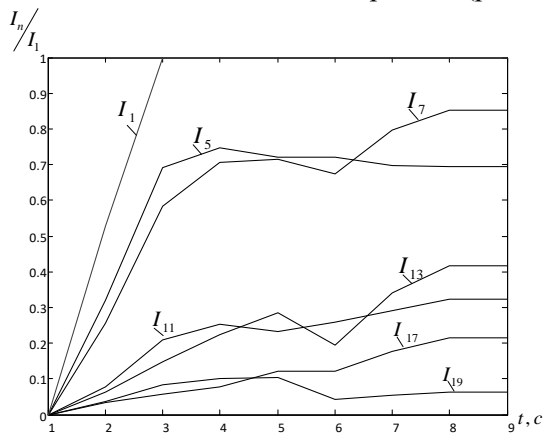


рис. 2. Гармонічний склад струму у схемі з індуктивним навантаженням

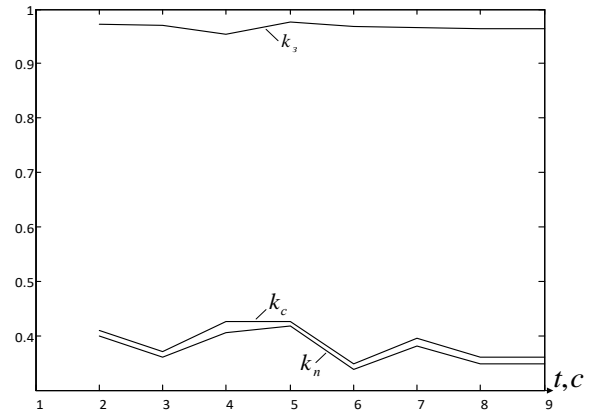


Рис. 3. Коефіцієнти зсуву, спотворення та потужності

Графік струму мережі живлення визначає значне відхилення форми від синусоїдальної (рис. 4).

Саме останнє й формує задачу дослідження щодо компенсації неактивних складових потужності засобами активної фільтрації.

Останнім часом найбільший розвиток одержали роботи з активними фільтрами (АФ), які складаються з перетворювача змінного(постійного) струму з індуктивним чи ємнісним акумулятором енергії на стороні постійного струму. АФ є високоефективними у боротьбі з гармонічними складовими напруги та струму мережі, та мають такі переваги :

спосіб застосування компенсації. АФ постійно контролює струм гармонік у навантаженні і зменшує загальне спотворення нелінійного навантаження нижче 5%;

високоефективна компенсація струмів гармонік від 2-ї до 50-ї гармонік.

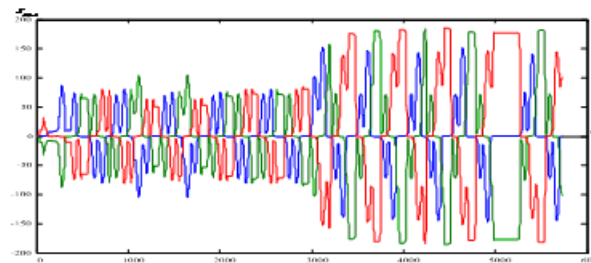


Рис. 4. Струм мережі живлення

Саме останнє й формує задачу дослідження щодо компенсації неактивних складових потужності засобами активної фільтрації.

Останнім часом найбільший розвиток одержали роботи з активними фільтрами (АФ), які складаються з перетворювача змінного(постійного) струму з індуктивним чи ємнісним акумулятором енергії на стороні постійного струму. АФ є високоефективними у боротьбі з гармонічними складовими напруги та струму мережі, та мають такі переваги :

спосіб застосування компенсації. АФ постійно контролює струм гармонік у навантаженні і зменшує загальне спотворення нелінійного навантаження нижче 5%;

високоефективна компенсація струмів гармонік від 2-ї до 50-ї гармонік.

Активні фільтри підрозділяються на послідовні [2], паралельні [3] та гібридні [4].

Послідовний АФ являє собою інвертор напруги, навантажений на трансформатор, вторинна обмотка якого з'єднується послідовно з навантаженням.

До переваг послідовного АФ доцільно віднести можливість керування напругою вточці підключення навантаження.

Але складність підключення і захисту від перевантаження, поганий контроль струму мережі зробили застосування послідовних АФ обмеженим.

Паралельний АФ являє собою інвертор зі струмовим виходом, що підключається паралельно навантаженню. Він вільний від недоліків, властивих послідовному АФ і має такі переваги: простота підключення і захисту, пряме керування струмом і краща якість придушення гармонік струму.

Гібридний АФ являє собою інвертор напруги, підключений до мережі через послідовний LC-фільтр, налаштований на 5-у і (або) 7-у гармоніку.

