

Одеський національний політехнічний університет
Інститут енергетики В'єтнаму**ЩОДО КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОГО НАВАНТАЖЕННЯ
ТЯГОВИХ ПІДСТАНЦІЙ МІСЬКОГО ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ**

Пропонується оригінальний фільтро-компенсувальний пристрій для застосування на тягових підстанціях систем електропостачання міського електричного транспорту та розроблено методу керування його потужністю, що робить неможливим перевантаження конденсаторів.

Предлагается оригинальное фильтро-компенсирующее устройство для применения на тяговых подстанциях систем электроснабжения городского электрического транспорта и разработана методика управления его мощностью, которая исключает возможность перегрузки конденсаторов

An original filter-compensating device is offered for application on hauling substations of the systems of power supply of public electric transport and a method is developed management his power which eliminates possibility of overload of his condensers.

Як показують дослідження, режим електроспоживання систем електропостачання міського електротранспорту (трамвай, тролейбус) характеризується значним реактивним навантаженням. За даними служби енергогосподарства комунального підприємства "Одескомунтранс", коефіцієнт потужності його тягових підстанцій (ТП) знаходиться в середньому на рівні $\cos\varphi = 0,75$. При цьому, значну частину такого навантаження складає енергія спотворення електромагнітного поля системи за рахунок нелінійності навантаження ТП – тиристорних перетворювачів струму. Спектр гармонік у трифазній мостовій схемі перетворювачів з некертованими вентилями має у своєму складі усі канонічні гармоніки, а саме – до гармоніки $\nu = 40$, останньої, що враховується за вимогою ДЕСТ – у [2].

Загально відомо, що номер канонічних гармонік визначається

$$\nu = 6n \pm 1, \quad (1)$$

де n – ряд натуральних чисел: 1,2,3... ∞ .

Як показано в [3], фізична залежність активного і реактивного опору навантаження ТП від частоти суттєво впливає на величину її коефіцієнта потужності. Наприклад, для ТП міського електротранспорту з розрахунковим навантаженням $P_p = 500$ кВт коефіцієнт потужності складає 0,692.

З метою зменшення плати споживачів в електричних мережах з нелінійним навантаженням (наприклад, з нерегульованими вентилями перетворювачами), за реактивне навантаження і підвищення якості електричної енергії застосовуються фільтро-компенсуючі пристрої (ФКП).

У більшості випадків це пасивні фільтри з фіксованою настройкою, як показано на рис.1.

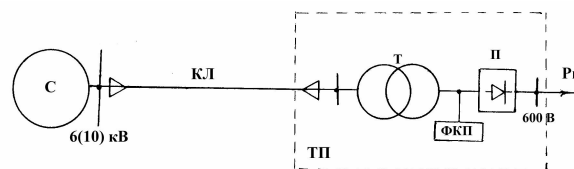


Рис.1. Принципова схема приєднання ФКП

Такі пристрої можуть бути як регульованими, так і не регульованими. Відомий універсальний, на думку авторів [1], фільтр гармонік для живлення приводу постійного струму. Його принципову схему наведено на рис.2.

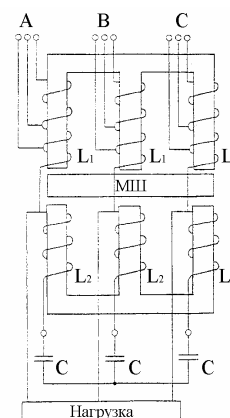


Рис.2. Універсальний фільтр гармонік

Такий фільтр складається з двох дроселів L_1 та L_2 , магнітні системи яких з'єднано магнітним шунтом МШ. Обмотки дроселів ввімкнено послідовно.

До точки їх сполучення ввімкнено наванта-

ження з перетворювачем, а до кінців обмотки L_2 приєднується нерегульована конденсаторна батарея C . Вільні виводи обмотки L_1 , що має ступеневе регулювання числа витків, приєднується до джерела живлення [5].

Таким чином, пристрій являє собою широкополосний резонансний фільтр, який може забезпечити зменшення плати споживачів за рахунок компенсації реактивного навантаження перетворювача постійного струму і зменшувати гармоніки струму, що генеруються цим перетворювачем.

