

УДК: 621.316

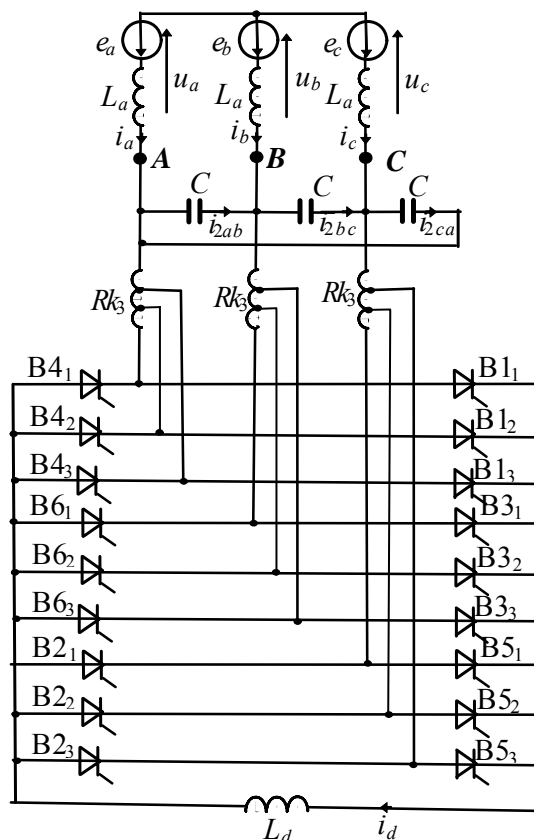
МОДИФІКАЦІЯ СХЕМОТЕХНІЧНОГО РІШЕННЯ ТИРИСТОРНОГО РЕГУЛЮВАЛЬНОГО КОМПЕНСАТОРА З АВТОМАТИЧНИМ НАЛАШТУВАННЯМ КОЛИВАЛЬНОГО LC-КОНТУРА

О.І. Чиженко, докт. техн. наук, **І.В. Трач**, канд. техн. наук, **К.О. Липківський**, докт. техн. наук
Інститут електродинаміки НАН України.
пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03057, Україна
e-mail: alivchizh@ukr.net, igor.trach@ied.org.ua

Запропоновано схемотехнічне рішення тиристорного регульованого компенсатора (ТРК) з коливальним LC-контуром, налаштованим на четверту гармоніку, в якому використовується на 25 % вентилів менше, ніж у ТРК за відомими аналогічними схемами. Зменшення кількості вентилів призводить до покращення техніко-економічних показників ТРК: мінімізується його обладнання, зменшуються активні втрати електроенергії у його внутрішніх колах. Бібл. 4, рисунок.

Ключові слова: реактивна потужність, пристрій, вентиля.

Для вирішення проблем управління режимами електричних мереж і систем ефективно застосовувати керовані вентильні напівпровідникові пристрої. Зокрема, тиристорні регульовані компенсатори (ТРК) здатні вирішувати проблеми, пов'язані з оптимізацією у мережі потоків реактивної потужності [3]. Недоліком ТРК, як і усіх пристроїв, у яких для комутації струмів застосовуються напівпровідникові елементи з нелінійною вольт-амперною характеристикою, є спотворення форми струму мережі внаслідок генерування вентилями вищих гармонік струму. Тому при використанні ТРК у промислових мережах найбільш пріоритетними є їх схемотехнічні рішення, котрі забезпечують належну якість вхідного струму ТРК. Подальше вдосконалення таких пристроїв пов'язане з мінімізацією втрат енергії, яка розсіюється на елементах у їх внутрішніх колах та з покращенням їх масогабаритних показників. У роботах [1, 2] було запропоновано схемотехнічні рішення ТРК, які внаслідок певного налаштування коливальних контурів, що містяться у їх електричних колах, та застосування оригінальних алгоритмів керування вентилями забезпечують належну якість вхідного струму ТРК. У процесі функціонування таких пристроїв при переході з одного діапазону регулювання реактивної потужності, що генерується ТРК у мережу, на інший за спеціальним алгоритмом здійснюється таке перемикання вентилів, яке змінює індуктивність у коливальних контурах пристрою таким чином, що покращується якість вхідного струму. Це змінення індуктивності відбувається шляхом перемикання відпайок у обмотках встановлених у ТРК реакторів. Ясно, що таке схемотехнічне рішення [1] потребує додаткових вентилів для перемикання відпайок у обмотках реакторів, а наслідком протікання струму через ці вентиля є додаткові активні втрати енергії. Останні дослідження з мінімізації згаданих негативних факторів показали, що на практиці більш доцільним є застосування зображеної на рисунку модифікації ТРК.



Мета роботи – покращення техніко-економічних показників ТРК.

