

УДК 621.311

О. С. КАТКОВ, В. А. ТОДОРЕНКО, О. І. ТЮРЮТІКОВ (НТУУ «КПІ»)

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», 03056, Київ, пр-т Перемоги, 37, тел.: (044) 454-94-32, ел. пошта: ikar@fel.ntu-kpi.kiev.ua hte@el.ntu-kpi.kiev.ua

АНАЛІЗ ВПЛИВУ СТУПЕНЯ ЗАРЯДУ ЄМНОСТЕЙ КОМПЕНСАТОРА РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ У СПОЖИВАЧА

Вступ

Компенсатори реактивної потужності (КРП) знайшли своє застосування в системах де джерела живлення працюють на індуктивне або активно-індуктивне навантаження [1].

Особливою рисою традиційних систем компенсації реактивної потужності є те, що величина реактивної потужності визначається по струму і напрузі тільки однієї фази. Такий підхід є прийнятним для електричних систем з симетричними навантаженням та мережею. Разом з тим на практиці система фазових напруг, навантажень, ємності компенсуючих конденсаторів не є симетричними [2,3].

Аналіз літературних джерел показав, що недостатньо дослідженим є вплив комутації компенсуючих ємностей на форми напруги на навантаженні та споживаного струму. Разом з тим

до сучасних систем компенсації реактивної потужності ставляться вимоги не лише по відношенню до компенсації реактивної потужності, але а й по забезпеченню споживача електроенергією з визначеними державним стандартом параметрами.

Метою даної роботи було дослідження впливу при комутаціях ступеню заряду компенсуючих ємностей на форму напруги мережі живлення. Дослідження проводилося симулятивним методом з використанням моделі КРМ. Фіксація результатів забезпечувалась за допомогою відповідних пристроїв реєстрації, які було введено в модель системи, що використовувалась в попередніх дослідженнях [2,3].

Моделювання системи з компенсатором реактивної потужності та пристроями фіксації форми напруги та струму в навантаженні

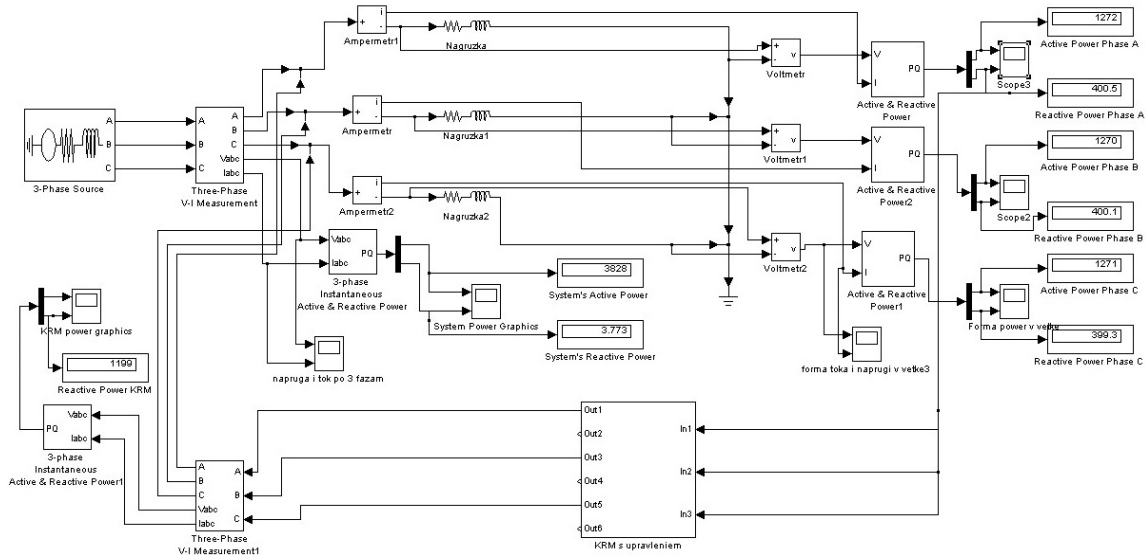


Рис. 1. Модель системи з реєстраторами форми напруги та струму на навантаженні

Під час моделювання було отримано осцилограми напруги на навантаженні та струму через навантаження. Для цього до моделі системи, яка ілюструє роботу регульованого компенсатора реактивної потужності [2], було введено моделі пристроїв фіксації осцилограм відповідних електричних величин.