Незважаючи на ряд переваг, якими, на думку авторів [4], характеризується вказаний пристрій, він має також ряд суттєвих недоліків: якщо пристрій регулюється тільки за рахунок зміни числа витків дроселя L_1 ручним способом, то можлива недокомпенсація реактивного навантаження першої гармоніки або її перекомпенсація, що призводить до збільшення плати споживача за реактивне навантаження та виключає можливість компенсації її раптового збільшення; якщо пристрій регулюється за рахунок зміни положення магнітного шунта механічно, то, враховуючи велику сталу часу такого регулювання, з'являється можливість коливання напруги джерела живлення за рахунок резонансів.

Крім того, наявність в пристрої дроселя L_1 збільшує реактивне навантаження перетворювача за першою гармонікою, що зменшує ефективність її компенсації і збільшує напругу на конденсаторах C пристрою.

Мета даної роботи – підвищення ефективності відомого фільтро-компенсуючого пристрою для застосування на тягових підстанціях міського електротранспорту

На думку авторів, поставлена мета досягається в пристрої, принципову схему якого наведено на рис.3.

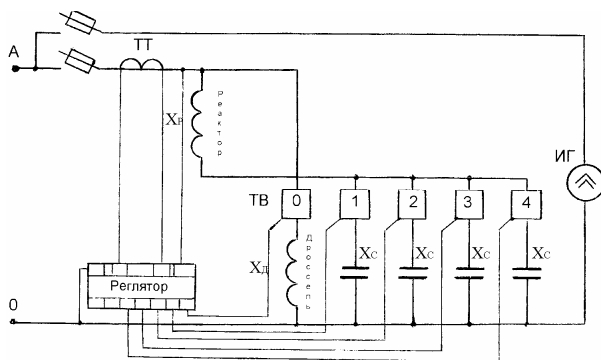


Рис.3. Принципова схема запропонованого ФКП

Він складається з чотирьох однакових за потужністю конденсаторних установок, які разом з індуктивним реактором X_p можуть утворювати пасивний резонансний фільтр. Його частотне налаштування визначається кількістю ступенів кон-

денсаторної установки, керованої тиристорними вимикачами (ТВ1...ТВ4).

Оскільки послідовне вмикання з конденсатором індуктивного реактора дозволяє створити пасивний резонансний фільтр з підвищенням напруги на першому, то номер мінімальної гармоніки резонансної настройки такого фільтра необхідно визначати за умовою допустимості такого підвищення до величини не більше, ніж $1,1U_{ном}$. Номер такої гармоніки можна визначити за умови

$$\frac{V_p^2}{V_p^2 - 1} \leq 1,1, \quad (2)$$

звідки

$$V_p = \sqrt{\frac{X_c}{X_p}} \leq \sqrt{11} = 3,16, \quad (3)$$

де X_c – реактивний опір конденсаторної ступені, Ом.

Для гармонік струму з порядковим номером більшим, ніж V_p , фільтр стає з індуктивним характером опору, що благотворно впливає на режим навантаження конденсаторів того пристрою, який пропонується.

Паралельно до цього фільтра вмикається індуктивний дросель з реактивним опором X_d , плавно керований за допомогою тиристорного вимикача ТВ0. Номінальна потужність цього дроселя вибирається таким чином, щоб при повністю відкритому ТВ0 і підключенні тільки однієї конденсаторної ступені реактивна потужність пристрою дорівнювало нулю.

Працює пристрій наступним чином.

Якщо реактивне навантаження індуктивного характеру в точці електричної мережі, де приєднано пристрій, відсутнє, і напруга перебільшує задану величину, то відкриваються тиристори вимикача ТВ0, що знижує значення напруги.

При збільшенні величини реактивного навантаження на вищих гармоніках відкривається вимикач ТВ1 і повністю відкривається вимикач ТВ0. Сумарне реактивне навантаження пристрою у такому режимі

$$Q = Q_d - Q_c = 0. \quad (4)$$

При збільшенні реактивного навантаження точки А поступово закриваються тиристори ТВ0 і у стані повного їх закриття реактивне навантаження пристрою дорівнює Q_c . У цьому випадку пристрій допускає перенавантаження вищими гармоніками струму $0,3Q_c$.

