

*О.І. Хованська, канд. техн. наук, О.Г. Лисенко
(Україна, Дніпропетровськ, Національний гірничий університет)*

ВПЛИВ ВИХІДНИХ ПАРАМЕТРІВ ТЯГОВОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ЧАСТОТИ НА ВТРАТИ ПОТУЖНОСТІ В МЕРЕЖІ

Система шахтного транспорту з індуктивною передачею енергії має такі основні елементи: тяговий перетворювач частоти (ТПЧ), тягову мережу і безконтактні електровози. Принцип дії цього транспорту заснований на передачі енергії за допомогою електромагнітної індукції від живильної мережі рухомому составу. Головні його переваги – іскробезпека, а також надійність, безпека обслуговування та високі енергетичні показники. Проте експлуатація досліджуваних зразків безконтактних електровозів В14 показала, що часто виникають збої в роботі транспорту і, як наслідок, знижується його енергоефективність. Ці збої зв'язані, зокрема, із спрацьовуванням захисту перетворювача, яке відбувається із-за появи у тяговій мережі перенапруг. Статистичні дані свідчать, що подібні явища спостерігаються більшою мірою при пуску ТПЧ на тягову мережу. Погіршення енергетичних показників при пуску спричиняється не тільки спрацьовуванням захисту. Так, вихід з ладу одного або декількох компенсуючих конденсаторів тягової мережі призводить до збільшення реактивного опору мережі і відповідно до втрат напруги та потужності в ній.

У дослідженнях, проведених раніше [1], відзначається, що найбільші втрати потужності мають місце саме у тяговій мережі, оскільки специфіка роботи транспорту вимагає утримання постійного струму на рівні 150 А. Такі умови призводять до того, що незалежно від навантаженості тягової мережі електровозом, втрати потужності досить вагомі. Проте, незважаючи на це, енергетичним показникам, зокрема втратам потужності, до останнього часу приділялося недостатньо уваги. Однак оцінка цих параметрів дає можливість визначити шляхи зниження втрат потужності в тяговій мережі за рахунок регулювання, зокрема, пускових процесів у перетворювачі частоти. Тому особливий інтерес представляють втрати потужності при пуску тягового перетворювача частоти на тягову мережу. Пусковий процес раніше розглядався у двох аспектах: з точки зору процесів, що відбуваються безпосередньо у ТПЧ, та впливу пускових параметрів перетворювача на вхідні параметри тягової мережі.

Такий підхід дозволяє розрахувати параметри режиму системи ТПЧ-тягова мережа в пусковому процесі, що забезпечить плавний перехід тягової мережі в усталений режим [2]. Проведене на базі цих розрахунків корегування алгоритму пуску ТПЧ дозволило уникнути перенапружень у тяговій мережі, що призводить до виходу з ладу конденсаторів повздовжньої компенсації.

Проте вважати такий алгоритм оптимальним з погляду енергоспоживання було б бездоказовим, оскільки отримані результати не оцінювалися на предмет

таких енергетичних показників, як втрати потужності. Приведені в роботі [2] криві дають область обмежень вхідних параметрів тягової мережі при пуску. Метою даного дослідження є уточнення цієї області на основі аналізу втрат потужності, які мають місце при різних варіантах поєднання параметрів пускового режиму. Таке рішення пов'язане з певними складнощами, які обумовлені особливостями тягової мережі, що полягають, у першу чергу, в розподіленості її параметрів та наявності великого числа конденсаторів повздожньої компенсації.

Потужність втрат у тяговій лінії визначається як

$$\Delta P = I^2 r_0 l \quad (1)$$

де I – діюче значення струму в тяговій мережі;

r_0 – питомий активний опір втрат в тяговій мережі;

l – довжина лінії.