Таке рішення дозволяє зменшити потужність інвертора і знизити вимоги до розмаху його вихідної напруги.

Але резонансна ланка на виході інвертора не дозволяє ефективно компенсувати гармоніки з частотами, що значно перевищують частоту налаштування LC- фільтра[1].

Найбільшого поширення набули гібридні і паралельні АФ завдяки простоті підключення і можливості прямого керування струмом.

Модель розглянутого активного фільтра з паралельною роботою частотного перетворювача подана нижче (рис. 5).

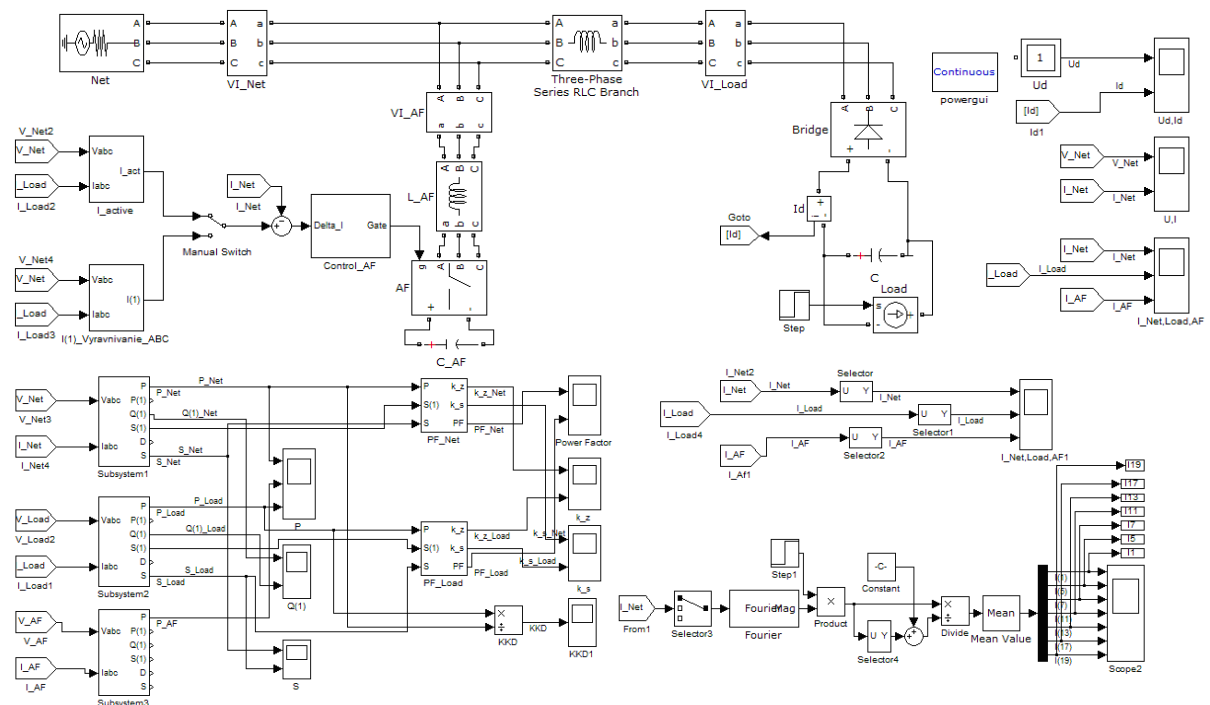


Рис.5. Модель трифазної мостової схеми випрямлення з активно-індуктивним навантаженням та активним фільтром

Схема містить блоки для розрахунку:

повної, активної, реактивної потужностей та потужності спотворення (рис. 6);

коефіцієнтів зсуву, спотворення та потужності ,(рис. 7);

гармонічного складу струму мережі(рис. 8).