На рисунку показано: трифазну систему ЕРС (e_a, e_b, e_c) з послідовними до ЕРС індуктивностями $L_{\text{мер}}$ (де $L_{\text{мер}}$ – притаманна мережі індуктивність, що складається з індуктивностей розподільного трансформатора $L_{\text{тр}}$, лінії передачі $L_{\text{лін}}$ і т.п.), яка моделює мережу, що живить ТРК; A, B і C – клеми мережі, до яких підключено ТРК; C – ємність конденсатора у плечі трифазної конденсаторної батареї; Rk_3 – індуктивний реактор, обмотка якого виконується з двома відпайками, що перемикаються у процесі регулювання за допомогою вентилів $B1_1 \dots B1_3, B2_1 \dots B2_3, B3_1 \dots B3_3, B4_1 \dots B4_3, B5_1 \dots B5_3$ та $B6_1 \dots B6_3$ (де основна нумерація вентилів відповідає порядку їх чергового вступу в роботу, а допоміжна, що в індексах, показує, яка з трьох обмоток реактора Rk_3 підключена до кожного з цих мостів), цими ж вентилями шляхом зміни їх кута керування α здійснюється й плавне регулювання реактивної потужності, яка генерується у мережу ТРК; L_d – індуктивність дроселя у колі випрямленого струму ТРК.

У роботі [1] показано, що на практиці найбільш реальним (враховуючи реальні параметри мережі) та ефективним (з точки зору забезпечення необхідної якості струму) є налаштування вхідного контура ТРК, тобто контура з елементами C і $L_{\text{мер}}$ на відсутню у трифазній мережі гармоніку струму, частота якої знаходиться між $3f$ та $4f$, де f – частота мережі ($f = 50$ Гц). При налаштуванні цього контура слід враховувати, що індуктивність розподільного трансформатора $L_{\text{тр}}$, як правило, є константою, а індуктивність лінії електропередачі $L_{\text{лін}}$ змінюється залежно від відстані від розподільного трансформатора до місця підключення ТРК. Якщо індуктивність $L_{\text{мер}} = L_{\text{тр}} + L_{\text{лін}}$ за своєю величиною не дає можливості досягти належного налаштування вхідного контура ТРК, то у ньому використовують додаткові реактори Rk_k і Rk_2 : перші Rk_k – вмикають у розрив вхідних фазних проводів ТРК, другі – у плечах конденсаторної батареї послідовно з конденсаторами (див. схему ТРК у роботі [1]). Індуктивності L_k та L_2 цих реакторів додаються до індуктивності $L_{\text{мер}}$ і тим самим забезпечують належне налаштування вхідного контура. Якщо ж ТРК підключено до лінії електропередачі в такому місці, де індуктивність $L_{\text{мер}}$ забезпечує належне налаштування цього контура, то необхідність у додаткових реакторах Rk_k і Rk_2 відпадає (тому вони й відсутні на схемі рисунка). Відсутність цих реакторів суттєво покращує малогабаритні та техніко-економічні показники ТРК. Можливість такого спрощення схеми ТРК при його застосуванні у існуючих мережах (з реальними параметрами) показана на прикладі мережі, розглянутій у роботі [1].

Нехай частота налаштування вхідного контура при цьому дорівнює ηf , де $\eta = \sqrt{x_C / 3x_{L_{\text{мер}}}} = 4$; $x_C = 1/\omega C$; $x_{L_{\text{мер}}} = \omega L_{\text{мер}}$; $\omega = 2\pi f$. Було показано [1], якщо необхідна глибина регулювання реактивної потужності Q складає 50 %, то при $\eta = 4$ для забезпечення значення коефіцієнта гармонік вхідного фазного струму ТРК (тобто струмів i_a, i_b, i_c) не вище значення $K_r = 5\%$ у реакторі Rk_3 можна обмежитись лише двома відпайками, тобто індуктивність цього реактора при регулюванні величини Q набуває лише трьох різних значень. Позначимо їх як L_{31}, L_{32} і L_{33} . Перше значення (L_{31}) відповідає всій обмотці реактора, тобто $L_{31} = L_3$, де L_3 – індуктивність всієї обмотки реактора Rk_3 . Для інших індуктивностей доцільними є такі значення: $L_{32} = 0,77L_3$ і $L_{33} = 0,64L_3$.