При пуску струм внаслідок прояву хвильових властивостей в перетинах тягової мережі неоднаковий, тому втрати потужності при цьому необхідно визначати виходячи з розподіленості параметрів мережі [3]:

$$\Delta P = r_0 \int_0^l (I(x))^2 dx. \quad (2)$$

Складність використання останнього виразу для тягової мережі полягає в неможливості отримати аналітичну залежність струму від координати перетину тягової мережі. З теорії планування експерименту відомо, що результати вимірювань можуть розглядатися як випадкові величини, залежності між якими можливо отримати, використовуючи регресійний аналіз. Однак виміряти значення струму в перетинах реальної тягової мережі дуже важко. Тому допустимо скористатися результатами обчислювального експерименту, отриманими на математичній моделі. Адекватність моделі підтверджена порівнянням одержаних за її допомогою значень з відомими експериментальними та їх збігом при мінімальній похибці [4]. Отримання на математичній моделі масивів значень струму в перетинах тягової мережі дає можливість, базуючись на методі найменших квадратів, побудувати регресійні залежності.

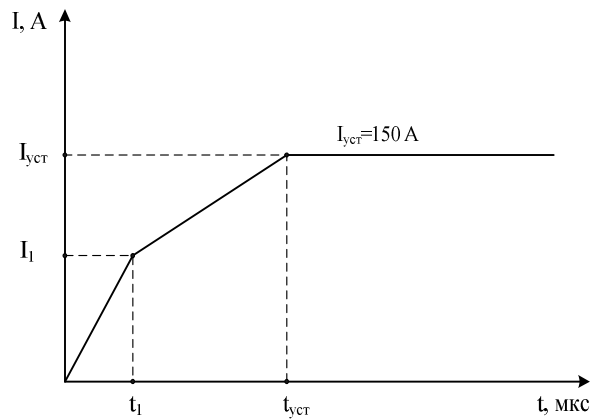


Рис. 1. Зміна вихідного струму ТПЧ при пуску на ненавантажену тягову мережу

Вихідні масиви даних сформовані на основі відомої залежності зміни вихідного струму ТПЧ (рис. 1), згідно з якою останній плавно наростає від нульового значення до деякого проміжного (початкового) значення, а потім до усталеного. Зростання струму до початкового значення відбувається за інтервал часу, який може змінюватися в межах 200...2000 мкс. Подальше наростання вихідного струму перетворювача частоти до усталеного значення розглядається за час 200000 мкс, виходячи з умов забезпечення нормальних режимів роботи електроустаткування комплексу. Вихідний струм ТПЧ є вхідним параметром для тягової мережі і, отже, впливає на параметри її режиму. Алгоритм визначення втрат потужності в тяговій мережі при пусковому процесі з урахуванням зміни вихідних параметрів ТПЧ наведений на рис. 2.

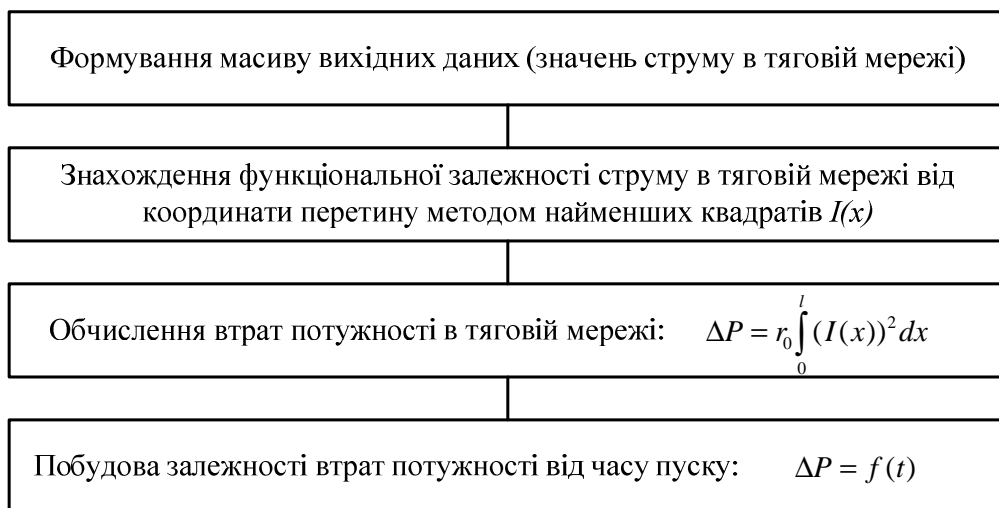


Рис. 2. Структура алгоритму визначення рівней втрат потужності в тяговій мережі при пуску