При подальшому зростанні реактивного навантаження одночасно відкриваються ТВ2 і знову повністю відкривається ТВ0. Сумарне реактивне навантаження пристрою у такому режимі зберігається на рівні Q_c .

При ще більшому зростанні реактивного навантаження точки А поступово закривають тиристори ТВ0 і при повному їх закритому стані реак-

тивне навантаження пристрою дорівнює $2Q_C$. У цьому випадку пристрій допускає перенавантаження вищими гармоніками $0,6Q_C$.

Такий процес відбувається до того часу, поки пристрій повністю не вичерпає своєї можливості. Його максимальна реактивна потужність дорівнює $4Q_C$, а допустиме перенавантаження вищими гармоніками струму складає величину $1,2Q_C$.

При зменшенні реактивного навантаження точки А операцію з вимикачами проводять у зворотному порядку. Спочатку плавно відкривають тиристори вимикача ТВ0, знижуючи реактивне навантаження пристрою. При повністю відкритих тиристорах відбір складає величину Q_C і одну конденсаторну ступінь пристрою відмикають разом з вимикачем ТВ0. Такий процес повторюють, поки не буде відімкнено останню ступінь конденсаторів.

Якщо залишити ввімкненою лише індуктивну частину ФКП – дросель, то можна зменшувати власне реактивне навантаження кабельної лінії КЛ з номінальною напругою 6(10) кВ, що живить ТП. При цьому зменшується струм і, відповідно, перенапруга, якщо відбулось однофазне замикання на землю в електричній мережі 6(10) кВ, що живить ТП.

Висновки

1. На відміну від відомого пристрою, фільтро-компенсуючий пристрій, що пропонується, дозволяє автоматично і плавно регулювати його потужність по першій гармоніці, що виключає недокомпенсацію і перекомпенсацію.

2. З метою зниження перенапруги на конденсаторах фільтро-компенсуючого пристрою по першій гармоніці при його максимальній потужності резонансна частота настройки повинна бути не нижчою гармоніки з номером $V_p = 3,1$.

3. Застосування індуктивного дроселя, ввімкненого паралельно до фільтро-компенсуючого пристрою з індуктивним характером настройки для усіх гармонік спектра їх джерел дозволяє використання такого пристрою не тільки для підвищення напруги в точці його вмикання, але й для його зниження.

Список використаної літератури

1. Волков І.И. Універсальні фільтри гармонік в мережі живлення приводу постійного струму / І.В.Волков, В.Ю. Матвєєв, Г.С. Кривенко // Техн. електродинаміка. – 2008. – № 6. – С. 24-29.

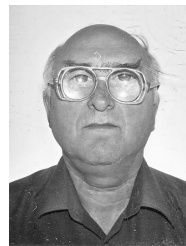
2. ГОСТ 13109–97. Межгосударственный стандарт. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Минск: Изд-во стандартов, 1998. – 31 с.

3. Дорошенко О.І. Щодо коефіцієнта потужності системи електропостачання з нелінійним навантаженням / О.І. Дорошенко, І.І. Чебан // Зб. матеріалів конф. "Електромеханічні та електричні системи, методи моделювання та оптимізації". – Кременчук: – 2011. – С. 359-360.

4. Жежеленко И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий / И.В. Жежеленко. – М.: Энергоатомиздат, 2000. – 331 с.

5. Levin M., Hoevenaars A., Volkov I. Patent application / M. Levin, A. Hoevenaars, I. Volkov // Harmonic mitigating devise with magnetic shunt. Pub. № US 2006/0197385 A1 (USA) // Sep. 7, 2006.

Отримано 23.06.2011



Дорошенко
Олександр Іванович,
канд. техн. наук, доц.
каф. електропостачання
Одеськ. нац. політехн. ун-ту,
тел. 7348-548 (роб.),
56-25-93 (дом.)



Чебан
Вячеслав Вікторович,
студент Одеськ. нац. політехн.
ун-ту



Куанг Дінх Нгок,
канд. техн. наук,
науковий працівник
Ін-ту енергетики
В'єтнаму