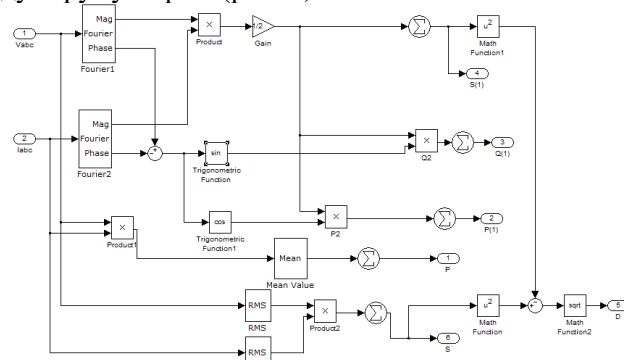


Рис. 6. Підсистема розрахунку повної, активної та реактивної потужностей

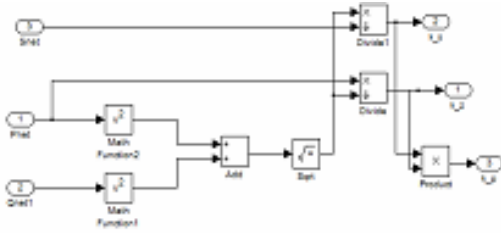


Рис. 7. Підсистема розрахунку коефіцієнтів спотворення, зсуву та потужності

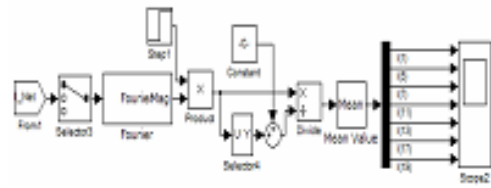


Рис. 8. Підсистема розрахунку гармонічних складових струму мережі

У результаті аналізу гармонічного складу мережі виявлено значне зниження канонічних гармонік у порівнянні зі схемою без АФ (рис. 9). Коефіцієнти зсуву, спотворення та потужності в цьому випадку також покращені та приведені на рис. 10.

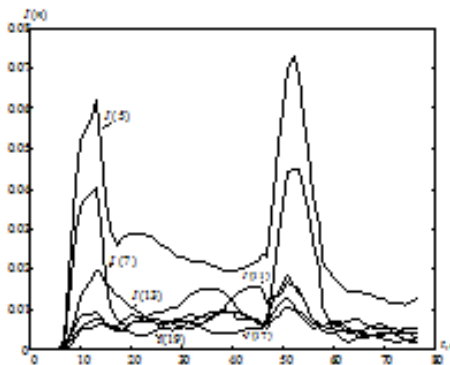


Рис. 9. Гармонічний склад струму мережі

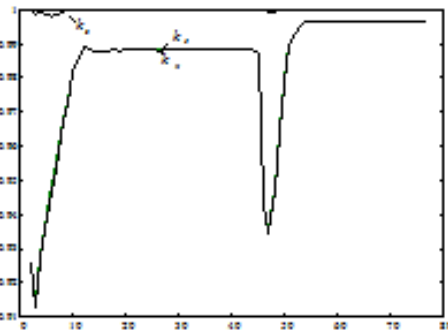


Рис. 10. Коефіцієнти зсуву, спотворення та потужності у схемі з АФ

Осцилограми струму показують значне поліпшення форми струму, вона наближена до синусоїди (рис. 11).

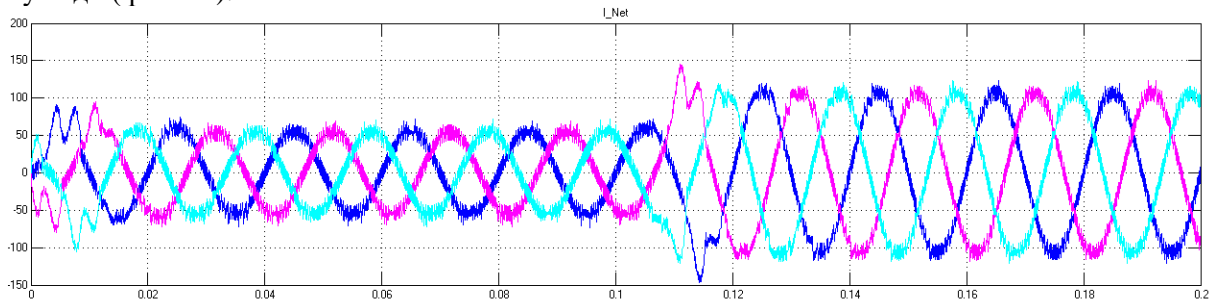


Рис. 11. Струм мережі з використанням активного фільтру

Під час порівняння струмів навантаження отриманих аналітично та за допомогою моделювання, можна зробити висновок про їх подібність (рис. 12).