При дослідженні розглядалися три варіанти початкового стану трифазової компенсуючої ємності:

- повний розряд всіх трьох секцій компенсуючої ємності;
- повний розряд двох секцій, та заряд однієї секції до напруги відповідної фази мережі живлення;

© Катков О. С. та ін., 2013

- повний розряд однієї секції, та заряд двох секцій до напруги відповідних фаз мережі живлення.

На першому етапі розглядався випадок, коли перед комутацією ємності повністю розряджені.

На рис.2 приведено осцилограми напруги та струму на навантаженні лише в одній з трьох віток. Наведені осцилограми засвідчили, що в момент комутації трифазової ємності напруга на навантаженні провалюється до нульового рівня.

Щодо форми споживаного струму варто зазначити, що сучасні системи компенсації реактивної потужності використовують на інтервали комутації додаткові опори малого номіналу. Ці опори обмежують амплітуду імпульсу струму при комутації ємностей.

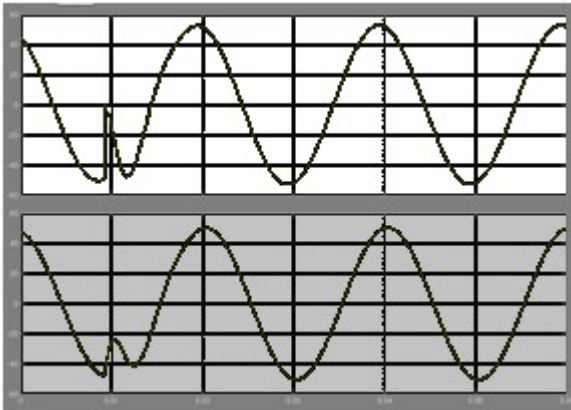


Рис. 2. Осцилограми напруги та струму на навантаженні

Результати моделювання показали, що комутація компенсуючих ємностей в КРП може спотворювати форму напруги на навантаженні. Для ряду споживачів ця особливість роботи КРП може нести загрозу аварії.

Спотворення форми напруги на навантаженні при комутації компенсуючих ємностей пояснюється тим, що ємності, які входять до складу компенсатора реактивної потужності перед комутацією незаряджені. Тобто – підключення компенсуючих ємностей до системи можна умовно поділити на два етапи – заряд компенсуючих ємностей та безпосередньо компенсація реактивної енергії, що її споживає навантаження.

Виходячи з результатів моделювання було зроблено висновок, що комутація незаряджених ємностей є небажаною.

Аналіз результатів моделювання показав необхідність пошуку шляхів усунення стрибкоподібних змін напруги та струму у навантаженні при комутації компенсуючих ємностей.

Враховуючи, що сучасні системи компенсації є регульованими, то вирішення проблеми заряду ємностей перед їх комутацією є дуже важливим.

Тому, на підставі досліджень що описані в [2, 3], а також вищеописаного моделювання були сформульовані необхідні критерії, яким має відповідати сучасна регульована компенсаційна установка:

- система керування компенсатором реактивної потужності має враховувати зміну величини та характеру навантаження;
- має враховуватись розбаланс фазових напруг;
- повинна бути реалізована можливість автоматичного відключення КРП, якщо відбувся обрив однієї з фаз живлення;
- величина споживаної навантаженням реактивної потужності має визначатися за струмом і напругою всіх трьох фаз, на відміну від традиційних систем компенсації, в яких аналіз ведеться лише однієї фази;
- необхідно враховувати стан компенсуючих ємностей, тобто контролювати ступінь їх заряду безпосередньо перед комутацією.

На основі зроблених висновків, були промодельовані наступні режими роботи системи за умови існування початкового заряду в компенсуючих ємностях.

Розглядалися два випадки:

- одна з компенсуючих ємностей попередньо заряджена, а дві інші розряджені.
- дві ємності попередньо заряджені.

Далі приведено осцилограми, отримані в результаті моделювання, описаних вище ситуацій.

На рис.3 приведено осцилограми напруги та струму на навантаженні лише в одній з трьох віток, які отримані для варіанту комутації ємності у якій одна секція попередньо заряджені та дві розряджені.