На рис. 3 показаний вплив початкового збільшення струму I_1 при фіксованому значенні часу його наростання t_1 на втрати потужності в тяговій мережі. Як видно, у будь-який момент пускового процесу втрати потужності збільшуються із збільшенням початкового струму до моменту досягнення струмом усталеного значення.

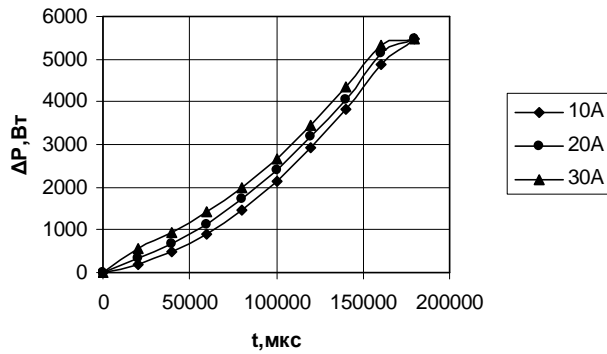


Рис. 3. Залежності втрат потужності від початкового наростання струму ТПЧ і часу пускового процесу

На рис. 4, 5, 6 відображено вплив часу досягнення початкового значення струму ($t_1=200, 1000, 2000$ мкс) на втрати потужності при незмінному початковому збільшенні вихідного струму ТПЧ I_1 . Очевидно, що втрати потужності збільшуються при всіх значеннях часу початкового наростання струму. Для встановлених значень t_1 , рівних відповідно 200, 1000 і 2000 мкс, спостерігається тенденція різкого збільшення втрат потужності безпосередньо після переходу

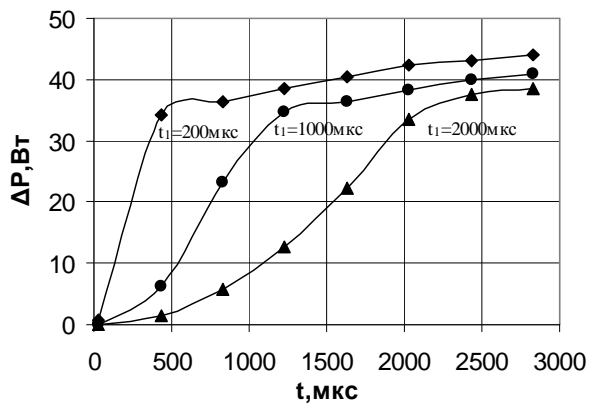


Рис. 4. Втрати потужності в тяговій мережі у пусковому режимі при зміні часу наростання вихідного струму ТПЧ для $I_1=10A$

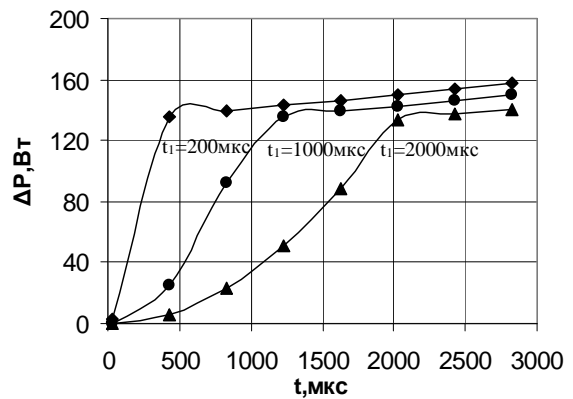


Рис. 5. Втрати потужності в тяговій мережі у пусковому режимі при зміні часу наростання вихідного струму ТПЧ для $I_1=20A$