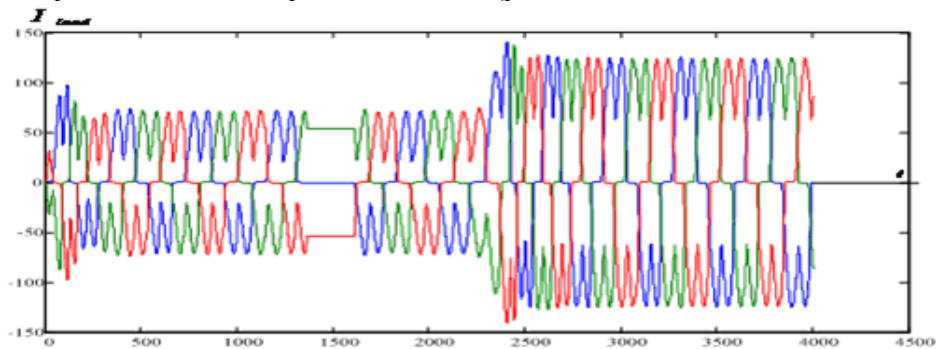


Рис.12. Струм навантаження у схемі з АФ

Висновки та напрямки подальших досліджень. Під час дослідження системи живлення дволанкових перетворювачів частоти та вивчення взаємовпливу окремих перетворювачів на мережу живлення виявлені значні спотворення форми струму та напруги, канонічні гармоніки мають досить великі значення, енергетичні показники низькі.

Виявлено, що зазначений факт обумовлений значною ємністю в ланці постійного струму. Під час вирішення задач щодо підвищення енергетичних показників запропоноване використання паралельних активних фільтрів.

Активні фільтри мають ряд переваг перед іншими, проте одночасне застосування як активного, так і пасивного фільтру дозволило б досягти більшої ефективності.

Використання активних фільтрів дозволяє значно знизити рівень основних гармонік, максимально наблизити струм до синусоїдального та компенсувати реактивну потужність. Енергетичні показники, у порівнянні зі схемою без компенсаційних пристроїв, значно вищі.

Список літератури

1. Бурлака В.В., Гулаков С.В., Бублик С.К., Дьяченко М.Д. Параллельный активный фильтр с повышенным коэффициентом подавления высших гармоник тока / В.В.Бурлака, С.В.Гулаков, С.К. Бублик, М.Д. Дьяченко // Вестник ПГТУ. – 2009.
2. Escobar G., Stankovic A. M., Cardenas V., Mattavelli P. A controller based on resonant filters for a series active filter used to compensate current harmonics and voltage unbalance / G. Escobar, A. M. Stankovic, V. Cardenas, P. Mattavelli // Conference on Control Applications Glasgow, Scotland, U.K. September 18 – 20. – 2002. – P. 7 – 12.
3. Gaiceanu M. Active power compensator of the current harmonics based on the instantaneous power theory / M. Gaiceanu // The annals of "Dunarea de jos" university of Galati: electrotehnics, electronics, automatic control, informatics. Fascicle III, 2005. – P. 23 – 28.
4. Ucak O. Design and implementation of a shunt active power filter with reduced dc link voltage / O. Ucak, I. Kocaba, A. Terciyani // TUBITAK – Space technologies research institute, power electronics group METU campus, TR 06531, Ankara, Turkey. – 5 с

Рукопис подано редакції 25.03.16

УДК 621.771:517.9

В.П. ЛЯШЕНКО, д-р техн. наук, проф.,

Кременчуцький національний університет ім. Михайла Остроградського,

О.В. АНІСЬКОВ, ст. викладач, Криворізький національний університет

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОКАТКИ ТОНКОЇ І НАДТОНКОЇ СТРІЧКИ ІЗ ТУГОПЛАВКИХ І ВАЖКОДЕФОРМОВАНИХ МЕТАЛІВ

У роботі проведено аналіз особливостей технології виготовлення стрічки із тугоплавких і важкодеформованих металів. Запропоновано математичні моделі для визначення енергосилових параметрів процесу плющення (прокатки) тонкої і надтонкої стрічки із тугоплавких і важкодеформованих металів, які дозволяють враховувати силову дію інструмента, зокрема валків прокатного стану, та температурне поле зони підведення струму до стрічки. Розглянута узагальнена та спрощені математичні моделі. Проведені чисельні експерименти та побудовані, на основі розв'язків спрощених задач, температурні розподіли зони дії струму.

Ключові слова: прокатка, постійний та імпульсний струм; електро-фізико-механічні властивості

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. В даний час у сучасних умовах виробництва стрічки та дроту все більше уваги приділяється енергозберігаючим технологіям, оптимізації обладнання, точності настройки процесів регулювання з використанням апаратних і програмних можливостей сучасної електронної техніки.

Аналіз досліджень і публікацій. У металургійній промисловості і зокрема в прокатному виробництві визначальне значення має якість продукції. Технологія виробництва стрічки з дроту тугоплавких і важкодеформованих металів можлива лише при підвищених температурах 600-1000 °С. Знизити температуру прокатки (плющення) до температури 200-300°C дозволяє застосування імпульсного струму, що підводиться у зону деформації (рис.1). У роботах К.М.Клімова і І.І.Новікова, [1,2] описані процеси плющення дроту з підведенням струму до дроту тугоплавких металів з метою нагрівання у зоні деформації при температурах не більше