Якщо проаналізувати отримані осцилограми та порівняти їх з осцилограмами попередньої симуляції (рис.2), то можна побачити, що початковий заряд однієї компенсуючої ємності позитивно вплинув на стрибок напруги та струму у навантаженні в момент комутації. Але з'явився перехідний процес перезаряду ємності у початковий момент часу. Зберігся провал напруги до нульового значення у фазах де комутується незаряджена ємність. Проте такий провал відсутній у фазі, де комутується попередньо заряджена ємність.

Якщо ж говорити про роботу компенсатора реактивної потужності, то вона жодним чином не змінилася.

На рис. 4 приведено осцилограми напруги та струму на навантаженні лише в одній з трьох віток, які отримані для варіанту комутації єм-

ності у якій дві секції попередньо заряджені а одна розряджена.

Також була промодельована система, в якій попередній заряд компенсуючих ємностей обумовлювався значенням напруги живлення в момент комутації. Оскільки ємності з'єднані трикутником, то задавати можна початковий заряд для двох з трьох секцій компенсуючих ємностей. Попередній заряд вводився для секцій компенсатора реактивної потужності, що комутувались до фаз А та С.

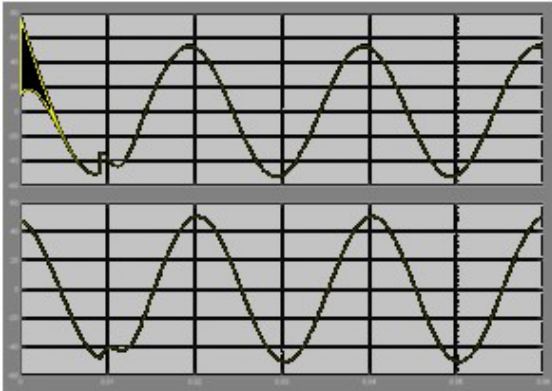


Рис. 3. Осцилограми напруги та струму у навантаженні, за умови попереднього заряду однієї з компенсуючих ємностей

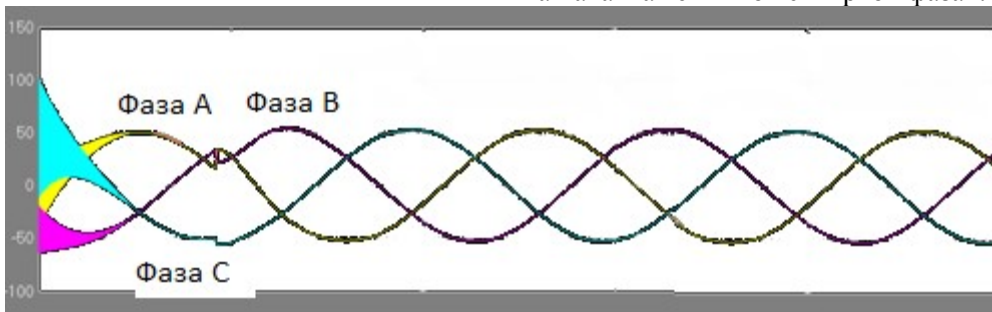


Рис. 5. Осцилограма напруги на навантаженні по трьох фазах, за умови заряду компенсуючих ємностей по фазам А та С

Як видно з осцилограми (рис.5) при комутації ємностей з попереднім зарядом, який відповідає напрузі джерела у момент часу безпосередньо перед комутацією – деформація напруги на навантаженні майже відсутня.

На основі симуляції базової досліджуваної системи, характерною рисою якої є максимальне зближення величини напруг на навантаженні та на ємностях, зроблено висновок, що комутувати компенсуючі ємності до системи необхідно в момент часу, коли різниця між фазною напругою та напругою на відповідній секції конденсаторів мінімальна. Це дозволяє максимально знизити рівень спотворення форми напруги при використанні КРП.