Для пояснення принципу роботи ТРК розглянемо на діапазоні регулювання реактивної потужності, що генерується ТРК у мережу, три інтервали: 1) $Q_{\text{max}} \geq Q \geq 0,678Q_{\text{max}}$; 2) $0,678Q_{\text{max}} \geq Q \geq 0,579Q_{\text{max}}$; 3) $0,579Q_{\text{max}} \geq Q \geq 0,5Q_{\text{max}}$, де Q_{max} – максимальне значення реактивної потужності, яке може генерувати у мережу ТРК. Встановлено [1], що для забезпечення у вхідного фазного струму значення $K_r \leq 5\%$, яке відповідає вимогам стандарту IEEE Std 519 -2014 [4], на першому з цих інтервалів регулювання треба здійснювати при значенні індуктивності реактора Rk_3 , що дорівнює L_{31} . Це відповідає випадку, коли в ТРК у роботі трифазний вентильний міст, вентиля якого на схемі рисунка позначені індексом «1» (тобто вентиля $B1_1 \dots B6_1$); на другому – використовується частина обмотки реактора Rk_3 з індуктивністю L_{32} . Це відповідає випадку, коли струм замикається крізь міст, вентиля якого на схемі позначені індексом «2» (тобто вентиля $B1_2 \dots B6_2$), на третьому – задіяна обмотка реак-

тора Rk_3 з індуктивністю L_{33} . Це відповідає випадку, коли у роботі міст, позначення вентилів якого на схемі мають індекс «3» (тобто вентилялі В1₃...В6₃). Перехід випрямленого струму i_d з одного вентиляного мосту на інший відбувається автоматично системою керування вентилями у моменти, коли величина Q при регулюванні перетинає границі, що розділяють згадані вище інтервали регулювання (як у разі збільшення величини Q , так і при її зменшенні).

Якщо порівняти модифіковану схему ТРК, зображену на рисунку, зі схемою ТРК, наведеною у роботі [1], можна переконатись, що перша має переваги, бо в ній використовується вентилів на 25 % менше (18 замість 24). Крім того, у такому ТРК вдвічі менші втрати активної енергії у вентилях.

При потребі більш глибокого регулювання (тобто більше ніж 50 %) величини Q для підтримання тієї ж якості вхідного струму ТРК необхідно збільшувати і кількість відпайок у обмотці реактора Rk_3 , оскільки в такому випадку при регулюванні виникає потреба у більшому числі дискретних значень індуктивностей, для автоматичного переналаштування контурів $C - Rk_3$, таких що забезпечують значення коефіцієнта гармонік $K_r \leq 5$ % на всьому діапазоні регулювання. Видно, що при цьому вираш у кількості потрібних ТРК вентилів більш значний.

Висновок. Техніко-економічні показники модифікованого ТРК за схемою рисунка внаслідок зменшення числа вентилів кращі, ніж у ТРК, запропонованого у роботі [1]. Це відкриває перспективи для його використання у промислових мережах.

1. Чиженко О.І., Трач І.В. Вплив відхилень індуктивності мережі на режими та характеристики тиристорного компенсатора реактивної потужності // Техн. електродинаміка. – 2017. – № 4. – С. 48–54.
2. Чиженко О.І., Трач І.В. Спосіб покращення якості струму у системі мережа – тиристорний компенсатор реактивної потужності // Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України: Зб. наук. пр. – К.: ІЕД НАНУ, 2017. – Вип. 46. – С. 22–30.
3. Sireesha K.L., Bhushana K.Kumar. Power Quality Improvement in Distribution System Using D-STATCOM / IJEAR, –Vol. 4, Issu Spl-1, Jan – Jun 2014. – P. 58–62.
4. IEEE Std519-2014. Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems/ Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 445 Hoes Lane, Piscataway, NJ 08854 (<http://standards.ieee.org>)

УДК: 621.316

А.І. Чиженко, докт. техн. наук, І.В. Трач, канд. техн. наук, К.А. Липковський, докт. техн. наук
 Інститут електродинаміки НАН України,
 пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03057, Україна

Модифікація схемотехнічного рішення тиристорного регулювального компенсатора з автоматичним налаштуванням коливального LC-контурів

Предлагается схемотехническое решение тиристорного регулируемого компенсатора (ТРК), в котором используется на 25% вентилей меньше, чем в ТРК по известным аналогичным схемам. Сокращение количества вентилей приводит к улучшению технико-экономических показателей ТРК: минимизируется его оборудование, уменьшаются активные потери электроэнергии в его внутренних цепях. Библи. 4, рисунок.

Ключевые слова: реактивная мощность, прибор, вентиля.

O.I. Chyzenko, I.V. Trach, K.O. Lypkivskyi

Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine,
 Peremohy, 56, Kyiv-57, 03057, Ukraine

Thyristor controlled reactive power compensator with automatic adjustment oscillatory LC-circuit

Thyristor controlled reactive power compensator including a LC-circuit, which insist on the fourthharmonic is proposed. The proposed bridge thyristor compensator makes it possible to smoothly adjust the reactive power of the capacitor bank in the required range. The device uses thyristors 25% less than in the known similar schemes. Reducing the number of thyristors leads to improved technical and economic performance of the device: it minimizes equipment; decrease active power losses in its elements. The device can regulate the reactive power of the electrical network and correct the cosine in it. References 4, figure.

Key words: : reactive-power, device, valves.

Надійшла 10.03.17
 Received 10.03.17