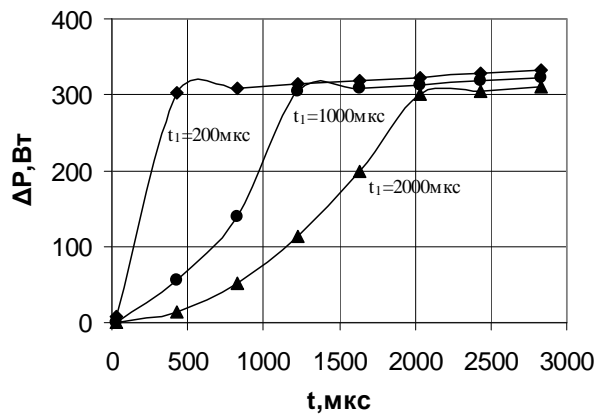


Рис. 6. Втрати потужності в тяговій мережі у пусковому режимі при зміні часу наростання вихідного струму ТПЧ для $I_1=30A$

характеристики струму на більш плавний відрізок. Таким чином, для одного і того ж моменту пускового процесу і незмінного струму I_1 втрати потужності можуть змінюватися залежно від початкового часу збільшення струму t_1 , причому втрати тим більше, чим менше значення t_1 . При досягненні струмом значення I_1 у наступний проміжок пускового процесу втрати потужності практично не змінюються. Ці графіки свідчать, що стрибкоподібне збільшення втрат потужності відбувається при різкому зростанні вихідного струму перетворювача частоти від нуля до I_1 за проміжок часу до 200 мкс. Збільшення інтервалу часу t_1 при незмінному значенні I_1 призводить до зниження втрат потужності в тяговій мережі.

Такий характер кривих втрат потужності пояснюється хвильовими властивостями лінії, оскільки струми в перетинах тягової мережі при пуску ТПЧ

залежать від характеру зміни хвильового опору тягової мережі. Поки лінія не заряджена, хвильовий опір змінюється повільніше, ніж вхідний струм, тому для забезпечення мінімуму втрат потужності в тяговій мережі необхідно визначити оптимальні вихідні параметри ТПЧ (початкове збільшення струму і час наростання), які забезпечували б реальні ефективні експлуатаційні режими системи ТПЧ-тягова мережа.

Висновки

1. Аналіз рівня втрат потужності в тяговій мережі при пуску ТПЧ можливий на основі побудови регресійних залежностей струму від координати перетину мережі.

2. Втрати потужності в тяговій мережі у пусковому режимі залежать від вихідних параметрів ТПЧ (початкового збільшення струму і часу його наростання).

3. Рівень втрат потужності знижується зі зменшенням значення початкового збільшення струму I_1 .

4. При одному й тому ж значенні I_1 втрати потужності тим нижче, чим більше час t_1 досягнення цього значення.

Список літератури

1. Транспорт с индуктивной передачей энергии для угольных шахт / Г.Г. Пивняк, И.П. Ремизов, С.А. Саратикянц и др.; Под ред. Г.Г.Пивняка. -М.: Недра, 1990.-245с.
2. Пивняк Г.Г., Зражевский Ю.М., Хованская Е.И. Задачи моделирования режимов работы тяговой сети транспорта с индуктивной передачей энергии // Технічна термодинаміка. Тематичний випуск „Проблеми сучасної електротехніки”. -2004.- Ч.7.-С112-116.
3. Поспелов Г.Е., Сыч Н.М. Потери мощности и энергии в электрических сетях / Под ред. Г.Е. Поспелова –М.: Энергоатомиздат, 1981.-216 с.
4. Зражевский Ю.М., Хованская Е.И. Сравнительный анализ методов расчета переходных процессов в тяговой сети бесконтактного электрического транспорта // Горная электромеханика и автоматика. Респ. межвед. науч.-техн. сб.– 1991.–Вып.58.–С.34-37.