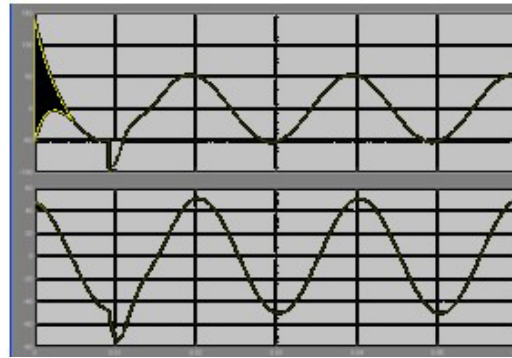


Рис. 4. Осцилограми напруги та струму у навантаженні, за умови, що дві компенсуючі ємності заряджені

Аналіз осцилограм, отриманих на попередніх етапах моделювання, вказав з якими початковими зарядами ємностей необхідно промодельовувати систему. Загалом, запропонований підхід до вирішення проблеми стрибків напруги при комутації полягає в тому, щоб безпосередньо перед комутацією, напруга на ємностях була максимально наближена до напруги на відповідній фазі. Моделювання підтвердило правильність обраного напрямку вирішення проблеми стрибкоподібної зміни напруги на навантаженні при комутації компенсуючих ємностей. На рис.5 наведено осцилограму напруг на навантаженні по всіх трьох фазах.

Висновки

Аналіз результатів симуляції показує можливість виникнення режиму роботи, що характеризується збільшенням амплітудного значення напруги та струму в момент комутації. Це негативний аспект, який необхідно враховувати при проектуванні відповідних систем керування компенсатором реактивної потужності.

Проведений аналіз впливу роботи компенсатора реактивної потужності на форму напруги та струму у споживача показав можливість виникнення суттєвих спотворень форми напруги на навантаженні та споживаного струму при використанні класичних схем побудови компенсаторів. Це потребує розробки адаптивних систем керування регульованих КРМ, де забезпечується попередній заряд компенсуючих ємностей.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Катков, А. С. Компенсация реактивной мощности компенсаторами на конденсаторных батареях [Текст] / А. С. Катков // Збірник статей IV Міжнародної науково-технічної конференції молодих вчених «Електроніка-2011». - Київ, 2011.
2. Катков, О.С. Моделирование несимметричных режимов работы компенсаторов реактивной мощности у середовищі Simulink пакету Matlab [Текст] / О. С. Катков, В. А. Тодоренко, О. І. Тюрютіков // Науковий журнал «Електрифікація транспорту». – 2011. – №2. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2011.
3. Катков, А. С. Моделирование регулируемых конденсаторных компенсаторов реактивной мощности [Текст] / А. С. Катков, В. В. Перекрест, В. А. Тодоренко, А. И. Тюрютіков // Электромагнитная совместимость и безопасность на железнодорожном транспорте: IV Междунар. научно-практической конф., 15-19 февраля 2011 г., пгт. Чинадиево. – Д.: ДИИТ, 2011. – 98 с.

Надійшла до друку 29.04.2013.

Ключові слова: компенсація реактивної потужності, моделювання, електронні системи, заряд ємностей.

Внутрішній рецензент *Кузнецов В. Г.*

В даній статті розглядається проблема компенсації реактивної потужності. Для з'ясування факторів, що впливають на роботу компенсатора реактивної потужності, а також для наочності отриманих результатів дослідження використовувався метод комп'ютерного моделювання електронних систем. Метою даного дослідження є з'ясування як величина початкового заряду компенсуючих ємностей впливає на характеристики електроенергії у споживача, зокрема на форму напруги та струму. Було розглянуто трифазну електронну систему, до складу якої входить регульований компенсатор реактивної потужності. Аналіз системи з компенсатором реактивної потужності проведено за допомогою додатку Simulink пакету Matlab. Проведено аналіз впливу компенсаційного пристрою на форму струму та напруги у навантаженні, за умов, що перед комутацією до системи, компенсуючі ємності повністю розряджені та два варіанти попереднього заряду ємностей. За результатами моделювання електронної системи з регульованим компенсатором реактивної потужності зроблено висновок, що можливе виникнення суттєвих спотворень форми напруги на навантаженні та споживаного струму при використанні класичних схем побудови компенсаторів.

Зовнішній рецензент *Андрієнко П. Д.*

УДК 621.311

А. С. КАТКОВ, В. А. ТОДОРЕНКО, А. И. ТЮРЮТИКОВ (НТУУ «КПІ»)

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», 03056, Киев, пр-т Победы, 37, тел.: (044) 454-94-32, эл. почта: ikar@fel.ntu-kpi.kiev.ua hte@el.ntu-kpi.kiev.ua

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СТЕПЕНИ ЗАРЯДА ЕМКОСТЕЙ КОМПЕНСАТОРА РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ У ПОТРЕБИТЕЛЯ

В данной статье рассматривается проблема компенсации реактивной мощности. Для выяснения факторов, влияющих на работу компенсатора реактивной мощности, а также для наглядности полученных результатов исследования использовался метод компьютерного моделирования электронных систем. Целью данного исследования является выяснение как величина начального заряда компенсирующих емкостей влияет на характеристики электроэнергии у потребителя, в частности на форму напряжения и тока. Были рассмотрены трехфазную электронную систему, в состав которой входит регулируемый компенсатор реактивной мощности. Анализ с компенсатором реактивной мощности проведен с помощью приложения Simulink пакета Matlab. Проведен анализ влияния компенсационного устройства на форму тока и напряжения в нагрузке, при условии, что перед коммутацией в систему, компенсирующие емкости неработоспособны и два варианта предварительного заряда емкостей. По результатам моделирования электронной системы с регулируемым компенсатором реактивной мощности сделан вывод, что возможно возникновение существенных искажений формы напряжения на нагрузке и потребляемого тока при использовании классических схем построения компенсаторов.

Ключевые слова: компенсация реактивной мощности, моделирование, электронные системы, заряд емкостей.

Внутренний рецензент *Кузнецов В. Г.*

Внешний рецензент *Андрієнко П. Д.*

© Катков О. С. та ін., 2013

UDC 621.311

A. S. KATKOV, V. A. TODORENKO, A. I. TYURYUTIKOV (NTU "KPI")

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", 03056, Kyiv, 37 Peremogy Ave, tel.: (044) 454-94-32, e-mail: ikar@fel.ntu-kpi.kiev.ua hte@el.ntu-kpi.kiev.ua**ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THE DEGREE OF CHARGE CAPACITIES OF REACTIVE POWER COMPENSATOR ON THE CHARACTERISTICS OF ELECTRICITY CONSUMERS**

This paper addresses the problem of reactive power compensation. To determine the factors that affect the reactive power compensator, and for clarity the results study the method of computer simulation of electronic systems. The purpose of this study is to clarify how the value of the initial charge compensating capacitances affect the characteristics of electricity consumers, particularly in the form of voltage and current. Were considered three-phase electronic system comprising an adjustable reactive power compensator. The analysis of the compensation of reactive power held by application package Simulink Matlab. The analysis of the impact of the compensation device to shape current and voltage in the load, provided that before switching to the system, compensating capacitance is fully discharged and the two previous versions of the charge volume. According to the simulation of electronic systems with variable reactive power compensator concluded that may cause significant distortions form the load voltage and current consumption when using the classical scheme of the compensators.

Keywords: reactive power compensation, simulation, electronic systems, capacitors charge.Internal reviewer *Kuznetsov V. G.*External reviewer *Andrienko P. D.*

Шановні колеги!

Фахівцями кафедри “Електропостачання залізниць”
Дніпропетровського національного університету залізничного
транспорту ім. ак. В. Лазаряна підготовлена до друку монографія

**ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В ГОСПОДАРСТВІ
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

ДЕНИСЮК С. П., КУЗНЕЦОВ В. Г., СИЧЕНКО В. Г., КРУПИН-
СЬКИЙ О. М. Навчальний посібник. – Дн-ськ: Вид-во Маковецький,
2013. – 416 с.

У навчальному посібнику висвітлені питання розвитку енергозбереження в тягових мережах залізничного транспорту, механізми регулювання відносин у сфері енергозбереження в Європейському союзі і в Україні. Наведені відомості про основи енергетичного менеджменту та нормування витрат паливно-енергетичних ресурсів, описано методологію енергетичного аудиту дистанцій електропостачання. Детально розглядаються питання розрахунку втрат електроенергії в елементах системи тягового електропостачання та напрямки енергозбереження в господарстві електропостачання залізничного транспорту.

Посібник призначений працівникам електрифікованих залізниць, може бути корисним проектувальникам, викладачам вищих навчальних закладів і технікумів, а також студентам, що навчаються за спеціальністю “Електрифікація залізниць”.

За довідками звертатись у редколегію.